



DISERTASI - CS 236611

**MODEL PENILAIAN DAN PENINGKATAN KETAHANAN
INFRASTRUKTUR PELABUHAN BERBASIS RISIKO
BENCANA ALAM**

**EKO PRIHARTANTO
7012211008**

DOSEN PEMBIMBING
Prof. M. Arif Rohman, S.T., M.Sc., Ph.D.
Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.

**PROGRAM DOKTORAL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2025**

-----Halaman Sengaja Dikosongkan-----

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar

Doktor (Dr.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Eko Prihartanto

7012211008

Tanggal Ujian : 4 Agustus 2025

Periode Wisuda :132

Disetujui oleh:

1. Prof. Mohammad Arif Rohman, ST., M.Sc., Ph.D.

NIP: 197712082005011002

2. Ir. I Putu Artama Wiguna, MT., Ph.D.

NIP: 196911251999031001

3. Dr. Anak Agung Gde Kartika, S.T., M.T.

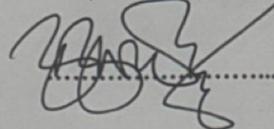
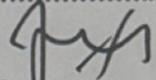
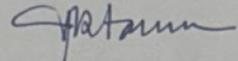
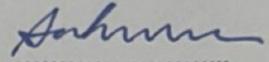
NIP: 197201011998021001

4. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.

NIP: 19591010 1988031002

5. Prof. Dr. Ir. Jojok Widodo Soetjipto ST., M.T.

NIP: 197205272000031001



Data Iranata, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19800430 200501 1 002

Model Penilaian dan Peningkatan Ketahanan Infrastruktur Pelabuhan Berbasis Risiko Bencana Alam

Nama Mahasiswa : Eko Prihartanto
NRP : 7012211008
Pembimbing : Prof. M. Arif Rohman, S.T., M.Sc., Ph.D
Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D

ABSTRAK

Pelabuhan saat ini belum memiliki kerangka kerja penilaian yang sistematis dan terstandar untuk mengevaluasi kondisi fisik infrastruktur serta potensi risiko bencana alam, khususnya terkait kejadian cuaca ekstrem. Ketahanan infrastruktur pelabuhan menjadi aspek krusial dalam manajemen mutu dan mitigasi risiko proyek, sehingga diperlukan model penilaian yang mampu mengukur kondisi fisik secara objektif, menganalisis potensi risiko secara komprehensif, serta merumuskan strategi mitigasi ketahanan yang efektif.

Penelitian ini mengembangkan kerangka kerja untuk menilai ketahanan infrastruktur pelabuhan dengan menggabungkan tiga pendekatan utama: pertama, model kondisi fisik infrastruktur untuk menilai kualitas dan kelayakan pelabuhan; kedua, model risiko yang memperhitungkan berbagai faktor bahaya alam; dan ketiga, model evaluasi yang menetapkan kriteria ketahanan serta strategi penanganannya. Responden penelitian adalah para ahli strategis seperti konsultan teknik, pejabat Dinas Pekerjaan Umum, akademisi, dan perencana wilayah yang dipilih berdasarkan keahlian dan pengalaman mereka di bidang pelabuhan. Data dikumpulkan secara sistematis melalui wawancara terstruktur, kuesioner, survei lapangan, dan sumber ilmiah seperti jurnal dan buku untuk menjamin validitas dan keandalan hasil analisis.

Hasil penelitian ini berupa pengembangan model yang membantu menilai seberapa kuat dan tahan infrastruktur pelabuhan terhadap bahaya bencana alam. Dari hasil penelitian, ditemukan bahwa bagian paling rentan adalah struktur bangunan dan sistem drainase, terutama terhadap hujan deras yang bisa menyebabkan kerusakan serius. Model yang dibuat bukan hanya memberikan gambaran risiko secara jelas, tetapi juga menjadi alat yang bermanfaat untuk menentukan prioritas perbaikan dan langkah-langkah mitigasi yang tepat. Dengan demikian, model ini sangat berguna bagi pengelola pelabuhan agar dapat merencanakan dan menjalankan tindakan yang efektif untuk menjaga kelangsungan operasional pelabuhan walaupun menghadapi ancaman bencana.

Kata kunci: bencana, infrastruktur, ketahanan, kerentanan, mitigasi

-----Halaman Sengaja Dikосongkan-----

Assessment and Improvement Model of Port Infrastructure Resilience Based on Natural Disaster Risk

Student's Name : Eko Prihartanto
Student ID : 7012211008
Supervisor : Prof. M. Arif Rohman, S.T., M.Sc., Ph.D
Co-Supervisor : Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D

ABSTRACT

Currently ports lack a systematic and standardized assessment framework to evaluate the physical condition of infrastructure and the potential risk of natural disasters, especially related to extreme weather events. The resilience of port infrastructure is a critical aspect in quality management and project risk mitigation, thus requiring an assessment model capable of objectively measuring physical conditions, comprehensively analyzing risk potential, and formulating effective resilience mitigation strategies.

This study develops a framework to assess the resilience of port infrastructure by integrating three main approaches: first, a physical condition model to evaluate the quality and feasibility of the port; second, a risk model that considers various natural hazard factors; and third, an evaluation model which establishes resilience criteria and corresponding management strategies. The research respondents consisted of strategic experts such as engineering consultants, public works officials, academics, and regional planners selected based on their expertise and experience in the port sector. Data were systematically collected through structured interviews, questionnaires, field surveys, and scientific sources such as journals and books to ensure the validity and reliability of the analysis results.

The outcome of this research is the development of a model that assists in assessing the strength and resilience of port infrastructure against natural disaster hazards. The study identified the most vulnerable elements as building structures and drainage systems, particularly concerning heavy rainfall that can cause serious damage. The developed model not only clearly illustrates the risks but also serves as a practical tool for prioritizing repairs and implementing appropriate mitigation measures. Therefore, this model is highly valuable for port managers to plan and execute effective actions that ensure the continuity of port operations despite disaster threats.

Key Word: disaster, infrastructure, resilience, mitigation, vulnerability

-----Halaman Sengaja Dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	1
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Urgensi Penelitian.....	10
1.3. Rumusan Masalah.....	10
1.4. Tujuan Penelitian.....	10
1.5. Manfaat Penelitian.....	10
1.6. Batasan Penelitian.....	11
1.7. Gap Analisis.....	11
1.8. Originalitas.....	13
1.9. Keterbaruan.....	14
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 Konsep Resiliensi Pada Infrastruktur.....	15
2.2 Terminologi Pelabuhan.....	19
2.2.1 Definisi pelabuhan.....	19
2.2.2 Klasifikasi pelabuhan.....	20
2.2.3 Regulasi dan peraturan pelabuhan di Indonesia.....	21
2.2.4 Justifikasi teknis pemilihan klasifikasi pelabuhan.....	22
2.3 Kerentanan (<i>Vulnerability</i>).....	25
2.4 Risiko.....	26
2.4.1 Sumber-sumber risiko.....	26
2.4.2 Penanganan risiko.....	27
2.4.3 Konsep probabilistik sederhana.....	29
2.5 Bencana.....	31
2.5.1 Jenis-jenis bencana.....	32

2.5.2	Faktor penyebab terjadinya bencana	32
2.5.3	Cuaca ekstrim.....	34
2.5.4	<i>El niño</i> dan <i>la niña</i>	35
2.5.5	Potensi bencana pada pelabuhan	36
2.6	<i>Infrastructure Rating Tool</i>	38
2.7	<i>Hazard and Vulnerability Assessment Index</i>	39
2.8	<i>Interpretive Structural Modelling</i>	39
2.8.1	Identifikasi variabel.....	40
2.8.2	Penilaian hubungan kontekstual diantara variabel.....	40
2.8.3	<i>Structural self interaction matrix</i> untuk setiap variabel berpasangan.....	40
2.8.4	Pembentukan <i>reachability matrix</i> untuk setiap variabel berpasangan	40
2.8.5	Transivitas	41
2.8.6	Pengembangan <i>reachability matrix</i> (menghilangkan transivitas).....	41
2.8.7	Analisis Mic-Mac untuk diklasifikasi	42
2.8.8	Mengganti variabel-variabel dengan hubungan pernyataan	43
2.9	Dasar Penyusunan Model.....	43
2.10	Penelitian Terdahulu	59
2.11	Posisi Penelitian	62
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		63
3.1	Konsep Model	63
3.1.1	Kondisi infrastruktur pelabuhan.....	64
3.1.2	Risiko multidimensi	67
3.1.3	Evaluasi infrastruktur pelabuhan.....	70
3.2	Jenis Penelitian.....	74
3.3	Waktu dan Tempat	75
3.4	Data, Populasi dan Sampel Penelitian.....	75
3.5	Metode Pengumpulan Data	77
3.6	Instrumen dan Bahan Penelitian.....	83
3.7	Metode Analisis Data	83
3.7.1	Analisis <i>Infrastructure Rating Tool</i>	83
3.7.2	Analisis <i>Hazard and Vulnerability Assessment Index (HVAI)</i>	86
3.7.3	Analisis <i>Interpretive Structural Modelling (ISM)</i>	88
3.8	Alur Penelitian	90

3.8.1	Penjelasan alur penelitian.....	92
3.9	Justifikasi Pemilihan Studi Kasus	95
3.10	Studi Kasus	97
3.10.1	Waktu dan tempat pada studi kasus	98
3.10.2	Data, populasi dan sampel penelitian.....	99
3.10.3	Metode pengumpulan data	100
3.10.4	Analisis data	101
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL KETAHANAN INFRASTRUKTUR		
PELABUHAN		
4.1.	Gambaran Umum dan Analisis Responden Global	103
4.2.	Analisis Model Kondisi Infrastruktur Pelabuhan.....	107
4.2.1	Analisis relevansi terhadap indikator pada variabel kondisi.....	107
4.2.2	Analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator kondisi infrastruktur pelabuhan	109
4.3.	Analisis Model Risiko Multidimensi	114
4.3.1	Analisis relevansi terhadap indikator	115
4.3.2	Analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator risiko multidimensi	117
4.4.	Analisis Model Evaluasi Infrastruktur Pelabuhan Berbasis <i>Interpretive Structural Modeling (ISM)</i>	121
4.5.	Model Dasar Penilaian Infrastruktur, Analisis Risiko dan Evaluasi Infrastruktur	128
BAB 5 IMPLEMENTASI MODEL PADA STUDI KASUS PELABUHAN ..		
5.1	Studi Kasus Pelabuhan Malundung Kota Tarakan.....	131
5.2	Analisis Kondisi Eksisting Pelabuhan	133
5.3	Analisis Data Responden pada Studi Kasus Kota Tarakan.....	134
5.4	Tujuan Penerapan Model	136
5.5	Strategi Implementasi di Kota Tarakan.....	137
5.6	Analisis Model Kondisi Infrastruktur Pelabuhan di Kota Tarakan.....	139
5.7	Penilaian Infrastruktur Pelabuhan Kota Tarakan	143
5.8	Hasil Penilaian Ketahanan Pelabuhan Kota Tarakan.....	145
5.9	Respon Penilaian Ketahanan Pelabuhan	148
5.10	Implementasi Model Risiko Bencana di Kota Tarakan	149
5.11	Model Konseptual untuk Risiko Bencana Alam di Kota Tarakan..	150

5.12	Validasi dan Reliabilitas Indikator Risiko Multidimensi Studi Kasus .	150
5.13	Aplikasi Model Risiko Multidimensi ke Fokus Spesifik Hujan Ekstrim.....	153
5.14	Analisis Risiko Hujan Ekstrim.....	154
5.15	Hasil Penilaian Risiko pada Pelabuhan Kota Tarakan.....	157
5.16	Hasil Analisis Perhitungan Banjir Periode Ulang.....	161
5.17	Identifikasi Kriteria Kunci dan Strategi Ketahanan Pelabuhan Kota Tarakan	164
5.18	Nilai Kerentanan pada Pelabuhan Kota Tarakan	169
5.19	Model Berdasarkan Studi Kasus	171
BAB 6 PEMBAHASAN.....		177
6.1	Proses Pembentukan Model Penilaian Risiko Infrastruktur Pelabuhan	177
1.	Kerangka konseptual model.....	178
2.	Metodologi pengembangan model.....	179
3.	Inovasi dan kontribusi model.....	180
6.2	Validasi Model Melalui Studi Kasus Kota Tarakan	182
1.	Validasi model: pendekatan dan tujuan	183
2.	Hasil validasi dan implikasi	183
3.	Perbandingan dengan studi terkini	184
4.	Kontribusi bagi pengembangan model ketahanan nasional.....	184
6.3	Strategi Ketahanan Infrastruktur Pelabuhan	185
1.	Pendekatan multidimensi berbasis risiko	185
2.	Strategi teknis dan infrastruktur: adaptasi terhadap perubahan iklim .	186
3.	Peningkatan kapasitas operasional dan manajemen risiko.....	186
4.	Pendekatan adaptasi lingkungan dan integrasi hijau.....	187
5.	Implementasi bertahap dan evaluasi dinamis.....	187
BAB 7 KESIMPULAN.....		191
7.1	Kesimpulan	191
7.2	Saran.....	192
DAFTAR PUSTAKA		193

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gambaran Proses Penelitian.....	7
Gambar 2.1	Sifat ganda ketahanan dalam sistem sosio-teknis (Platt, 2020)	15
Gambar 2.2	Kerangka Kerja untuk Penyediaan Infrastruktur Tangguh Pascabencana (Chester et al., 2021).....	16
Gambar 2.3	Pendekatan holistik untuk menghadirkan infrastruktur tangguh berbasis pemantauan (Achilopoulou et al., 2020).....	17
Gambar 2.4	Gambaran skematis dari konsep risiko (Bles et al., 2019).....	18
Gambar 2.5	(a) Kerusakan pelabuhan akibat angin ekstrim (Repetto et al., 2017), (b) Kerusakan pelabuhan akibat hujan lebat dan angin kencang (sumber: BPBD Lingga), (c) Banjir di Pelabuhan sekupang akibat cuaca ekstrim (sumbersumatra.bisnis.com)	38
Gambar 2.6	Analisis Mic Mac	42
Gambar 3.1	Model kondisi infrastruktur pelabuhan	67
Gambar 3.2	Model risiko multidimensi	70
Gambar 3.3	Model evaluasi infrastruktur pelabuhan.....	74
Gambar 3.4	Konsep model ketahanan infrastruktur pelabuhan.....	75
Gambar 3.5	Diagram alir Proses Analisis <i>Infrastructure Rating Tool</i>	85
Gambar 3.6	Diagram Alir analisis Hazard and Vulnerability Assessment Tool ..	87
Gambar 3.7	Diagram Alir analisis data Interpretive Structural Modelling (Hasil olahan peneliti, 2015) mengadopsi (Sianipar, 2012), (Satapathy, Patel, Biswas, & Mishra, 2013).....	89
Gambar 3.8	Diagram Alir Penelitian	91
Gambar 3.9	Pulau Tarakan.....	97
Gambar 3.10	Lokasi Pelabuhan Malundung Skala 1:5000 (openstreetmaps)	99
Gambar 4.1	Model kondisi infrastruktur pelabuhan	113
Gambar 4.2	Model risiko multidimensi	120
Gambar 4.3	<i>Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)</i>	121
Gambar 4.4	<i>Initial Reachability Matrix</i>	123
Gambar 4.5	<i>Final Reachability Matrix</i>	124
Gambar 4.6	<i>level partitioning</i>	124
Gambar 4.7	<i>Driving Power and Dependence Diagram</i>	125
Gambar 4.8	Hierarchical Structure Diagram	126

Gambar 4.9 Model Penilaian dan Peningkatan Ketahanan Infrastruktur Pelabuhan Berbasis Risiko Bencana Alam	129
Gambar 5.1 Citra drone Pelabuhan Malundung.....	132
Gambar 5.2 Genangan dengan Tinggi Hujan = 30 mm, waktu hujan = 1 jam, Tinggi Genangan = 0,26 m	162
Gambar 5.3 Genangan dengan Tinggi Hujan = 100 mm, waktu hujan = 1 jam, Tinggi Genangan = 0,52 m	163
Gambar 5.4 Genangan dengan Tinggi Hujan = 167 mm, waktu hujan = 1 jam, Tinggi Genangan = 0,93 m	164
Gambar 5.5 Model pada Studi Kasus Pelabuhan Internasional Malundung di Kota Tarakan dengan bencana hujan ekstrim	173

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Justifikasi pemilihan klasifikasi pelabuhan.....	22
Tabel 2.2 <i>Probability and Impact Scales</i>	30
Tabel 2.3 <i>Probability Impact Grid</i>	30
Tabel 2.4 Tingkat Risiko.....	31
Tabel 2.5 Ketergantungan Kriteria terhadap Kondisi Infrastruktur	48
Tabel 2.6 Indikator dan Sumber Referensi pada variabel kondisi	49
Tabel 2.7 Komponen risiko.....	50
Tabel 2.8 Indikator dan Sumber Referensi	52
Tabel 2.9 Deskripsi Parameter variabel kondisi	55
Tabel 2.10 Deskripsi Indikator variabel Cuaca Ekstrim	57
Tabel 2.11 Deskripsi Parameter variabel Cuaca Ekstrim.....	57
Tabel 2.12 Hubungan Antar Komponen Model pada Kerangka Kerja.....	58
Tabel 3.1 Contoh Kuesioner <i>Infrastructure Rating Tools</i>	79
Tabel 3.2 Contoh Kuesioner <i>Hazard and Vulnerability Index</i>	80
Tabel 3.3 Contoh Kuesioner <i>Interpretive Structural Modelling</i>	81
Tabel 3.4 Nilai Indeks Kerentanan (<i>Vulnerability Index</i>).....	93
Tabel 4.1 Perbandingan Jenis Kelamin.....	103
Tabel 4.2 Rekapitulasi berdasarkan Pendidikan terakhir.....	104
Tabel 4.3 Rekapitulasi berdasarkan Instansi	104
Tabel 4.4 Rekapitulasi berdasarkan Pengalaman Kerja.....	105
Tabel 4.5 Rekapitulasi berdasarkan Asal Responden	106
Tabel 4.6 Relevansi indikator	107
Tabel 4.7 Korelasi antar indikator	110
Tabel 4.8 Relevansi indikator risiko multidimensi	115
Tabel 4.9 Korelasi pada indikator risiko multidimensi	118
Tabel 5.1 Perbandingan Jenis Kelamin.....	134
Tabel 5.2 Rekapitulasi berdasarkan Pendidikan terakhir.....	134
Tabel 5.3 Rekapitulasi berdasarkan Instansi	135
Tabel 5.4 Rekapitulasi berdasarkan Pengalaman Kerja.....	136
Tabel 5.5 Tabel analisis <i>Asesmen Infrastructure Rating Tool</i>	143

Tabel 5.6 Skema Penilaian.....	144
Tabel 5.7 Analisis Hazard and Vulnerability Aessment Index	156

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana alam yang terjadi secara global menuntut adanya upaya penguatan infrastruktur transportasi laut. Salah satu program pengembangan transportasi laut yang bertujuan untuk memperkuat konektivitas jalur pelayaran domestik serta mempercepat distribusi barang dan penumpang antar pulau dan lintas negara melalui transportasi laut yang efisien (Sugihartono, 2018). Program ini telah memberikan dampak positif dalam optimalisasi potensi maritim sebagai bagian dari sistem logistik nasional. Namun, di sisi lain program tersebut juga menghadirkan tantangan baru bagi pelabuhan-pelabuhan laut dalam menghadapi risiko cuaca ekstrem dan perubahan iklim yang menuntut kesiapan infrastruktur yang lebih tangguh dan adaptif.

Pelabuhan laut dalam sebagai titik strategis dalam jaringan logistik nasional dan internasional memiliki kerentanan yang tinggi terhadap bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, banjir, dan cuaca ekstrem. Kondisi geografis Indonesia yang rawan bencana memperbesar risiko gangguan fisik yang dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur, terganggunya aktivitas operasional, serta dampak ekonomi yang signifikan. Kerentanan ini bukan hanya terkait dengan aspek fisik bangunan, tetapi juga mencakup kapasitas pelabuhan untuk bertahan dan pulih dari bencana secara cepat dan efektif. Oleh karena itu, pemahaman komprehensif tentang tingkat kerentanan terhadap bencana alam menjadi sangat penting sebagai dasar dalam merancang strategi ketahanan yang adaptif dan berkelanjutan untuk infrastrukturnya.

Resiliensi berkelanjutan merupakan kemampuan suatu sistem untuk beradaptasi, bertahan, dan pulih dari tekanan maupun gangguan yang terkait dengan perubahan iklim, cuaca ekstrem, dan berbagai risiko alam lainnya. Dalam konteks pelabuhan laut dalam, penting untuk membangun infrastruktur yang tidak hanya mampu beroperasi secara optimal saat ini, tetapi juga dapat mempertahankan fungsi operasionalnya secara efisien dan aman di masa depan

menghadapi tantangan tersebut. Seiring peningkatan aktivitas pelayaran dan distribusi barang yang signifikan, sesuai dengan target pengembangan jalur transportasi laut yang lebih terintegrasi dan efisien, pelabuhan harus dipersiapkan dengan strategi pengelolaan risiko yang komprehensif.

Peningkatan aktivitas pelayaran dan distribusi barang di pelabuhan akan berimplikasi pada peningkatan risiko terhadap bencana alam. Oleh karena itu, diperlukan kerangka kerja ketahanan pelabuhan yang efektif untuk mengidentifikasi risiko dan kerentanan yang mungkin terjadi. Dengan adanya kerangka kerja ini, pengelola pelabuhan dapat merencanakan langkah adaptasi dan mitigasi yang tepat guna mengurangi dampak negatif bencana alam pada operasional pelabuhan. Penguatan infrastruktur pelabuhan yang adaptif dan tahan terhadap bencana alam sangat penting, di mana infrastruktur tersebut mampu menyesuaikan dengan perubahan kondisi dan menghadapi guncangan akibat peristiwa bencana.

Pengembangan teknologi dan material inovatif menjadi salah satu fokus utama dalam memperkuat infrastruktur adaptif tersebut. Selain aspek fisik, penguatan kapasitas manusia melalui sosialisasi dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap risiko bencana alam dan pentingnya resiliensi berkelanjutan juga menjadi perhatian utama. Melalui upaya edukasi dan kampanye kesadaran, masyarakat diharapkan dapat lebih siap menghadapi berbagai risiko tersebut serta mendukung penguatan ketahanan pelabuhan. Konsep resiliensi berkelanjutan juga memperkuat kolaborasi dan sinergi antara berbagai pihak terkait. Dengan integrasi antara program pengembangan jalur pelayaran dan kerangka kerja ketahanan pelabuhan ini, diharapkan pelabuhan dapat menjadi lebih responsif dan tanggap terhadap perubahan terkait bencana alam, sekaligus mampu mengurangi potensi kerugian ekonomi dan dampak lingkungan secara signifikan.

Suatu wilayah memiliki produk barang dan jasa yang berbeda dengan wilayah yang lain, didorong oleh perbedaan keperluan terhadap kepentingan barang dan jasa ini menyebabkan transaksi untuk saling melengkapi kebutuhan. Transportasi merupakan sarana penghubung atau yang menghubungkan antara daerah produksi dan pasar, atau dapat dikatakan mendekatkan daerah produksi dan pasar, atau seringkali dikatakan menjembatani produsen dengan konsumen (Kurniadi and

Mahalli, 2015). Sistem infrastruktur merupakan pendukung utama fungsi-fungsi sistem sosial dan sistem ekonomi dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Sistem infrastruktur dapat didefinisikan sebagai fasilitas-fasilitas atau struktur-struktur dasar, peralatan-peralatan, instalasi-instalasi yang dibangun dan yang dibutuhkan untuk berfungsinya sistem sosial dan sistem ekonomi masyarakat (Grigg dalam Kodoatie, 2003).

Untuk memahami peranan dan cakupan sektor infrastruktur dalam pembangunan nasional, penting untuk mengetahui klasifikasi infrastruktur berdasarkan fungsi dan jenisnya. The World Bank (1994) membagi infrastruktur menjadi tiga, yaitu:

1. Infrastruktur ekonomi, merupakan infrastruktur fisik yang diperlukan untuk menunjang aktivitas ekonomi, meliputi *public utilities* (tenaga, telekomunikasi, air, sanitasi, gas), *public work* (jalan, bendungan, kanal, irigasi dan drainase) dan sektor transportasi (jalan, rel, pelabuhan, lapangan terbang dan sebagainya).
2. Infrastruktur sosial, meliputi pendidikan, kesehatan, perumahan dan rekreasi.
3. Infrastruktur administrasi, meliputi penegakan hukum, kontrol administrasi dan koordinasi.

Pengembangan wilayah merupakan upaya untuk memacu perkembangan sosial ekonomi, penurunan kesenjangan antar wilayah dan pemeliharaan kelestarian lingkungan hidup di suatu wilayah. Upaya ini diperlukan karena setiap wilayah memiliki kondisi sosial ekonomi, budaya dan keadaan geografis yang berbeda-beda, sehingga pengembangan wilayah bertujuan untuk mengoptimalkan potensi yang dimiliki oleh suatu wilayah (Riyadi and Bratakusumah, 2005).

Suatu wilayah selalu mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. salah satu indikator perkembangan wilayah adalah kemudahan. Kemudahan dalam hal ini terkait dengan cara masyarakat memperoleh kebutuhan sehari-hari. Prasarana (infrastruktur) merupakan hal yang penting dalam meningkatkan perkembangan sosial dan kegiatan ekonomi. Pembangunan tidak akan berjalan lancar jika prasarana tidak baik. Aspek prasarana pembangunan yang berkelanjutan dari berbagai bidang antara lain, pendidikan, kesehatan, banyaknya industri, jenis perdagangan dan peribadatan (Adisasmita, 2010). Infrastruktur merupakan

seperangkat fasilitas yang disediakan oleh organisasi tertentu dan diperuntukkan untuk publik meliputi fungsi-fungsi pemerintahan dalam penyediaan air, tenaga listrik, pembuangan limbah, transportasi dan pelayanan sejenis lainnya dalam memfasilitasi tujuan-tujuan sosial serta menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk pengembangan ekonomi (Baskakova and Malafeev, 2017).

Pelabuhan adalah infrastruktur krusial dalam sistem transportasi maritim dan berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi suatu negara (Rakhman et al., 2020). Sebagai pintu gerbang bagi perdagangan internasional dan transportasi laut, pelabuhan menjadi pusat distribusi barang dan penumpang antar negara. Namun, pelabuhan juga merupakan infrastruktur yang rentan terhadap risiko cuaca ekstrim akibat perubahan iklim yang semakin nyata (Kristian Saragi et al., 2018). Ketersediaan infrastruktur transportasi seperti pelabuhan dianggap prioritas utama pengembangan kawasan, mengingat Indonesia merupakan negara maritim terbesar di dunia. Pelabuhan menjadi akses di suatu wilayah akan membawa investasi dari luar masuk ke dalam wilayah tersebut. Ketersediaan infrastruktur transportasi juga mampu mendorong pertumbuhan sektor hulu dibandingkan dengan sektor hilir sehingga infrastruktur transportasi mempunyai peranan yang penting dalam perkembangan ekonomi. Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 42 Tahun 2005 tentang Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur, menjelaskan beberapa jenis infrastruktur yang penyediaannya harus diatur oleh pemerintah, yaitu infrastruktur transportasi, infrastruktur jalan, infrastruktur pengairan, infrastruktur air minum dan sanitasi, infrastruktur telematika, infrastruktur ketenagalistrikan, dan infrastruktur pengangkutan minyak dan gas bumi.

Perubahan iklim serta dampaknya kepada infrastruktur diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika mendefinisikan perubahan iklim yaitu berubahnya iklim yang disebabkan baik secara langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia sehingga mengubah komposisi atmosfer global dan variabilitas iklim alamiah pada periode waktu yang dapat diperbandingkan. Perubahan iklim dapat meningkatkan risiko terjadinya bencana terkait iklim seperti kekeringan, banjir dan longsor, kegagalan panen, kenaikan muka laut, rob, intrusi air laut, abrasi, ablasi atau erosi akibat angin, gelombang tinggi, wabah penyakit malaria dan demam

berdarah (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2012 Tentang Program Kampung Iklim, 2012). Bentuk antisipasi perubahan iklim mengharuskan semua pemangku kepentingan termasuk masyarakat, untuk mengambil langkah-langkah adaptasi serta langkah-langkah untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Perubahan iklim menjadikan adaptasi sebagai upaya memperkecil risiko, meminimalkan potensi risiko, antara lain dengan menyiapkan infrastruktur yang tahan iklim, memperkuat kapasitas ekonomi dan sosial, tingkat pendidikan, dan menerapkan teknologi tepat guna yang dapat beradaptasi dengan perubahan iklim. Selain upaya adaptasi, masyarakat harus terus didorong untuk mengambil tindakan mitigasi yang membantu mengurangi emisi GRK di seluruh dunia.

Perubahan iklim ditandai dengan kenaikan permukaan laut, tingginya curah hujan, dan peristiwa iklim ekstrim. Kejadian meningkatnya intensitas dan frekuensi pada iklim ekstrim, seperti risiko banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Hal tersebut akan berdampak pada sektor sumber daya air, pertanian, kehutanan, perikanan, kesehatan, serta sarana dan prasarana. Bentuk adaptasi suatu infrastruktur khususnya infrastruktur transportasi dalam menghadapi dampak perubahan iklim adalah mengembangkan alat dan pedoman wajib untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan jaringan infrastruktur penting, dan mengatasi dengan pengembangan kebijakan di bidang keselamatan dan keamanan, antar moda serta perencanaan tanggap darurat (Nogal et al., 2016).

Ketahanan atau resiliensi infrastruktur adalah kemampuan sistem infrastruktur untuk bertahan atau pulih dengan cepat dari kondisi sulit, yang pada gilirannya membutuhkan pemahaman secara rinci tentang kerentanan dan risiko. Proses tahap merancang untuk mengetahui risiko yang dapat diperkirakan merupakan tantangan, memperhitungkan risiko yang sulit atau bahkan tidak mungkin untuk diramalkan seperti yang muncul dari proses saling ketergantungan yang kompleks sehingga menimbulkan tantangan yang jauh lebih besar (Blockley et al., 2012).

Resiliensi dapat dicapai dengan meningkatkan fungsionalitas dari *critical infrastructure systems* (Suryotrisongko, 2017). *Critical infrastructure* atau infrastruktur kritis merupakan berbagai struktur fisik, fasilitas publik, dan sistem

yang sangat berpengaruh pada fungsionalitas suatu komunitas secara ekonomi dan sosial. Dalam konteks infrastruktur transportasi, resiliensi merujuk pada kemampuan infrastruktur tersebut untuk bertahan dan berfungsi secara optimal dalam menghadapi berbagai tantangan dan ancaman, seperti bencana alam dan perubahan iklim. Berikut ini adalah beberapa contoh hubungan antara infrastruktur transportasi dan resiliensi (Leviäkangas and Aapaoja, 2015):

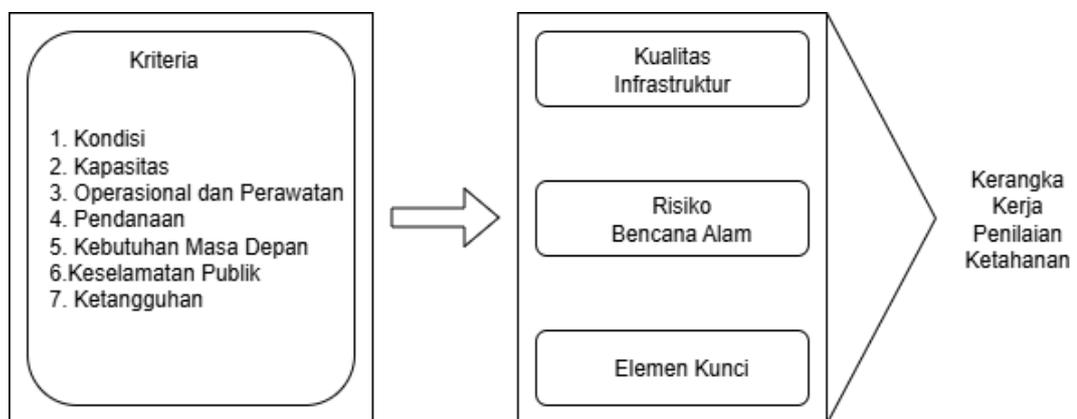
1. Infrastruktur transportasi yang tangguh dan tahan bencana dapat membantu kota atau negara untuk memulihkan aktivitas ekonomi lebih cepat setelah terjadinya bencana alam.
2. Penggunaan teknologi canggih seperti sensor dan sistem kontrol pintar dalam infrastruktur transportasi dapat membantu meningkatkan ketahanan dan responsibilitas infrastruktur dalam menghadapi situasi yang tidak terduga.

Dengan memperkuat resiliensi infrastruktur transportasi khususnya pelabuhan, kota atau negara dapat mempersiapkan diri menghadapi tantangan yang akan datang dan memastikan sistem transportasi dapat berfungsi secara optimal dalam menghubungkan wilayah yang berbeda. Oleh karena itu, resiliensi harus mengandung atau menyiratkan ketahanan. Ketahanan diperlukan tetapi tidak cukup untuk menggambarkan suatu tujuan, karena juga mencakup pemulihan ke keadaan semula atau ke keadaan yang berlanjut. Untuk memenuhi tingkat yang dapat diterima dari tujuan awal sistem. Selain ketahanan, kerentanan sangat penting dalam menangani dampak tinggi, peluang rendah risiko.

Suatu sistem tidak kuat jika rentan. Mengoptimalkan sistem tanpa memberikan perhatian yang tepat pada ketahanan dapat menyebabkan kerentanan. Penilaian infrastruktur khususnya pelabuhan bertujuan untuk mengetahui kondisi yang menggambarkan kualitas pelabuhan berdasarkan kriteria berupa rating, dengan harapan akan diketahui apa saja kekurangan untuk dapat diperbaiki. Saat ini penilaian terhadap infrastruktur hanya sebatas untuk menilai kecukupan infrastruktur seperti banyak yang dilakukan dengan menggunakan ANOVA dan aplikasi statistik untuk memperoleh rating pada setiap infrastruktur (Kaming and Raharjo, 2017). Hingga saat ini penelitian tentang pengukuran kualitas kondisi eksisting bangunan untuk mendapatkan nilai rating sebagai kesiapan resiliensi atau ketahanan pada pelabuhan masih terbatas yang melaporkan. Pelabuhan memiliki

peran strategis sebagai simpul utama dalam sistem logistik dan perdagangan nasional. Namun, keberlanjutan operasional pelabuhan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari sisi internal seperti kondisi infrastruktur dan manajemen, maupun eksternal seperti risiko cuaca ekstrem dan gangguan alam. Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan suatu pendekatan sistematis yang mampu menilai dan memperkuat ketahanan pelabuhan secara menyeluruh. Gambar 1.1 menjelaskan salah satu pendekatan yang dikembangkan adalah kerangka penilaian ketahanan pelabuhan berbasis delapan kriteria utama, yaitu kondisi fisik pelabuhan, kapasitas layanan, operasional dan perawatan, pendanaan, kebutuhan masa depan, keselamatan publik, ketangguhan terhadap gangguan, serta inovasi dan adaptasi teknologi.

Kriteria-kriteria ini kemudian dikelompokkan ke dalam tiga faktor utama: kualitas infrastruktur, risiko bencana alam, dan elemen kunci. Ketiga faktor ini menjadi fondasi dalam membentuk kerangka kerja ketahanan pelabuhan yang komprehensif. Dengan kerangka kerja ini, pengelola pelabuhan dapat melakukan penilaian yang lebih terstruktur terhadap kekuatan dan kerentanan sistem pelabuhan, serta merancang strategi adaptif untuk meningkatkan daya tahan terhadap berbagai gangguan yang mungkin terjadi di masa depan. Permasalahan ketahanan pada infrastruktur transportasi khususnya pelabuhan di Indonesia masih mengalami beberapa permasalahan ketahanan, seperti kurangnya pemeliharaan dan pengawasan infrastruktur, bencana alam, dan kesalahan manusia. Permasalahan ini dapat berdampak pada kelancaran dan keamanan transportasi, sehingga diperlukan suatu model penilaian ketahanan infrastruktur transportasi



Gambar 1.1 Gambaran proses penelitian

yang dapat membantu dalam mengidentifikasi dan meminimalisasi risiko yang mungkin terjadi.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas dan dinamika operasional pelabuhan laut dalam di seluruh dunia, penelitian ini menghadirkan sebuah kerangka kerja (*framework*) penilaian ketahanan infrastruktur yang bersifat multidimensional dan adaptif, yang dapat diaplikasikan secara global pada berbagai klasifikasi pelabuhan sejenis. Hasil penelitian menegaskan bahwa, *Framework* ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi fisik, potensi kejadian bencana alam, serta nilai kerentanan yang berperan penting dalam pengelolaan risiko yang berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi signifikan pada pengembangan infrastruktur pelabuhan laut dalam secara lokal, tetapi juga menjadi model teknis yang kuat dan relevan dalam konteks global untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan yang terus menghadapi tantangan perubahan iklim dan tuntutan logistik internasional.

Pentingnya kerangka kerja penilaian ketahanan infrastruktur pelabuhan yang komprehensif dan adaptif tersebut, perkembangan teknologi informasi dan komunikasi memberikan peluang untuk memperkuat pendekatan ini melalui implementasi sistem manajemen risiko berbasis data *real-time*. Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi dan potensi risiko secara terus-menerus dengan data aktual dari berbagai sensor, sehingga proses mitigasi dan respons terhadap gangguan, terutama bencana alam, dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat sasaran. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan risiko tetapi juga memperkuat kemampuan adaptasi pelabuhan dalam menghadapi perubahan lingkungan yang dinamis dan tantangan logistik global.

Perkembangan pesat perubahan iklim dan peningkatan frekuensi bencana alam ekstrem seperti banjir, badai, dan gelombang pasang, ketahanan infrastruktur pelabuhan menjadi perhatian utama dalam riset dan praktik pembangunan transportasi laut. Studi-studi terkini menyoroti bahwa pelabuhan adalah elemen krusial dalam rantai logistik global dan ekonomi nasional, sehingga kerentanan infrastruktur pelabuhan terhadap bencana dapat menimbulkan dampak ekonomi yang sangat besar dan mengganggu kelancaran perdagangan. Oleh karena itu, penelitian mutakhir semakin fokus pada pengembangan metode penilaian

ketahanan yang komprehensif, yang menggabungkan berbagai aspek mulai dari kondisi fisik infrastruktur, kapasitas operasional, hingga adaptasi terhadap risiko bencana yang terus berkembang.

Beberapa literatur kunci telah mengusulkan kerangka kerja dan model-model inovatif untuk mengukur dan meningkatkan ketahanan infrastruktur transportasi, termasuk pelabuhan. Misalnya, Mojtabedi et al. (2017) mengembangkan pendekatan statistik berbasis risiko banjir yang memungkinkan pemetaan dan pengukuran kerentanan pelabuhan secara lebih akurat. Penelitian oleh Morshed et al. (2021) memperkenalkan model “8R” yang mendefinisikan delapan dimensi ketahanan yang harus diperhatikan dalam pengelolaan infrastruktur transportasi di masa bencana, termasuk penguatan, pemulihan, dan peningkatan kapasitas adaptif. Selain itu, Munim dan Schramm (2018) menyoroti korelasi langsung antara kondisi dan ketahanan pelabuhan dengan pertumbuhan ekonomi dan efisiensi logistik, menggaris bawahi pentingnya pengelolaan ketahanan infrastruktur dalam konteks pembangunan nasional.

Dalam konteks Indonesia dan wilayah maritim lainnya, kebutuhan untuk model penilaian yang lebih terintegrasi dan kontekstual semakin mendesak. Penelitian ini mengadopsi dan memodifikasi indikator-indikator penting yang telah dikaji sebelumnya, yakni aspek integritas struktural, kondisi permukaan jalan, ketersediaan peralatan operasional, sistem drainase, bangunan pendukung, sistem energi dan listrik, serta akses jalan pelabuhan. Dengan menghubungkan kondisi fisik dan risiko bencana secara langsung, model ini memberikan pendekatan holistik untuk memahami dan memperkuat ketahanan infrastruktur pelabuhan secara lebih efektif dan aplikatif di tingkat nasional.

Terlebih lagi, tren terbaru menekankan pentingnya validasi data lapangan, triangulasi metode penelitian, dan pengujian validitas serta reliabilitas model dalam konteks nyata agar hasil penilaian dapat memberikan rekomendasi yang tepat dan mendukung kebijakan mitigasi risiko. Penelitian ini juga mengambil pendekatan adaptif dengan memasukkan nilai adaptif sebagai indikator kunci yang memungkinkan model untuk lebih responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan dan dinamika risiko, sesuai dengan perkembangan ilmu ketahanan dan manajemen risiko yang bersifat dinamis.

1.2. Urgensi Penelitian

Pelabuhan rentan terhadap berbagai risiko dan tantangan seperti perubahan iklim, bencana alam, kecelakaan, serta ancaman keamanan. Oleh karena itu, pelabuhan yang handal, aman, dan memiliki ketahanan terhadap berbagai risiko tersebut menjadi sangat penting untuk menjaga kelancaran dan keamanan transportasi laut. Penelitian ini penting dilakukan guna mendukung “Konsep Resiliensi Berkelanjutan” demi meningkatkan ketahanan serta keamanan pelabuhan.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Apa indikator yang relevan pada setiap kriteria penilaian ketahanan pada pelabuhan multipurpose?
2. Bagaimana kualitas infrastruktur pada kondisi eksisting pelabuhan multipurpose?
3. Berapa besar potensi risiko bencana alam pada pelabuhan multipurpose?
4. Berapa nilai indeks kerentanan pada pelabuhan multipurpose?
5. Bagaimana model yang dihasilkan untuk menentukan kriteria kunci pada pelabuhan multipurpose?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut :

1. Menganalisis indikator yang relevan pada setiap kriteria penilaian ketahanan pada pelabuhan multipurpose.
2. Menganalisis untuk memperoleh kualitas infrastruktur pada kondisi eksisting pelabuhan multipurpose.
3. Menganalisis potensi risiko bencana alam pada pelabuhan multipurpose.
4. Menganalisis nilai indeks kerentanan pada pelabuhan multipurpose.
5. Membuat model yang akan digunakan dalam menentukan kriteria kunci pada pelabuhan multipurpose.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini dapat jelaskan sebagai berikut :

1. Memberikan pemahaman mendalam tentang variabel dan indikator yang memengaruhi ketahanan pelabuhan multipurpose.

2. Mengembangkan model penilaian ketahanan pelabuhan yang efektif sebagai alat untuk menentukan prioritas perbaikan dan langkah mitigasi.
3. Memberikan rekomendasi strategis untuk peningkatan ketahanan pelabuhan multipurpose secara menyeluruh.
4. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang Manajemen Proyek Konstruksi, khususnya ketahanan infrastruktur pelabuhan di Indonesia.
5. Menjadi referensi bagi peneliti lain dan pihak pemerintah dalam mengembangkan ketahanan pelabuhan terkait ketahanan nasional.
6. Memperkuat konsep resiliensi pelabuhan terhadap risiko bencana melalui pendekatan yang terintegrasi dan optimasi fungsi pelabuhan dari aspek Teknik Sipil dan Manajemen Proyek Konstruksi.

1.6. Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini memiliki ruang lingkup serta batasan penelitian sebagai berikut :

1. Objek penelitian adalah infrastruktur transportasi, khususnya pelabuhan dengan klasifikasi laut dalam (*Deep Sea Port*).
2. Responden penelitian terdiri dari unsur pemangku kepentingan pelabuhan.
3. Risiko-risiko yang diteliti diperoleh dari literatur dan survei pendahuluan, dengan fokus pada cuaca ekstrem berupa intensitas hujan ekstrim dan banjir.
4. Penelitian ini tidak mencakup perhitungan anggaran pembangunan, operasional pelabuhan, maupun pendapatan pelabuhan.
5. Penelitian tidak termasuk perencanaan sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja serta perhitungan struktur bangunan.
6. Fokus penelitian terbatas pada dermaga dan fasilitas pelabuhan.

1.7. Gap Analisis

1. Kondisi Empiris

Pelabuhan memegang peranan penting dalam mendukung mobilitas penduduk serta distribusi barang melalui transportasi laut. Namun, pelabuhan saat ini menghadapi beberapa kendala, antara lain terbatasnya kapasitas infrastruktur dan jaringan yang belum berjalan optimal. Selain itu, pelabuhan juga memiliki kerentanan terhadap bencana alam yang berpotensi mengganggu kelancaran operasional. Oleh karena itu, diperlukan suatu model

penilaian ketahanan pelabuhan yang mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi pelabuhan serta responsnya terhadap bencana.

2. Kondisi Teoritis :

a. *Infrastructure Rating Tool*

Infrastruktur Rating Tool dapat digunakan untuk menilai kondisi dan kapasitas infrastruktur transportasi. *Infrastruktur rating* merupakan suatu sistem penilaian yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan perbaikan atau penggantian infrastruktur yang rusak (Oluwalaiye and Ozbek, 2019).

b. *Hazard and Vulnerability Assessment Tool*

Hazard and Vulnerability Assessment Tool dapat digunakan untuk mengevaluasi risiko dan kerentanan infrastruktur transportasi terhadap bencana alam. Kerentanan terhadap bencana alam dapat membantu untuk mengidentifikasi risiko, menentukan strategi mitigasi, dan meminimalkan kerusakan (Fuchs et al., 2012).

c. *Interpretive Structural Modelling*

Interpretive Structural Modelling dapat digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi ketaatan infrastruktur transportasi. Pengembangan suatu kerangka kerja yang komprehensif untuk menilai ketahanan kota terhadap bencana alam (Brink et al., 2015).

3. Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting di lapangan penelitian ini menggambarkan situasi infrastruktur pelabuhan yang masih memiliki beberapa kelemahan dari sisi fisik dan drainase yang berpotensi mengganggu operasional, terutama terkait risiko bencana alam.

4. Kondisi ideal

Gap atau kekosongan dalam penelitian ini yang dapat menjadi peluang untuk penelitian ini antara lain:

a. Kurangnya pemodelan dalam analisis risiko dan kerentanan infrastruktur transportasi terhadap bencana alam (Pitilakis et al., 2016).

- b. Kurangnya integrasi penilaian antara kondisi eksisting dengan potensi bencana alam terhadap keberlangsungan infrastruktur transportasi (The Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, 2023).
- c. Belum adanya penelitian yang dapat menggambarkan suatu strategi terhadap implementasi model sehingga lebih komprehensif terkait pengembangan, resiliensi dan perbaikan infrastruktur transportasi (Panahi et al., 2022).

1.8. Originalitas

1. Fokus pada Ketahanan Infrastruktur

Penelitian ini berfokus pada penilaian ketahanan yang menunjukkan keunikan dalam pendekatan penilaian infrastruktur transportasi khususnya pelabuhan. ketahanan adalah bagian penting dalam kelangsungan infrastruktur, terutama dalam konteks wilayah yang memiliki kompleksitas kondisi geografis kepulauan dan lingkungan.

2. Studi Kasus di Kota Tarakan

Penelitian ini menggunakan Kota Tarakan sebagai studi kasus, yang merupakan kota kecil di Indonesia dengan tantangan unik dalam penilaian ketahanan infrastruktur transportasi. Sebagai kota yang berada dikelilingi laut, Kota Tarakan memiliki keterbatasan dalam aksesibilitas infrastruktur transportasi.

3. Pengembangan Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan

Penelitian ini menghasilkan pengembangan model penilaian ketahanan pelabuhan yang lebih komprehensif dan akurat. Model ini memberikan pandangan yang lebih holistik dan terintegrasi dalam penilaian ketahanan pelabuhan, yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan model serupa di kota-kota lain.

4. Kontribusi pada Pengembangan Resiliensi Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan

Dalam konteks pembangunan infrastruktur transportasi yang berkelanjutan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dengan memberikan pandangan yang lebih terintegrasi dan holistik dalam penilaian ketahanan infrastruktur transportasi. Hal ini dapat membantu pemerintah dalam membuat suatu

model dan strategi pembangunan infrastruktur transportasi yang lebih optimal dan efektif.

1.9. Keterbaruan

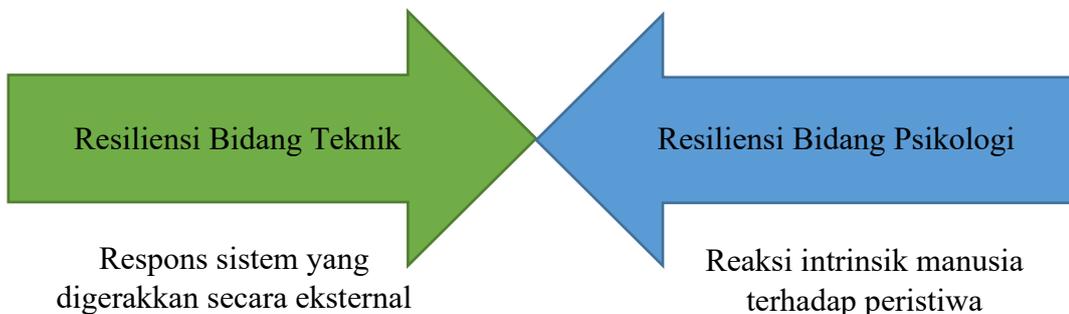
Penelitian ini memiliki beberapa keterbaruan yang signifikan. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan kondisi infrastruktur Pelabuhan terhadap potensi gangguan berupa cuaca ekstrim yang secara bersama-sama memberikan informasi yang lebih komprehensif dan akurat mengenai ketahanan infrastruktur transportasi. Keterbaruan ini memberikan kontribusi penting bagi penelitian dalam bidang evaluasi dan penilaian ketahanan infrastruktur transportasi. Kedua, penelitian ini juga mengembangkan model penilaian ketahanan infrastruktur pelabuhan yang dapat diterapkan secara umum pada kota-kota lain dengan karakteristik yang serupa. Hal ini membuat penelitian ini memiliki nilai aplikatif yang tinggi bagi kebijakan pengembangan infrastruktur transportasi secara global atau keseluruhan. Ketiga, penelitian ini mempertimbangkan beberapa kriteria yang belum pernah diperhitungkan dalam penilaian ketahanan infrastruktur transportasi sebelumnya. Keempat, penelitian ini menggunakan pendekatan yang lebih sistematis dalam memahami keterkaitan antara kriteria yang mempengaruhi ketahanan infrastruktur transportasi. Penelitian ini untuk mengidentifikasi hubungan antara kriteria tersebut. Keterbaruan ini memberikan pengetahuan mengenai keterkaitan antara kriteria tersebut dan memberikan landasan yang lebih kuat dalam memberikan rekomendasi pengembangan infrastruktur transportasi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

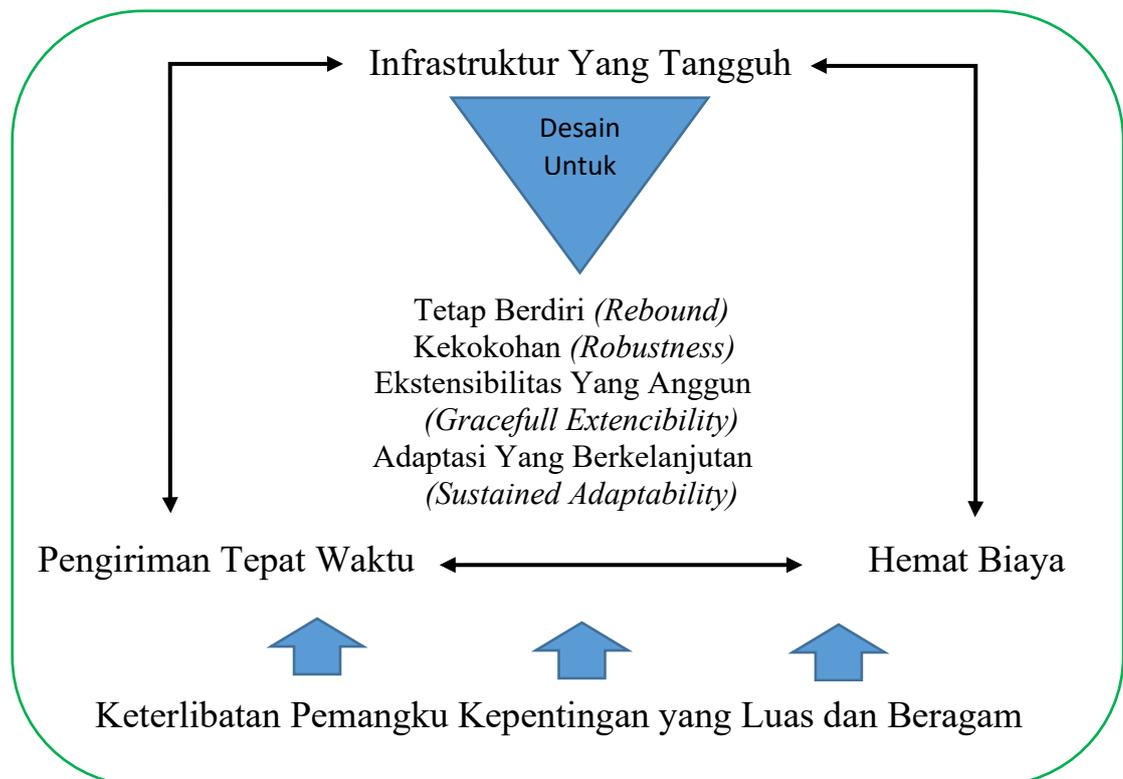
2.1 Konsep Resiliensi Pada Infrastruktur

Resiliensi atau *Resilience* didefinisikan sebagai kegigihan ketergantungan saat menghadapi perubahan (Andersson et al., 2021). Istilah ketangguhan merupakan salah satu yang sering memunculkan arti yang berbeda, hal tersebut tergantung pada konteks penggunaannya. Resiliensi dalam bahasa sehari-hari ada yang mengartikan sebagai kualitas "menjadi tangguh". Meskipun penjelasan sederhana dari istilah ini mungkin akurat dalam arti yang sangat mendasar, namun memiliki kesan interpretasi yang terlalu luas. Resiliensi atau ketahanan juga memiliki arti kemampuan untuk mengidentifikasi kapasitas respons adaptif dalam kerangka kerja prosedural, teknologi, atau struktural. Konsep ketahanan diciptakan dan dikembangkan dalam psikologi untuk menggambarkan kemampuan manusia untuk mengatasi krisis dan pulih dengan cepat (Andersson et al., 2021). Aplikasi ilmiah saat ini dari istilah ketahanan berada di dua bidang epistemologis yang relatif berbeda: psikologi dan teknik. Ketika mempertimbangkan arti ketangguhan melalui lensa perilaku manusia, hal itu mendefinisikan sifat dan tanggapan individu atau masyarakat yang memungkinkan mereka berhasil mengatasi kesulitan atau keadaan yang tidak terduga (Connor and Davidson, 2003). Dalam konteks ilmu atau rekayasa, ketahanan menggambarkan bagaimana elemen kerangka kerja atau struktur operasional dapat mempertahankan proses di bawah kejadian yang diharapkan dan tidak terduga dengan cara yang efisien dan berkembang ke keadaan fungsi yang lebih baik (Hollnagel, 2014).



Gambar 2.1 Sifat ganda ketahanan dalam sistem sosio-teknis (Platt, 2020)

Bidang ketahanan infrastruktur berkembang sebagai respons terhadap kompleksitas dan ketidakpastian yang terkait dengan tantangan yang muncul seperti perubahan iklim, yang menyoroiti keterbatasan pendekatan ketahanan tradisional (Helmrich et al., 2020). Di mana praktik tradisional sebagian besar berfokus pada peningkatan ketangguhan dan kekakuan, membangun infrastruktur kembali “lebih besar, lebih luas, lebih kuat” setelah gangguan, teori ketahanan yang lebih baru berfokus pada atribut kemampuan beradaptasi, fleksibilitas, dan ketangkasan (Hayes et al., 2019).



Gambar 2.2 Kerangka kerja untuk penyediaan infrastruktur tangguh pascabencana (Chester et al., 2021)

Empat konsep melakukan identifikasi berbeda untuk ketahanan yang relevan (Woods, 2015):

- a. Tetap Berdiri (*Rebound*): kembali ke aktivitas normal setelah peristiwa yang membuat stres
- b. Kekokohan (*Robustness*): mengelola peningkatan stresor, kompleksitas, dan tantangan dengan dampak terbatas atau tidak sama

sekali pada aktivitas normal, melalui sistem adaptif, kapasitas cadangan, dan respons teknis yang cepat dan terkoordinasi

- c. Ekstensibilitas Yang Anggun (*Gracefull Extencibility*): memperluas kinerja atau kemampuan sistem untuk merespons peristiwa kejutan yang menantang aktivitas saat ini
- d. Adaptasi Yang Berkelanjutan (*Sustained Adaptability*): mengelola pengorbanan untuk membangun kapasitas adaptif untuk konteks yang terus berkembang.

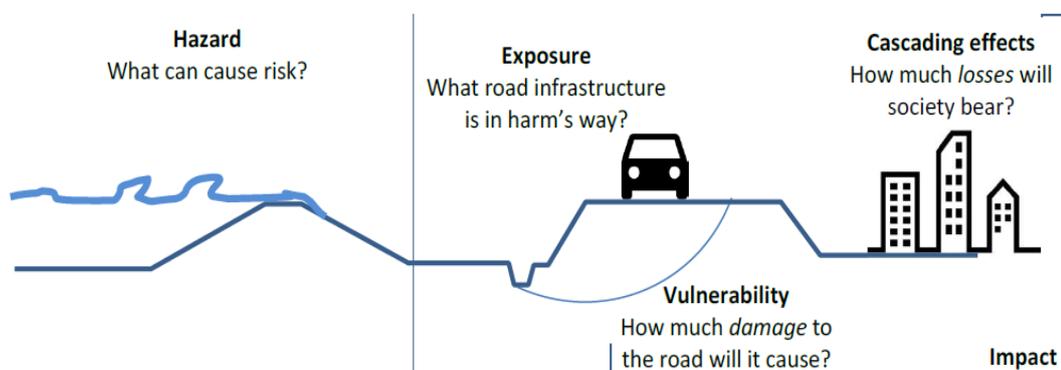
Ketahanan sebagai ketangguhan menekankan untuk terus berfungsi sebagaimana dimaksud sebagai pengganti tekanan. Ketahanan sebagai ekstensibilitas menekankan perlunya untuk mengubah fungsi yang dimaksudkan untuk merespons stress (Sharkey et al., 2021). Tujuan dan hasil mendasar untuk setiap objek berbeda untuk setiap konsep ketahanan.

Kemampuan jaringan transportasi untuk beradaptasi dengan beban yang meningkat dan bahaya yang disebabkan oleh alam dan manusia bergantung pada kapasitasnya, redundansinya, dan pada ekosistem, tempat mereka berada. Secara inheren, hal ini juga bergantung pada kondisi dan siklus hidup aset, sumber daya pemilik untuk pemeliharaan, pemantauan, pemulihan, dan adaptasi (Zhu and Frangopol, 2012).



Gambar 2.3 Pendekatan holistik untuk menghadirkan infrastruktur tangguh berbasis pemantauan (Achillopoulou et al., 2020)

Ketahanan diukur berdasarkan indikator kinerja yang berbeda yaitu kapasitas untuk komponen struktural dan kapasitas atau fungsionalitas untuk aset dan jaringan (Achillopoulou et al., 2020). Infrastruktur transportasi diharapkan dapat beroperasi dalam keadaan normal, juga diharapkan dapat bertahan dari stresor ketika terpapar berbagai bahaya alam dan/atau akibat ulah manusia dan peristiwa ekstrim (L. Wang et al., 2018). Infrastruktur transportasi, sebagai jaringan yang kompleks, menghubungkan kota-kota dan mengakomodasi aktivitas manusia yang menggabungkan sistem sosial, ekonomi dan lingkungan dengan urbanisasi dan pertumbuhan penduduk. Infrastruktur transportasi memiliki ciri mendasar dari infrastruktur umum, seperti risiko tinggi, investasi tinggi, organisasi kompleks, dan pendapatan rendah (Söderlund, 2017). Sementara itu, pembangunan infrastruktur yang berlebihan dapat memberikan tekanan besar pada lingkungan alam dan ekologi ketika memenuhi kebutuhan pembangunan ekonomi dan perbaikan sosial. Infrastruktur transportasi diharap perlu mempertahankan fungsinya dan memberikan tingkat layanan yang diinginkan dalam lingkungan yang sangat dinamis, dapat berubah karena perkembangan sosial-ekonomi, perubahan iklim, perubahan peraturan dan teknologi baru. Ancaman bahaya alam sangat besar. Dalam lingkungan yang dinamis, pihak yang memiliki wewenang semakin peduli dengan peningkatan ketahanan infrastruktur transportasi dan untuk alasan ini melakukan penilaian risiko dan mengembangkan rencana adaptasi. Penilaian risiko, saat ini, merupakan praktik umum untuk memahami dampak peristiwa ekstrim pada infrastruktur kritis dan jaringan transportasi pada khususnya. Sebagian besar, penilaian tersebut mencakup identifikasi dan karakterisasi bahaya, identifikasi dan karakterisasi infrastruktur yang terpapar bahaya tersebut dan kerentanannya.



Gambar 2.4 Gambaran skematis dari konsep risiko (Bles et al., 2019)

Infrastruktur transportasi menghadapi tantangan untuk mempertahankan fungsionalitas dan kemudahan layanan dalam lingkungan yang sangat dinamis, dapat berubah karena perkembangan sosial-ekonomi, perubahan iklim, perubahan peraturan, dan teknologi baru. Dalam situasi bencana, fungsi infrastruktur transportasi terpengaruh, dan tingkat kinerja sistem jaringan menurun. Tiga pengukuran kinerja, yaitu kapasitas, kekokohan, dan fleksibilitas, dinilai untuk mengevaluasi ketahanan transportasi (Liao et al., 2018). Untuk mengatasi tantangan tersebut pemangku kepentingan semakin berupaya meningkatkan ketahanan infrastruktur transportasi.

Definisi operasional ketahanan infrastruktur pelabuhan adalah kemampuan infrastruktur pelabuhan untuk tetap berfungsi dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan atau bencana, serta memiliki kapasitas untuk merespon dengan cepat dan pulih secara efektif agar operasional pelabuhan dapat kembali berjalan seperti semula (Becker *et al.* 2018). Sejalan dengan konsep ini, menurut literatur seperti IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) adaptasi secara umum didefinisikan sebagai proses penyesuaian atau modifikasi yang dilakukan untuk mengurangi kerentanan dan meningkatkan ketahanan sistem setelah terjadinya perubahan atau bencana.

2.2 Terminologi Pelabuhan

2.2.1 Definisi pelabuhan

Pelabuhan didefinisikan dalam konsep tradisional sebagai satu set cekungan dan dermaga, yang dapat menangani semua jenis kapal dan barang (Parreau, 2004). Pelabuhan adalah fasilitas untuk menerima kapal dan mentransfer kargo. Pelabuhan biasanya terletak di tepi samudra, laut, sungai, atau danau. Pelabuhan melakukan empat fungsi penting: administratif (memastikan bahwa kepentingan hukum, sosial politik dan ekonomi negara dan otoritas maritim internasional dilindungi), pembangunan (pelabuhan adalah penggerak utama ekonomi suatu negara atau wilayah yang lebih luas), industri (industri besar memproses barang yang diimpor atau diekspor di pelabuhan), dan komersial (pelabuhan adalah titik persimpangan perdagangan internasional di mana berbagai moda transportasi saling bertukar; memuat, membongkar, transit barang) (Hlali and Hammami, 2018).

2.2.2 Klasifikasi pelabuhan

Jenis klasifikasi akan didasarkan pada fitur yang berbeda dari setiap fasilitas dan memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan. Adapun jenis pelabuhan (Roa et al., 2013):

1. Pelabuhan laut: dianggap sebagai pelabuhan laut dalam. Digolongkan sebagai pelabuhan laut dalam karena mampu melayani kapal besar dengan draft tinggi. Biasanya terletak di perairan samudra atau laut terbuka.
2. Pelabuhan sungai: semua pelabuhan yang terletak di salah satu tepian sungai, berapa pun kedalamannya, fungsinya tetap sebagai pelabuhan sungai, melayani kapal kecil atau menengah yang beroperasi di jalur sungai.
3. Pelabuhan terlindung: klasifikasi ini mencakup instalasi yang meskipun tidak sepenuhnya dianggap sebagai pelabuhan, digunakan untuk memuat dan menurunkan barang di perairan yang relatif tenang dan terlindung dari gelombang besar.
4. *Pier, jetty* atau *wharf* dalam kategori ini adalah fasilitas yang tidak lebih dari dermaga atau dermaga sederhana, yang tidak selalu memiliki perlindungan dari gelombang atau fasilitas pelabuhan lengkap.
5. Terminal pelabuhan: meskipun ini adalah klasifikasi ketat yang harus dicakup oleh salah satu dari atas, sejumlah besar fasilitas semacam itu di dunia membuat subdivisi ini perlu dibangun. Itu juga yang dikenal sebagai "terminal khusus". Dalam arti sempit, bukan tentang pelabuhan melainkan terminal sederhana yang materinya diunggah atau diunduh selalu sama dan akibatnya, fasilitasnya hanya dapat diakses oleh jenis barang yang dikelolanya. Terminal khusus yang paling umum adalah terminal yang memindahkan kedelai, batu bara, dan mineral lainnya. Sebagian besar adalah curah padat, meskipun ada juga yang mengkhususkan pada terminal curah cair seperti minyak, jenis gas tertentu, dll.
6. Terminal lepas pantai: terminal laut lepas merupakan instalasi yang tidak berlokasi di pantai, dengan seluruh struktur fisiknya berada di atas permukaan laut. Terminal ini merupakan fasilitas buatan yang dirancang secara khusus untuk menampung peralatan pengelolaan barang dagangan. Fungsinya diarahkan secara eksklusif pada kegiatan dekonsolidasi kargo masuk dan

pengiriman melalui jalur laut pendek ke wilayah pedalaman, serta konsolidasi muatan proyeksi yang berasal dari jalur distribusi yang sama.

7. Kanal: ada fasilitas pelabuhan tertentu yang tidak bisa dikatakan hanya sungai. Ini adalah kasus yang terletak di dalam laut yang masuk dan saluran air dapat memiliki kilometer. Dalam semua kasus, fasilitas ini berkomunikasi dengan laut atau samudra melalui satu titik. Klasifikasi ini tidak mencakup instalasi yang dibuat secara artifisial atau yang aktivitasnya hanya lewatnya kapal (seperti Terusan Panama atau Terusan Suez).

2.2.3 Regulasi dan peraturan pelabuhan di Indonesia

Pengelolaan dan pengembangan pelabuhan di Indonesia diatur oleh beberapa peraturan perundang-undangan, antara lain:

1. Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang pelayaran yang mengatur secara menyeluruh mengenai pengelolaan pelayaran dan pelabuhan, termasuk tata kelola, keamanan, dan keselamatan pelayaran.
2. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 88 Tahun 2016 tentang organisasi dan tata kerja unit pelaksana teknis pelabuhan, yang mengatur detail operasional dan teknis pelabuhan.
3. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 120 Tahun 2015 tentang keselamatan dan keamanan pelabuhan, yang menekankan pada standar teknis dan prosedur untuk menjamin keamanan dan keselamatan pengoperasian pelabuhan.
4. Peraturan Pemerintah Nomor 30 Tahun 2009 tentang keselamatan pelayaran, yang termasuk ketentuan mitigasi risiko bencana alam dan cuaca ekstrem terhadap infrastruktur pelabuhan dan keselamatan kapal.
5. Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2009 tentang kepelabuhanan menjelaskan tatanan kepelabuhanan nasional, fungsi pelabuhan, dan pengelolaan wilayah kerja pelabuhan.
6. Permenhub No. 50 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan pelabuhan laut mengatur:
 - a. Jenis pelabuhan: utama, pengumpul, pengumpan
 - b. Tugas dan tanggung jawab penyelenggara pelabuhan (otoritas pelabuhan dan unit penyelenggara)

- c. Koneksi dan kerja sama antara pemerintah dan badan usaha pelabuhan
 - d. Standar operasional dan keselamatan pelayaran
7. Permenhub No. 48 Tahun 2021 tentang koneksi dan kerja sama bentuk lainnya menjelaskan mekanisme pemberian hak kepada badan usaha untuk mengelola, memanfaatkan, mengembangkan, dan mengkomersialkan fasilitas pelabuhan secara efektif melalui koneksi, kerja sama operasional, dan bentuk kemitraan lainnya dalam rangka meningkatkan efisiensi layanan, transparansi pengelolaan, dan daya saing sektor kepelabuhanan nasional
 8. Permenhub No. 52 Tahun 2021 tentang terminal khusus dan terminal untuk kepentingan sendiri mengatur terminal yang dibangun dan digunakan oleh perusahaan untuk keperluan spesifik, seperti industri migas, pertambangan, kehutanan, perikanan, energi, logistik, manufaktur, kelautan, dan sektor strategis lainnya sesuai kebutuhan operasional.

Setelah memahami kerangka regulasi dan peraturan pelabuhan secara menyeluruh, diperlukan penjabaran yang lebih mendalam mengenai alasan teknis di balik pemilihan kategori yang digunakan dalam studi ini. Subbagian berikut menyajikan justifikasi teknis yang bertumpu pada relevansi operasional, kompatibilitas infrastruktur, serta dukungan regulasi dan standar internasional dalam menetapkan klasifikasi pelabuhan secara strategis.

2.2.4 Justifikasi teknis pemilihan klasifikasi pelabuhan

Dengan tabel berisi justifikasi teknis dari setiap klasifikasi pelabuhan beserta dukungan referensi yang relevan, tabel ini disusun untuk membantu klasifikasi pelabuhan laut dalam (*deep sea port*) cocok dengan kebutuhan penelitian dan bagaimana klasifikasi lain berbeda dengan justifikasi teknis masing-masing:

Tabel 2.1 Justifikasi Pemilihan Klasifikasi Pelabuhan

Klasifikasi Pelabuhan	Justifikasi Teknis	Referensi
Pelabuhan Laut Dalam (<i>Deep Sea Port</i>)	Pelabuhan yang mampu melayani kapal besar dengan draft tinggi (biasanya >10 meter), dengan infrastruktur yang lengkap seperti dermaga dengan peralatan bongkar muat modern, gudang, sistem keamanan pelabuhan,	(Hlali & Hammami, 2018) (Roa et al., 2013)

Klasifikasi Pelabuhan	Justifikasi Teknis	Referensi
	<p>dan fasilitas logistik. Biasanya terletak di laut dalam yang memungkinkan akses kapal besar dan memiliki peran strategis dalam perdagangan internasional, serta rentan terhadap risiko bencana alam seperti badai, gelombang tinggi, dan tsunami.</p>	
<p>Pelabuhan Sungai (<i>River Port</i>)</p>	<p>Pelabuhan yang terletak di aliran sungai dengan kedalaman terbatas, melayani kapal ukuran kecil dan sedang, umumnya dengan fasilitas infrastruktur yang lebih sederhana dan risiko bencana yang relatif rendah.</p>	<p>(Bichou & Gray, 2005)</p>
<p>Pelabuhan Terlindung (<i>Sheltered Port</i>)</p>	<p>Pelabuhan yang memiliki perlindungan alami atau buatan dari gelombang besar dan badai, dengan fitur infrastruktur sedang. Biasanya melayani kapal sedang dan kecil, cocok untuk operasi di daerah dengan kondisi laut tenang.</p>	<p>(Hlali & Hammami, 2018)</p>
<p><i>Pier, Jetty, atau Wharf</i></p>	<p>Fasilitas pelabuhan sederhana untuk bongkar muat dengan infrastruktur minimal, tidak memiliki perlindungan gelombang besar dan layanan pelabuhan yang lengkap.</p>	<p>(Roa et al., 2013)</p>
<p>Terminal Pelabuhan (<i>Port Terminal</i>)</p>	<p>Fasilitas khusus dalam pelabuhan yang menangani jenis kargo tertentu (curah, kontainer, minyak, dsb), dengan infrastruktur</p>	<p>(Kishore et al., 2024)</p>

Klasifikasi Pelabuhan	Justifikasi Teknis	Referensi
	khusus dan risiko yang terfokus.	
Terminal Lepas Pantai (<i>Offshore Terminal</i>)	Lokasi terminal yang berada lepas pantai, dengan akses kapal yang memerlukan fasilitas khusus dan model risiko yang berbeda, seperti risiko ombak tinggi, keamanan laut, dan konektivitas ke pelabuhan utama.	(Kim & Morrison, 2012)
Pelabuhan Kanal (<i>Canal Port</i>)	Pelabuhan ini membutuhkan kanal buatan yang menghubungkan laut atau perairan besar ke pelabuhan. Kanal memperbolehkan akses kapal ke wilayah yang sebelumnya tidak bisa dijangkau langsung oleh kapal laut dalam. Fasilitas teknis antara lain pengaturan kedalaman kanal, sistem navigasi, serta pengelolaan pasang surut dan sedimentasi. Kanal port rentan terhadap masalah sedimentasi dan membutuhkan pemeliharaan kanal secara berkala.	(Corticelli et al., 2022)

Pemilihan klasifikasi Pelabuhan Laut Dalam (*Deep Sea Port*) sebagai objek penelitian ini didasarkan pada sejumlah pertimbangan teknis dan strategis yang relevan dengan tujuan pengembangan *framework* model penilaian ketahanan infrastruktur pelabuhan. Pelabuhan laut dalam secara teknis adalah pelabuhan yang mampu melayani kapal berukuran besar dengan draft kedalaman lebih dari 10 meter, didukung oleh fasilitas bongkar muat yang kompleks, modern, dan lengkap (Roa et al., 2013). Pendekatan riset pada pelabuhan laut dalam juga memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap variabel infrastruktur fisik seperti dermaga,

crane, gudang, dan fasilitas terminal khusus (kontainer, curah, dll), yang merupakan elemen vital dalam menjaga kontinuitas operasional pelabuhan di masa gangguan, baik yang bersifat teknis maupun lingkungan eksternal yang tidak terduga. Hal ini sejalan dengan teori manajemen risiko dan ketahanan infrastruktur yang mensyaratkan pemahaman mendalam terhadap komponen teknis dan operasional utama yang rentan terhadap gangguan atau kerusakan (Kishore et al., 2024). Selain itu, jenis Pelabuhan Multipurpose (serbaguna) juga menjadi perhatian karena pelabuhan ini melayani berbagai jenis kargo dan penumpang secara bersamaan, sehingga menuntut pengelolaan yang fleksibel dan ketahanan infrastruktur yang mampu mendukung berbagai aktivitas operasional secara simultan.

2.3 Kerentanan (*Vulnerability*)

Penggunaan ilmiah awal dari "kerentanan" berakar pada penelitian geografi dan bahaya alam, tetapi sekarang istilah ini menjadi konsep sentral dalam berbagai konteks penelitian yang berkaitan dengan dampak alam, seperti meningkatnya salinitas, kekeringan, kebakaran hutan, banjir dan penggenangan, erosi dan sedimentasi, serta efek sosial, seperti kemiskinan, kelaparan, dan perubahan penggunaan lahan (Füssel, 2007). Gambaran yang jelas tentang situasi rentan merupakan langkah pertama yang penting untuk menghindari kebingungan mengenai kerentanan. Deskripsi yang jelas penting karena klasifikasi kerentanan yang berbeda oleh para ilmuwan dari disiplin ilmu yang berbeda atau dengan persepsi yang berbeda menghasilkan interpretasi yang berbeda dari istilah "kerentanan" (Nguyen et al., 2016). Studi tentang kerentanan sosial atau kontekstual mempertimbangkan bahwa ada dua sisi: sisi eksternal yang mencakup gangguan dan guncangan yang dialami sistem, dan sisi internal yang mencakup kapasitas sistem itu sendiri untuk mengatasi dan merespons peristiwa berbahaya (Chambers, 1989). Fokus pada isu-isu seperti ketahanan, kepekaan, perlawanan, dan kapasitas mengatasi, menganggap kerentanan sebagai "titik awal" dari analisis, menganggap bahwa beberapa studi tersebut mengabaikan dampak kerusakan dari bahaya, terlalu menekankan proses sosial dan politik yang menimbulkan kerentanan (Cardona, 2003). Ada tiga pendekatan luas untuk mengembangkan indeks kerentanan (Hinkel, 2011). Sebagian besar metodologi kerentanan menggunakan kombinasi pendekatan yang digerakkan oleh teori, digerakkan oleh

data, dan normatif. Pendekatan berbasis teori, juga dikenal sebagai pendekatan deduktif, didasarkan pada pengetahuan ilmiah yang ada dalam bentuk kerangka kerja konseptual, teori atau model tentang sistem yang dipertimbangkan untuk mengidentifikasi variabel yang relevan, menentukan hubungan mereka, dan menghasilkan daftar komponen berdasarkan asumsi teoritik dan logika sistemik (Mahendra et al., 2011). Pendekatan berbasis data, atau pendekatan induktif, memilih variabel kerentanan berdasarkan hubungan statistiknya dengan hasil kerentanan yang diamati, baik secara historis maupun dalam studi empiris lapangan (misalnya kematian akibat bahaya alam) (Briguglio, 1995).

2.4 Risiko

Risiko merupakan variasi dalam hal-hal yang mungkin terjadi secara alami didalam suatu situasi (Asiyanto, 2009). Risiko adalah ancaman terhadap kehidupan, properti atau keuntungan finansial akibat bahaya yang terjadi. Secara umum risiko dikaitkan dengan kemungkinan (*probabilitas*) terjadinya peristiwa diluar yang diharapkan (Soeharto, 2001).

2.4.1 Sumber-sumber risiko

Sumber-sumber utama timbulnya risiko yang umum untuk setiap proyek konstruksi, menurut (Duffield & Trigunarsyah, 1999) adalah:

1. Fisik: kerugian atau kerusakan akibat kebakaran, gempa bumi, banjir, kecelakaan dan tanah longsor.
2. Lingkungan: kerusakan ekologi, polusi dan pengolahan limbah, penyelidikan keadaan masyarakat.
3. Perancangan:
 - a. Teknologi baru, aplikasi baru, ketahanan uji dan keselamatan
 - b. Rincian, ketelitian dan kesesuaian spesifikasi
 - c. Risiko perancangan yang timbul dari pengukuran dan penyelidikan
 - d. Kemungkinan perubahan terhadap rancangan yang telah disetujui
 - e. Interaksi rancangan dengan metode konstruksi
4. Logistik:
 - a. Kehilangan atau kerusakan material dan peralatan dalam perjalanan
 - b. Ketersediaan sumber daya khusus
 - c. Pemisahan organisasi

5. Keuangan:
 - a. Ketersediaan dana dan kecukupan asuransi
 - b. Penyediaan aliran kas yang cukup
 - c. Kehilangan akibat kontraktor dan supplier
 - d. Fluktuasi nilai tukar dan inflasi
 - e. Perpajakan
 - f. Suku bunga
 - g. Biaya pinjaman
6. Perundang-undangan: perubahan disebabkan perundang-undangan atau pemerintah.
7. Keamanan properti intelektual.
8. Hak atas tanah dan penggunaan.
9. Politik:
 - a. Risiko politik di negara pemilik proyek, supplier dan kontraktor, peperangan, revolusi dan perubahan hukum
 - b. Ketidakpastian dari kebijakan pemerintah
10. Konstruksi:
 - a. Kelayakan metode konstruksi, keselamatan
 - b. Hubungan industrial
 - c. Tingkat perubahan dari rancangan awal
 - d. Cuaca
 - e. Kualitas dan ketersediaan manajemen dan supervisi
 - f. Kondisi yang tersembunyi
11. Operasional:
 - a. Fluktuasi permintaan pasar terhadap produk dan jasa yang dihasilkan
 - b. Kebutuhan perawatan
 - c. Keandalan
 - d. Keselamatan pelaksanaan
 - e. Ketersediaan pabrik
 - f. Manajemen

2.4.2 Penanganan risiko

1. Strategi untuk risiko negatif atau ancaman (PMI, 2008)

Ada tiga strategi yang biasa dilaksanakan untuk risiko yang mempunyai dampak negatif terhadap kinerja proyek. Strategi-strategi tersebut adalah:

- a. *Avoid*, menghindari risiko dengan cara melakukan perubahan terhadap rencana manajemen proyek untuk mengeliminasi ancaman risiko, mengisolasi sasaran proyek dari dampak yang akan timbul, seperti mengurangi *scope* pekerjaan atau memperpanjang waktu pekerjaan.
- b. *Transfer*, mentransfer dampak negatif risiko termasuk tanggung jawab kepada pihak ketiga. Transfer risiko selalu terkait dengan pembayaran suatu premi risiko kepada pihak yang menerima pelimpahan risiko, seperti asuransi. Kontrak dapat digunakan untuk mentransfer risiko termasuk tanggung jawab kepada pihak lain. Di dalam banyak kasus, penggunaan kontrak *type cost-based* adalah mentransfer risiko kepada pemilik (*owner*), sementara kontrak *type fixed-price* risiko ditransfer ke kontraktor jika desain proyek sudah matang.
- c. *Mitigate*, mengurangi probabilitas dan dampak dari suatu kejadian risiko kepada ambang batas yang dapat diterima. Melakukan tindakan dini untuk mengurangi probabilitas dan/atau dampak risiko di proyek sangat efektif dari pada melakukan perbaikan setelah kerusakan terjadi. Langkah-langkah mitigate dilakukan dengan mengadopsi proses yang tidak kompleks, melakukan lebih banyak test, atau memilih *supplier/vendor* yang lebih berpengalaman.

2. Strategi untuk risiko positif

Ada tiga strategi yang biasa dilaksanakan untuk risiko yang mempunyai dampak positif terhadap kinerja proyek. Strategi-strategi tersebut adalah:

- a. *Exploit*, strategi ini dipilih untuk risiko yang mempunyai dampak positif dimana organisasi ingin meyakinkan bahwa kemungkinan bisa direalisasikan. Eksploitasi dapat dilakukan dengan cara menambah sumberdaya yang lebih baik untuk mengurangi waktu penyelesaian proyek, atau memberikan kualitas yang lebih baik dari rencana semula.
- b. *Share*, risiko positif di share dengan pihak ketiga untuk mendapatkan benefit dari proyek. Contoh dari share risiko positif adalah melakukan *risk sharing partnership*, *team*, dan *joint venture*.

- c. *Enhance*, strategi ini memodifikasi ukuran suatu kesempatan dengan menaikkan probabilitas dan/atau dampak positif, dan dengan melakukan identifikasi dan memaksimalkan risiko-risiko yang berdampak positif.
3. Strategi untuk risiko baik negatif maupun positif
Acceptance merupakan suatu strategi yang diadopsi karena sangat jarang kemungkinannya untuk mengeliminasi seluruh risiko dari sebuah proyek. Strategi ini menggambarkan bahwa tim proyek telah memutuskan untuk tidak merubah rencana manajemen proyek untuk mengatasi suatu risiko, atau ketidakmampuan mengidentifikasi strategi yang tepat untuk mengelola suatu risiko. Strategi yang paling aktif untuk *acceptance* adalah dengan menyiapkan suatu kontingensi, termasuk waktu, uang, atau sumberdaya untuk menangani *known* atau *unknown* risiko negatif maupun risiko positif.
4. *Contingent Response Strategy*
Beberapa respon atau tindakan didesain untuk digunakan hanya jika events tertentu terjadi. Untuk beberapa risiko, sangat tepat jika tim proyek menyiapkan suatu rencana tindakan (*response plan*) yang hanya akan dilaksanakan dengan kondisi-kondisi tertentu, misalnya ketika terdapat indikasi awal terjadinya penurunan performa proyek, ancaman terhadap keberlanjutan finansial, atau adanya perubahan kebijakan yang berdampak langsung pada proses operasional. Selain itu, *response plan* juga relevan diterapkan saat proyek menghadapi keterbatasan sumber daya, tekanan waktu yang ekstrem, atau ketika risiko yang semula dianggap minor berkembang menjadi isu strategis yang membutuhkan penanganan khusus untuk mencegah disrupti yang lebih luas.

2.4.3 Konsep probabilistik sederhana

Menurut (Williams, 1993), sebuah pendekatan yang dikembangkan menggunakan dua kriteria yang penting mengukur risiko, yaitu:

1. Kemungkinan (*probability*), adalah kemungkinan (*probability*) dari suatu kejadian yang tak diinginkan.
2. Dampak (*impact*), adalah tingkat pengaruh atau ukuran dampak (*impact*) pada aktivitas lain, jika peristiwa yang tidak diinginkan terjadi.

Menurut (Hillson, 2002) nilai risiko merupakan hasil perkalian dari nilai probabilitas risiko dengan nilai dampak risiko. Penilaian risiko dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R = P \times I \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R = Tingkat risiko

P = kemungkinan (*probability*) risiko yang terjadi

I = tingkat dampak (*impact*) risiko yang terjadi

Model ini secara luas diterapkan dalam berbagai studi manajemen risiko. Dengan rumus ini pengkajian risiko tidak berdasarkan pada estimasi absolut, tapi menggunakan kelas interval seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 *Probability and Impact Scales*

Probability	VH	5	5	10	15	20	25
	H	4	4	8	12	16	20
	MED	3	3	6	9	12	15
	L	2	2	4	6	8	10
	VL	1	1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
		VL	L	MED	H	VH	
		Negative Impact					

Sumber: PRAM Guide, 1997

Tabel 2.3 *Probability Impact Grid*

<i>Description</i>	<i>Probability</i>	<i>Impact on Project</i>		<i>Score</i>
		<i>Timescale (% late)</i>	<i>Cost (% increase)</i>	
VLO	<10%	<10%	<5%	1
LO	10-30%	10-20%	5-10%	2
MED	30-50%	20-40%	10-15%	3
HI	50-70%	40-50%	15-30%	4
VHI	>70%	>50%	>30%	5

Sumber : David Hillson, 2003

Penelitian ini menggunakan lima grid dengan matrix 5x5 dengan penyesuaian skor untuk masing-masing kategori seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 merupakan tingkat risiko sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tingkat Risiko

Skor	Risiko
1-5	Sangat kecil
5-10	Kecil
10-15	Sedang
15-20	Besar
20-25	Sangat besar

Sumber : PMBOK, 2013

2.5 Bencana

Menurut *Asian Disaster Reduction Center* (2003) yang dikutip Wijayanto (2012), Bencana adalah suatu gangguan serius terhadap masyarakat yang menimbulkan kerugian secara meluas dan dirasakan baik oleh masyarakat, berbagai material dan lingkungan (alam) dimana dampak yang ditimbulkan melebihi kemampuan manusia guna mengatasinya dengan sumberdaya yang ada. Lebih lanjut, menurut Parker (1992) dalam dikutip Wijayanto (2012), bencana adalah sebuah kejadian yang tidak biasa terjadi disebabkan oleh alam maupun ulah manusia, termasuk pula di dalamnya merupakan imbas dari kesalahan teknologi yang memicu respon dari masyarakat, komunitas, individu maupun lingkungan untuk memberikan antusiasme yang bersifat luas. Menurut kamus Merriam Webster didalam chauthary (2021), bencana didefinisikan sebagai “peristiwa bencana yang tiba-tiba membawa kerusakan besar, kehilangan, atau kehancuran”. Pengertian bencana yang terdapat di Undang-undang Nomor. 24 tahun 2007 bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis” Secara singkat bencana dapat diartikan sebagai peristiwa yang mengancam dan menyebabkan kerugian bagi manusia, yang disebabkan oleh interaksi antara faktor alam dan manusia.”Jika dicermati, maka akan didapat tiga komponen dalam pengertian pengertian di atas, yaitu ‘bencana’, ‘kejadian mengancam’ (bisa alam maupun non-alam), dan ‘faktor manusia’. Implikasinya adalah:

1. Bencana dan kejadian ancaman (selanjutnya disebut ancaman) merupakan dua hal yang berbeda.
2. Ancaman dapat menjadi bencana apabila manusia dalam kondisi rentan dan tidak memiliki kemampuan menghadapi ancaman atau kerentanan terhadap bencana.

2.5.1 Jenis-jenis bencana

Jenis-jenis bencana menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana, yaitu:

1. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.
2. Bencana non alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa non alam antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, dan wabah penyakit.
3. Bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa yang disebabkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat.
4. Kegagalan teknologi adalah semua kejadian bencana yang diakibatkan oleh kesalahan desain, pengoperasian, kelalaian dan kesengajaan, manusia dalam penggunaan teknologi dan/atau industri yang menyebabkan pencemaran, kerusakan bangunan, korban jiwa, dan kerusakan lainnya.

2.5.2 Faktor penyebab terjadinya bencana

Faktor penyebab terjadinya bencana terdapat 3 (tiga) faktor penyebab terjadinya bencana, yaitu:

1. Faktor alam (*natural disaster*) karena fenomena alam dan tanpa ada campur tangan manusia.
2. Faktor non-alam (*nonnatural disaster*) yaitu bukan karena fenomena alam dan juga bukan akibat perbuatan manusia.
3. Faktor sosial/manusia (*man-made disaster*) yang murni akibat perbuatan manusia, misalnya konflik horizontal, konflik vertikal, dan terorisme.

Secara umum faktor penyebab terjadinya bencana adalah karena adanya interaksi antara ancaman (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*). Ancaman bencana menurut Undang-undang Nomor 24 tahun 2007 adalah “Suatu kejadian atau peristiwa yang bisa menimbulkan bencana”. Kerentanan terhadap dampak atau risiko bencana adalah “Kondisi atau karakteristik biologis, geografis, sosial, ekonomi, politik, budaya dan teknologi suatu masyarakat di suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan masyarakat untuk mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan menanggapi dampak bahaya tertentu” (Bastian, 2007).

Pada Buku Risiko Bencana Indonesia yang diterbitkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tahun 2016 menjelaskan dalam melakukan kajian risiko bencana, pendekatan fungsi dari tiga parameter pembentuk risiko bencana, yaitu ancaman, kerentanan, dan kapasitas terkait bencana. Beberapa prinsip dari proses pengkajian risiko bencana yang juga menjadi pertimbangan proses analisa adalah:

1. Menggunakan data dan segala bentuk rekaman kejadian yang ada dengan mengutamakan data resmi dari lembaga yang berwenang.
2. Melakukan integrasi analisis probabilitas kejadian ancaman para ahli dengan kearifan lokal masyarakat.
3. Proses analisis yang dilakukan harus mampu menghitung potensi jumlah jiwa, kerugian harta benda, dan kerusakan lingkungan yang terpapar.
4. Hasil kajian risiko dapat diterjemahkan menjadi kebijakan benda, dan kerusakan lingkungan yang terpapar oleh potensi umum untuk pengurangan risiko bencana.

Sedangkan beberapa kriteria yang digunakan dalam pemanfaatan data untuk kajian ini yang diperoleh dari berbagai sumber adalah:

1. Memenuhi aturan tingkat kedetailan analisis di tingkat provinsi, yaitu minimal hingga kecamatan dengan skala peta minimal adalah 1:250.000.
2. Data yang ada harus dapat digunakan untuk menghitung jumlah jiwa terpapar bencana (dalam jiwa), menghitung nilai kerugian harta benda (dalam rupiah), dan menghitung luas kerusakan lingkungan (dalam hektar) dengan menggunakan analisa Grid GIS 1 ha dalam pemetaan risiko bencana.

3. Dapat digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan 3 kelas interval tingkat risiko, yaitu tingkat risiko tinggi, sedang dan rendah.

2.5.3 Cuaca ekstrim

Cuaca ekstrim adalah kejadian cuaca yang tidak normal, tidak lazim yang dapat mengakibatkan kerugian terutama keselamatan jiwa dan harta (Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrim, 2010). Cuaca ekstrim merupakan salah satu bencana yang terjadi di Indonesia. Cuaca ekstrim dapat menyebabkan bencana hidrometeorologi (Rahmawati et al., 2021). Cuaca ekstrim adalah informasi cuaca dan iklim yang meningkat dengan meningkatnya fenomena alam yang tidak biasa atau sering terjadi (Caraka et al., 2015). Efek nyata dari anomali iklim (cuaca ekstrim) meliputi peningkatan curah hujan, banjir pasang dan banjir bandang, badai lokal, peningkatan suhu di kota-kota, kekeringan dan tanah longsor (Mananohas et al., 2019). Kerusakan akibat kondisi cuaca ekstrim dapat mencakup kedua jenis tersebut; kerugian moneter (kerusakan bangunan dan properti lainnya yang dapat diperbaiki atau diganti) dan dampak non-moneter seperti hilangnya nyawa, dampak kesehatan dan kerusakan permanen seperti erosi pantai, dampak ekosistem dan dampak sosial (Calliari et al., 2019). Adapun salah satu cuaca ekstrim yang difokuskan adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan curah hujan

Peningkatan curah hujan merujuk pada situasi di mana jumlah hujan yang jatuh dalam periode tertentu, biasanya dalam satu tahun atau satu musim hujan, meningkat secara signifikan dibandingkan dengan rata-rata historis yang biasanya terjadi pada wilayah tersebut (Aldrian and Dwi Susanto, 2003). Dari data yang didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika untuk probabilitas 24 jam, ambang batas nilai yang digunakan untuk menentukan intensitas hujan sebagai berikut:

- a. 0 mm/hari : Berawan
- b. 0.5 – 20 mm/hari : Hujan ringan
- c. 20 – 50 mm/hari : Hujan sedang
- d. 50 – 100 mm/hari : Hujan lebat
- e. 100 – 150 mm/hari : Hujan sangat lebat

f. >150 mm/hari : Hujan ekstrim

2. Banjir

Banjir adalah fenomena tergenangnya daratan akibat naiknya air sungai yang disebabkan oleh hujan lebat atau banjir yang disebabkan oleh kiriman dari daerah lain pada ketinggian yang lebih tinggi. Indonesia memiliki curah hujan yang besar, berkisar antara 2.000 hingga 3.000 mm/tahun, sehingga kemungkinan besar terjadi banjir pada musim hujan, yaitu pada bulan Oktober hingga Januari (Findayani, 2015).

2.5.4 *El niño dan la niña*

El niño adalah suatu fenomena iklim yang terjadi ketika suhu permukaan air laut di Samudera Pasifik tengah dan timur menjadi lebih hangat dari biasanya. Fenomena ini berhubungan dengan perubahan arus laut dan pola atmosfer, dan memiliki dampak besar pada iklim global (Safitri, 2015). Berikut adalah beberapa ciri utama *el niño*:

1. Selama *el niño*, suhu air laut di wilayah tengah dan timur Samudera Pasifik meningkat secara signifikan. Ini berbeda dari kondisi normal, di mana angin perdagangan mendorong air hangat ke barat.
2. *El niño* dapat menyebabkan perubahan besar dalam pola angin dan distribusi hujan di sejumlah wilayah dunia. Beberapa daerah dapat mengalami kekeringan, sedangkan daerah lain mungkin mengalami banjir.
3. *El niño* dapat berkontribusi pada kejadian cuaca ekstrim seperti kebakaran hutan, gelombang panas, dan badai tropis di beberapa wilayah.
4. Kejadian *el niño* seringkali memiliki dampak besar pada sektor pertanian. Di beberapa tempat, tanaman dapat mengalami kekeringan atau serangan hama yang tidak biasa.
5. Beberapa wilayah yang bergantung pada pola muson untuk curah hujan dapat mengalami perubahan dalam intensitas dan distribusi muson selama *el niño*.

El niño bersifat siklus dan terjadi secara alami, namun dapat memiliki dampak yang signifikan pada ketidakpastian cuaca di berbagai wilayah dunia. Sebaliknya, kebalikannya disebut *la niña*, yang terjadi ketika suhu permukaan air laut di wilayah Samudera Pasifik tengah dan timur lebih dingin dari biasanya. *La niña* adalah suatu fenomena iklim yang terjadi ketika suhu permukaan air laut di Samudera Pasifik

tengah dan timur menjadi lebih dingin dari biasanya. Fenomena ini adalah kebalikan dari *el niño* dan memiliki dampak yang berbeda pada pola cuaca global (Huang et al., 2022). Beberapa ciri utama *la niña* melibatkan:

1. Selama *la niña*, suhu permukaan air laut di wilayah tengah dan timur Samudera Pasifik menjadi lebih dingin dari rata-rata. Angin perdagangan yang kuat mendorong air hangat ke arah barat daya.
2. *La niña* dapat menyebabkan perubahan dalam pola angin dan distribusi hujan. Beberapa daerah mungkin mengalami peningkatan curah hujan, sementara daerah lain mungkin mengalami kekeringan.
3. *La niña* dapat berkontribusi pada kejadian cuaca ekstrim seperti banjir, badai tropis, dan tornado di beberapa wilayah.
4. Pola muson dapat dipengaruhi selama periode *la niña*. Beberapa wilayah mungkin mengalami muson yang lebih kuat, sementara wilayah lain dapat mengalami kekeringan.
5. *La niña* memengaruhi pola sirkulasi atmosfer di seluruh dunia, yang dapat memiliki dampak pada cuaca jangka pendek dan panjang.

La niña dan *el niño* adalah dua fase dari fenomena ENSO (*El Niño–Southern Oscillation*) yang secara alami terjadi dalam siklus cuaca Samudera Pasifik. Sementara *el niño* melibatkan pemanasan air laut di wilayah tropis Pasifik, *la niña* melibatkan pendinginan air laut yang kuat dan konsisten, dan keduanya dapat memiliki efek yang signifikan terhadap pola cuaca, iklim global, serta dinamika atmosfer dan sirkulasi oseanik dunia.

2.5.5 Potensi bencana pada pelabuhan

Pelabuhan rentan terhadap berbagai bencana alam yang dapat mengakibatkan gangguan dan kerugian ekonomi yang signifikan. Beberapa bencana alam seperti peristiwa cuaca ekstrim yang paling umum berdampak pada pelabuhan antara lain badai, angin topan, gelombang panas, dan banjir (Repetto et al., 2017). Peristiwa ini dapat menyebabkan kerusakan pada pelabuhan dan infrastruktur di sekitarnya, sehingga seringkali mengganggu operasional pelabuhan (Zheng et al., 2021). Sebuah penelitian menemukan bahwa 86% dari seluruh pelabuhan yang diteliti mungkin terkena dampak lebih dari tiga jenis bencana alam, sementara 50% mungkin terkena empat atau lima jenis bencana alam (Verschuur et al., 2020).

Peristiwa cuaca ekstrim yang paling umum berdampak pada pelabuhan adalah badai, angin topan, gelombang panas, dan banjir, terutama yang terletak di daerah rawan bencana alam dan merupakan pusat penting perdagangan internasional (McIntosh and Becker, 2019). Daerah pesisir atau sungai besar, dimana pelabuhan sering berada, rentan terhadap bahaya alam seperti badai, badai pantai, gelombang badai, dan meluapnya bendungan dan sistem air lainnya, khususnya di daerah delta. Bencana Angin topan dapat mengganggu operasional pelabuhan dengan merusak peralatan pelabuhan, bangunan atas, dan koneksi dengan daerah pedalaman (Lam, Liu and Gou, 2017). Banjir mempunyai dampak paling besar terhadap operasional pelabuhan, dengan rata-rata jumlah hari terkena dampak hampir 11 hari, dibandingkan dengan 4,25 hari akibat badai (Verschuur, Koks and Hall, 2020).

Menurut literatur seperti IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mitigasi adalah upaya preventif untuk mengurangi risiko kerusakan sebelum bencana terjadi. Untuk memitigasi dampak bencana cuaca ekstrim di pelabuhan, penting bagi manajemen pelabuhan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan mengembangkan strategi pembangunan ketahanan (Gharehgozli *et al.*, 2017). Hal ini mencakup penilaian pengalaman masa lalu, menentukan kemungkinan risiko di masa depan, dan mempertimbangkan karakteristik dan lingkungan pelabuhan. Gambar 2.5 memperlihatkan dampak nyata dari bencana alam terhadap pelabuhan, seperti kerusakan bangunan, gangguan aktivitas bongkar muat, terganggunya akses logistik, rusaknya dermaga, dan terbatasnya pelayanan operasional, yang menjadi tantangan besar dalam menjaga pelabuhan tetap aman, efisien, dan berfungsi dengan baik setiap saat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.5 (a) Kerusakan pelabuhan akibat bencana alam angin ekstrim (Repetto et al., 2017), (b) Kerusakan pelabuhan akibat bencana alam, hujan lebat dan angin kencang (sumber: BPBD Lingga), (c) Bencana alam banjir di pelabuhan Sekupang (sumber: sumatra.bisnis.com)

2.6 *Infrastructure Rating Tool*

Ketersediaan dan kualitas data yang digunakan untuk memperoleh informasi atas suatu objek memerlukan bantuan alat dalam analisis. Pengukuran terhadap kondisi infrastruktur transportasi dilakukan berdasarkan atribut pada objek penelitian untuk menjawab tujuan dari penelitian, dalam prosesnya penggunaan alat analisis dilakukan menurut kaidah ilmiah serta referensi yang mendukung. Secara umum, diperlukan data yang lebih baik dan lebih konsisten untuk evaluasi infrastruktur. Tujuannya adalah untuk menunjukkan penerapan alat pendukung keputusan beberapa kriteria untuk membuat elemen subyektif dalam evaluasi infrastruktur lebih eksplisit, dan karenanya untuk meningkatkan transparansi proses secara keseluruhan. Data mentah yang dikumpulkan atau informasi yang dianalisis dalam satu tahap dapat dimanfaatkan sebagai data dan/atau informasi dalam tahap lain, atau informasi yang dihasilkan dalam satu divisi dapat dimanfaatkan oleh divisi lain untuk mengelola proyek aktif dan/atau merencanakan proyek masa depan (Woldesenbet et al., 2016). Alat pendukung keputusan disediakan *The American Society of Civil Engineers* untuk membantu mengevaluasi infrastruktur dan meninjau evaluasi masing-masing kriteria (American Society of Civil Engineers, 2009). *Infrastructure Rating Tool* menyajikan alat dan membahas cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas proses pelaporan infrastruktur (Amekudzi et al., 2013). Infrastruktur memainkan peran penting dalam masyarakat, serta mendukung komunitas. Misalnya, Kartu Laporan Infrastruktur ASCE 2021 menyatakan bahwa dari 617.000 jembatan di seluruh Amerika Serikat, saat ini 42%

telah berfungsi setidaknya selama 50 tahun, dan 7,5% (46.154) rusak secara struktural dengan kondisi yang buruk . Dengan demikian, struktur perlu dievaluasi secara teratur untuk memastikan mereka dapat memenuhi persyaratan layanan mereka. Rapor ini biasanya mencakup rekomendasi untuk menaikkan nilai (C. Wang et al., 2021).

2.7 *Hazard and Vulnerability Assessment Index*

Identifikasi bahaya dan penilaian risiko memberikan langkah demi langkah, dasar faktual untuk kegiatan yang diusulkan dalam identifikasi risiko dan strategi mitigasi bahaya. Analisis kerentanan bahaya dan penilaian risiko adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi bahaya atau risiko yang paling mungkin berdampak pada fasilitas kesehatan dan masyarakat sekitar (Pathway Health, 2017). Pada tahun 2001, Kaiser Permanente mengembangkan alat penilaian dan kerentanan bahaya yang dimodifikasi untuk analisis bahaya dan kerentanan pusat medis (Kaiser Foundation Health Plan, 2001). Alat ini memperluas panduan dan ruang lingkup bahaya “peristiwa” yang harus dipertimbangkan rumah sakit. Secara khusus, itu memperluas langkah-langkah risiko untuk memasukkan dampak manusia, dampak properti, dan dampak bisnis. Alat ini memperluas panduan dan ruang lingkup “kejadian” bahaya yang harus dipertimbangkan rumah sakit. Secara khusus, itu memperluas langkah-langkah risiko untuk memasukkan dampak manusia, dampak properti, dan dampak bisnis. HVA Regional membantu dalam mengidentifikasi risiko saat ini, termasuk kemungkinan, manusia, properti dan dampak bisnis, mitigasi, kesiapsiagaan, dan respons. Setiap ukuran dinilai secara terpisah untuk setiap kejadian dan diberi bobot dalam skor kerentanan akhir. Demikian pula, tindakan mitigasi diperluas dari *The American Society for Healthcare Engineering* (ASHE), yang hanya menilai kesiapsiagaan sebagai "buruk", "cukup", atau "baik". Alat baru memecah mitigasi menjadi kesiapsiagaan (praperencanaan), respons internal (waktu, efektivitas, dan sumber daya), dan respons eksternal (staf dan pasokan komunitas/saling membantu) (Campbell et al., 2011).

2.8 *Interpretive Structural Modelling*

Interpretive Structural Modeling adalah proses pembelajaran interaktif dimana satu set risiko yang berbeda terkait dan elemen langsung terstruktur menjadi

komprehensif model sistematis. Model yang terbentuk, menggambarkan struktur masalah yang kompleks atau masalah, sistem atau lapangan studi, dalam pola dirancang menyiratkan grafis serta kata-kata (Warfield, 1979). ISM menawarkan suatu metodologi untuk penataan masalah yang kompleks dan merupakan kombinasi dari tiga model bahasa: kata-kata, diagraf dan matematika diskrit. Ini berbeda secara signifikan dari banyak pendekatan pemodelan tradisional, yang menggunakan kemampuan variabel yang terhitung.

2.8.1 Identifikasi variabel

Langkah pertama dalam menggunakan *Interpretive structural modeling* adalah dengan identifikasi variabel-variabel yang akan diteliti dilanjutkan dengan menentukan matrik hubungan kontekstual untuk membentuk *Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)*. Identifikasi ini menjadi dasar dalam membangun struktur hierarkis yang merepresentasikan hubungan antar variabel, memungkinkan analisis sistemik terhadap komponen yang diteliti.

2.8.2 Penilaian hubungan kontekstual diantara variabel

Hubungan kontekstual antar variabel ditetapkan sesuai dengan tujuan dari pemodelan.

2.8.3 *Structural self interaction matrix* untuk setiap variabel berpasangan

Selanjutnya adalah penggunaan simbol untuk menunjukkan arah hubungan antara Variabel i dan variabel j (Pfohl, Gallus, & Thomas, 2011) sebagai berikut:

1. V : Variabel i mempengaruhi/membantu tercapainya variabel j tetapi tidak sebaliknya.
2. A : Variabel j mempengaruhi/membantu tercapai variabel i , tetapi tidak sebaliknya.
3. X : Variabel i dan variabel j saling mempengaruhi/membantu tercapai.
4. O : Variabel i dan variabel j tidak saling mempengaruhi/membantu tercapai.

2.8.4 Pembentukan *reachability matrix* untuk setiap variabel berpasangan

(Pfohl, Gallus, & Thomas, 2011) Mengembangkan *reachability matrix* dari SSIM dan memeriksa transitivitas berkaitan dengan pembangunan *reachability*

matrix M. Ini adalah matrix biner yang memasukkan V, A, X dan O dari SSIM diubah menjadi 1 dan 0 sesuai dengan aturan berikut:

1. Jika (variabel i, variabel j) masuk dalam SSIM adalah V, maka (variabel i, variabel j) masuk dalam *reachability matrix* menjadi 1 dan (variabel j, variabel i) masuk menjadi 0.
2. Jika (variabel i, variabel j) masuk dalam SSIM adalah A, maka (variabel i, variabel j) masuk dalam *reachability matrix* menjadi 0 dan (variabel j, variabel i) masuk menjadi 1.
3. Jika (variabel i, variabel j) masuk dalam SSIM adalah X, maka baik (variabel i, variabel j) dan (variabel j, variabel i) pada *reachability matrix* masuk menjadi 1.
4. Jika (variabel i, variabel j) masuknya SSIM adalah O, maka baik (variabel i, variabel j) dan (variabel j, variabel i) dari *reachability matrix* masuk menjadi 0.

2.8.5 Transivitas

Transivity rule adalah asumsi dasar dalam ISM yang mengarah ke *final reachability matrix*. Ini menyatakan bahwa jika elemen A berhubungan dengan B dan B terkait dengan C, maka dapat disimpulkan bahwa A berhubungan dengan C. Jika elemen (variabel i, variabel j) dari *final reachability matrix* adalah nol, baik itu langsung sebagai hubungan yang tidak langsung dari elemen variabel i ke elemen variabel j. Awal *reachability matrix* mungkin tidak memiliki karakteristik ini karena ketika tidak langsung akan tetapi hubungan tidak langsung dari elemen variabel i ke variabel j, memasukan (variabel i, variabel j) juga nol (Pfohl, Gallus, & Thomas, 2011). Hubungan tidak langsung dapat ditemukan dengan menaikkan *reachability matrix* awal (dengan memberikan diagonal set ke 1) ke kekuatan berikutnya sampai ada entri baru diperoleh (Malone, 1975). Itu sampai kondisi mapan tercapai sehingga $M^{n-1} < M^n = M^{n+1}$.

2.8.6 Pengembangan *reachability matrix* (menghilangkan transivitas)

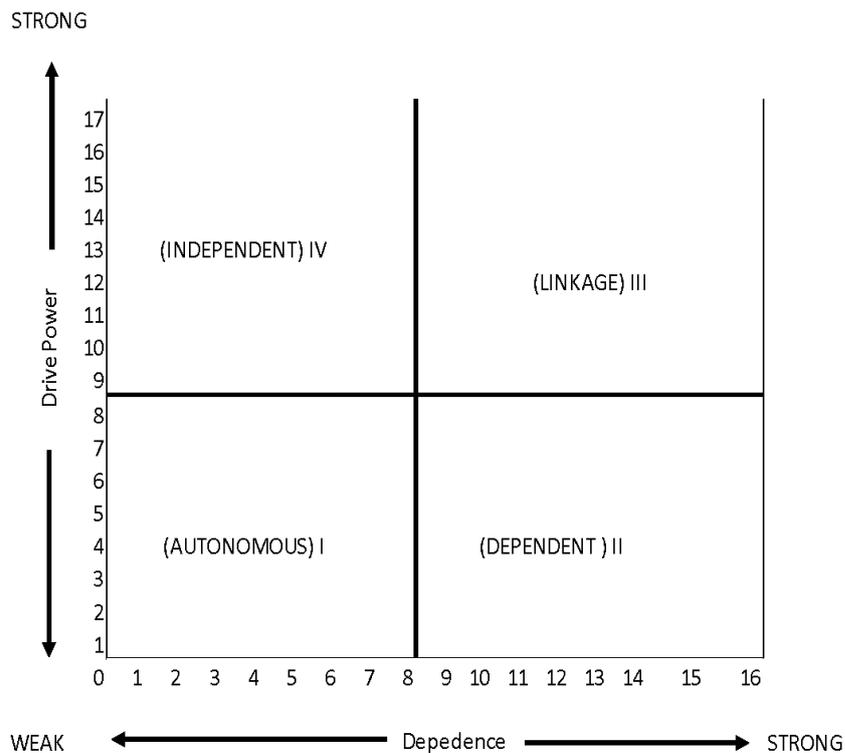
Langkah selanjutnya dari proses ini yaitu memodelkan *Interpretive Structural Modeling* dari tingkatan level. Dari level tersebut akan diketahui keterkaitan antar variabel dan dapat diuraikan di dalam suatu sistem akan memberikan nilai manfaat yang tinggi guna merancang sistem secara efektif dan pengambilan keputusan.

Keterkaitan antar variabel yang dikategorikan *High* dapat memberikan peluang dalam mengetahui progres selama tahapan dengan melihat hubungan posisi level.

2.8.7 Analisis Mic-Mac untuk diklasifikasi

Hubungan ditemukan dalam model ISM diuji dengan analisis mic-mac dimana akan diklasifikasikan ke dalam empat kelompok (Satapathy, Patel, Biswas, & Mishra, 2013) pada gambar akan terdapat 4 (empat) daerah dengan berbeda penjelasan terhadap masing-masing *driving power and dependence* hal ini dikarenakan tiap-tiap variabel memiliki kekuatan yang berbeda dalam memberikan keterkaitan dan hubungan seperti pada Gambar 2.6 Analisis Mic Mac.

Pendekatan ini tidak hanya memetakan kekuatan pengaruh antar variabel, tetapi juga membantu peneliti dalam menetapkan strategi prioritas dan pengambilan keputusan berbasis sistem yang lebih adaptif terhadap perubahan dinamika risiko. Dengan klasifikasi variabel ke dalam empat kuadran utama yaitu *autonomous*, *dependent*, *linkage*, dan *independent* analisis Mic Mac memungkinkan identifikasi elemen-elemen kritis yang harus diintervensi terlebih dahulu untuk menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan, khususnya dalam konteks manajemen risiko infrastruktur pelabuhan yang kompleks dan saling bergantung.



Gambar 2.6 Analisis *mic mac*

Pembagian *Cluster* berdasarkan Gambar 2.6 sebagai berikut:

1. *Cluster I (Autonomous)* : *weak driving power and weak dependence.*
2. *Cluster II (Dependent)* : *weak driving power and strong dependence.*
3. *Cluster III (Linkage)* : *strong driving power and strong dependence.*
4. *Cluster IV (Independent)* : *strong driving power and weak dependence.*

Sehingga pembagian untuk hubungan variabel dapat diketahui berdasarkan *Cluster* pada proses analisis hubungan antar variabel.

2.8.8 Mengganti variabel-variabel dengan hubungan pernyataan

Selanjutnya dari yaitu memodelkan *Interpretive Structural Modeling* dari tingkatan level. Dari level tersebut akan diketahui keterkaitan antar variabel dan dapat diuraikan di dalam suatu sistem akan memberikan nilai manfaat yang tinggi guna merancang sistem secara efektif dan pengambilan keputusan. Keterkaitan antar variabel yang dikategorikan *high* dapat memberikan peluang dalam mengetahui progress selama tahapan dengan melihat hubungan posisi level.

2.9 Dasar Penyusunan Model

Penyusunan model dalam penelitian ini mengacu pada beberapa sumber yang relevan sebagai dasar. Tahapan ini bertujuan untuk menjelaskan hubungan antara ketahanan infrastruktur dan tingkat bencana alam yang dialami oleh pemerintah daerah, guna mendukung proses pengukuran dan evaluasi ketahanan infrastruktur secara komprehensif (Lee, 2020). Lee (2020) juga menjelaskan Infrastruktur dibagi menjadi infrastruktur keras (fisik) dan lunak (sosial-ekonomi).

Infrastruktur keras mencakup elemen fisik seperti pasokan listrik dan air, sementara infrastruktur lunak mencakup jaringan sosial dan tata kelola. Penelitian menentukan kriteria penilaian kategori infrastruktur tertentu yang sedang dievaluasi dan memberikan bobot pada setiap kriteria penilaian kemudian secara otomatis menghitung rata-rata tertimbang dari skor untuk berbagai kriteria penilaian, dari penelitian ini pengembangan yang dapat meningkatkan transparansi dan objektivitas dalam proses penilaian infrastruktur (Amekudzi et al., 2013).

Hubungan antara gangguan fungsi terhadap dampak serta potensi ketidakseimbangan, dihasilkan dari kerangka kerja baru untuk menganalisis efek saling ketergantungan dari sistem infrastruktur kritis atau *Critical Infrastructure systems* (CISs) di bawah berbagai jenis gangguan. Kerangka kerja ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis *High Level Architecture* (HLA) untuk memodelkan ketergantungan antara CISs dan mensimulasikan penyebaran kegagalan. Penelitian ini juga memperkenalkan metrik kinerja baru untuk mengukur dampak gangguan pada CISs (Li et al., 2022).

Penerapan untuk suatu kinerja baik dalam suatu infrastruktur terlihat dari penelitian yang dilakukan di negara Iran khususnya provinsi Khuzestan, menekankan pentingnya memahami keadaan saat ini dari bencana dan infrastruktur untuk menerapkan program manajemen risiko yang efektif dan meningkatkan ketahanan di daerah berisiko tinggi (Arvin et al., 2023). Hubungan antara dampak dan potensi ketidakseimbangan merujuk pada pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana mengukur serta meningkatkan ketahanan infrastruktur dalam sistem transportasi.

Penelitian ini memiliki harapan dapat menunjukkan bahwa ada berbagai pendekatan yang dapat digunakan, dan bahwa tidak ada satu pendekatan yang paling baik untuk semua situasi, penelitian ini juga mempertimbangkan efek perubahan iklim pada infrastruktur transportasi. Dengan memahami bagaimana perubahan iklim dapat mempengaruhi infrastruktur transportasi, dapat merancang sistem yang lebih tahan terhadap perubahan iklim dan lebih mampu pulih dari gangguan yang disebabkan oleh perubahan iklim (Bi et al., 2023). Hubungan antara potensi ketidakseimbangan dengan ketidakseimbangan merujuk pada penelitian mengenai analisis dinamis dan ketidakseimbangan dari sistem infrastruktur yang saling bergantung.

Kerangka kerja ini digunakan untuk menganalisis ketergantungan antara berbagai sistem infrastruktur dan efeknya pada ketahanan, efisiensi, dan efektivitas (Zhang & Peeta, 2014). Peningkatan frekuensi peristiwa cuaca ekstrim memiliki dampak signifikan terhadap infrastruktur kritis atau *Critical Infrastructure* (CI). Dalam konteks ini, mengusulkan kerangka kerja untuk meningkatkan ketahanan CI terhadap perubahan iklim.

Kerangka kerja ini mencakup strategi jangka pendek, menengah, dan panjang dan bertujuan untuk bergerak dari perubahan bertahap menjadi transformasi CI untuk membuatnya lebih fleksibel, modular, dan beragam (Shakou et al., 2019). Secara keseluruhan konsep dibangun berupaya mempertahankan fungsi terhadap gangguan cuaca ekstrem yang terjadi pada infrastruktur pelabuhan, agar dapat menyusun sebuah kerangka kerja optimal. Penelitian *Infrastructure sustainability rating tools-how they have developed and what we might expect to see in the future* (Griffiths and Henning, 2015) ini bukan merupakan penelitian empiris, melainkan suatu studi literatur yang mengkaji sejumlah publikasi dan dokumen terkait.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan studi literatur. Penulis melakukan pencarian dan analisis terhadap berbagai sumber literatur, seperti jurnal ilmiah, buku, dokumen pemerintah, dan dokumen organisasi internasional. Data dan informasi yang diperoleh dari sumber-sumber tersebut kemudian dianalisis dan digunakan untuk merumuskan temuan dan kesimpulan terkait perkembangan dan harapan kedepannya terkait alat penilaian keberlanjutan infrastruktur.

Penelitian ini berusaha mendapatkan temuan terkait perkembangan alat penilaian keberlanjutan infrastruktur, seperti peningkatan fokus pada aspek-aspek sosial dan ekonomi selain aspek lingkungan, serta peningkatan adopsi alat penilaian keberlanjutan infrastruktur oleh sektor swasta. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa harapan kedepannya terkait alat penilaian keberlanjutan infrastruktur, seperti adopsi teknologi informasi dan penggunaan data yang lebih luas dalam proses penilaian, serta meningkatnya interkoneksi antara alat penilaian keberlanjutan infrastruktur dengan kebijakan dan regulasi. Penelitian *Interpretive Structural Modeling Approach to Analyze the Interaction Among Key Factors of Risk Management Process in SMEs: Polish Experience* (Gorzeń-Mitka, 2019) membahas tentang pendekatan *Interpretive Structural Modeling* (ISM) untuk menganalisis interaksi antara faktor-faktor kunci dalam proses manajemen risiko di perusahaan kecil dan menengah (SME) di Polandia.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan *Interpretive Structural Modeling* (ISM), yang merupakan suatu pendekatan sistemik untuk mengidentifikasi hubungan antara berbagai faktor dalam suatu sistem. Dalam penelitian ini, ISM digunakan untuk menganalisis interaksi antara faktor-faktor kunci dalam proses manajemen risiko di SME di Polandia. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap sejumlah pemangku kepentingan di SME di Polandia, seperti manajer, pemilik bisnis, dan konsultan bisnis. Data yang diperoleh dari wawancara tersebut kemudian dianalisis menggunakan pendekatan ISM untuk mengidentifikasi faktor-faktor kunci dan interaksi antara faktor-faktor tersebut dalam proses manajemen risiko di SME di Polandia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat sejumlah faktor kunci yang mempengaruhi proses manajemen risiko di SME di Polandia, seperti kesadaran akan risiko, pengalaman manajerial, kompetensi karyawan, dan akses terhadap sumber daya. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi sejumlah interaksi antara faktor-faktor tersebut, seperti hubungan timbal balik antara kesadaran akan risiko dan pengalaman manajerial, serta hubungan timbal balik antara kompetensi karyawan dan akses terhadap sumber daya. Dengan menggunakan pendekatan ISM, penelitian ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif dan sistemik tentang interaksi antara faktor-faktor kunci dalam proses manajemen risiko di SME di Polandia, yang dapat menjadi dasar untuk mengembangkan strategi manajemen risiko yang lebih efektif dan efisien bagi SME di Polandia. Dalam penelitian "Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan di Kota Tarakan". Pertama, terdapat keterkaitan dengan artikel "*Infrastructure Sustainability Rating Tools – How They Have Developed and What We Might Expect to See in the Future*". Artikel tersebut membahas tentang perkembangan dan masa depan penggunaan alat penilaian keberlanjutan infrastruktur. Salah satu metode yang dibahas adalah *Infrastructure Rating Tool* (IRT) yang juga digunakan dalam penelitian "Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan di Kota Tarakan". Oleh karena itu, artikel tersebut dapat menjadi referensi yang kuat untuk mendukung penggunaan metode IRT dalam penelitian tersebut. Kedua, terdapat keterkaitan dengan artikel "*Interpretive Structural Modeling Approach to Analyze the Interaction Among Key Factors of Risk Management Process in SMEs: Polish Experience*". Artikel tersebut membahas

tentang penggunaan *Interpretive Structural Modelling* (ISM) dalam analisis faktor-faktor risiko dalam proses manajemen risiko di perusahaan kecil dan menengah. Metode ISM juga digunakan dalam penelitian "Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan di Kota Tarakan" untuk menganalisis interaksi antara faktor-faktor yang memengaruhi ketahanan infrastruktur transportasi.

Penelitian ini tersusun menggunakan Indikator menjadi referensi yang berguna dalam penelitian ini karena dapat memberikan wawasan dan pemahaman tentang kriteria yang relevan dalam menilai keadaan infrastruktur. Selain itu, juga dapat memberikan informasi tentang tren dan isu terkini dalam pengembangan dan pemeliharaan infrastruktur, yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penilaian keadaan infrastruktur transportasi. Dalam hal ini, model penilaian ketahanan infrastruktur transportasi yang dibangun dapat membantu dalam mengevaluasi dan memperbaiki kondisi infrastruktur transportasi yang ada, mengidentifikasi kebutuhan investasi di masa depan, dan meningkatkan ketangguhan serta keselamatan publik infrastruktur transportasi. Dengan demikian, model ini dapat memberikan panduan yang berguna bagi para pengambil keputusan dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur transportasi yang lebih tahan terhadap berbagai risiko dan tantangan, serta memastikan ketersediaan layanan transportasi yang handal dan aman bagi masyarakat. Selain itu, model ini juga dapat membantu meningkatkan efisiensi dan kinerja infrastruktur transportasi, sehingga dapat memberikan manfaat ekonomi dan sosial yang lebih besar bagi masyarakat. Dalam jangka panjang, penggunaan model penilaian ketahanan infrastruktur transportasi dapat membantu mencapai pembangunan berkelanjutan yang lebih berwawasan lingkungan dan sosial. Dalam jangka panjang, model penilaian ketahanan infrastruktur transportasi juga dapat membantu dalam mengevaluasi dampak perubahan iklim terhadap infrastruktur transportasi. Dampak perubahan iklim seperti banjir, tanah longsor, dan peningkatan suhu dapat mengancam infrastruktur transportasi dan mengurangi ketersediaan layanan transportasi yang handal bagi masyarakat. Dengan menggunakan model penilaian ketahanan infrastruktur transportasi, para pengambil keputusan dapat merencanakan dan mengembangkan infrastruktur transportasi yang lebih tahan terhadap perubahan iklim dan memastikan keberlanjutan layanan transportasi di masa depan. Selain itu,

model ini juga dapat membantu meningkatkan kerja sama antar instansi dalam pengelolaan dan pemeliharaan infrastruktur transportasi untuk mencapai tujuan bersama dalam menjaga ketahanan dan keamanan infrastruktur transportasi. Suatu variabel membutuhkan indikator untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dan ukuran pengaruh dalam menyusun penelitian ini. Variabel diperoleh dari hasil sintesa pada artikel jurnal, artikel ilmiah dan prosiding yang relevan terhadap penelitian ini. Variabel merupakan aspek utama atau komponen dalam model ketahanan pelabuhan yang ingin diukur atau dinilai. Variabel ini merepresentasikan area besar yang mempengaruhi ketahanan pelabuhan, misalnya kondisi fisik bangunan atau variabel terkait cuaca ekstrem.

Penggunaan kriteria pada *raport card ASCE* dalam penelitian ini dipilih karena kriteria tersebut telah terbukti secara luas dan konsisten mampu mengukur kondisi fisik dan kinerja infrastruktur secara komprehensif dan sistematis. Kriteria *ASCE* menyediakan parameter yang objektif dan terstandarisasi untuk menilai berbagai aspek struktural dan operasional infrastruktur pelabuhan. Penggunaan variabel kondisi berdasarkan justifikasi teknis beserta refensi pada Tabel berikut:

Tabel 2.5 Ketergantungan Kriteria Terhadap Kondisi Infrastruktur

Kriteria	Ketergantungan terhadap Kondisi	Referensi
Kapasitas	Tidak dapat dimanfaatkan jika struktur rusak	(Taneja et al., 2021) (Bakker et al., 2024) (Munim & Schramm, 2018) (Kamara et al., 2025)
Operasional & Perawatan	Biaya meningkat jika kondisi menurun	(Tian et al., 2024) (C. et al., 2024) (Kamara et al., 2025) (Munim & Schramm, 2018)
Pendanaan	Kebutuhan dana meningkat untuk perbaikan darurat	(Kamara et al., 2025) (Munim & Schramm, 2018) (Shi et al., 2023; Taneja et al., 2021) (Amer, 2024)
Kebutuhan Masa Depan	Tidak relevan jika kondisi saat ini tidak layak	(Shi et al., 2023) (C. et al., 2024) (Taneja et al., 2021) (Munim & Schramm, 2018)
Keselamatan Publik	Langsung terancam oleh kondisi buruk	(Taneja et al., 2021) (S. Wang et al., 2023) (Munim & Schramm, 2018) (C. et al., 2024)

Kriteria	Ketergantungan terhadap Kondisi	Referensi
Ketangguhan	Tidak dapat dicapai tanpa kondisi fisik yang kuat	(Amer, 2024) (Shi et al., 2023) (Taneja et al., 2021) (C. et al., 2024) (S. Wang et al., 2023)

Penjelasan 6 kriteria memiliki pengaruh terhadap kriteria kondisi ditampilkan pada Tabel 2.5. Dalam proses pengambilan keputusan terkait infrastruktur pelabuhan, pemilihan kriteria utama harus didasarkan pada keterkaitannya yang paling mendasar terhadap fungsi, risiko, dan keberlanjutan sistem. Berdasarkan analisis terhadap enam kriteria strategis kapasitas, operasional dan perawatan, pendanaan, kebutuhan masa depan, keselamatan publik, dan ketangguhan dapat disimpulkan bahwa seluruhnya memiliki ketergantungan yang erat terhadap kondisi fisik infrastruktur. Kondisi bukan hanya mencerminkan performa aktual suatu aset, tetapi juga menjadi prasyarat bagi berfungsinya kriteria lainnya.

Tabel 2.6 Indikator dan Sumber Referensi pada Variabel Kondisi

No.	Indikator Variabel Kondisi	Referensi
1.	Integritas Struktural	(Marroni et al., 2023) (Harouni et al., 2022)
2.	Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	(Caldeira dos Santos and Pereira, 2021) (Alves De Moura and Botter, 2020) (Senarak, 2021)
3.	Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	(Senarak, 2021) (Sogut and Erdoğan, 2022) (Makris et al., 2021)(Qing et al., 2023)
4.	Sistem Drainase dan Pengendalian Air	(Marroni et al., 2023) (Fouad et al., 2023)
5.	Kondisi Bangunan Pendukung	(Pitilakis et al., 2019) (Sogut and Erdoğan, 2022) (Song et al., 2020) (Garcia-Alonso et al., 2020)
6.	Kondisi Sistem Energi dan Listrik	(Pitilakis et al., 2019) (Sogut and Erdoğan, 2022) (Garcia-Alonso et al., 2020) (Song et al., 2020)
7.	Kondisi Jalan dan Akses	(Caldeira dos Santos and Pereira, 2021) (Alves De Moura and Botter, 2020)

Tabel 2.7 Komponen Risiko

Komponen	Definisi	Referensi
Risiko	Kombinasi antara probabilitas terjadinya suatu kejadian dan dampaknya terhadap sistem. Dalam konteks ini, risiko dihitung secara kuantitatif.	(Silvast, 2017) (T. Wang et al., 2020) (Mojtahedi et al., 2017)
Peluang	Kemungkinan terjadinya suatu kejadian risiko dalam periode tertentu. Diukur dalam skala ordinal atau probabilistik.	(Grafius et al., 2020; Graveline & Germain, 2022) (Tian et al., 2024)
Dampak Manusia	Potensi kerugian terhadap keselamatan jiwa, kesehatan pekerja, dan masyarakat akibat kejadian.	(Malvarez et al., 2021) (Dargin & Mostafavi, 2020)
Dampak Properti	Kerusakan fisik pada aset pelabuhan seperti dermaga, gudang, peralatan, dan infrastruktur pendukung lainnya.	(Davids et al., 2020) (Jacobson, 2020)
Dampak Bisnis	Gangguan terhadap operasional pelabuhan, keterlambatan logistik, dan kerugian ekonomi akibat gangguan layanan.	(Adeniyi et al., 2019) (Zohuri & Moghaddam, 2017)
Kesiapan	Tingkat kesiapan sistem dalam menghadapi kejadian, termasuk SOP, pelatihan, dan sistem peringatan dini.	(Harrington & Schultz, 2018) (Norris et al., 2008)
Tanggapan Internal	Kemampuan organisasi pelabuhan dalam merespons kejadian secara cepat dan efektif, termasuk koordinasi internal dan pengambilan keputusan.	(Thomas & Rony, 2022) (Ngamkhanong et al., 2022) (Oh et al., 2013) (Lee et al., 2013)
Tanggapan Eksternal	Kolaborasi dengan pihak luar seperti pemerintah, masyarakat, dan lembaga tanggap darurat dalam merespons kejadian.	(Cook & Long, 2021) (Oh et al., 2013) (Morshed et al., 2021)

Deskripsi dari masing-masing komponen risiko dijelaskan pada Tabel 2.7. Model risiko ini dibangun dari hubungan mendasar antara sumber risiko, yaitu potensi kejadian berbahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*), serta serangkaian variabel dampak yang menggambarkan konsekuensi dari risiko tersebut. Selain itu, model juga mengintegrasikan elemen kesiapan dan tanggapan (*response*) yang menjadi aspek krusial dalam mengurangi dampak negatif sekaligus membuka peluang untuk adaptasi dan penguatan sistem melalui pendekatan yang berorientasi pada ketahanan jangka panjang dan efektivitas mekanisme respons lintas sektor.

Indikator adalah aspek spesifik di dalam variabel yang dapat dijadikan tolok ukur atau pengukur (Nguyen et al., 2016). Indikator ini memberikan gambaran lebih detail tentang variabel yang dinilai, misalnya 7 indikator dalam variabel kondisi menunjukkan berbagai aspek penting dari kondisi pelabuhan.

Indikator hasil sintesis pada tabel selanjutnya untuk dapat dianalisis sehingga dapat ditentukan pengukurannya dengan menetapkan parameter. Adapun parameter ini sebagai acuan dalam melakukan observasi ataupun penelitian selanjutnya, termasuk dalam penilaian kebijakan dan rekomendasi perbaikan sistem, dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Indikator dan Sumber referensi

No.	Indikator Variabel Kondisi	Parameter	Referensi												
			(Marroni et al., 2023)	(Harouni et al., 2022)	(Maniglio et al., 2021)	(Senarak, 2021)	(Sogut and Erdoğan, 2022)	(Makris et al., 2021)	(Qing et al., 2023)	(Song et al., 2020)	(Fouad et al., 2023)	(Pitilakis et al., 2019)	(Garcia-Alonso et al., 2020)	(Caldeira dos Santos and	(Alves De Moura and
1.	Integritas Struktural	a) Kekakuan dan Stabilitas Struktur	√	√											
		b) Keandalan Struktural terhadap tekanan dan beban		√	√										
		c) Kerusakan Struktural			√										
2.	Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	a) Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan				√								√	
		b) Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah				√									√
		c) Keadaan Fasilitas Pendukung												√	√

No.	Indikator Variabel Kondisi	Parameter	Referensi												
			(Marrooni et al., 2023)	(Harouni et al., 2022)	(Maniglio et al., 2021)	(Senarak, 2021)	(Sogut and Erdoğan, 2022)	(Makris et al., 2021)	(Qing et al., 2023)	(Song et al., 2020)	(Fouad et al., 2023)	(Pitilakis et al., 2019)	(Garcia-Alonso et al., 2020)	(Caldeira dos Santos and	(Alves De Moura and
3.	Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	a) Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional				√	√	√	√						
		b) Kondisi Mesin dan Peralatan							√	√					
4.	Sistem Drainase dan Pengendalian Air	a) Efektivitas Sistem Drainase									√				
		b) Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	√								√				
5.	Kondisi Bangunan Pendukung	a) Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan					√					√			
		b) Kebersihan dan Perawatan								√			√		

No.	Indikator Variabel Kondisi	Parameter	Referensi											
			(Marroni et al., 2023)	(Harouni et al., 2022)	(Maniglio et al., 2021)	(Senarak, 2021)	(Sogut and Erdoğan, 2022)	(Makris et al., 2021)	(Qing et al., 2023)	(Song et al., 2020)	(Fouad et al., 2023)	(Pitilakis et al., 2019)	(Garcia-Alonso et al., 2020)	(Caldeira dos Santos and
		Bangunan Pendukung												
6.	Kondisi Sistem Energi dan Listrik	a) Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik					√			√		√		
		b) Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi					√				√	√		
7.	Kondisi Jalan dan Akses	a) Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan											√	√

Parameter adalah aspek terukur secara teknis yang lebih spesifik dan dapat dikumpulkan datanya, misalnya material yang digunakan, jumlah dan tipe fasilitas, tingkat kerusakan tertentu, serta aspek teknis lain yang merepresentasikan indikator (Peleg et al., 2022).

Tabel 2.9 Deskripsi Parameter Variabel Kondisi

No.	Parameter	Deskripsi
1.	Kekakuan dan Stabilitas Struktur	Evaluasi tingkat kekokohan dan kemampuan struktur untuk menahan beban dan tekanan eksternal. Skor rendah menunjukkan kemungkinan struktur yang rapuh atau tidak stabil, sedangkan skor tinggi menunjukkan struktur yang kuat dan stabil
2.	Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban	Penilaian terhadap sejauh mana struktur dapat bertahan dan berkinerja optimal dalam menghadapi tekanan, beban, atau situasi ekstrim. Skor rendah menunjukkan ketidakehandalan struktur, sementara skor tinggi menunjukkan kehandalan yang tinggi
3.	Kerusakan Struktural	Pengamatan jumlah dan tingkat kerusakan fisik seperti retakan, deformasi, atau kerusakan lain pada struktur. Skor rendah menunjukkan banyak kerusakan, sedangkan skor tinggi menunjukkan kerusakan yang minimal.
4.	Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional	Penilaian terhadap ketersediaan alat berat dan peralatan yang diperlukan untuk operasional di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan ketersediaan yang terbatas, sedangkan skor tinggi menunjukkan ketersediaan yang sangat baik.
5.	Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan	Evaluasi tingkat kekasaran dan tingkat keausan pada permukaan jalan. Skor rendah menunjukkan permukaan jalan yang kasar, tidak rata, atau aus, sedangkan skor tinggi menunjukkan permukaan jalan yang halus dan terawat dengan baik
6.	Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah	Evaluasi terhadap kondisi tanda marka jalan dan petunjuk arah di pelabuhan, termasuk visibilitas, kelengkapan, dan keakuratannya. Skor rendah menunjukkan kondisi yang buruk atau kurang memadai, sedangkan skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik dan informatif.
7.	Keadaan Fasilitas Pendukung	Penilaian terhadap keadaan fasilitas pendukung seperti pagar, penerangan, rambu-rambu, dan fasilitas keamanan lainnya

No.	Parameter	Deskripsi
		di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan kondisi yang buruk atau kurang memadai, sedangkan skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik dan terawat.
8.	Kondisi Mesin dan Peralatan	Evaluasi keadaan dan kinerja mesin serta peralatan operasional di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan kondisi yang rusak atau tidak berfungsi, sedangkan skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik dan optimal.
9.	Efektivitas Sistem Drainase	Penilaian sejauh mana sistem drainase di pelabuhan mampu mengatasi air hujan dan menghindari genangan. Skor rendah menunjukkan sistem yang tidak efektif, sedangkan skor tinggi menunjukkan sistem yang sangat efektif.
10.	Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	Evaluasi keadaan dan kapasitas saluran drainase serta sistem pengendalian air di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan kondisi yang rusak atau tidak berfungsi, sedangkan skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik dan berfungsi.
11.	Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan	Penilaian terhadap kualitas dan kondisi bangunan administrasi, ruang karyawan, dan fasilitas pendukung lainnya di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan kondisi yang buruk, sementara skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik.
12.	Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung	Evaluasi keadaan kebersihan, perawatan, dan pemeliharaan bangunan pendukung. Skor rendah menunjukkan kurangnya perawatan, sedangkan skor tinggi menunjukkan perawatan yang baik.
13.	Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik	Penilaian terhadap ketersediaan dan keandalan pasokan listrik di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan pasokan listrik yang tidak stabil, sementara skor tinggi menunjukkan pasokan listrik yang sangat stabil.
14.	Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi	Evaluasi keadaan dan kinerja kabel listrik, peralatan listrik, dan instalasi listrik di pelabuhan. Skor rendah menunjukkan kondisi yang rusak atau tidak berfungsi, sedangkan skor tinggi menunjukkan kondisi yang baik dan optimal.
15.	Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan	Penilaian terhadap kualitas dan kondisi jalan akses yang menghubungkan pelabuhan

Infrastruktur pelabuhan adalah faktor kunci dalam kesuksesan operasi dan pengembangan pelabuhan (Phelan et al., 2022). Beberapa indikator penting dari kondisi infrastruktur adalah kondisi bangunan, fasilitas, dan jalan akses ke pelabuhan. Drainase dan saluran air di sekitar pelabuhan juga sangat penting dalam memastikan operasi yang lancar. Selain itu, beberapa faktor lain yang harus diperhatikan dalam penilaian pelabuhan adalah kapasitas dan fasilitas terminal penumpang, dan area kargo yang tersedia di pelabuhan. Rencana pengembangan infrastruktur, layanan. Penilaian pelabuhan harus memperhatikan semua Indikator ini untuk menentukan kelayakan dan kesuksesan operasi dan pengembangan pelabuhan. Variabel ini berfokus pada ketahanan pelabuhan terhadap bencana alam/cuaca ekstrem.

Tabel 2.10 Deskripsi Indikator Variabel Cuaca Ekstrem

No.	Indikator Variabel Cuaca Ekstrem	Parameter	Referensi
1.	Intensitas Hujan	a) Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	(Tripathy et al., 2021)(Wu et al., 2023)(Moses et al., 2023)
		b) Durasi Hujan Ekstrem	(Tamm et al., 2023)(Shi and Misra, 2020)
2.	Banjir	a) Ketinggian Air Akibat Banjir	(W. Zhang et al., 2017)(Kim et al., 2022)(X. Wang et al., 2022)
		b) Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	(Han et al., 2022)(Lucas et al., 2023)(Pan et al., 2023)

Tabel 2.11 Deskripsi Parameter Variabel Cuaca Ekstrem

No.	Parameter	Deskripsi
1.	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	Curah hujan yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Dapat diukur dalam milimeter (mm) atau liter per meter persegi (L/m ²). Parameternya bisa berupa rentang volume hujan tertentu, seperti <50 mm (rendah), 50-100 mm (sedang), >100 mm (tinggi).
2.	Durasi Hujan Ekstrem	Durasi dalam waktu tertentu saat curah hujan mencapai intensitas ekstrem. Misalnya, dalam satu jam, dua jam, atau lebih. Parameternya bisa

No.	Parameter	Deskripsi
		berupa waktu tertentu, seperti 1 jam (rendah), 2-4 jam (sedang), >4 jam (tinggi).
3.	Ketinggian Air Akibat Banjir	Ketinggian air yang terjadi akibat banjir di sekitar pelabuhan. Dapat diukur dalam sentimeter (cm) atau meter (m) dari permukaan tanah. Parameternya bisa berupa ketinggian tertentu, seperti <30 cm (rendah), 30-100 cm (sedang), >100 cm (tinggi).
4.	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	Jumlah frekuensi terjadinya banjir dalam periode waktu tertentu, seperti per tahun. Parameternya bisa berupa frekuensi tertentu, seperti <1 kali/tahun (rendah), 1-5 kali/tahun (sedang), >5 kali/tahun (tinggi).

Berikut adalah penguatan hubungan antar komponen framework berdasarkan literatur:

Tabel 2.12 Hubungan Antar Komponen Model pada Kerangka Kerja

No	Hubungan	Penjelasan	Referensi
1	Kualitas Infrastruktur → Risiko	Infrastruktur yang tidak terpelihara, seperti sistem drainase yang buruk atau struktur bangunan yang lemah, meningkatkan eksposur terhadap risiko cuaca ekstrem seperti banjir dan kerusakan akibat angin.	(Chen & Hossain, 2019) (Soens, 2023)
2	Risiko → Kerentanan	Risiko yang tinggi (probabilitas(Peluang) × dampak) memperbesar nilai kerentanan, terutama jika tidak diimbangi dengan kapasitas adaptif.	(Gu et al., 2020) (Pagani et al., 2019)
3	Kualitas Infrastruktur → Elemen kunci	Penilaian infrastruktur membantu mengidentifikasi komponen yang paling rentan dan strategis untuk ditingkatkan, seperti integritas struktural dan sistem energi.	(Alexandr, 2018) (Aktan et al., 1997, 2016)
4	Elemen kunci → Strategi	Elemen kunci yang diidentifikasi melalui ISM menjadi dasar dalam menyusun strategi adaptasi yang tepat sasaran dan efisien	(Jung et al., 2021) (Allard, 2021)

No	Hubungan	Penjelasan	Referensi
5	Strategi→Evaluasi Infrastruktur	Strategi adaptasi seperti peningkatan drainase atau penguatan struktur harus dievaluasi secara berkala untuk memastikan efektivitasnya terhadap perubahan risiko.	(Maghsoudi et al., 2015) (Hegger et al., 2018)

Hubungan antar indikator pada model dalam kerangka kerja penilaian ketahanan pelabuhan bersifat saling memengaruhi dan membentuk sistem yang kompleks di tunjukan pada Tabel 2.12. Kualitas infrastruktur pelabuhan, memiliki pengaruh langsung terhadap tingkat risiko yang dihadapi pelabuhan. Infrastruktur yang tidak memadai akan meningkatkan eksposur terhadap bencana alam, sehingga memperbesar potensi kerusakan fisik dan gangguan operasional. Selanjutnya, risiko yang tinggi akan memperbesar nilai kerentanan pelabuhan, terutama jika tidak diimbangi dengan kapasitas adaptif yang memadai. Dalam konteks ini, risiko bencana alam menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan dalam penilaian kerentanan. Hubungan ini sejalan dengan pendekatan konseptual dalam literatur kebencanaan, di mana kerentanan dipengaruhi oleh kombinasi antara eksposur, sensitivitas, dan kapasitas adaptif. Strategi adaptasi yang dirumuskan berdasarkan elemen kunci, perlu dievaluasi secara berkala. Evaluasi ini penting untuk memastikan bahwa strategi yang diterapkan tetap relevan dan efektif dalam menghadapi dinamika risiko yang terus berkembang akibat perubahan iklim dan tekanan lingkungan lainnya.

Dengan demikian, hubungan dalam kerangka kerja ini tidak hanya bersifat linier, tetapi juga membentuk siklus umpan balik yang harus dikelola secara adaptif dan berkelanjutan. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih strategis dan berbasis data dalam meningkatkan ketahanan pelabuhan terhadap bencana alam.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah upaya peneliti untuk mencari perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan keterbaruan pada penelitian untuk dilakukan selanjutnya disamping itu kajian terdahulu membantu penelitian dapat memposisikan penelitian. Pada bagian ini peneliti mencantumkan berbagai hasil

penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan, kemudian membuat ringkasannya, baik penelitian yang sudah terpublikasikan atau belum terpublikasikan. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang masih terkait dengan tema yang penulis kaji khususnya pada ketahanan infrastruktur.

1. *Resilience Assessment of Traffic Networks in Coastal Cities under Climate Change: A Case Study of One City with Unique Land Use Characteristics.* (Wei et al., 2022) Penelitian ini fokus pada penilaian ketahanan jaringan transportasi di kota Shanghai Negara China terhadap banjir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis risiko dan kerentanan dengan indikator homogenitas, efisiensi, dan stabilitas dan untuk menilai dampak kedalaman banjir. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah objek penelitian dan memasukkan semua jenis bencana alam yang dinilai berpotensi terjadi, serta dilakukan pembentukan model penilaian.
2. *Resilience Indicator of Urban Transport Infrastructure: A Review on Current Approaches* (Yang et al., 2022). Hasil penelitian ini menyusun studi literatur yang menunjukkan bahwa ada beberapa hambatan untuk mengidentifikasi indikator mengikuti metode pencarian umum melalui kata kunci terkait korelasi dengan manajemen bencana perkotaan dalam hal ketahanannya ketika kota menghadapi krisis atau bencana. Penelitian ini berbeda karena menggunakan kriteria terstruktur sebagai dasar penilaian, dan dilaksanakan secara empiris pada objek infrastruktur transportasi melalui pendekatan metodologi yang komprehensif, bukan hanya berbasis kajian literatur.
3. *A Systematic Literature Review on Urban Resilience Enabled with Asset and Disaster Risk Management Approaches and GIS-Based Decision Support Tools* (Rezvani et al., 2023). Hasil penelitian ini sesuai dengan tiga kategori: tinjauan literatur, model konseptual, dan model analitis. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa bidang utama diskusi dalam publikasi ketahanan Perkotaan meliputi perubahan iklim, penilaian dan manajemen risiko bencana, Sistem Informasi Geografis (SIG), infrastruktur perkotaan dan transportasi, pengambilan keputusan dan manajemen bencana, masyarakat dan ketahanan bencana, dan infrastruktur hijau dan pembangunan berkelanjutan. Perbedaan terhadap penelitian yang akan dilakukan adalah

perbedaan dalam menilai resiliensi dari mulai objek penelitian yang hanya berfokus infrastruktur transportasi dan model penilaian yang terintegrasi dengan 3 metode untuk penilaian resiliensi.

4. *Coastal infrastructure vulnerability: an integrated assessment model* (Kantamaneni, 2016). Penelitian ini merupakan tinjauan literatur tentang kerentanan pesisir mengungkapkan bahwa fokusnya adalah pada parameter geomorfologi dan fisik tetapi bukan infrastruktur dan faktor fiskal terkait. Untuk mengatasi kesenjangan pengetahuan tersebut dikembangkan model inovatif yaitu Indeks Kerentanan Infrastruktur Pesisir. Pada rencana penelitian yang akan dilakukan adalah membuat mengembangkan dan mengintegrasikan 3 metode *Infrastructure Rating Tool*, *Hazard and Vulnerability Assessment Tool* dan *Interpretive Structural Modelling* untuk menghasilkan *Rating Adaptive Index* (RAI) dimana akan diketahui kondisi eksisting infrastruktur transportasi yang memiliki nilai adaptif untuk menghadapi bencana.
5. *Evaluation of Climate Change Resilience of Urban Road Network Strategies* (Begum et al., 2022). Penelitian ini memiliki studi kasus di Kota West Midlands yang bertujuan untuk mengevaluasi strategi manajemen jaringan jalan raya regionalnya, untuk menentukan sejauh mana mereka mempromosikan ketahanan terhadap perubahan iklim. Rekomendasi dan temuan dari literatur lain digunakan untuk menetapkan seperangkat kriteria evaluasi untuk membandingkan kematangan strategi manajemen jaringan jalan raya untuk wilayah Kota West Midlands. Sedangkan penelitian dengan studi kasus Kota Tarakan menggunakan tiga metode evaluasi yaitu *Infrastructure Rating tool*, *Hazard and Vulnerability Assessment tool*, dan *Interpretive Structural Modelling* untuk menilai ketahanan infrastruktur transportasi dalam menghadapi ancaman bencana alam, perubahan iklim, dan keterbatasan sumber daya lokal. Selain itu, penelitian di Kota West Midlands menggunakan literatur lain untuk menetapkan kriteria evaluasi, sedangkan penelitian di Kota Tarakan menggunakan pendekatan original. Oleh karena itu, kedua penelitian dapat saling melengkapi dan memberikan pandangan yang lebih lengkap mengenai penilaian ketahanan infrastruktur transportasi.

Dari kelima penelitian yang telah disebutkan, semuanya memiliki fokus yang berbeda dalam menilai ketahanan infrastruktur transportasi terhadap bencana. Penelitian pertama dan kelima masing-masing memiliki studi kasus di kota yang berbeda namun sama-sama berfokus pada penilaian ketahanan infrastruktur transportasi di kota terkait dengan perubahan iklim. Penelitian kedua dan keempat juga memiliki fokus pada infrastruktur transportasi, tetapi berbeda dalam metode penilaiannya. Penelitian ketiga melihat ketahanan infrastruktur transportasi sebagai bagian dari tinjauan umum mengenai ketahanan perkotaan. Dalam penelitian ini, kemungkinan penilaiannya lebih holistik dan melihat infrastruktur transportasi sebagai bagian dari sistem yang lebih besar dalam perkotaan. Hal ini memungkinkan penelitian ini untuk menilai dampak dari ketahanan infrastruktur transportasi pada aspek lain dari ketahanan perkotaan secara menyeluruh.

2.11 Posisi Penelitian

Berdasarkan dari penelitian terdahulu di atas, terdapat lima penelitian yang difokuskan pada ketahanan infrastruktur transportasi terhadap bencana, dengan masing-masing memiliki pendekatan dan fokus yang berbeda. Penelitian yang akan dilakukan berfokus pada pengembangan model penilaian risiko bencana alam pada infrastruktur transportasi di wilayah perkotaan. Penelitian ini dapat ditempatkan pada kelompok penelitian pertama dan kelima yang memiliki fokus pada penilaian ketahanan infrastruktur transportasi terhadap perubahan iklim. Namun, penelitian yang akan dilakukan memiliki cakupan yang lebih spesifik karena menitikberatkan pada pengembangan model penilaian risiko bencana alam. Hal ini berbeda dengan penelitian pertama dan kelima yang hanya fokus pada perubahan iklim. Selain itu, penelitian berbeda dari penelitian kedua dan keempat yang lebih fokus pada metode penilaian ketahanan infrastruktur transportasi. Penelitian ini menekankan pada pengembangan model penilaian risiko bencana alam yang berbeda dari metode penilaian ketahanan infrastruktur transportasi yang umum digunakan dalam penelitian kedua dan keempat. Dalam hal ini, penelitian lebih terfokus pada penilaian risiko bencana alam pada infrastruktur transportasi di wilayah perkotaan, yang berkaitan dengan ketahanan infrastruktur transportasi terhadap bencana alam.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Konsep Model

Konsep model ini adalah perspektif yang menyeluruh tentang upaya untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan dalam menghadapi serangkaian tantangan yang beragam. Dengan melakukan penilaian komprehensif terhadap kualitas infrastruktur, mengidentifikasi potensi gangguan, melakukan analisis mendalam terhadap dampak yang mungkin terjadi, dan merancang strategi adaptasi yang cermat, model ini bertujuan untuk memastikan bahwa infrastruktur pelabuhan selalu dapat mencapai tingkat kinerja tertinggi dan menjalankan fungsinya dengan optimal, bahkan ketika dihadapkan pada situasi yang paling sulit sekalipun. Pembandingan dengan kondisi ideal digunakan sebagai tolok ukur, memungkinkan perencanaan langkah-langkah mitigasi dengan lebih tepat sasaran, yang pada gilirannya mengurangi potensi ketidakseimbangan yang dapat mengakibatkan dampak merugikan. Proses evaluasi yang berkelanjutan dan pemantauan kontinu terhadap kondisi infrastruktur pelabuhan menjadi landasan yang krusial untuk menjaga kualitas dan ketahanannya seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, konsep model ini menjadi suatu alat yang sangat berharga bagi semua pihak yang memiliki tanggung jawab dalam menjaga, mengelola, dan terus meningkatkan infrastruktur pelabuhan, memungkinkan pengambilan tindakan yang tepat dan berdaya guna. Infrastruktur pelabuhan memainkan peran kunci dalam mendukung perekonomian suatu wilayah. Namun, dalam kondisi ketidakpastian cuaca ekstrem, perubahan iklim, dan berbagai risiko, penting untuk memastikan bahwa infrastruktur pelabuhan tetap berkualitas dan tahan terhadap gangguan. Konsep model holistik yang dirancang untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan. Model ini melibatkan serangkaian tahapan penting, mulai dari penilaian awal hingga perencanaan adaptasi untuk menghadapi gangguan potensial. Konsep model ini memiliki tujuan utama untuk memastikan bahwa infrastruktur pelabuhan tetap berkinerja tinggi dan berfungsi baik, bahkan dalam menghadapi situasi yang sulit.

Model ketahanan infrastruktur pelabuhan dalam penelitian ini fokus pada risiko bencana alam karena menjadi ancaman utama yang berdampak signifikan pada operasi pelabuhan di Indonesia yang rawan gempa, tsunami, dan banjir. Risiko ini langsung memengaruhi kondisi fisik dan kelancaran aktivitas pelabuhan, sehingga penting untuk dipahami dan dimitigasi. Risiko bisnis bersifat kompleks dan lebih cocok dianalisis secara terpisah dalam studi manajemen risiko bisnis, karena fokus penelitian ini adalah ketahanan infrastruktur fisik dan teknis. Sedangkan risiko kegagalan konstruksi umumnya sudah diantisipasi lewat standar desain, inspeksi, dan perawatan rutin, sehingga dianggap terkendali dan bukan fokus utama model ketahanan ini. Sehingga membatasi ruang lingkup pada risiko bencana alam memungkinkan analisis yang lebih tajam dan aplikatif untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap gangguan fisik yang langsung mengancam operasional.

Berikut adalah beberapa konsep yang menjadi dasar untuk model penilaian ketahanan Pelabuhan:

3.1.1 Kondisi infrastruktur pelabuhan

Kondisi infrastruktur pelabuhan: penilaian kualitas infrastruktur pelabuhan yang ada saat ini (eksisting), penilaian ini menggunakan tujuh (7) indikator untuk mengukur sesuai dengan parameter masing-masing. Indikator tersebut seperti :

1. Integritas struktural.
2. Kondisi permukaan dan fasilitas jalan.
3. Ketersediaan dan kondisi peralatan.
4. Sistem drainase dan pengendalian air.
5. Kondisi bangunan pendukung.
6. Kondisi sistem energi dan listrik.
7. Kondisi jalan dan akses.

Dari indikator yang tersusun ini akan menjadi perangkat penilaian untuk infrastruktur pelabuhan. Sebagai dasar pengambilan keputusan tidak memerlukan pembobotan kuantitatif berdasarkan:

1. Variabel paling langsung dari performa dan risiko.
2. Menjadi prasyarat bagi berfungsinya kriteria lain.
3. Diakui secara luas dalam praktik teknis dan kebijakan infrastruktur.

1. Landasan dasar model kondisi infrastruktur pelabuhan

Model kondisi infrastruktur pelabuhan adalah instrumen sistematis yang dirancang untuk menilai kondisi dan performa infrastruktur secara menyeluruh dan objektif. Dengan menggunakan indikator yang telah relevan dan divalidasi oleh para pakar, model ini dapat memberikan gambaran aktual tentang kualitas, keandalan, dan kesiapan infrastruktur yang menjadi fokus penilaian.

2. Definisi dan pengukuran indikator

Definisi indikator bertujuan memberikan pemahaman yang jelas dan operasional tentang setiap aspek kondisi infrastruktur yang akan dinilai. Definisi ini harus mengubah konsep abstrak menjadi elemen yang dapat diukur secara konkrit, sehingga memudahkan evaluator dalam melakukan penilaian secara konsisten dan objektif.

Setiap indikator besar dipecah menjadi item-item spesifik yang bisa diamati atau diukur secara langsung. Misalnya, untuk indikator "Integritas Struktural", item pengukuran bisa berupa:

- a. Kekakuan struktur bangunan
- b. Stabilitas bangunan terhadap beban
- c. Keandalan struktur menghadapi tekanan eksternal

Item pengukuran harus dirumuskan dalam bentuk pernyataan atau pertanyaan yang mudah dipahami dan memiliki arti yang spesifik. Contoh: "Struktur bangunan pelabuhan menunjukkan kekakuan yang sesuai standar teknis." Agar hasil penilaian kuantitatif dan terstandar, setiap item dinilai menggunakan skala penilaian, contohnya: Skala *likert* (1-5), di mana 1 = sangat buruk dan 5 = sangat baik. Untuk mengurangi bias penilai, model harus menyediakan petunjuk rinci mengenai bagaimana setiap skor harus diberikan. Misalnya, apa yang dimaksud dengan skor 3 pada kondisi kekakuan, atau kerusakan seperti apa yang dianggap skor 1.

3. Pengukuran yang jelas dan terstandar

- a. Konsistensi penilaian: penilai yang berbeda dapat memberikan skor yang seragam untuk kondisi yang sama
- b. Pengumpulan data terukur: data kuantitatif memudahkan analisa, perbandingan, dan pembuatan laporan

- c. Basis untuk skoring dan pemeringkatan: memudahkan pemberian bobot dan agregasi nilai keseluruhan dalam model rating
4. Pengembangan skala dan bobot penilaian
- Model perlu dilengkapi dengan sistem pemberian bobot untuk memberikan penilaian yang proporsional terhadap kontribusi masing-masing indikator terhadap kondisi infrastruktur secara umum.
- a. Bobot diberikan berdasarkan tingkat pentingnya indikator terhadap keamanan, kelancaran operasional, dan pemeliharaan jangka panjang
 - b. Misalnya, integritas struktural atau sistem energi dan listrik bisa diberi bobot lebih tinggi karena berpengaruh langsung pada keselamatan dan fungsi utama pelabuhan
 - c. Skor indikator yang sudah dipilih dan diukur akan dikalkulasi untuk menghasilkan skor keseluruhan kondisi infrastruktur

5. Validasi dan uji konsistensi model

Untuk menjamin keandalan model, perlu dilakukan serangkaian uji validasi lanjutan:

- a. Validitas isi untuk memastikan setiap item pengukuran memang mencerminkan indikator yang dimaksud
- b. Reliabilitas untuk menguji konsistensi hasil penilaian antar evaluator dan antar waktu

Dengan proses ini, model tidak hanya valid dari sisi konten, tetapi juga bisa diandalkan dalam konteks implementasi nyata.

6. Implementasi model

Model penilaian kondisi infrastruktur pelabuhan yang sudah dipersiapkan dapat digunakan baik dalam pengawasan rutin kondisi pelabuhan maupun sebagai dasar pengambilan keputusan untuk perbaikan atau penyesuaian anggaran pemeliharaan. Penilaian kondisi dapat dilakukan secara periodik menggunakan instrumen ini. Hasil penilaian memberikan gambaran yang jelas tentang prioritas perbaikan dan pengalokasian sumber daya secara efisien. Model ini juga menjadi alat komunikasi yang efektif antara pengelola, pemangku kepentingan, dan tim teknis terkait status infrastruktur pelabuhan.

3.1.2 Risiko multidimensi

Pembentukan model risiko multidimensi infrastruktur pelabuhan diawali dari kebutuhan untuk menilai risiko secara lebih komprehensif, khususnya dalam menghadapi bencana hidrometeorologis seperti hujan ekstrem, banjir rob, dan curah hujan tinggi. Dalam konteks pelabuhan, risiko tidak hanya berdampak pada kerusakan fisik, tetapi juga pada keselamatan manusia, gangguan operasional, dan kapasitas kelembagaan. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan dalam model ini menggabungkan dua komponen utama: probabilitas terjadinya suatu kejadian dan dampak yang ditimbulkannya terhadap sistem pelabuhan.



Gambar 3.1 Model kondisi infrastruktur pelabuhan

Langkah pertama dalam pembentukan model adalah mengidentifikasi struktur dasar risiko, yaitu bahwa risiko merupakan hasil dari interaksi antara probabilitas dan dampak. Namun, untuk memperoleh gambaran yang lebih utuh, dampak tidak dipandang sebagai satu nilai tunggal, melainkan diuraikan ke dalam enam dimensi utama: (1) dampak terhadap manusia, (2) dampak terhadap properti

atau infrastruktur fisik, (3) dampak terhadap bisnis dan operasional pelabuhan, (4) tingkat kesiapan sistem dalam menghadapi kejadian, (5) kapasitas tanggapan internal organisasi pelabuhan, dan (6) efektivitas tanggapan eksternal melalui koordinasi dengan pemangku kepentingan luar. Keenam dimensi ini dipilih karena mencerminkan aspek teknis, sosial, dan kelembagaan yang saling terkait dalam sistem pelabuhan.

Pendekatan sistemik dalam manajemen risiko infrastruktur pelabuhan, di mana risiko tidak hanya dipandang sebagai ancaman, tetapi juga sebagai titik awal untuk menciptakan peluang perbaikan dan inovasi. Risiko dianalisis melalui enam dimensi utama, yang masing-masing berkontribusi terhadap nilai risiko total dan sekaligus membuka ruang untuk intervensi strategis.

1. Komponen model

a. Risiko (*Risk*)

Risiko mencerminkan kemungkinan terjadinya peristiwa bencana dan dampak negatifnya terhadap manusia, properti, dan kelangsungan bisnis.

b. Dampak risiko

Dampak dari risiko dapat dikategorikan menjadi:

- (a.) Dampak manusia: mencakup cedera, kematian, dan gangguan kesehatan
- (b.) Dampak properti: kerusakan aset fisik dan infrastruktur
- (c.) Dampak bisnis: gangguan dalam operasional dan layanan

c. Kesiapan (*Preparedness*)

Aspek ini mengukur tingkat perencanaan dan persiapan organisasi atau komunitas dalam menghadapi potensi bencana.

d. Tanggapan (*Response*)

- (a.) Respons internal: kapasitas dan kecepatan organisasi/entitas dalam merespons bencana
- (b.) Respons eksternal: dukungan dari komunitas, pemerintah, dan lembaga lainnya

e. Peluang (*Opportunities*)

Penilaian risiko yang menyeluruh dapat memberikan peluang perbaikan seperti peningkatan kapabilitas mitigasi dan adaptasi.

2. Definisi indikator

Setiap variabel dalam model didefinisikan sebagai berikut:

- a. Peluang (*Probability*): kemungkinan atau frekuensi terjadinya peristiwa berbahaya berdasarkan data historis dan proyeksi.
- b. Keparahan (*Severity*): tingkat dampak negatif dari peristiwa yang terjadi, yang diukur dari beberapa aspek:
 - (a.) Dampak terhadap manusia
 - (b.) Dampak terhadap properti
 - (c.) Dampak terhadap bisnis
 - (d.) Tingkat kesiapan
 - (e.) Efektivitas dan waktu tanggapan internal dan eksternal

3. Pengukuran

Setiap indikator diberi skor kuantitatif yang mencerminkan tingkat risiko atau kesiapan. Skor tersebut dapat diperoleh melalui survei pakar, data statistik, observasi lapangan, atau kombinasi ketiganya. Langkah menyusun instrumen penilaian setiap kejadian dinilai pada skala 0–3 untuk setiap dimensi. Ini sangat cocok untuk:

- a. Analisis kuantitatif risiko.
- b. Pemetaan risiko (*Risk Matrix*).
- c. Penyusunan indeks risiko multidimensi.

4. Perhitungan risiko

Model ini menggunakan formula sederhana untuk mengkuantifikasi risiko sebagai berikut:

$$\text{Risk Score} = \text{Probability} \times \text{Severity}$$

Dimana:

- a. *Probability* : probabilitas terjadinya peristiwa bencana.
- b. *Severity* : keparahan dampak setelah dikurangi mitigasi, dihitung dari rata-rata skor variabel dampak dan kesiapan.

5. Implementasi model

Model ini tidak hanya memberikan hasil kuantitatif yang memudahkan pemahaman risiko, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan strategis dalam mitigasi dan peningkatan kapasitas adaptasi. Organisasi dapat menggunakan hasil model untuk mengidentifikasi area yang paling rentan dan membutuhkan intervensi seperti peningkatan infrastruktur, peningkatan kesiapan SDM, atau peningkatan sistem tanggapan. Selain mitigasi, model ini juga membuka peluang untuk inovasi mitigasi dan penguatan kapasitas yang dapat mengurangi dampak signifikan dari bencana di masa depan.



Gambar 3.2 Model risiko multidimensi

3.1.3 Evaluasi infrastruktur pelabuhan

Evaluasi infrastruktur pelabuhan: poin terakhir dalam konsep model ini adalah melakukan evaluasi ulang terhadap infrastruktur pelabuhan, terutama setelah menerapkan langkah-langkah perbaikan dan adaptasi. Ini membantu memastikan bahwa langkah-langkah yang diambil telah meningkatkan ketahanan dan kinerja infrastruktur.

1. Konsep dan komponen model
 - a. Komponen utama model

Model penilaian ini terdiri dari beberapa modul utama yang saling berkaitan:

- (a.) Kondisi infrastruktur pelabuhan: meliputi integritas struktural, kondisi jalan dan akses, kondisi permukaan dan fasilitas jalan, ketersediaan serta kondisi peralatan, sistem drainase dan pengendalian air, kondisi bangunan pendukung, dan kondisi sistem energi dan listrik
- (b.) Strategi mitigasi dan adaptasi: meliputi evaluasi menyeluruh terhadap infrastruktur dan rencana mitigasi serta adaptasi terhadap risiko yang diidentifikasi

b. Pendekatan ISM dalam model

ISM digunakan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dan hierarki antara indikator kondisi. Proses ini meliputi:

- (a.) Identifikasi variabel: menentukan indikator penting yang relevan dalam kondisi pelabuhan
- (b.) Penentuan relasi antar variabel: menggunakan analisis kualitatif atau *expert judgment* untuk merumuskan hubungan antara variabel (misalnya, apakah satu indikator mempengaruhi atau tergantung pada indikator lain)
- (c.) Pengembangan *matriks adjacency*: menyusun matriks yang merefleksikan interaksi langsung antar variabel
- (d.) Pembentukan model hierarkis: mengolah matriks untuk mendapatkan level hierarkis variabel yang menunjukkan struktur penyebab dan akibat
- (e.) Analisis model: menentukan variabel mana yang paling dominan sebagai faktor penyebab, serta variabel yang lebih tergantung. Pendekatan ini penting untuk mengoptimalkan model penilaian agar lebih reflektif terhadap realitas kompleks kondisi pelabuhan

2. Metodologi penerapan model ISM

a. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei, wawancara, dan observasi langsung dengan melibatkan para ahli, manajer pelabuhan, teknisi, dan

pemangku lainnya. Data yang dikumpulkan mencakup:

- (a.) Status fisik infrastruktur dan fasilitas pelabuhan
- (b.) Data historis
- (c.) Kapasitas kesiapan internal dan eksternal dalam respon bencana

b. Analisis relasi antar indikator

Para ahli melakukan evaluasi dan penilaian hubungan antar indikator kondisi yang menghasilkan matriks hubungan (*adjacency matrix*). Setelah indikator ditetapkan, hubungan kontekstual antar elemen dianalisis menggunakan *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM). Di tahap ini, para pakar menilai apakah satu elemen memengaruhi elemen lain (simbol V), dipengaruhi (A), saling memengaruhi (X), atau tidak memiliki hubungan (O). Penilaian ini dilakukan berdasarkan pengalaman empiris dan pengetahuan teknis tentang dinamika operasional pelabuhan. Sebagai contoh, integritas struktural dinilai memiliki pengaruh terhadap sistem drainase, mengingat kerusakan struktur dapat menyebabkan kegagalan penyaluran air. Sebaliknya, kondisi jalan dan akses umumnya dipengaruhi oleh elemen-elemen lain seperti peralatan dan sistem energi yang mendukung operasionalnya.

c. Pengolahan matriks dan perancangan model

Menggunakan perangkat lunak atau secara manual, matriks *adjacency* diolah untuk mendapatkan model hierarkis yang memperlihatkan struktur penyebab utama. Model ini membantu dalam memahami peran masing-masing variabel dan dampak sistemik keseluruhan. Matriks SSIM kemudian dikonversi menjadi *Reachability Matrix* dalam bentuk biner (0 dan 1). Proses ini melibatkan penerapan prinsip transitivitas, yaitu jika A memengaruhi B dan B memengaruhi C, maka A juga memengaruhi C. Dari sini, dilakukan pemetaan level hierarki antar elemen. Untuk memperkuat struktur model, dilakukan analisis *Mic-Mac* (*Matrice d'Impacts Croisés-Multiplication Appliquée à un Classement*). Elemen-elemen kemudian diklasifikasikan ke dalam empat kuadran:

- (a.) *Independent*: penggerak sistem dengan pengaruh tinggi dan ketergantungan rendah (misalnya integritas struktural)
- (b.) *Linkage*: elemen yang memiliki pengaruh dan ketergantungan tinggi, sangat sensitif dan perlu dikendalikan stabil
- (c.) *Dependent*: elemen yang bergantung pada elemen lain, misalnya sistem akses atau peralatan
- (d.) *Autonomous*: elemen dengan pengaruh dan ketergantungan rendah, tidak kritis terhadap dinamika sistem

Klasifikasi ini membantu fokus pada indikator yang paling menentukan keberhasilan strategi peningkatan ketahanan pelabuhan.

3. Implementasi model

Model hasil ISM digunakan untuk:

- a. Memprioritaskan intervensi berdasarkan variabel yang memiliki pengaruh utama pada infrastruktur pelabuhan.
- b. Merancang strategi adaptasi yang lebih efektif dengan target mitigasi pada variabel penyebab utama.
- c. Meningkatkan koordinasi antara aspek infrastruktur, manajemen risiko, dan kesiapan respons.
- d. Mengoptimalkan penggunaan sumber daya melalui pemetaan risiko yang terstruktur.

Pemanfaatan *interpretive structural modeling* sebagai pendekatan dalam membangun model evaluasi infrastruktur pelabuhan memberikan kerangka kerja yang sistematis dan terstruktur dalam memahami kompleksitas interaksi antar indikator. Model ini mendukung manajemen pelabuhan dalam mengambil keputusan yang berbasis bukti dan prioritas yang jelas untuk meningkatkan ketahanan dan kesiapan pelabuhan dalam menghadapi berbagai risiko. Dengan pendekatan ini, strategi adaptasi terhadap bencana tidak lagi bersifat reaktif, tetapi menjadi bagian dari sistem perencanaan ketahanan pelabuhan yang menyeluruh, terintegrasi dengan pengelolaan risiko operasional, penguatan kapasitas kelembagaan, serta dukungan teknologi informasi yang berkelanjutan.



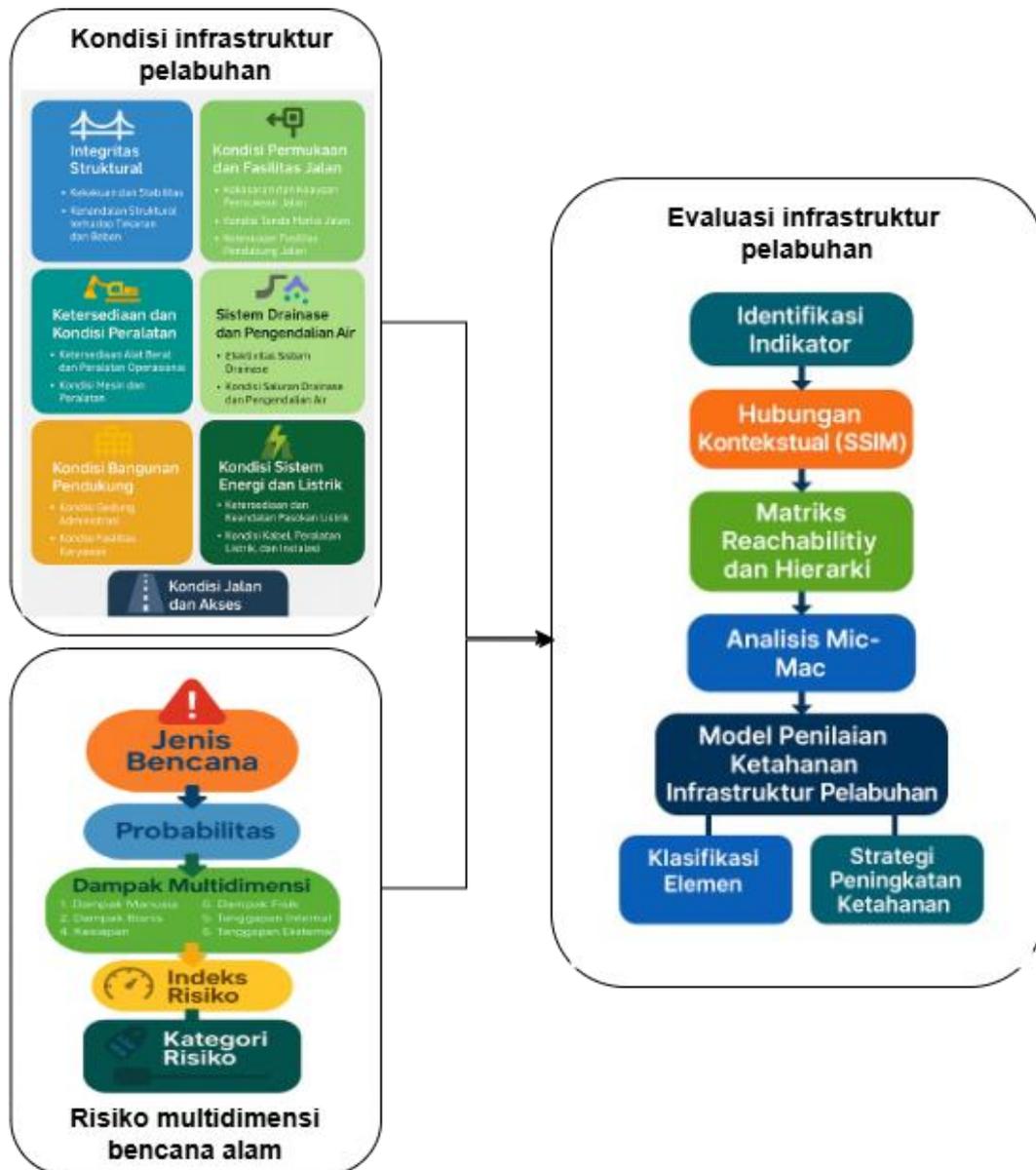
Gambar 3.3 Model evaluasi infrastruktur pelabuhan

Mitigasi dan adaptasi terhadap kejadian: poin ini adalah langkah proaktif yang merancang strategi Mitigasi dan adaptasi untuk menghindari potensi ketidakseimbangan yang dapat merusak. Ini mencakup penyerapan berbagai metode dan teknologi untuk mengatasi gangguan dan memastikan bahwa pelabuhan dapat tetap berfungsi bahkan dalam situasi yang sulit.

Melalui penggunaan konsep-konsep tersebut, model penilaian ketahanan infrastruktur pelabuhan dapat memberikan panduan yang berguna bagi para pengambil keputusan dalam perencanaan, pengembangan, dan pengelolaan infrastruktur transportasi khususnya pelabuhan yang lebih tangguh dan adaptif terhadap perubahan yang terjadi di lingkungan sekitarnya.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif merupakan penelitian terhadap populasi tertentu dengan tujuan untuk melaksanakan aspek-aspek yang relevan dengan populasi yang diminati dan tidak dimaksudkan untuk memecahkan masalah dengan pengujian, melainkan untuk memperoleh gambaran umum yang sistematis dan terukur mengenai fenomena yang diamati.



Gambar 3.4 Konsep model ketahanan infrastruktur pelabuhan

3.3 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan sesuai dengan rencana yang disusun berdasarkan kebutuhan dan tujuan penelitian. Proses pengambilan data dilakukan sesuai jadwal yang telah ditetapkan, kemudian dilanjutkan dengan tahap analisis. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada karakteristik objek penelitian, yaitu pelabuhan laut dalam.

3.4 Data, Populasi dan Sampel Penelitian

1. Data

Data adalah kumpulan simbol yang dikuantifikasi dan/atau berkualitas (Zins, 2007). Pada penelitian ini data yang digunakan menggunakan variabel kondisi infrastruktur dengan 7 Indikator serta variabel cuaca ekstrim dengan 2 indikator dimana informasi didapat dari sintesa artikel jurnal, prosiding, buku teks dan laporan yang relevan, berkonsultasi dengan pakar teknis dan akademis serta menetapkan nilai menggunakan kriteria tersebut (Camp, 2017). Adapun pada variabel kondisi, indikator tersebut :

- a. Integritas struktural
- b. Kondisi permukaan dan fasilitas jalan
- c. Ketersediaan dan kondisi peralatan
- d. Sistem drainase dan pengendalian air
- e. Kondisi bangunan pendukung
- f. Kondisi sistem energi dan listrik
- g. Kondisi jalan dan akses

Pada variabel bencana alam terdapat 8 indikator, yaitu:

- a. Gempa bumi
- b. Banjir
- c. Tsunami
- d. Letusan gunung api
- e. Tanah longsor
- f. Kekeringan
- g. Angin puting beliung
- h. Hujan ekstrem

Variabel yang disebutkan di atas mencakup atas kebutuhan faktor sosial-ekonomi, politik, dan lingkungan (Schmucker, 2016). Kelebihan variabel tersebut dapat digunakan pada setiap infrastruktur yang lain untuk diketahui nilai ratingnya. Di Amerika sendiri menjadi yang paling kompetitif di dunia, memerlukan sistem infrastruktur kelas satu. Sistem transportasi yang memindahkan orang dan barang secara efisien dan dengan biaya yang masuk akal melalui darat, air, dan udara; sistem transmisi daya yang menghasilkan daya yang andal dan berbiaya rendah dari jangkauan yang berkelanjutan (The American Society of Civil Engineers, 2017).

2. Populasi/Obyek Penelitian

Objek penelitian ini adalah entitas dalam konteks penelitian merujuk pada individu, objek, atau unit sebagai subjek dari penelitian pada wilayah generalisasi yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2013). Populasi dalam penelitian ini adalah pelabuhan dengan klasifikasi laut dalam yang memiliki infrastruktur lengkap dan kompleks dengan lingkup lokal, nasional dan internasional.

3. Responden

Pengertian responden adalah orang yang dapat memberikan informasi tentang topik penelitian yang sedang diinvestigasi. Responden dapat memberikan pandangan dan perspektif yang berbeda, serta dapat membantu peneliti dalam memahami konteks yang berkaitan dengan topik penelitian. Responden bisa berasal dari berbagai latar belakang seperti ahli, profesional, atau individu yang berpengalaman dalam topik yang sedang diteliti (Creswell, 2009). Responden untuk penelitian ini yang berasal dari instansi pemerintah baik pusat maupun daerah yang diwakili oleh dinas terkait, badan usaha dan kontraktor, akademisi serta peneliti terkait masing-masing 5 orang responden.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh sampel dari populasi yang dimaksud, agar diperoleh data yang baik maka dipilih dengan menggunakan metode:

3.5.1 Kuesioner

Kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara memberi seperangkat pertanyaan atau pernyataan tertulis kepada responden untuk dijawabnya (Sugiyono,2009). Pada kuesioner ini nantinya terdapat rancangan pertanyaan yang secara logis berhubungan dengan masalah penelitian dan tiap pertanyaan merupakan jawaban-jawaban yang mempunyai makna dalam menguji hipotesis.berikut adalah contoh kuesioner pada setiap bagian berdasarkan penggunaan alat (*Tools*). Pengumpulan data merupakan tahapan yang krusial untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam menjawab pertanyaan penelitian. Dalam konteks penelitian, kuesioner berfungsi sebagai instrumen untuk

mengumpulkan informasi dan persepsi responden mengenai variabel atau topik yang diteliti. Dengan merancang pertanyaan yang relevan dan terkait dengan masalah penelitian.

a) *Infrastructure Rating Tools*:

Tabel 3.1 Contoh Kuesioner *Infrastructure Rating Tools*

	Tidak memadai	Buruk	Cukup	Baik	Sangat Baik
Indikator Variabel Kondisi					
Integritas struktural					
Kondisi permukaan dan fasilitas jalan					
Ketersediaan dan kondisi peralatan					
Sistem drainase dan pengendalian air					
Kondisi bangunan pendukung					
Kondisi sistem energi dan listrik					
Kondisi jalan dan akses					

b) *Hazard and Vulnerability Index:*

Tabel 3.2 Contoh Kuesioner *Hazard and Vulnerability Index*

KEJADIAN	PELUANG	KONDISI SULIT = (UKURAN KEKUATAN - MITIGASI)					
		DAMPAK MANUSIA	DAMPAK PROPERTI	DAMPAK BISNIS	KESIAPAN	TANGGAPAN DARI DALAM	TANGGAPAN DARI LUAR
	Kemungkinan Kejadian	Kemungkinan meninggal atau cedera	Kerugian dan kerusakan fisik	Gangguan layanan	Pra perencanaan	Waktu, efektivitas, sumber daya	Masyarakat/ Staff saling bantu dan persediaan
SKOR	0 = N/A 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = N/A 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = N/A 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = N/A 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = N/A 1 = Tinggi 2 = Sedang 3 = Rendah atau tidak ada	0 = N/A 1 = Tinggi 2 = Sedang 3 = Rendah atau tidak ada	0 = N/A 1 = Tinggi 2 = Sedang 3 = Rendah atau tidak ada
Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)							
Durasi Hujan Ekstrim							
Ketinggian Air Akibat Banjir							
Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)							

c) *Interpretive Structural Modelling.*

Tabel 3.3 Contoh Kuesioner *Interpretive Structural Modelling*

Elemen	Integritas Struktural	Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Sistem Drainase dan Pengendalian Air	Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Kondisi Jalan dan Akses
Integritas Struktural							
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan							
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan							
Sistem Drainase dan Pengendalian Air							
Kondisi Bangunan Pendukung							
Kondisi Sistem Energi dan Listrik							
Kondisi Jalan dan Akses							

3.5.2 Wawancara

Wawancara adalah suatu teknik pengambilan data menggunakan format pertanyaan yang terencana dan diajukan secara lisan kepada responden dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan (Sugiyono, 2013). Wawancara untuk mendapatkan validasi (*validation interview*) adalah sebuah teknik yang digunakan dalam penelitian, terutama dalam penelitian kualitatif, untuk mengkonfirmasi atau memverifikasi data atau temuan yang telah dikumpulkan atau ditemukan dalam tahap sebelumnya. Validasi adalah proses memastikan bahwa data atau temuan penelitian adalah akurat, dapat diandalkan, dan benar (Azwar, 1986). Wawancara untuk validasi dan konfirmasi adalah dua istilah yang digunakan secara bersamaan dalam banyak konteks penelitian. Tujuan utama keduanya adalah untuk memverifikasi dan memastikan akurasi, kebenaran, atau kualitas data atau temuan yang telah dikumpulkan dalam penelitian sebelumnya (Bakkensen et al., 2017).

3.5.3 Teknik sampling

Pemilihan teknik sampling yang tepat sangat penting dalam penelitian karena dapat mempengaruhi penelitian, dalam penelitian ini dilakukan dengan teknik *non-probability sampling* adalah teknik pemilihan sampel tanpa memperhitungkan probabilitas pemilihan sampel tersebut (Sugiyono, 2013). Serta secara mendetail menggunakan teknik non-probability sampling yang digunakan adalah *purposive sampling* yaitu pemilihan sampel yang dipilih dengan tujuan tertentu berdasarkan karakteristik tertentu yang diinginkan. Teknik *purposive sampling* digunakan ketika peneliti memiliki tujuan yang jelas dalam memilih sampel yang mencerminkan karakteristik atau ciri tertentu. peneliti ingin fokus pada kelompok atau kasus yang memiliki karakteristik penting yang relevan dengan topik penelitian. Penelitian yang memerlukan pemahaman mendalam tentang karakteristik tertentu dalam sampel. Ini dapat membantu dalam mendapatkan informasi.

3.5.4 Studi pustaka

Mempelajari literatur-literatur yang terdahulu mengenai penelitian sejenis dan menjadikannya sebagai sumber rujukan atau pustaka. Tujuan dari studi pustaka adalah untuk mengetahui status pengetahuan yang sudah ada tentang topik penelitian, mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan, dan mengintegrasikan

penemuan-penemuan sebelumnya ke dalam kerangka kerja penelitian yang sedang dilakukan. Studi pustaka membantu peneliti memahami latar belakang topik penelitian, perkembangan, tren, dan isu-isu yang relevan. Ini membantu dalam merumuskan pertanyaan penelitian yang lebih baik. Dengan memahami penelitian sebelumnya, peneliti dapat mengidentifikasi area yang belum tercakup. Studi pustaka membantu menghindari pengulangan penelitian yang sudah ada. Selama penelitian berlangsung, studi pustaka dapat membantu mengevaluasi sejauh mana penelitian telah maju dan apakah ada penemuan baru yang dapat mengubah arah penelitian.

3.6 Instrumen dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Microsoft Excel*

Microsoft excel digunakan untuk membantu input data dalam bentuk tabel maupun chart sehingga data lebih baik dalam penyajian saat akan menampilkan hasil dari penelitian.

2. *Statistical Program For Social Science*

Statistical program for social science digunakan untuk mengolah data untuk menguji validasi apabila nantinya, pun digunakan untuk mengetahui kevalidan atau kesesuaian kuesioner yang digunakan oleh peneliti dalam mengukur dan memperoleh data penelitian dari para responden, dan menguji reliabilitas yang menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran dengan alat tersebut dapat dipercaya.

3. *Exsimpro Interpretive Structural Modelling*

Exsimpro interpretive structural modelling digunakan untuk memasukan data berupa variabel yang terkait dan nantinya melalui *software* ini akan menghasilkan model hubungan sampai variabel kunci pada suatu sistem yang menjadi objek penelitian berupa model dengan tingkatan level yang selanjutnya akan ditentukan strateginya.

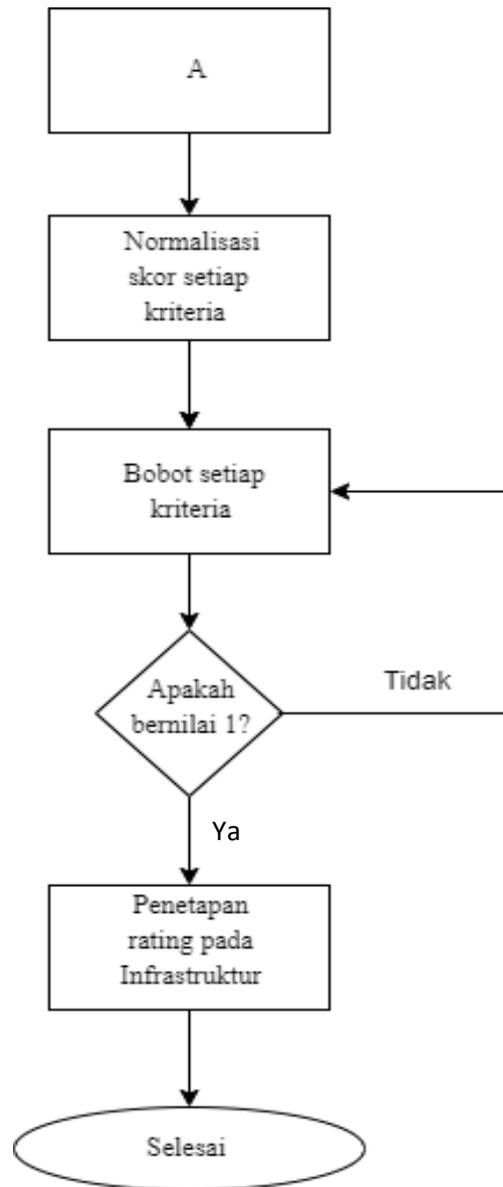
3.7 Metode Analisis Data

3.7.1 Analisis Infrastructure Rating Tool

Infrastructure Rating Tool (IRT) dikembangkan sebagai alat pendukung keputusan sederhana untuk membantu menetapkan dan memeriksa nilai dalam

proses pelaporan infrastruktur. Alat *spreadsheet* yang dikembangkan di *microsoft excel*, IRT memungkinkan pengguna untuk menentukan kriteria penskoran untuk kategori infrastruktur tertentu yang sedang dievaluasi dan untuk menetapkan bobot pada setiap kriteria penskoran untuk mencerminkan kepentingan relatifnya. Alat kemudian secara otomatis menghitung rata-rata tertimbang dari skor untuk kriteria penilaian yang berbeda. Dengan menggunakan skala penilaian yang direkomendasikan oleh metodologi *raport card ASCE*, pengguna kemudian dapat mengonversi skor agregat dengan nilai dari A hingga F. Penggunaan alat ini membuat prosedur pemberian nilai untuk fasilitas infrastruktur atau sistem menjadi lebih transparan, konsisten, dan dapat dibandingkan antar wilayah maupun periode waktu. Setelah pembobotan ditentukan untuk satu set kriteria penilaian, selama pengguna yang berbeda menetapkan skor yang sama berdasarkan pedoman yang seragam, mereka akan menduplikasi nilai untuk kategori infrastruktur tertentu, sehingga memperkuat validitas dan reliabilitas proses evaluasi (Amekudzi et al., 2013).





Gambar 3.5 Diagram alir proses analisis *infrastructure rating tool*

Uraian dalam menggunakan *infrastructure rating tool*

Input:

Dari data yang diperoleh dengan kuesioner dari masing-masing kriteria dimasukkan nilai berdasarkan isian dari Koresponden yang selanjutnya dilanjutkan pada tahap proses.

Proses:

Pada tahap proses dilakukan *raw score* pada setiap kriteria yang dilanjutkan pada normalisasi skor ini dilakukan untuk mengetahui pada kriteria apa yang harus

dikurangi atau ditambahkan skornya agar pada seluruh kriteria dapat terakumulasi bernilai 1 sebagai kontrol bahwa yang dilakukan sudah sesuai prosedural.

Output:

Hasil penilaian berupa nilai rating pada infrastruktur memberikan nilai yang sesuai dengan kondisi infrastruktur transportasi secara eksisting berdasarkan penilaian dari Koresponden, dilanjutkan dengan rekomendasi perbaikan. Dimana rekomendasi yang diberikan berdasarkan hasil penilaian kesiapan infrastruktur, yang dapat dijadikan dasar untuk memperbaiki infrastruktur yang rentan terhadap bencana alam berdasarkan kriteria.

3.7.2 Analisis *Hazard and Vulnerability Assessment Index (HVAI)*

Hazard and Vulnerability Analysis Index (HVAI) menyediakan pendekatan sistematis untuk mengenali bahaya yang dapat mempengaruhi permintaan untuk layanan atau kemampuannya untuk menyediakan layanan tersebut. Risiko yang terkait dengan bahaya yang dianalisis untuk memprioritaskan perencanaan, mitigasi, respon dan kegiatan pemulihan. HVAI berfungsi sebagai penilaian kebutuhan untuk program manajemen risiko. Analisis kerentanan bahaya adalah cara untuk fokus/memusatkan perhatian pada bahaya-bahaya yang paling mungkin terjadi dan memberikan dampak pada Infrastruktur transportasi dan masyarakat sekitarnya dan harus ditinjau lagi setiap tahun atau suatu proses untuk melakukan identifikasi, menilai dan mengevaluasi panduan keadaan darurat dan dampak langsung atau tidak langsung akibat keadaan emergensi yang terjadi dan upaya layanannya yang akan memberikan dampak terhadap fasilitas dan masyarakat sekitarnya (Y. Zhang, 2021). Melalui analisis bahaya dan risiko yang terkait, HVAI dapat membantu dalam memprioritaskan perencanaan, mitigasi, respon, dan kegiatan pemulihan. HVAI juga berperan penting sebagai penilaian kebutuhan untuk program manajemen risiko dalam rangka meningkatkan ketahanan dan kesiapsiagaan terhadap berbagai ancaman dan bahaya yang mungkin terjadi. Dengan demikian, HVAI dapat membantu dalam meminimalkan kerugian dan dampak negatif akibat dari bencana atau kejadian lainnya.



Gambar 3.6 Diagram alir analisis *Hazard and Vulnerability Assessment Index (HVAI)*

Uraian dalam menggunakan *Hazard and Vulnerability Assessment Index*

Input:

Dari data yang diperoleh dengan kuesioner dari masing-masing jenis bahaya bencana alam beserta peluang kejadian dimasukkan nilai berdasarkan isian dari responden yang selanjutnya dilanjutkan pada tahap proses.

Proses:

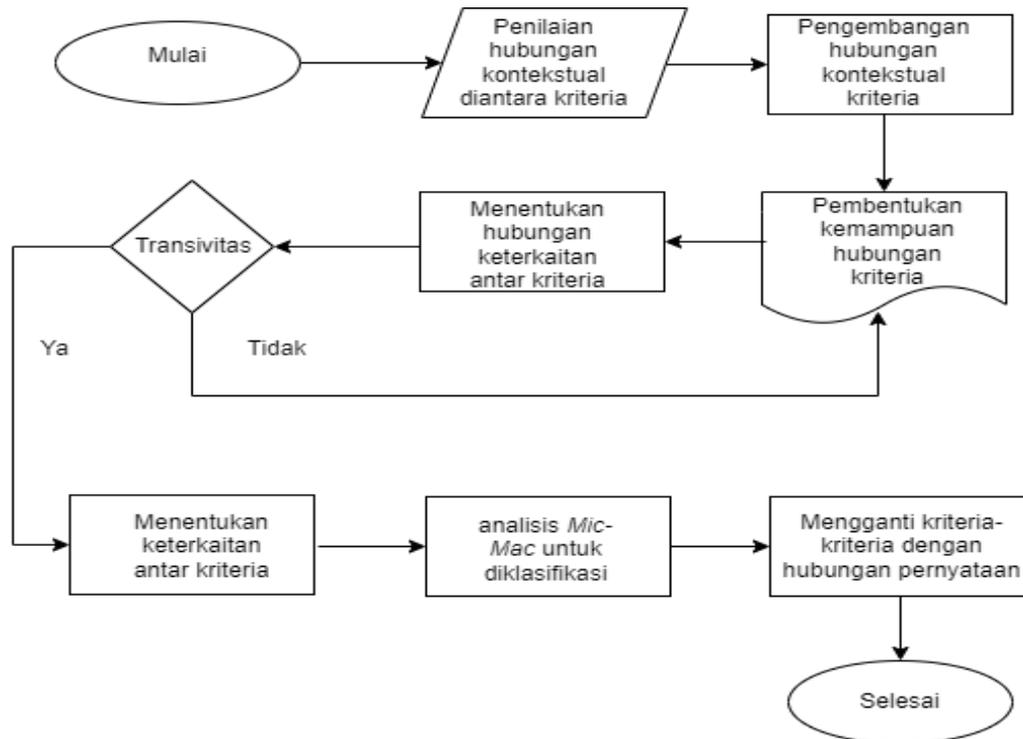
Pada tahap proses dilakukan perhitungan pada setiap akumulasi dari masing-masing bahaya bencana alam, selanjutnya menghitung akumulasi peluang kejadiannya sehingga dilanjutkan pada proses *output*

Output:

Hasil berupa penilaian risiko dan kerentanan infrastruktur transportasi terhadap bahaya-bahaya yang telah diidentifikasi. Output dari HVAI berupa rekomendasi untuk tindakan mitigasi dan upaya peningkatan infrastruktur transportasi dalam menghadapi bahaya. Rekomendasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penyusunan rencana tanggap darurat dan mitigasi bencana yang lebih efektif dan efisien.

3.7.3 Analisis *Interpretive Structural Modelling* (ISM)

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis *Interpretive Structural Modelling* (ISM). Berikut penjelasan beberapa metoda analisis data yang digunakan dalam penelitian ini. *Interpretive structural modeling* menggabungkan elemen diukur pada skala ordinal pengukuran dan menyediakan pendekatan pemodelan, yang memungkinkan faktor kualitatif untuk dipertahankan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari model (Debnath & Shankar, 2012). ISM adalah teknik terbaik yang menggambarkan struktur sistem yang kompleks melalui grafik dan juga kata-kata. Ini membantu seseorang memahami hubungan kompleks antara elemen-elemen dalam suatu sistem dengan mendokumentasikan urutan mereka dan pengaruh satu elemen pada elemen lainnya (Alzebdeh et al., 2015). ISM membantu dalam merepresentasikan pengetahuan parsial, terfragmentasi, dan terdistribusi menjadi pengetahuan yang terintegrasi, interaktif, dan dapat ditindaklanjuti. Oleh karena itu, teknik ini sangat berguna untuk area yang bersifat multidisiplin, seperti keberlanjutan. Disiplin keberlanjutan memastikan kinerja di tiga bidang: ekonomi, sosial, dan lingkungan, yang disebut sebagai *triple bottom line* (Ahmad and Qahmash, 2021)



Gambar 3.7 Diagram alir analisis data (Hasil olahan peneliti, 2015) mengadopsi (Sianipar, 2012), (Satapathy, Patel, Biswas, & Mishra, 2013)

Uraian dalam menggunakan *Interpretive Structural Modelling*

Input:

Penelitian ini diawali dengan membuat membuat penilaian hubungan kontekstual selanjutnya dilakukan pengembangan hubungan kontekstual dari setiap kriteria selanjutnya dilanjutkan pada tahap proses.

Proses:

Pada tahap proses dilakukan penentuan hubungan keterkaitan antar kriteria, selanjutnya dilakukan proses transivitas. Pada saat proses transivitas akan dilihat konsistensi. Apabila tidak konsisten maka dilakukan perbaikan pada pembentukan kemampuan hubungan kriteria, dan apabila konsisten maka dilakukan penentuan keterkaitan kriteria dan mengklasifikasikan kriteria dengan analisis *mic mac* sehingga langkah selanjutnya adalah mengganti kriteria-kriteria dengan hubungan pernyataan.

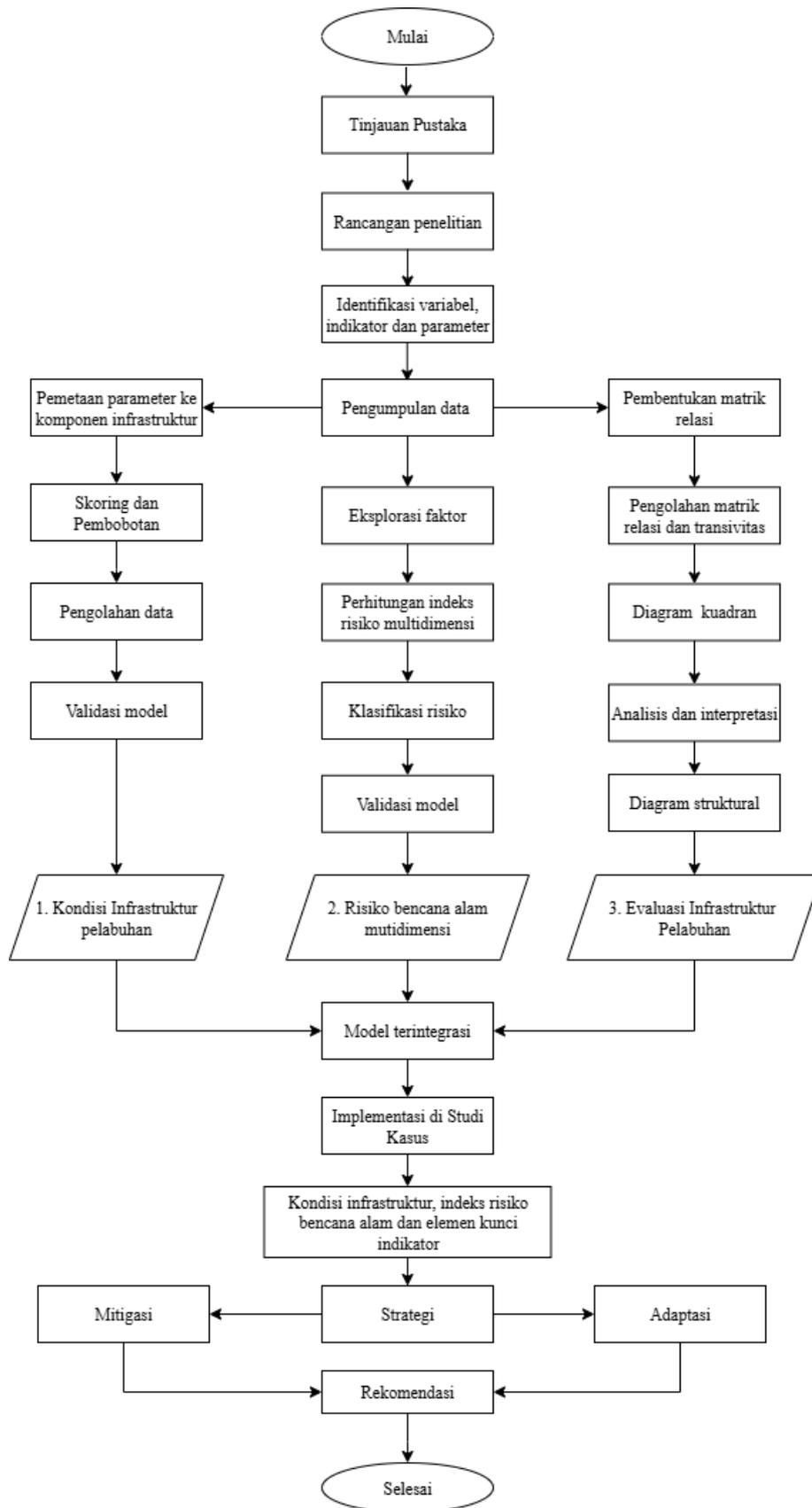
Output:

1. Model struktural: model struktural yang dihasilkan dari ISM digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antar faktor dan mengidentifikasi faktor-faktor yang paling mempengaruhi masalah atau fenomena yang sedang diteliti.

2. Prioritas tindakan: dari model struktural yang dihasilkan, dapat diidentifikasi faktor-faktor yang paling penting dan perlu mendapat perhatian dalam upaya mitigasi atau penyelesaian masalah.

3.8 Alur Penelitian

Alur penelitian ini digunakan sebagai pedoman penulis dalam pelaksanaan penelitian ini agar hasil yang dicapai tetap konsisten dari tujuan yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan kaidah penulisan ilmiah. Langkah-langkah pelaksanaan penelitian dimulai dengan adanya gagasan, selanjutnya diperkuat dengan literatur pendukung untuk mengetahui lingkup penelitian, metodologi sampai pengolahan data dengan alat penelitian tertentu dan selanjutnya berkembang menjadi pembahasan serta membuat kesimpulan dan saran dari pelaksanaan penelitian. Alur penelitian secara umum melalui bagan alir yang menggambarkan rangkaian kegiatan penelitian berlangsung secara sistematis, terstruktur, dan terpadu, mulai dari identifikasi masalah yang aktual dan relevan dengan konteks kajian, perumusan tujuan yang jelas, pemilihan desain penelitian yang sesuai, hingga proses pengumpulan data secara cermat dan analisis yang mendalam. Selain itu, alur ini juga berfungsi sebagai kontrol internal agar setiap tahapan berjalan sesuai dengan standar akademik dan menghasilkan keluaran penelitian yang dapat dipertanggungjawabkan. Dengan demikian, alur penelitian menjadi instrumen penting dalam menjamin konsistensi, validitas, dan kualitas keseluruhan proses ilmiah. Selanjutnya dapat dilihat pada gambar 3.8 untuk mendapatkan gambaran untuk setiap alur.



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

3.8.1 Penjelasan alur penelitian

1. Mulai dan tinjauan pustaka
Penelitian dimulai dengan tinjauan pustaka, yaitu pengumpulan dan pemahaman teori serta hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan. Ini bertujuan untuk membangun dasar keilmuan yang kokoh.
2. Rancangan penelitian
Setelah memahami literatur, dibuatlah rancangan penelitian yang jelas mencakup tujuan, metode, dan langkah kerja untuk mencapai hasil.
3. Identifikasi variabel, indikator, dan parameter
Selanjutnya dilakukan identifikasi variabel, indikator, dan parameter yang akan digunakan untuk mengukur dan mengumpulkan data terkait infrastruktur pelabuhan dan risiko bencana alam.
4. Pengumpulan data
Data dikumpulkan sesuai variabel dan indikator yang telah ditetapkan. Pada tahap pengumpulan data ini, pengolahan cabang dilakukan ke tiga arah utama, yaitu:
 - a. Pemetaan parameter ke komponen infrastruktur parameter yang diperoleh dipetakan ke dalam komponen-komponen spesifik infrastruktur pelabuhan
 - b. Eksplorasi faktor-faktor yang memengaruhi risiko dan kondisi infrastruktur dieksplorasi lebih dalam
 - c. Pembentukan matrik relasi dibuat matrik relasi antar variabel untuk melihat hubungan dan pengaruh satu sama lain
5. Pengolahan dan analisis data
 - a. Kondisi infrastruktur pelabuhan
 - (a.) Parameter yang sudah dipetakan ke komponen infrastruktur diberikan skor dan bobot sesuai pentingnya
 - (b.) Data skor tersebut diolah menjadi model kondisi infrastruktur
 - (c.) Model ini divalidasi untuk memastikan keakuratan dan keandalannya
 - (d.) Hasilnya adalah gambaran kondisi aktual infrastruktur pelabuhan
 - b. Risiko bencana alam multidimensi

- (a.) Faktor-faktor hasil eksplorasi digunakan untuk menghitung indeks risiko bencana alam secara multidimensi
 - (b.) Kemudian dilakukan klasifikasi risiko berdasarkan indeks tersebut
 - (c.) Model risiko juga kemudian divalidasi
 - (d.) Hasilnya adalah model risiko bencana alami yang komprehensif
- c. Evaluasi infrastruktur pelabuhan
- (a.) Matriks relasi yang sudah dibentuk diproses lebih lanjut bersama konsep dari transitivitas untuk melihat hubungan lebih kompleks
 - (b.) Data ini divisualisasikan dalam diagram kuadran dan diagram struktural
 - (c.) Analisis dan interpretasi dilakukan untuk mengevaluasi kondisi infrastruktur berdasarkan struktur relasi antar parameter

6. Model terintegrasi

Ketiga pendekatan (kondisi infrastruktur, risiko bencana multidimensi, dan evaluasi infrastruktur) digabungkan ke dalam model terintegrasi yang menyatukan aspek fisik, risiko, dan evaluasi secara menyeluruh.

7. Implementasi studi kasus

Model terintegrasi tersebut kemudian diimplementasikan pada studi kasus tertentu untuk melihat penerapan dan hasil nyata di lapangan. Hasil implementasi menampilkan kondisi infrastruktur, indeks risiko bencana, serta elemen-elemen penting dan indikator kunci terkait. Hasil yang dapat dilihat adalah nilai indeks kerentanan seperti yang tertera di Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Indeks Kerentanan (*Vulnerability Index*)

Nilai <i>Vulnerability Index</i>	Deskripsi
<1;1.8	Tingkat kerawanan Infrastruktur sangat minim. Indikator kerawanan menunjukkan bahwa daerah (area) yang diteliti memiliki tingkat kerawanan yang minimal dibandingkan dengan rata-rata kerawanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat kemungkinan dampak yang dapat diabaikan yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrim tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang tinggi. Dalam tugas perencanaan jangka panjang yang ditujukan

Nilai <i>Vulnerability Index</i>	Deskripsi
	untuk mempertahankan tingkat kesiapsiagaan masyarakat dan memantau faktor risiko, perubahan yang dapat meningkatkan tingkat kerentanan harus disertakan.
>1.8;2.6	Tingkat kerawanan infrastruktur rendah. Indikator kerentanan infrastruktur menunjukkan bahwa daerah (area) yang diteliti kurang rentan dibandingkan dengan rata-rata kerentanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat kemungkinan dampak yang dapat diterima yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrim tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang memadai. Dalam tugas perencanaan jangka panjang, yang ditujukan untuk mengurangi faktor risiko yang dapat membahayakan wilayah yang diperiksa dan mempertahankan tingkat kapasitas yang diperlukan untuk mengatasi kemungkinan krisis, kejadian harus disertakan.
>2.6;3.4	Tingkat kerawanan infrastruktur sedang. Indikator kerawanan infrastruktur menunjukkan bahwa kerawanan daerah (area) yang diteliti sebanding dengan rata-rata kerawanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat sedang kemungkinan dampak yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrim tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang dapat ditoleransi, tetapi dalam kasus bencana skala besar mungkin tidak mencukupi. Dalam perencanaan krisis, dalam aspek jangka menengah, tugas-tugas yang ditujukan untuk mengurangi tingkat kerentanan masyarakat dan meningkatkan tingkat kesiapsiagaan menghadapi cuaca ekstrim, kejadian-kejadian harus dimasukkan.
>3.4;4.2	Tingkat kerawanan infrastruktur tinggi. Infrastruktur memiliki beberapa bagian yang sangat sensitif terhadap kejadian cuaca ekstrim. Jaringan transportasi dan masyarakat kurang siap menghadapi potensi kejadian ekstrim dan sangat sensitif terhadap dampak kejadian tersebut hampir di segala aspek. Jaringan transportasi bisa sangat terganggu sehingga tidak mungkin menyediakan layanan penting bagi masyarakat. Penting untuk mengadopsi langkah-langkah untuk mengurangi kerentanan infrastruktur dan untuk memastikan tingkat sumber daya dan kapasitas personel yang lebih tinggi untuk mengatasi peristiwa cuaca ekstrim.

Nilai <i>Vulnerability Index</i>	Deskripsi
4.2;5>	Tingkat kerawanan infrastruktur sangat tinggi. Jaringan transportasi mengandung banyak bagian kritis, yang membuatnya lebih rentan. Selain itu, jaringan transportasi dan masyarakat kurang siap menghadapi peristiwa krisis masing-masing dan mereka juga sangat peka terhadap dampak peristiwa krisis hampir dalam segala hal. Jaringan transportasi bisa sangat terganggu sehingga tidak mungkin menyediakan layanan penting bagi masyarakat. Diperlukan langkah-langkah untuk mengurangi kerentanan sesegera mungkin karena jika terjadi peristiwa krisis, dampak yang luas dapat terjadi pada masyarakat.

8. Strategi dan rekomendasi

Dari hasil studi kasus diperoleh data strategis untuk menentukan langkah-langkah:

1. Mitigasi bencana
2. Adaptasi terhadap risiko dan perubahan Strategi ini kemudian dirumuskan menjadi rekomendasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan

9. Selesai

Penelitian berakhir dengan penyusunan laporan dan dokumentasi akhir yang merangkum temuan dan rekomendasi. Bagian ini berisi kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian serta ringkasan hasil yang diperoleh selama proses penelitian. Selain itu, disertakan pula saran berdasarkan pengalaman penelitian, agar peneliti selanjutnya dapat memperoleh pandangan dan referensi untuk mengembangkan topik terkait ketahanan infrastruktur, khususnya infrastruktur transportasi.

3.9 Justifikasi Pemilihan Studi Kasus

Pelabuhan Kota Tarakan sebagai objek penelitian dapat dilakukan dengan menyajikan alasan-alasan yang relevan dan mendukung tujuan penelitian. Berikut contoh justifikasi:

1. Rentan terhadap cuaca ekstrim

Kota Tarakan terletak di wilayah yang mungkin rentan terhadap cuaca ekstrim, termasuk hujan intensitas tinggi, banjir, dan potensi angin kencang. Kondisi geografis dan iklim di wilayah ini membuatnya menjadi objek

penelitian yang sangat relevan untuk mengevaluasi ketahanan pelabuhan terhadap ancaman cuaca ekstrim berdasarkan peta INArisk (Lampiran 1).

2. Peran strategis dalam perdagangan

Pelabuhan Kota Tarakan memiliki peran strategis dalam perdagangan dan logistik di kawasan tersebut. Studi tentang ketahanan pelabuhan terhadap cuaca ekstrim di sini dapat memberikan wawasan berharga tentang dampak potensial pada aktivitas perdagangan dan ekonomi di wilayah tersebut (BAPPEDA Kota Tarakan, 2019).

3. Pentingnya keterhubungan antar wilayah

Kota Tarakan memiliki peran penting dalam keterhubungan antar wilayah di Indonesia. Studi resiliensi pelabuhan di sini tidak hanya berkontribusi pada pemahaman lokal, tetapi juga dapat memberikan wawasan yang lebih luas tentang tantangan dan solusi terkait cuaca ekstrim untuk pelabuhan-pelabuhan sejenis di seluruh Indonesia (ESCAP, 2014).

4. Pentingnya keselamatan dan keberlanjutan

Keberlanjutan operasional pelabuhan dan keselamatan pelayaran menjadi fokus penting (Alamouh et al., 2021). Melakukan penelitian di pelabuhan Kota Tarakan memberikan kesempatan untuk mengidentifikasi potensi risiko, merancang strategi mitigasi, dan meningkatkan keberlanjutan operasional pelabuhan.

5. Ketersediaan data yang memadai

Ketersediaan data historis cuaca, data operasional pelabuhan, dan data infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan dapat memudahkan pengumpulan data dan analisis dalam penelitian, memastikan keakuratan dan kehandalan hasil penelitian.

6. Kontribusi terhadap penelitian global

Penelitian di pelabuhan Kota Tarakan dapat memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman global tentang resiliensi pelabuhan terhadap cuaca ekstrim, terutama mengingat perubahan iklim global yang dapat memperparah ancaman tersebut.

3.10 Studi Kasus

Studi kasus pada penelitian ini menggunakan Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara (Kaltara) yang terletak di bagian utara Pulau Kalimantan dan berbatasan langsung dengan negara bagian Sabah dan Sarawak, Malaysia di utara serta Kalimantan Timur di selatan. Luas wilayah Kaltara sekitar 75.467,70 km² dengan sebagian besar wilayahnya berupa daratan dan sekitar 13% berupa daerah laut (Yusuf, 2019). Kota Tarakan, sebagai satu-satunya kota di Kaltara, memiliki peran penting sebagai akses transit utama keluar-masuknya barang dan jasa dari dan ke seluruh wilayah Kaltara. Kota Tarakan terletak di Pulau Tarakan yang memiliki luas wilayah sekitar 657,33 km² dan berbatasan dengan Kabupaten Bulungan dan Kabupaten Tana Tidung di sebelah utara serta Kabupaten Bulungan di sebelah selatan. Di timur, Tarakan berbatasan dengan laut Sulawesi (Bappeda Kota Tarakan, 2019). Aksesibilitas yang lebih baik akan meningkatkan kualitas hidup masyarakat, memungkinkan akses yang lebih mudah ke layanan pendidikan, kesehatan, dan fasilitas umum lainnya.



Gambar 3.9 Pulau Tarakan
(Sumber : Tarakan dalam angka 2022)

Kegiatan penyaluran distribusi barang dan jasa keluar masuk Kota Tarakan ke wilayah tujuan semua tergantung pada kemampuan dari infrastruktur transportasi, sehingga untuk menjamin fungsi layanan dapat berjalan baik dan optimal, maka diperlukan analisis untuk mengetahui kondisi dari setiap infrastruktur transportasi yang ada. Peningkatan kualitas infrastruktur transportasi setelah terbangun dan telah beroperasi belum semuanya memiliki ukuran ketahanan dalam menghadapi bencana khususnya pada infrastruktur transportasi. Resiliensi atau ketahanan suatu infrastruktur juga sangat diperlukan untuk menjamin bahwa infrastruktur transportasi dapat tetap beroperasi ketika dilanda bencana (tangguh). Pulau Tarakan yang dikelilingi oleh lautan sehingga tinggi muka air laut berpengaruh terhadap daratan di pesisir yang dapat menyebabkan bahaya banjir (ROB), sedimentasi dan erosi. Kondisi ini juga memiliki risiko semakin rentan dengan tingginya frekuensi terjadinya iklim ekstrim seperti *el niño* dan *la niña* (Sofian and Astor, 2017). Kesiapan menghadapi bencana dikembangkan melalui strategi berdasarkan penilaian kualitas infrastruktur. Pentingnya penilaian ketahanan transportasi mendorong penelitian ini dengan studi kasus Kota Tarakan untuk memvalidasi model yang dibuat. selanjutnya akan dijelaskan waktu dan tempat pelaksanaan studi kasus yang menjadi dasar validasi model, seperti terlihat pada bagian 3.10.1 berikut ini.

3.10.1 Waktu dan tempat pada studi kasus

Penelitian ini dilakukan sepanjang periode yang melibatkan beberapa fase yang dimulai pada bulan Mei 2022 dan diperkirakan selesai pada bulan Desember 2023. Periode waktu yang panjang ini dipilih untuk menggambarkan tren jangka panjang dan perubahan dalam operasi pelabuhan serta aspek yang menjadi fokus penelitian. Adapun untuk tempat penelitian dilakukan sebagai tempat dilakukan studi kasus, bertempat pada Pelabuhan Malundung di Kota Tarakan Kalimantan Utara (Koordinat 3°16'55" LU, 117°35'41" BT). Gambar 3.10 menunjukkan lokasi Pelabuhan Malundung di Kota Tarakan, yang menjadi fokus studi kasus dalam penelitian ini.



Gambar 3.10 Lokasi pelabuhan malundung skala 1:5000 (*openstreetmaps*)

3.10.2 Data, populasi dan sampel penelitian

1. Data

Data yang akan digunakan untuk mengukur kualitas eksisting pada infrastruktur pelabuhan akan dibuat kedalam pernyataan pada kuesioner. Adapun pada variabel kondisi, indikator tersebut :

- a. Integritas struktural.
- b. Kondisi permukaan dan fasilitas jalan.
- c. Ketersediaan dan kondisi peralatan.
- d. Sistem drainase dan pengendalian air.
- e. Kondisi bangunan pendukung.
- f. Kondisi sistem energi dan listrik.
- g. Kondisi jalan dan akses.

Studi kasus ini berfokus pada analisis bencana alam yaitu cuaca ekstrim sebagai salah satu aspek penting untuk menggambarkan potensi risiko yang dihadapi oleh pelabuhan, dimana terdapat pada 2 indikator. Yaitu:

- a. Intensitas hujan.
- b. Banjir.

2. Populasi/Obyek Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan objek penelitian di Indonesia dengan studi kasus Pelabuhan Malundung di Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara.

3. Responden

Responden pada yang akan diambil dalam studi kasus penelitian ini menurut berdasarkan kepakaran dan instansi yang relevan, pada studi kasus di Kota Tarakan responden yaitu:

- a. Konsultan:
 - a) Direktur
 - b) Kepala divisi sipil
 - c) Kepala divisi arsitektur
 - d) *Site engineer*
- b. Dinas pekerjaan umum:
 - a) Kepala dinas
 - b) Kepala bidang bina marga
 - c) Kepala bidang cipta karya
 - d) Kepala UPT laboratorium
- c. Akademisi di Universitas Borneo Tarakan :
 - a) Ketua jurusan
 - b) Sekretaris jurusan
 - c) Kepala laboratorium
 - d) Dosen bidang transportasi
 - e) Dosen bidang manajemen konstruksi
- d. Kesyahbandaran dan otoritas pelabuhan kelas III Kota Tarakan:
 - a) Kepala kantor
 - b) Kepala seksi lalu lintas dan angkutan laut, dan usaha kepelabuhanan
 - c) Kepala seksi status hukum dan sertifikasi kapal
 - d) Kepala seksi keselamatan berlayar, penjagaan dan patroli

3.10.3 Metode pengumpulan data

1. Kuesioner

Pengumpulan data awal dilakukan saat untuk menentukan relevansi pada indikator untuk selanjutnya menjadi kuesioner utama. Pada kuesioner utama terbagi menjadi 3 bagian. Yaitu:

- a. Pada bagian awal untuk mengetahui kualitas eksisting infrastruktur merujuk pada masing-masing indikator untuk mengetahui nilai rating yang dihasilkan.
- b. Pada bagian ke dua untuk mengetahui potensi risiko dari kejadian cuaca ekstrim.
- c. Pada bagian ke tiga untuk mengetahui elemen kunci pada indikator untuk menghasilkan model.

2. Wawancara

Wawancara untuk melakukan konfirmasi dan validasi dilakukan setelah proses wawancara selesai. Setelah mengumpulkan informasi dari responden, dapat menggunakan tahap konfirmasi dan validasi untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat. Ini terutama berguna jika ada ketidakpastian atau keraguan tentang data yang diberikan.

3.10.4 Analisis data

1. Kondisi infrastruktur pelabuhan

Pengukuran untuk mengetahui kualitas infrastruktur ini menggunakan 6 indikator yang telah dinilai melalui kuesioner selanjutnya dianalisis sehingga diketahui nilai berupa huruf A, B, C, D dan E yang menggambarkan kualitas infrastruktur pelabuhan.

2. Risiko bencana alam

Pengukuran risiko pada bencana alam khususnya cuaca ekstrim menggunakan 2 indikator seperti intensitas hujan dan banjir untuk dapat menilai risiko akibat dari cuaca ekstrim yang berpotensi terjadi.

3. Elemen kunci pada infrastruktur pelabuhan

Hasil nilai kerentanan akan memberikan gambaran terhadap tindak lanjut dari infrastruktur pelabuhan terhadap risiko bencana alam, pada model akan dilakukan rekomendasi untuk melakukan evaluasi dengan melihat kelemahan dari setiap nilai indikator yang didapatkan dan merespon berupa adaptasi terhadap kemungkinan-

kemungkinan saat terjadinya cuaca ekstrim sehingga dapat membuat infrastruktur dapat beroperasi secara normal dalam memberikan pelayanan terhadap masyarakat.

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL KETAHANAN INFRASTRUKTUR PELABUHAN

4.1. Gambaran Umum dan Analisis Responden Global

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sebuah model yang komprehensif terkait ketahanan infrastruktur pelabuhan. Pada bagian ini disajikan gambaran umum konsep model yang akan dibangun, mencakup kerangka, tujuan, dan metodologi penyusunan model. Selanjutnya, akan dijelaskan secara singkat tentang karakteristik responden yang berperan dalam penyusunan model ini, termasuk data demografis seperti umur, jenis kelamin, latar belakang pendidikan, dan pengalaman kerja. Informasi ini menjadi bagian penting untuk mendukung validitas dan keakuratan model yang dikembangkan, menyajikan rekapitulasi dan analisis dari data responden yang telah dikumpulkan. Data ini mencakup berbagai karakteristik demografis, termasuk umur, jenis kelamin, latar belakang pendidikan, dan pengalaman kerja, yang memberikan konteks berharga untuk subjek penelitian. Analisis ini bertujuan tidak hanya untuk memberikan gambaran umum tentang profil responden, tetapi juga untuk mengidentifikasi pola-pola mempengaruhi hasil penelitian. Dengan fokus lebih dalam karakteristik responden, sehingga dapat memahami dengan lebih baik bagaimana berbagai faktor demografis ini berinteraksi dan berpotensi mempengaruhi persepsi dan respon terhadap isu-isu yang dihadapi dalam penelitian. Selain itu, juga mengeksplorasi hubungan antara berbagai variabel yang diidentifikasi, memberikan wawasan mendalam bagaimana faktor-faktor ini berkontribusi terhadap hasil keseluruhan. Berikut adalah rekapitulasi data tersebut:

Tabel 4.1 Perbandingan Jenis Kelamin

No	Jenis Kelamin	Jumlah	Persentasi (%)
1	Laki-Laki	46	75
2	Perempuan	15	25

Distribusi jenis kelamin responden dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.1, di mana 75% dari total 60 responden dikategorikan sebagai laki-laki, sedangkan 25% lainnya dikategorikan sebagai perempuan. Dominasi responden laki-laki ini mencerminkan karakteristik sektor pelabuhan, yang sering kali memiliki partisipasi laki-laki yang lebih tinggi. Perbedaan gender ini dapat mempengaruhi pandangan dan pengalaman yang dibawa oleh masing-masing responden. Dinamika ini memungkinkan perumusan rekomendasi yang mempertimbangkan perspektif yang beragam, sehingga solusi yang diusulkan dapat lebih inklusif dan efektif dalam meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap bencana. Pada Tabel 4.2 akan memberikan informasi terkait jumlah dan presentase terkait pendidikan terakhir responden.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Berdasarkan Pendidikan Terakhir

No	Pendidikan Terakhir	Jumlah	Presentase (%)
1	D3	2	3
2	S1	17	28
3	S2	35	57
4	S3	6	10
5	SMA/SMK Sederajat	1	2

Pendidikan terakhir responden yang terlibat dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel 4.2. Dari total 60 responden, mayoritas memiliki gelar S1 sebanyak 35 responden (58%), diikuti oleh 17 responden (28%) yang berpendidikan S2. Pendidikan D3 hanya dimiliki oleh 2 responden (3%), sementara pendidikan SMA/SMK dikategorikan pada 1 responden (2%). Tingginya proporsi responden dengan latar belakang pendidikan tinggi menunjukkan memiliki pengetahuan yang relevan mengenai isu-isu ketahanan infrastruktur pelabuhan. Latar belakang pendidikan yang kuat ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap analisis yang lebih mendalam dan rekomendasi yang lebih tepat dalam konteks mitigasi risiko bencana, khususnya terkait dengan banjir yang dapat memengaruhi operasional pelabuhan. Pada Tabel 4.3 melihat presentase instansi responden.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Berdasarkan Instansi

No	Pekerjaan/Instansi	Jumlah	Presentase (%)
1	Dinas Perhubungan Laut	12	20
2	Dosen	23	38
3	PT Pelabuhan Indonesia (Persero)	26	42

Distribusi responden berdasarkan instansi tempat bekerja ditunjukkan pada Tabel 4.3. Sebanyak 12 responden (20%) berasal dari Dinas Perhubungan Laut, 23 responden (38%) berasal dari kalangan Dosen, dan 26 responden (42%) berasal dari PT Pelabuhan Indonesia (Persero). Dominasi responden dari PT Pelabuhan Indonesia (Persero) menunjukkan bahwa perspektif dari sektor pelabuhan sangat kuat dalam penelitian ini. Keberadaan responden dari Dinas Perhubungan Laut dan akademisi (dosen) juga memberikan wawasan yang berharga mengenai kebijakan dan praktik yang ada. Kombinasi dari berbagai latar belakang ini memperkaya data yang diperoleh dan memberikan landasan yang solid untuk rekomendasi yang lebih komprehensif dalam menghadapi tantangan kebencanaan di sektor infrastruktur pelabuhan. Analisis ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap risiko bencana. Detail durasi pengalaman kerja ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Rekapitulasi Berdasarkan Pengalaman Kerja

No	Pengalaman Kerja	Jumlah	Presentasi (%)
1	0 sd 5 Tahun	16	26,23
2	6 sd 10 Tahun	20	32,79
3	11 sd 15 Tahun	14	22,95
4	16 sd 20 Tahun	1	1,64
5	Lebih 21 Tahun	10	16,39

Distribusi responden berdasarkan pengalaman kerja ditampilkan pada Tabel 4.4, yang dianggap sebagai elemen penting dalam memahami ketahanan infrastruktur pelabuhan. Dari total 60 responden, kelompok dengan pengalaman kerja 6 hingga 10 tahun mencatatkan angka tertinggi, yaitu 20 orang (32,79%). Hal ini menunjukkan bahwa banyak responden memiliki pengalaman yang cukup untuk memberikan wawasan yang berharga. Sementara itu, kelompok dengan pengalaman 0 hingga 5 tahun berjumlah 16 orang (26,23%), menandakan adanya kontribusi dari individu yang baru memasuki bidang ini. Variasi dalam pengalaman kerja ini menciptakan peluang untuk analisis yang lebih mendalam, di mana setiap kelompok dapat memberikan perspektif unik terhadap tantangan yang dihadapi oleh infrastruktur pelabuhan. adapun provinsi asal responden dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Berdasarkan Asal Responden

No	Provinsi	Jumlah
1	Jawa Timur	8
2	Kalimantan Utara	2
3	Nusa Tenggara Timur	2
4	Sulawesi Selatan	1
5	Maluku	16
6	Sulawesi Tenggara	1
7	Jawa Barat	7
8	Sulawesi Tengah	1
9	Papua Barat Daya	5
10	Kalimantan Timur	2
11	Jawa Tengah	3
12	Daerah Khusus Jakarta	4
13	Riau	4
14	Kalimantan Tengah	1
15	Banten	1
16	Sumatra Utara	1
17	Jambi	1
18	Sulawesi Utara	1

Informasi lebih detail mengenai asal provinsi responden ditampilkan pada Tabel 4.5, Provinsi Maluku tercatat sebagai daerah asal responden terbanyak, yaitu 16 orang. Representasi yang dominan dari wilayah ini memperkuat relevansi analisis terhadap ketahanan infrastruktur pelabuhan di kawasan timur Indonesia. Perspektif dan pengalaman mereka, terutama dalam menghadapi tantangan aksesibilitas dan pengembangan pelabuhan, menjadi sumber informasi yang bernilai untuk memahami kondisi nyata di lapangan.

Provinsi lainnya, seperti Jawa Timur, diwakili oleh 8 responden. Kalimantan Utara dan Nusa Tenggara Timur masing-masing menyumbang dua responden. Meskipun jumlahnya lebih sedikit, kontribusi dari provinsi-provinsi ini tetap signifikan karena menawarkan pandangan lokal yang spesifik terhadap berbagai kondisi dan tantangan infrastruktur pelabuhan.

Selain itu, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Jawa Barat masing-masing diwakili oleh satu responden. Kehadiran mereka tetap memperkaya diskusi dengan perspektif tambahan yang mendalam.

Keberagaman wilayah asal para responden tidak hanya memperluas cakupan data, tetapi juga membantu menampilkan gambaran yang lebih utuh mengenai isu ketahanan infrastruktur pelabuhan di berbagai konteks geografis. Dengan

memahami tantangan dari berbagai sudut pandang, analisis selanjutnya dapat dilakukan secara lebih menyeluruh dan kontekstual. Pada bagian berikutnya akan menguraikan secara rinci model kondisi infrastruktur pelabuhan sebagai kerangka kerja untuk menelaah aspek fisik pelabuhan secara lebih sistematis.

4.2. Analisis Model Kondisi Infrastruktur Pelabuhan

Pada bagian ini, dilakukan analisis mendalam terhadap model kondisi infrastruktur pelabuhan sebagai suatu kerangka kerja yang merefleksikan keadaan fisik dan operasional pelabuhan. Model ini bertujuan untuk menggambarkan bagaimana berbagai elemen infrastruktur pelabuhan berfungsi dan berinteraksi dalam konteks keberlanjutan dan ketahanan, terutama dalam menghadapi risiko bencana alam. Proses analisis melibatkan identifikasi dan evaluasi berbagai variabel kondisi yang mempengaruhi performa infrastruktur, seperti kondisi fisik bangunan, fasilitas pendukung, dan aspek operasional pelabuhan.

4.2.1 Analisis relevansi terhadap indikator pada variabel kondisi

Hasil analisis relevansi jawaban responden terhadap berbagai indikator kondisi infrastruktur dan fasilitas yang menjadi fokus penelitian. Data direkap berdasarkan jumlah responden yang memberikan jawaban "Ya" dan "Tidak" untuk setiap pernyataan, diikuti oleh persentase jawaban yang relevan. Persentase ini menggambarkan seberapa besar tingkat penerimaan atau kesepakatan responden terhadap kondisi yang dinilai. Analisis ini penting untuk menilai validitas dan konsistensi item pertanyaan dalam merefleksikan kondisi nyata yang terjadi. Dalam konteks validasi data, tingkat persentase yang mendekati atau mencapai angka 100% menunjukkan bahwa hampir seluruh responden setuju atau mengakui kondisi tersebut, yang dapat dijadikan landasan kuat untuk keputusan atau langkah tindak lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Relevansi Indikator

Indikator Variabel Kondisi	Pernyataan	Relevan		Persentasi (%)	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
Integritas Struktural	Kekakuan dan Stabilitas	60	1	98,36	1,64
	Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban	61	0	100,00	0,00
	Kerusakan Struktural	60	1	98,36	1,64
		60	1	98,36	1,64

Indikator Variabel Kondisi	Pernyataan	Relevan		Persentasi (%)	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan				
	Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah	61	0	100,00	0,00
	Keadaan Fasilitas Pendukung	60	1	98,36	1,64
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional	60	1	98,36	1,64
	Kondisi Mesin dan Peralatan	60	1	98,36	1,64
Sistem Drainase dan Pengendalian Air	Efektivitas Sistem Drainase	58	3	95,08	4,92
	Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	61	0	100,00	0,00
Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan	61	0	100,00	0,00
	Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung	61	0	100,00	0,00
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik	60	1	98,36	1,64
	Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi	61	0	100,00	0,00
Kondisi Jalan dan Akses	Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan	59	2	96,72	3,28

Indikator kondisi infrastruktur dan sistem pendukung, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar variabel menunjukkan tingkat relevansi dan kesiapan yang sangat tinggi, dengan nilai mendekati 100% terlihat pada Tabel 4.6. Penilaian terhadap integritas struktural menunjukkan kekakuan, stabilitas, serta kehandalan struktural yang optimal terhadap tekanan dan beban yang ada, selaras dengan temuan penelitian internasional seperti oleh Zhang et al. (2020) yang menekankan pentingnya stabilitas struktural bagi keberlanjutan infrastruktur transportasi.

Kondisi permukaan jalan, tanda marka, serta ketersediaan dan kondisi peralatan operasional juga berada dalam kondisi prima, mendukung kelancaran kegiatan pemeliharaan dan operasional sebagaimana dipaparkan oleh Smith dan Lee (2019) dalam konteks manajemen infrastruktur jalan. Efektivitas sistem drainase yang tinggi menjaga kelestarian struktur jalan dari kemungkinan kerusakan akibat genangan air, sejalan dengan hasil studi Kumar et al. (2021) di Asia. Selain itu, kondisi bangunan pendukung dan sistem energi listrik yang andal memastikan dukungan operasional yang stabil, sebagaimana ditegaskan Roberts et al. (2018) dalam risetnya mengenai fasilitas pendukung infrastruktur di Amerika Serikat. Terakhir, akses jalan ke pelabuhan yang hampir sempurna memperkuat konektivitas logistik yang menjadi faktor kunci pada pengembangan ekonomi, sebagaimana diulas dalam jurnal *Transport Research Part A* (2022). Dengan demikian, hasil evaluasi ini mengindikasikan bahwa pengelolaan infrastruktur dan sistem pendukung di lokasi penelitian berada pada standar optimal yang tidak hanya relevan di konteks lokal, namun juga sejalan dengan praktik dan hasil penelitian bereputasi di tingkat internasional. Indikator yang dinilai “Relevan” (persentase tinggi) menunjukkan bahwa para pakar menganggap aspek tersebut sangat penting dan harus ada dalam model untuk mengukur kondisi infrastruktur secara representatif. Sebagai kelanjutan tersebut, tahap berikutnya adalah melakukan analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator yang digunakan untuk mengukur kondisi infrastruktur pelabuhan. Analisis ini penting untuk memastikan bahwa semua indikator yang dinilai memiliki konsistensi dan kesesuaian dalam merefleksikan kondisi nyata, sehingga hasilnya dapat dijadikan dasar yang valid dan dapat dipercaya dalam pengembangan model pengelolaan infrastruktur pelabuhan.

4.2.2 Analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator kondisi infrastruktur pelabuhan

Dalam rangka memastikan keandalan dan ketepatan model kondisi infrastruktur pelabuhan, tahap analisis validasi dan reliabilitas indikator menjadi sangat krusial. Proses ini bertujuan untuk menguji sejauh mana indikator-indikator yang digunakan dalam mengukur variabel kondisi benar-benar mencerminkan konsep yang ingin diukur dan konsisten dalam penggunaannya. Validasi dan

reliabilitas yang baik akan menjamin bahwa data yang diperoleh valid untuk dianalisis lebih lanjut dan hasilnya dapat dipercaya.

1. Analisis validitas konstruk (konseptual)

Berdasarkan deskripsi parameter, instrumen penelitian ini terdiri dari 15 parameter yang diklasifikasikan ke dalam beberapa aspek utama infrastruktur pelabuhan. Analisis validitas konstruk bertujuan untuk memastikan bahwa setiap parameter yang diukur benar-benar mencerminkan konsep atau aspek yang dimaksud dalam model penelitian. Dengan demikian, validitas konstruksi instrumen ini sangat penting untuk menjamin ketepatan pengukuran variabel-variabel kunci yang mempengaruhi ketahanan infrastruktur pelabuhan.

Tabel 4.7 berikut menyajikan korelasi antar indikator berdasarkan hasil uji validitas yang dilakukan, dimana nilai korelasi r dan interpretasi masing-masing indikator akan dijelaskan secara rinci sebagai dasar untuk menentukan validitas tiap parameter.

Tabel 4.7 Korelasi Antar Indikator

Indikator	Parameter	Kode	Korelasi r	Interpretasi
Integritas Struktural	Kekakuan dan Stabilitas	P1	0,614	Valid
	Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban	P2	0,589	Valid
	Kerusakan Struktural	P3	0,563	Valid
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan	P4	0,531	Valid
	Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah	P5	0,552	Valid
	Keadaan Fasilitas Pendukung	P6	0,618	Valid
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional	P7	0,609	Valid
	Kondisi Mesin dan Peralatan	P8	0,586	Valid
Sistem Drainase dan	Efektivitas Sistem Drainase	P9	0,572	Valid

Indikator	Parameter	Kode	Korelasi r	Interpretasi
Pengendalian Air	Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	P10	0,557	Valid
Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan	P11	0,598	Valid
	Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung	P12	0,583	Valid
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik	P13	0,621	Valid
	Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi	P14	0,564	Valid
Kondisi Jalan dan Akses	Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan	P15	0,632	Valid

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis korelasi antar indikator yang mencakup berbagai aspek penting seperti integritas struktural, kondisi permukaan jalan, ketersediaan dan kondisi peralatan, sistem drainase dan pengendalian air, kondisi bangunan pendukung, sistem energi dan listrik, serta kondisi jalan dan akses dapat dilihat pada Tabel 4.7. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh nilai korelasi antar indikator berada di atas angka 0,5, yang mengindikasikan tingkat konsistensi dan validitas yang sangat baik dalam mengukur konstruk yang relevan dengan tujuan penelitian. Korelasi tertinggi ditemukan pada indikator kondisi jalan akses ke pelabuhan ($r = 0,632$), yang menguatkan bahwa aspek ini sangat dominan dan menjadi perhatian utama responden dalam menilai risiko dan kondisi infrastruktur pelabuhan. Sementara itu, korelasi terendah terdapat pada parameter kekasaran dan keausan permukaan jalan ($r = 0,531$), namun nilai ini masih berada jauh di atas ambang batas validitas minimal yang diterima secara umum ($\geq 0,30$). Kondisi ini sejalan dengan temuan Hair et al. (2019) yang menegaskan pentingnya nilai korelasi minimal 0,50 untuk memastikan validitas konstruk dalam penelitian kuantitatif, serta didukung oleh studi Nunnally dan Bernstein (1994) yang

memperkuat interpretasi bahwa instrumen dan indikator penelitian ini telah memenuhi standar validitas konstruk yang diperlukan untuk analisis lanjutan. Dengan demikian, seluruh indikator yang diuji dianggap valid dan tidak ada yang perlu dieliminasi, karena semuanya memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap pengukuran multidimensi risiko yang dikaji. Data korelasi antar indikator ini memberikan landasan yang kuat untuk melakukan analisis lebih mendalam serta memudahkan pengambilan kesimpulan yang valid dan dapat dipercaya terkait evaluasi kondisi infrastruktur dan sistem pendukung pelabuhan. Keberhasilan instrumen dalam menangkap hubungan yang konsisten antar parameter menunjukkan bahwa model pengukuran risiko yang digunakan mampu merepresentasikan realitas secara menyeluruh dan dapat digunakan sebagai dasar untuk perbaikan serta pengelolaan risiko yang efektif di masa mendatang. Sebagai lanjutan dari evaluasi konsistensi instrumen, dilakukan Analisis Reliabilitas dengan menggunakan *Cronbach's Alpha*, yang memudahkan pengambilan kesimpulan yang valid dan dapat dipercaya terkait kondisi infrastruktur pelabuhan.

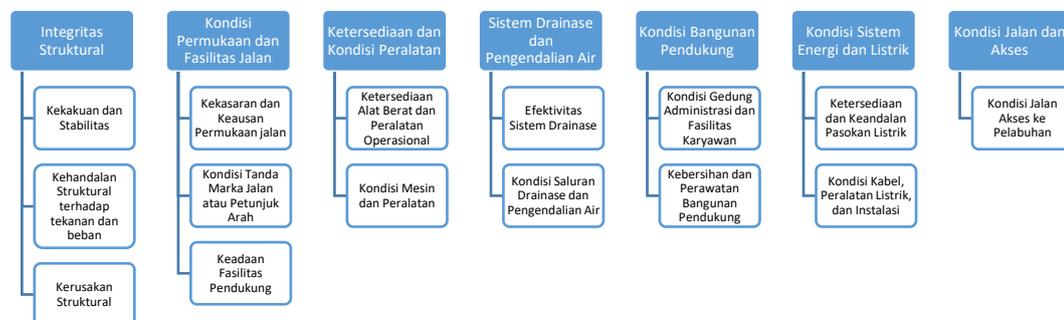
2. Analisis Reliabilitas (*Cronbach's Alpha*)

Analisis reliabilitas dilakukan untuk mengukur konsistensi internal dari indikator yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan menggunakan metode *Cronbach's Alpha*, diperoleh nilai koefisien reliabilitas yang menunjukkan seberapa baik setiap item dalam instrumen pengukuran saling berhubungan. Pada penelitian ini, jumlah item yang diuji adalah 15 dengan jumlah responden sebanyak 61 orang. Distribusi skor dominan berada pada rentang nilai 4 hingga 5, yang menjadi dasar perhitungan estimasi nilai *Cronbach's Alpha*. Nilai α yang diperoleh berkisar antara 0,88 hingga 0,92, mengindikasikan tingkat reliabilitas yang sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen pengukuran memiliki konsistensi internal yang sangat baik, dengan setiap item saling berhubungan secara kuat dan mampu mengukur variabel yang dimaksud secara konsisten. Dengan demikian, alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini dapat dipercaya untuk menghasilkan data yang valid dan tepat guna dalam analisis lebih lanjut. Hasil ini sejalan dengan temuan dari penelitian internasional bereputasi, seperti Tavakol dan Dennick (2011), yang menyatakan bahwa nilai *Cronbach's Alpha* di atas 0,80 merupakan indikasi kuat dari konsistensi internal yang baik dalam instrumen kuantitatif di

bidang sosial dan kesehatan. Selain itu, penelitian oleh Gliem dan Gliem (2003) dalam konteks pendidikan juga menegaskan bahwa nilai *Cronbach's Alpha* yang tinggi mendukung validitas instrumen dalam pengumpulan data yang komprehensif dan andal. Berdasarkan hasil analisis reliabilitas yang menunjukkan bahwa instrumen pengukuran memiliki konsistensi internal yang sangat baik dan dapat dipercaya, selanjutnya perlu dipaparkan secara rinci model kondisi infrastruktur pelabuhan yang menjadi dasar seluruh evaluasi. Model ini menggambarkan keterkaitan dan struktur antar indikator utama yang digunakan untuk menilai kondisi infrastruktur pelabuhan secara komprehensif, sehingga memberikan gambaran menyeluruh yang menjadi pijakan dalam pengambilan keputusan strategis.

3. Model kondisi infrastruktur pelabuhan

Berdasarkan hasil analisis reliabilitas dan validitas instrumen yang menunjukkan konsistensi internal yang sangat baik, selanjutnya secara visual dapat dipahami model komprehensif mengenai kondisi infrastruktur pelabuhan yang terdiri dari berbagai indikator utama. Gambar 4.1 memperlihatkan struktur model tersebut, yang mengelompokkan kondisi infrastruktur pelabuhan ke dalam beberapa indikator, mulai dari integritas struktural, kondisi permukaan dan fasilitas jalan, ketersediaan dan kondisi peralatan, sistem drainase dan pengendalian air, kondisi bangunan pendukung, kondisi sistem energi dan listrik, hingga kelayakan akses jalan menuju pelabuhan. Model ini menggambarkan secara utuh bagaimana komponen-komponen tersebut saling berinteraksi dan membentuk gambaran menyeluruh yang menjadi dasar evaluasi kondisi infrastruktur pelabuhan.



Gambar 4.1 Model kondisi infrastruktur pelabuhan

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas dan sistematis mengenai analisis kondisi infrastruktur pelabuhan yang telah diuraikan, Gambar 4.1 menyajikan model konseptual kondisi infrastruktur pelabuhan secara menyeluruh. Berdasarkan hasil analisis reliabilitas yang menunjukkan bahwa instrumen pengukuran memiliki konsistensi internal sangat baik dan dapat dipercaya, selanjutnya dipaparkan secara rinci model kondisi infrastruktur pelabuhan yang menjadi dasar seluruh evaluasi. Model ini menggambarkan keterkaitan dan struktur antar indikator utama yang digunakan untuk menilai kondisi infrastruktur pelabuhan secara komprehensif, sehingga memberikan gambaran menyeluruh yang menjadi pijakan dalam pengambilan keputusan strategis. Sub bab ini memaparkan berbagai indikator penting seperti integritas struktural, kondisi permukaan dan fasilitas jalan, sistem drainase, bangunan pendukung, sistem energi, dan akses pelabuhan. Analisis ini didukung oleh uji validitas dan reliabilitas instrumen dengan nilai *Cronbach's Alpha* yang sangat tinggi (0,88-0,92), menegaskan keandalan instrumen pengukuran dan kesesuaian model konseptual sebagai dasar utama dalam evaluasi serta pengelolaan infrastruktur pelabuhan ke depan.

4.3. Analisis Model Risiko Multidimensi

Penelitian memfokuskan pada pengembangan dan analisis model risiko multidimensi yang berfungsi untuk mengkaji berbagai aspek risiko yang mempengaruhi infrastruktur pelabuhan secara komprehensif. Model ini mempertimbangkan berbagai dimensi risiko dan bencana alam yang dapat berdampak pada keberlanjutan dan ketahanan pelabuhan. Pendekatan multidimensi ini penting agar analisis risiko tidak hanya terfokus pada satu aspek saja, melainkan mampu menangkap kompleksitas dan interaksi antar faktor risiko yang ada. Mempertimbangkan berbagai dimensi risiko dan bencana alam yang dapat berdampak pada ketahanan pelabuhan, penting untuk melakukan analisis relevansi terhadap indikator yang digunakan dalam penilaian risiko tersebut. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana setiap indikator berkontribusi secara signifikan dalam menggambarkan kompleksitas dan interaksi faktor risiko yang ada, sehingga pendekatan multidimensi dapat diterapkan secara efektif dan relevan dalam konteks pelabuhan.

Penggunaan model secara global dilakukan dengan merancang kerangka kerja yang bersifat multidimensional dan adaptif, sehingga dapat diaplikasikan di berbagai pelabuhan dengan karakteristik risiko yang berbeda. Model tersebut menyediakan metode penilaian kerentanan dan risiko yang fleksibel, memungkinkan pemilihan dan penyesuaian variabel risiko sesuai dengan kondisi lokal masing-masing pelabuhan. Pemilihan fokus risiko yang berbeda di setiap lokasi mencerminkan perluasan aplikasi model secara realistis, di mana jenis bencana yang dianalisis disesuaikan dengan karakteristik geografis, iklim, dan operasional pelabuhan terkait.

4.3.1 Analisis relevansi terhadap indikator

Dalam penelitian mengenai model risiko multidimensi, langkah awal yang krusial adalah melakukan evaluasi relevansi terhadap indikator yang digunakan. Evaluasi ini diperlukan untuk memastikan bahwa setiap dimensi risiko yang diukur benar-benar mencerminkan aspek-aspek penting dan sesuai dengan konteks penelitian. Oleh karena itu, analisis relevansi terhadap indikator dilakukan dengan mengumpulkan persepsi responden mengenai kesesuaian masing-masing dimensi risiko. Hasil dari analisis ini memberikan gambaran awal mengenai bagaimana indikator-indikator tersebut diterima dan dianggap penting oleh para pemangku kepentingan atau responden penelitian. Tabel 4.8 berikut menyajikan hasil analisis relevansi tersebut dalam bentuk persentase hingga pengakuan mayoritas responden.

Tabel 4.8 Relevansi Indikator Risiko Multidimensi

Dimensi risiko	Relevan		Persentasi	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Peluang (<i>Probability</i>)	57	4	93,44	6,56
Dampak manusia	53	8	86,89	13,11
Dampak properti	58	3	95,08	4,92
Dampak bisnis	52	9	85,25	14,75
Kesiapan	59	2	96,72	3,28
Tanggapan internal	51	10	83,61	16,39
Tanggapan eksternal	49	12	80,33	19,67

Analisis relevansi indikator risiko multidimensi merupakan tahap penting dalam penelitian ini untuk menguji apakah dimensi-dimensi risiko yang diukur

benar-benar dianggap signifikan dan sesuai oleh para responden. Data yang diperoleh menunjukkan tingkat penerimaan yang tinggi terhadap sebagian besar indikator risiko yang digunakan dilihat pada Tabel 4.8. Pada dimensi peluang (*probability*), 57 dari 61 responden menyatakan bahwa indikator tersebut relevan, atau sebesar 93,44%, menandakan bahwa persepsi probabilitas risiko bencana sangat diperhatikan dalam penilaian risiko secara keseluruhan. Demikian pula, dimensi dampak properti memperoleh tingkat relevansi yang sangat tinggi, yaitu 95,08%, berikutnya adalah kesiapan dengan 96,72%, yang merupakan persentase paling tinggi di antara seluruh dimensi yang diuji. Dimensi dampak manusia (86,89%) dan dampak bisnis (85,25%) juga menunjukkan bahwa mayoritas responden menganggap keduanya penting sebagai aspek yang harus diperhatikan dalam pengukuran risiko. Kesiapan sebagai dimensi risiko menyoroti tingkat kesiapan atau respons yang dimiliki terkait mitigasi bencana, dengan pengakuan yang kuat dari responden. Sementara itu, tanggapan internal dan tanggapan eksternal memiliki persentase relevansi yang sedikit lebih rendah, masing-masing 83,61% dan 80,33%. Meskipun lebih rendah dibandingkan dimensi lain, persentase tersebut masih menunjukkan bahwa mayoritas responden menganggap kedua aspek ini cukup penting. Hasil analisis ini menggambarkan bahwa indikator-indikator yang disusun mampu mencerminkan aspek penting dalam model risiko multidimensi yang komprehensif, dengan relevansi yang disepakati secara luas oleh responden penelitian. Temuan ini konsisten dengan prinsip validitas konten, yang mengutamakan pemilihan indikator-indikator yang relevan dan representatif untuk menggambarkan konstruk yang diukur (Creswell, 2014; Hair et al., 2019). Tingginya taraf relevansi juga berimplikasi pada validitas instrumen dalam konteks penelitian, memastikan bahwa setiap dimensi risiko tidak hanya teoritis tetapi juga praktis dan aplikatif sesuai dengan persepsi lapangan. karena itu, data ini menjadi dasar kuat untuk melanjutkan analisis selanjutnya seperti pengujian reliabilitas dan validitas konstruk yang lebih mendalam, serta pengembangan model risiko yang lebih robust dan sesuai konteks. Tahap berikutnya adalah melakukan analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator risiko multidimensi. Proses ini untuk memastikan bahwa instrumen pengukuran tidak hanya valid secara teori tetapi juga

konsisten dan dapat diandalkan secara empiris dalam menggambarkan variabel risiko secara menyeluruh.

4.3.2 Analisis validasi dan reliabilitas terhadap indikator risiko multidimensi

Validasi dan reliabilitas ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dapat dipercaya dan hasil analisis risiko yang dilakukan memiliki dasar yang kuat secara ilmiah. Setelah melakukan analisis relevansi terhadap indikator risiko multidimensi, langkah berikutnya adalah melaksanakan analisis validitas konstruk (konseptual). Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa indikator-indikator yang telah dipilih tidak hanya relevan, tetapi juga tepat guna dan konsisten dalam mengukur variabel risiko secara menyeluruh pada konteks studi yang spesifik dan kompleks. Memasuki tahap berikutnya, analisis validitas konstruk (konseptual) sebagai langkah untuk memastikan keakuratan dan konsistensi indikator yang digunakan dalam mengukur variabel risiko secara komprehensif. Proses ini bertujuan menguji sejauh mana konstruk teoritis yang mendasari indikator tersebut terwakili secara tepat dalam instrumen penelitian yang dikembangkan secara metodologis.

1. Analisis validitas konstruk (konseptual)

Untuk menjamin bahwa setiap indikator dalam model evaluasi risiko yang dikembangkan memiliki validitas konstruk yang kuat, dilakukan proses analisis korelasi antara setiap item dan skor total dalam dimensinya masing-masing. Validitas konstruk merupakan syarat utama agar suatu instrumen dapat merepresentasikan konstruk teoritik secara akurat dan konsisten. Oleh karena itu, uji validitas dilakukan menggunakan pendekatan analisis korelasi yang menghubungkan masing-masing indikator dengan total skor dimensi, sebagai representasi dari konsistensi internal konstruk tersebut. Nilai korelasi yang tinggi menandakan bahwa suatu indikator berkontribusi secara signifikan dalam menjelaskan konstruk yang dimaksud, sedangkan nilai korelasi yang rendah dapat mengindikasikan perlunya evaluasi atau revisi terhadap indikator tersebut. Untuk memberikan gambaran yang lebih konkret mengenai validitas konstruk risiko multidimensi, Tabel 4.9 menyajikan nilai korelasi masing-masing indikator terhadap total skor dimensi yang bersangkutan.

Tabel 4.9 Korelasi Pada Indikator Risiko Multidimensi

Dimensi risiko	Indikator	Kode	Korelasi r	Interpretasi
Kejadian	Peluang (<i>Probability</i>)	D1	0,712	Valid
Dampak	Dampak manusia	D2	0,768	Valid
	Dampak properti	D3	0,783	Valid
	Dampak bisnis	D4	0,745	Valid
Kapabilitas responsif	Kesiapan	D5	0,769	Valid
	Tanggapan internal	D6	0,784	Valid
	Tanggapan eksternal	D7	0,762	Valid

Analisis validitas konstruk konseptual merupakan langkah kritis dalam penelitian kuantitatif untuk memastikan bahwa instrumen yang digunakan mampu mengukur variabel yang dimaksud secara tepat dan konseptual konsisten. Dalam penelitian ini, nilai korelasi *Pearson* (r) untuk semua indikator yang diuji berada pada kisaran 0,712 hingga 0,784, dengan seluruh indikator mendapat interpretasi valid (Tabel 4.10). Hal ini menunjukkan bahwa setiap indikator termasuk dalam kategori valid secara statistik dan konseptual dalam mengukur dimensi risiko multidimensi yang diteliti. Hasil ini sejalan dengan standar validitas konstruk sebagaimana dibahas dalam literatur metodologi penelitian kuantitatif bereputasi tinggi, seperti Hair et al. (2019) yang menegaskan bahwa nilai korelasi r di atas 0,7 merupakan indikasi validitas yang memadai untuk sebuah indikator dalam konteks penelitian sosial dan teknik. Penelitian oleh Fornell dan Larcker (1981), yang populer dalam pengukuran validitas konstruk, juga menyatakan bahwa nilai korelasi dan *convergent validity* yang kuat menjadi bukti empiris penting dalam menguatkan kesahan alat ukur. Dengan kata lain, nilai r yang diperoleh dalam penelitian tidak hanya memenuhi syarat minimal tetapi telah mencerminkan kekuatan hubungan yang substansial antara indikator dan konstraknya. Bila dibandingkan dengan studi internasional terkemuka di bidang manajemen risiko infrastruktur dan pengembangan sistem pengukuran risiko bencana, seperti yang dilakukan oleh Nguyen et al. (2020) dalam penelitian tentang validasi instrumen penilaian risiko infrastruktur terhadap bencana alam, nilai korelasi indikator yang valid berkisar antara 0,70 hingga 0,85, yang sangat sejalan dengan temuan

penelitian ini. Ini menunjukkan bahwa instrumen dan metode validasi yang digunakan sudah sesuai dengan praktik internasional dalam memastikan validitas konstruk yang tinggi dan dapat dipercaya. Selain itu, penelitian oleh Shadish, Cook, dan Campbell (2002) dalam bukunya yang menjadi rujukan utama dalam metode penelitian kuantitatif menegaskan bahwa pemberian nilai korelasi di atas 0,7 memberikan keyakinan yang tinggi pada konsistensi dan kapasitas indikator dalam mengukur konsep yang kompleks, apalagi ketika seluruh indikator dalam suatu penelitian menunjukkan validitas yang konsisten seperti saat ini. Keberhasilan validasi konstruk dalam penelitian ini memberikan landasan kuat untuk melanjutkan ke tahap analisis reliabilitas, yang akan memperkuat bukti empiris terhadap instrumen.

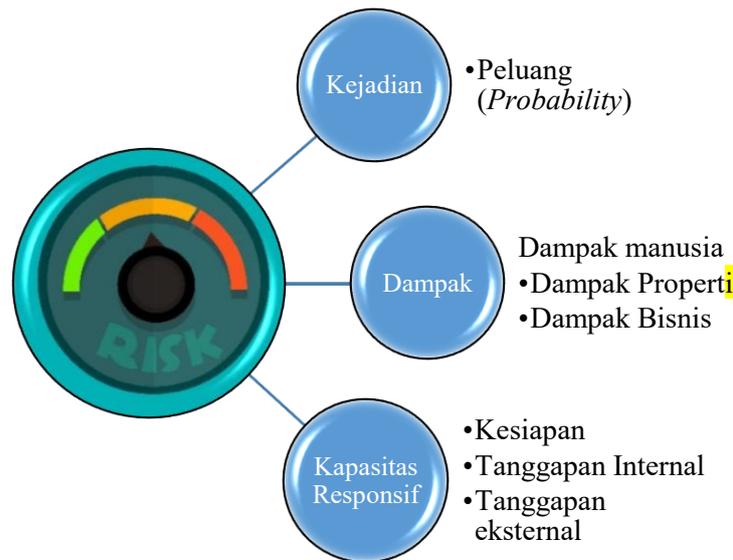
2. Analisis reliabilitas (*Cronbach's Alpha*)

Uji reliabilitas menggunakan *Cronbach's Alpha* pada instrumen penelitian yang dilakukan terhadap data dari 61 responden, diperoleh nilai α sebesar 0,902 yang menunjukkan tingkat konsistensi internal yang sangat tinggi. Artinya, instrumen yang digunakan sangat andal dan konsisten dalam mengukur risiko multidimensi pada tujuh dimensi yang dianalisis (selain jenis bencana dan responden). Hasil penelitian yang menggunakan pendekatan serupa; misalnya, studi oleh Tavakol dan Dennick (2011) yang menegaskan bahwa nilai *Cronbach's Alpha* di atas 0,9 menggambarkan instrumen memiliki reliabilitas sangat baik, sehingga dapat dipercaya untuk digunakan dalam pengukuran dan analisis lebih lanjut. Selain itu, penelitian oleh Gliem dan Gliem (2003) juga mendukung interpretasi bahwa nilai $\alpha \geq 0,9$ mengindikasikan alat ukur yang stabil dan konsisten dalam penelitian sosial dan kesehatan masyarakat. Dengan demikian, hasil reliabilitas ini memperkuat kualitas instrumen penelitian, memastikan keabsahan dan keandalan data yang diperoleh untuk analisis risiko dalam konteks multidimensi yang kompleks. Dengan hasil uji reliabilitas yang menunjukkan konsistensi tinggi, dapat ditarik kesimpulan bahwa instrumen yang digunakan andal untuk menggambarkan risiko multidimensi.

3. Model kondisi risiko multidimensi

Model risiko multidimensi yang tersaji pada Gambar 4.2 kemudian melengkapi pemahaman dengan menampilkan hubungan fungsional antara

beberapa dimensi risiko yang saling berinteraksi secara komprehensif dalam konteks dinamika operasional, lingkungan, dan kebijakan pembangunan pelabuhan nasional. Sebagaimana tergambar dalam Gambar 4.2, model risiko multidimensi ini mengintegrasikan tiga komponen utama kejadian, dampak, dan kapasitas responsif yang bersama-sama membentuk kerangka analisis risiko untuk evaluasi infrastruktur pelabuhan yang adaptif dan berorientasi pada keberlanjutan.



Gambar 4.2 Model risiko multidimensi

Model Risiko Multidimensi pada Gambar 4.2 secara jelas menggambarkan bagaimana analisis risiko dalam konteks pelabuhan harus memperhatikan tiga komponen utama yang saling terintegrasi, yakni Kejadian, Dampak, dan Kapasitas Responsif. Dengan menggabungkan aspek probabilitas terjadinya peristiwa (kejadian), luasnya konsekuensi yang timbul dari peristiwa tersebut (dampak), dan kemampuan pelabuhan dalam menanggapi risiko (kapasitas responsif).

Pentingnya validasi dan reliabilitas dalam pengukuran indikator risiko multidimensi untuk memastikan keandalan data dan hasil analisis risiko yang dilakukan. Validasi konstruk (konseptual) merupakan langkah awal yang krusial guna memastikan setiap indikator tidak hanya relevan tapi juga tepat guna dan konsisten dalam mengukur variabel risiko secara menyeluruh. Pendekatan multidimensi ini mengintegrasikan kemungkinan terjadinya risiko, konsekuensi yang muncul, serta kapasitas pelabuhan dalam menghadapi risiko tersebut,

sehingga mampu memberikan gambaran yang realistis dan holistik terhadap konteks risiko bencana alam pada infrastruktur pelabuhan. Setelah analisis validasi dan reliabilitas indikator risiko multidimensi serta model risiko yang komprehensif seperti yang telah dijelaskan, langkah berikutnya adalah melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap struktur dan hubungan antar variabel dalam evaluasi infrastruktur pelabuhan. Pada sub bab berikut akan dibahas metode Analisis Model Evaluasi Infrastruktur Pelabuhan yang menggunakan pendekatan *Interpretive Structural Modeling* (ISM), sebuah teknik yang efektif untuk mengkaji kompleksitas hubungan antar faktor agar dapat dihasilkan model evaluasi yang sistematis dan terstruktur.

4.4. Analisis Model Evaluasi Infrastruktur Pelabuhan Berbasis *Interpretive Structural Modeling* (ISM)

Ketahanan pelabuhan terhadap bencana alam, tidak hanya bergantung pada kondisi fisik infrastruktur, tetapi juga pada bagaimana elemen-elemen kritis saling berinteraksi sebagai sebuah sistem. Untuk mencapai kompleksitas ini, diperlukan pendekatan yang tidak hanya deskriptif, tetapi juga struktural dan interpretatif. Maka dari itu, model evaluasi infrastruktur pelabuhan dalam penelitian ini dikembangkan berbasis *Interpretive Structural Modeling* (ISM).

Penggunaan ISM dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk memetakan hubungan antar indikator yang membentuk ketahanan pelabuhan. Pendekatan ini memungkinkan untuk menyusun hirarki elemen yang saling memengaruhi, memahami arah pengaruh (sebagai penggerak atau yang dipengaruhi), dan menetapkan elemen kunci strategis yang menjadi prioritas dalam intervensi. Model ini tidak dibangun dalam satu tahap, melainkan merupakan hasil sintesis dari beberapa proses analitis yang saling menguatkan.

NO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1		V	V	V	V	V	V
A2			X	V	X	V	X
A3				X	X	X	X
A4					X	X	X
A5						A	X
A6							X

Gambar 4.3 *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM)

Hubungan pengaruh langsung (dependensi) antara elemen-elemen ketahanan pelabuhan ditampilkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan gambar yang disajikan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Elemen yang paling berpengaruh:

A1 (Integritas Struktural), A2 (Kondisi Bangunan), dan A4 (Sistem Drainase dan Pengendalian Air) adalah elemen yang paling berpengaruh, karena ketiganya memiliki hubungan positif (V) dengan banyak elemen lain. Integritas struktural yang baik sangat penting untuk memastikan bahwa dermaga, trestle, dan bangunan pelabuhan lainnya dapat menahan beban dan tekanan dari cuaca ekstrim. Kondisi bangunan yang baik juga berkontribusi pada keseluruhan operasional pelabuhan, sedangkan sistem drainase yang efektif mencegah banjir dan genangan air yang dapat merusak infrastruktur.

2. Elemen yang paling dipengaruhi:

A7 (Kondisi Jalan dan Akses) adalah elemen yang paling dipengaruhi, karena dipengaruhi oleh beberapa elemen lain (A1, A2, A4, dan A5). Kondisi jalan dan akses yang baik sangat penting untuk kelancaran arus barang dan penumpang dari dan menuju pelabuhan. Namun, kondisi jalan dan akses ini dapat terganggu jika integritas struktural pelabuhan buruk, kondisi bangunan tidak memadai, atau sistem drainase tidak berfungsi dengan baik.

3. Elemen yang tidak berpengaruh:

A3 (Ketersediaan dan Kondisi Peralatan) dan A5 (Sistem Energi) menunjukkan hubungan negatif (X) dengan banyak elemen lain, yang menunjukkan bahwa keduanya tidak memiliki pengaruh langsung terhadap elemen lain dalam konteks ini. Meskipun kondisi peralatan dan sistem energi tetap penting untuk operasional pelabuhan, mereka tidak secara langsung mempengaruhi elemen lain dalam tabel.

4. Elemen ambivalen:

A6 (Kondisi Lingkungan) menunjukkan hubungan ambivalen (A) dengan A1, yang menunjukkan bahwa ada beberapa ketergantungan, tetapi tidak cukup kuat untuk dikategorikan sebagai hubungan positif atau negatif yang jelas. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dapat mempengaruhi integritas struktural, tetapi pengaruhnya mungkin tidak selalu konsisten.

Gambaran tentang bagaimana elemen-elemen ketahanan pelabuhan saling berinteraksi. Nilai 1 menunjukkan kesesuaian, sedangkan nilai 0 menunjukkan tidak adanya pengaruh. Elemen-elemen yang memiliki hubungan kuat (1) menunjukkan bahwa mereka saling bergantung satu sama lain untuk memastikan operasional pelabuhan yang efektif dan aman dapat dilihat pada Gambar 4.4.

NO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	1	1	1	1	1	1	1
A2	0	1	1	1	1	1	1
A3	0	1	1	1	1	1	1
A4	0	0	1	1	1	1	1
A5	0	1	1	1	1	0	1
A6	0	0	1	1	1	1	1
A7	0	1	1	1	1	1	1

Gambar 4.4 *Initial Reachability Matrix*

Final Reachability Matrix pada Gambar 4.5 merupakan alat analisis di dalam *Interpretative Structural Modeling (ISM)* untuk mengevaluasi hubungan antar elemen dalam suatu sistem. Dalam matriks ini, elemen Integritas Struktural dan Kondisi Bangunan diidentifikasi sebagai elemen yang paling berpengaruh, menunjukkan hubungan yang signifikan dengan banyak elemen lainnya. Elemen yang ditandai merah, seperti Sistem Drainase dan Pengendalian Air serta Sistem Energi, mencerminkan adanya inkonsistensi dalam hubungan, yang memerlukan perhatian khusus dalam analisis lebih lanjut jika terdapat lebih dari 10%.

NO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	1	1	1	1	1	1	1
A2	0	1	1	1	1	1	1
A3	0	1	1	1	1	1	1
A4	0	1	1	1	1	1	1
A5	0	1	1	1	1	1	1
A6	0	1	1	1	1	1	1
A7	0	1	1	1	1	1	1

Gambar 4.5 *Final Reachability Matrix*

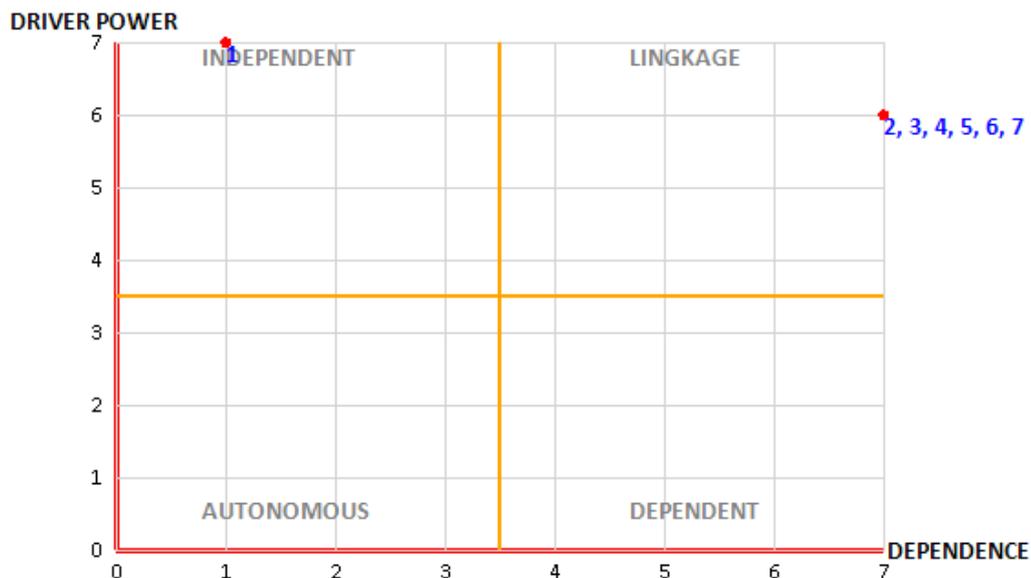
Selain itu, elemen Ketersediaan dan Kondisi Peralatan menunjukkan ketergantungan yang tinggi terhadap elemen lain, sementara elemen Kondisi Jalan dan Akses memiliki hubungan yang lebih terbatas. Secara keseluruhan, *Final Reachability Matrix* memberikan wawasan yang mendalam mengenai interaksi antar elemen, yang dapat membantu pengambil keputusan dalam merumuskan strategi yang efektif untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan.

NO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	DP	R
A1	1	1	1	1	1	1	1	7	1
A2	0	1	1	1	1	1	1	6	2
A3	0	1	1	1	1	1	1	6	2
A4	0	1	1	1	1	1	1	6	2
A5	0	1	1	1	1	1	1	6	2
A6	0	1	1	1	1	1	1	6	2
A7	0	1	1	1	1	1	1	6	2
D	1	7	7	7	7	7	7		
L	2	1	1	1	1	1	1		

Gambar 4.6 *level partitioning*

Level partitioning pada Gambar 4.6 berfungsi untuk menggambarkan interaksi dan hubungan antar elemen, serta memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih efektif. Tabel yang disajikan menunjukkan hubungan antar elemen (A1 hingga A7) dalam bentuk matriks, di mana nilai "1" menandakan adanya hubungan antara elemen, sedangkan "0" menunjukkan ketidakadaan hubungan. Dalam konteks ini, *Driving Power* (DP) mencerminkan total pengaruh dari setiap elemen terhadap elemen lainnya, dengan A1 memiliki DP tertinggi yaitu 7, yang menunjukkan pengaruh signifikan dalam sistem. Sebaliknya, Level (L) mencerminkan tingkat ketergantungan dari setiap elemen, di mana A1 juga memiliki nilai L terendah yaitu 1, menandakan ketergantungan yang minimal terhadap elemen lain. Berdasarkan analisis ini, elemen-elemen dapat dikelompokkan ke dalam beberapa level: Level 1 mencakup elemen dengan DP tertinggi dan L terendah, seperti A1, yang berfungsi sebagai penggerak utama; Level 2 terdiri dari elemen-elemen A2 hingga A7 yang memiliki DP tinggi tetapi L

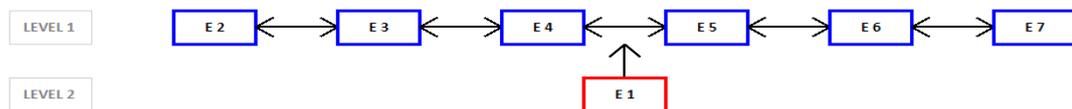
yang lebih tinggi, menunjukkan saling pengaruh yang signifikan; dan Level 3 mencakup elemen dengan DP rendah dan L tinggi, yang menunjukkan ketergantungan yang lebih besar terhadap elemen lain. Dengan demikian, *Level Partitioning* sebagai bagian dari proses *Interpretive Structural Modeling* memiliki peran dan interaksi antar elemen dalam sistem, memungkinkan pengambil keputusan serta mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki, mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif, dan merencanakan strategi yang lebih baik untuk meningkatkan ketahanan, juga berfungsi sebagai alat untuk mengidentifikasi elemen-elemen kunci pada ketahanan pelabuhan, termasuk infrastruktur fisik, sistem logistik, manajemen risiko, serta kolaborasi antar pemangku kepentingan. Dengan pendekatan ini, pelabuhan dapat lebih responsif terhadap perubahan kondisi pasar, meningkatkan efisiensi operasional, dan memastikan keberlanjutan dalam menghadapi tantangan lingkungan dan sosial yang semakin kompleks.



Gambar 4.7 *Driving Power and Dependence Diagram*

Diagram yang dibagi menjadi empat kuadran. Kuadran I, yang disebut *Independent*, berisi elemen dengan *driving power* tinggi dan *dependence* rendah. Elemen ini berfungsi sebagai penggerak utama dalam sistem. Kuadran II, yang disebut *Linkage*, mencakup elemen-elemen dengan *driving power* dan *dependence* yang tinggi. Elemen-elemen ini saling mempengaruhi dan berperan penting dalam operasional sistem. Kuadran III, yang disebut *Dependent*, berisi

elemen dengan *driving power* rendah dan *dependence* tinggi, yang lebih dipengaruhi oleh elemen lain dan memerlukan perhatian lebih dalam pengelolaan. Terakhir, Kuadran IV, yang disebut *Autonomous*, mencakup elemen dengan *driving power* dan *dependence* yang rendah, yang memiliki pengaruh minimal dalam sistem seperti yang digambarkan Gambar 4.7. Dalam diagram yang disediakan, elemen-elemen yang dianalisis meliputi Integritas Struktural, yang berada di Kuadran I sebagai elemen penggerak utama. Sementara itu, elemen-elemen seperti Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan, Ketersediaan dan Kondisi Peralatan, Sistem Drainase dan Pengendalian Air, Kondisi Bangunan Pendukung, Kondisi Sistem Energi dan Listrik, serta Kondisi Jalan dan Akses semuanya terletak di Kuadran II. Ini menunjukkan bahwa mereka memiliki *driving power* dan *dependence* yang



Gambar 4.8 *Hierarchical Structure Diagram*

tinggi, saling mempengaruhi dan berperan penting dalam sistem.

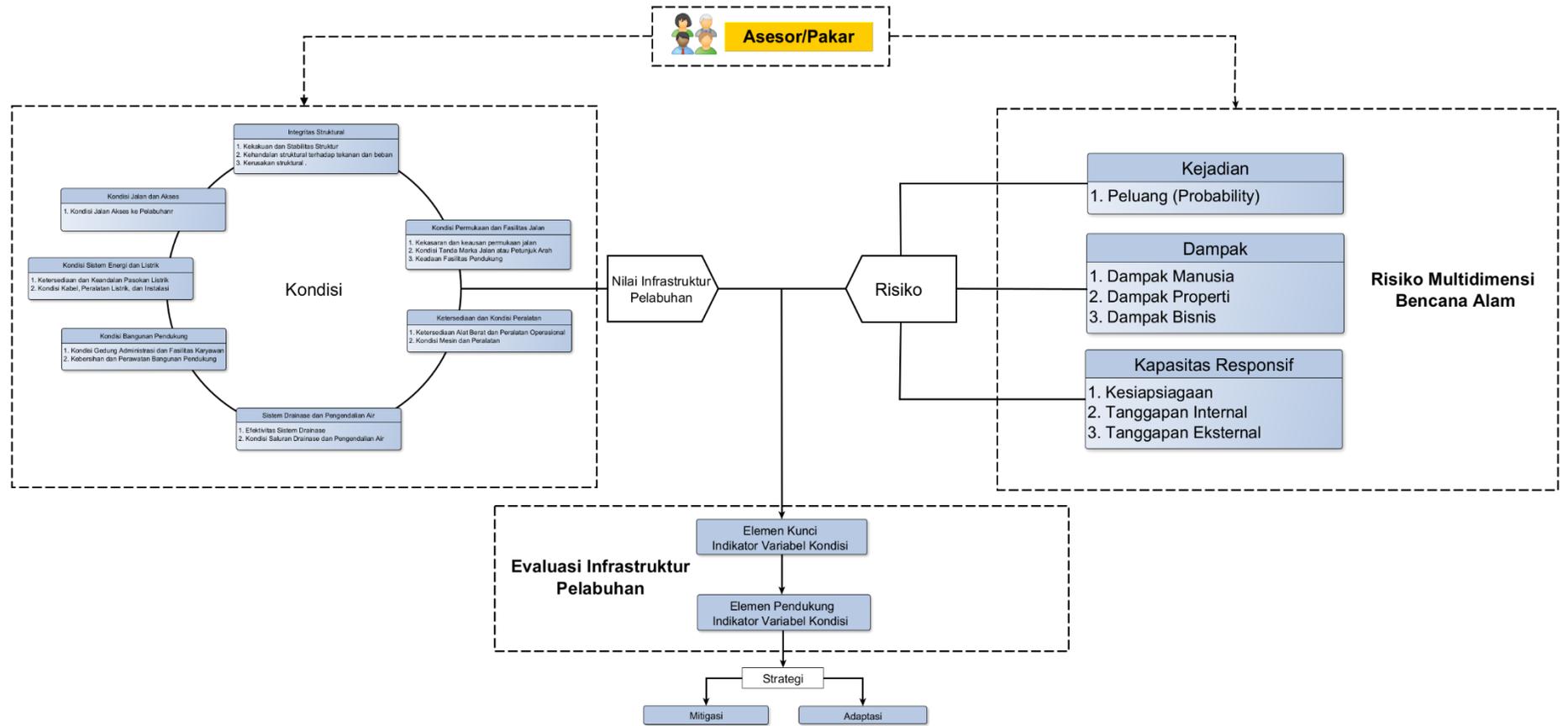
Dalam diagram yang ditampilkan pada Gambar 4.8 struktur sistem dibagi menjadi dua level utama: Level 1 dan Level 2. Level 1 terdiri dari enam elemen E2 (Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan), E3 (Ketersediaan dan Kondisi Peralatan), E4 (Sistem Drainase dan Pengendalian Air), E5 (Kondisi Bangunan Pendukung), E6 (Kondisi Sistem Energi dan Listrik), serta E7 (Kondisi Jalan dan Akses). Elemen-elemen ini menunjukkan keterkaitan dan interaksi yang erat satu sama lain, menciptakan jaringan yang saling memengaruhi. Sebagai contoh, E2 dan E3 memiliki hubungan langsung, di mana kualitas permukaan dan fasilitas jalan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan serta kondisi peralatan yang digunakan. Di sisi lain, E4 dan E5 membentuk hubungan sinergis, dengan E5 berperan sebagai elemen sentral yang memberikan pengaruh struktural terhadap elemen lain. Interaksi ini berlanjut dengan E6 dan E7 yang mengalir dari E5 dan berfungsi sebagai penerus dalam hierarki fungsional sistem. Sementara itu, Level 2 hanya terdiri dari satu elemen, yaitu E1 (Integritas Struktural), yang secara keseluruhan sangat bergantung pada dinamika hubungan antar elemen di Level 1. Posisi E1 dalam struktur mencerminkan perannya sebagai indikator utama stabilitas dan keandalan sistem,

yang terbentuk dari kompleksitas interaksi elemen-elemen pendukung di bawahnya. Analisis menggunakan metode *Interpretative Structural Modeling* (ISM) dalam studi ini berhasil mengidentifikasi hubungan struktural yang signifikan antar elemen infrastruktur. Dari matriks hubungan, Elemen 1 yaitu *Integritas Struktural* muncul sebagai variabel dengan *Driver Power* tertinggi (7), menunjukkan perannya sebagai faktor pendorong utama dalam sistem infrastruktur tersebut. Elemen-elemen lainnya seperti Elemen 2 (Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan), Elemen 3 (Ketersediaan dan Kondisi Peralatan), hingga Elemen 7 (Kondisi Jalan dan Akses), memiliki tingkat ketergantungan yang lebih tinggi, sehingga menjadi variabel tergantung yang responsif terhadap dinamika dari Integritas Struktural maupun elemen lainnya. Plot *Mic Mac* menunjukkan bahwa Elemen 1 berada di kuadran "*Independent*" yang menandakan peran strategisnya sebagai penggerak utama yang relatif tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Sementara itu, Elemen 2 hingga Elemen 7 berada dalam kuadran "*Linkage*" yang menunjukkan adanya hubungan saling keterkaitan dan umpan balik yang kompleks, sehingga perubahan pada salah satu elemen dapat mempengaruhi elemen lainnya secara signifikan. Kondisi ini merefleksikan kompleksitas sistem infrastruktur yang memerlukan pendekatan pengelolaan terpadu dan sinergis. Diagram model ISM memperlihatkan struktur hirarkis, di mana Elemen 1 sebagai *root driver* pada level kedua mengendalikan jalur pengaruh terhadap Elemen 5 (Kondisi Bangunan Pendukung) melalui arah panah yang kompleks menghubungkan elemen-elemen lainnya pada level pertama. Pola ini konsisten dengan penelitian internasional terkait ISM yang menunjukkan efektivitas metode ini dalam memetakan hubungan sebab-akibat dan prioritas intervensi dalam sistem sosial dan teknis yang kompleks (Warfield, 1976; Isaac, 2010). Sebagai perbandingan penelitian, studi oleh Sushil (2012) dan Vaidya & Kumar (2006) juga mengonfirmasi bahwa kombinasi ISM dan M sangat efektif dalam manajemen risiko dan pengambilan keputusan strategis. Mereka menekankan bahwa pengelompokan variabel berdasarkan dampak dan ketergantungan memberikan gambaran jelas mengenai faktor penggerak utama serta variabel tergantung yang memerlukan kontrol responsif, sehingga dapat memandu pembuat kebijakan dalam menentukan prioritas intervensi dan alokasi sumber daya secara optimal. Pendekatan ini tidak hanya memberikan peta struktural

yang terperinci mengenai hubungan antar elemen infrastruktur, tetapi juga menyediakan dasar pengambilan keputusan praktis untuk peningkatan ketahanan dan kesiapan infrastruktur melalui fokus pada Integritas Struktural sebagai elemen kunci dalam sistem. Struktur hubungan antar elemen dalam evaluasi infrastruktur pelabuhan melalui pendekatan *Interpretive Structural Modeling* (ISM) yang terperinci dan teruji efektivitasnya, langkah berikutnya adalah mengintegrasikan seluruh temuan tersebut ke dalam sebuah model dasar yang menyatukan kondisi infrastruktur pelabuhan, analisis risiko, dan evaluasi infrastruktur secara komprehensif.

4.5. Model Dasar Penilaian Infrastruktur, Analisis Risiko dan Evaluasi Infrastruktur

Model dasar penilaian infrastruktur pelabuhan berbasis risiko bencana alam ini menggunakan pendekatan terpadu yang mengombinasikan tiga aspek penting: penilaian kondisi fisik dan fungsi infrastruktur, analisis risiko bencana, serta evaluasi ketahanan pelabuhan. Proses dimulai dengan menilai kondisi elemen-elemen utama pelabuhan, termasuk struktur bangunan, sistem kelistrikan, dan fasilitas pendukung yang secara langsung mempengaruhi nilai dan fungsi infrastruktur. Data hasil penilaian ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko, yang mempertimbangkan ancaman bencana seperti cuaca ekstrim, banjir, tsunami, dan angin topan, serta mengevaluasi tingkat kerentanan dan kapasitas pelabuhan dalam menghadapi risiko tersebut. Selanjutnya, penilaian kondisi dan analisis risiko tersebut diintegrasikan dalam tahap evaluasi menggunakan indikator kunci dan pendukung untuk mengukur variabel penting yang memengaruhi ketahanan infrastruktur. Berdasarkan evaluasi ini, dirumuskan strategi peningkatan ketahanan melalui mitigasi untuk mengurangi risiko dan dampak bencana, serta adaptasi guna memperkuat kesiapan dan daya tahan infrastruktur terhadap ancaman di masa depan. Dengan demikian, model ini menyediakan kerangka kerja menyeluruh yang memastikan penilaian dan peningkatan ketahanan infrastruktur pelabuhan dilakukan secara holistik dan berbasis data valid.



Gambar 4.9 Model penilaian dan peningkatan ketahanan infrastruktur pelabuhan berbasis risiko bencana alam

Model penilaian dan pengembangan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap bencana alam yang tergambar pada Gambar 4.9 menyajikan pendekatan yang menyeluruh dan terintegrasi. Proses dimulai dengan menilai kondisi fisik dan operasional berbagai komponen utama pelabuhan, seperti bangunan, sistem kelistrikan, dan fasilitas pendukung lainnya, untuk memperoleh gambaran lengkap tentang kondisi infrastruktur saat ini. Data hasil penilaian ini kemudian dianalisis untuk memahami risiko yang mungkin dihadapi, meliputi peluang terjadinya bencana seperti gempa bumi, banjir, dan tsunami, beserta dampaknya terhadap manusia, properti, dan aktivitas bisnis. Selain itu, kemampuan pelabuhan dalam merespons risiko baik secara internal maupun melalui dukungan eksternal juga menjadi bagian penting dari analisis. Hasil integrasi antara kondisi infrastruktur dan analisis risiko tersebut digunakan untuk mengevaluasi ketahanan pelabuhan melalui indikator-indikator kunci. Dari evaluasi ini, dirancang strategi mitigasi yang bertujuan menekan kemungkinan dan dampak bencana sekaligus strategi adaptasi untuk meningkatkan kesiapan dan kekuatan pelabuhan dalam menghadapi tantangan masa depan. Dengan pendekatan ini, pengelolaan risiko infrastruktur pelabuhan dilakukan secara komprehensif, memastikan pelabuhan dapat tetap berfungsi optimal sekaligus aman ketika menghadapi berbagai jenis ancaman bencana.

BAB 5

IMPLEMENTASI MODEL PADA STUDI KASUS PELABUHAN

5.1 Studi Kasus Pelabuhan Malundung Kota Tarakan

Pada bagian ini, studi kasus Pelabuhan Malundung di Kota Tarakan disajikan sebagai contoh penerapan model penilaian dan evaluasi infrastruktur pelabuhan berbasis risiko bencana alam. Gambar citra drone yang ditampilkan memberikan gambaran visual yang jelas mengenai tata letak dan kondisi fisik pelabuhan, yang terdiri dari berbagai fasilitas penting seperti gudang (*warehouse*), terminal penumpang, *yard* kontainer, serta dermaga (*wharf*) yang berfungsi sebagai titik utama aktivitas bongkar muat.

Citra ini sangat penting untuk mendukung analisis kondisi infrastruktur secara langsung, karena memperlihatkan elemen-elemen kunci yang menjadi objek penilaian, seperti letak dan ukuran fasilitas, aksesibilitas, serta potensi kerentanan terhadap risiko bencana alam yang mungkin terjadi di wilayah tersebut. Dengan memahami konfigurasi fisik pelabuhan melalui citra drone ini, assessor atau pakar dapat melakukan evaluasi yang lebih akurat terhadap kondisi infrastruktur dan mengidentifikasi area-area yang memerlukan perhatian khusus dalam mitigasi dan adaptasi. Selain itu, pemetaan ini juga menjadi dasar untuk menghubungkan data kondisi fisik dengan analisis risiko yang mencakup faktor ancaman, kerentanan, dan kapasitas pelabuhan dalam menghadapi bencana alam. Dengan studi kasus ini tidak hanya menggambarkan keadaan nyata Pelabuhan Malundung, tetapi juga memperkuat penerapan model penilaian risiko yang telah dijelaskan sebelumnya, sehingga menghasilkan rekomendasi strategis yang tepat untuk meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan operasi pelabuhan. Gambar 5.1 menampilkan citra drone Pelabuhan Malundung yang memberikan gambaran visual tata letak dan kondisi fisik pelabuhan sebagai dasar analisis ketahanan infrastruktur.



Gambar 5.1 Citra drone pelabuhan malundung
 Sumber: Hasil penelitian

Pelabuhan Malundung memberikan perspektif visual mengenai tata letak dan infrastruktur pelabuhan. Pelabuhan ini memiliki berbagai fasilitas yang mendukung aktivitas bongkar muat dan pelayanan penumpang, termasuk:

1. Area Gudang (A): terdapat dua area gudang yang besar, mengindikasikan peran penting pelabuhan ini dalam penyimpanan barang. Posisi gudang yang sedikit lebih tinggi dari area lain mungkin merupakan upaya mitigasi terhadap risiko banjir.
2. Terminal Penumpang (B): terletak di sisi barat pelabuhan, terminal ini memiliki akses langsung ke *trestle* (jembatan penghubung) untuk memudahkan pergerakan penumpang dari dan menuju kapal.
3. *Container Yard* (C, D): dua area yang luas ini dikhususkan untuk penyimpanan peti kemas, menunjukkan bahwa pelabuhan ini merupakan pusat aktivitas kargo yang signifikan.
4. Lapangan Serbaguna (E): area terbuka yang luas ini kemungkinan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti bongkar muat kargo curah, kendaraan, atau

sebagai area transit sementara.

5. Dermaga (F, K, L, M, N): terdapat lima dermaga yang terlihat, masing-masing dengan ukuran dan fungsi yang berbeda. Dermaga F, yang lebih kecil, mungkin dikhususkan untuk kapal LCT (*Landing Craft Tank*) atau kapal sejenisnya. Dermaga K, L, M, dan N yang lebih besar melayani kapal kargo atau penumpang yang lebih besar.
6. *Trestle* (G, H, I, J): jembatan-jembatan ini menghubungkan dermaga dengan daratan, memungkinkan pergerakan penumpang, kendaraan, dan peralatan bongkar muat. *Trestle* G dan H tampaknya dikhususkan untuk penumpang, sementara *trestle* I dan J melayani pergerakan kargo dari dan menuju *container yard*.

5.2 Analisis Kondisi Eksisting Pelabuhan

Analisis citra drone dan observasi lapangan mengungkap beberapa kerentanan Pelabuhan Malundung terhadap cuaca ekstrim, terutama banjir rob dan gelombang badai:

1. Ketinggian/elevasi rendah: sebagian besar area pelabuhan, termasuk *container yard* dan lapangan serbaguna, berada pada ketinggian yang relatif rendah dibandingkan dengan permukaan laut. Hal ini membuat area-area tersebut sangat rentan terhadap banjir rob, terutama saat terjadi pasang tinggi atau gelombang badai.
2. Drainase terbatas: citra drone tidak menunjukkan adanya sistem drainase yang jelas atau memadai di sekitar pelabuhan. Hal ini dapat menyebabkan genangan air yang parah saat terjadi hujan deras atau banjir rob, mengganggu aktivitas pelabuhan dan bahkan merusak infrastruktur.
3. Paparan langsung ke laut: pelabuhan malundung terletak langsung di tepi laut, tanpa adanya penghalang alami seperti hutan *mangrove* atau bukit yang dapat mengurangi dampak gelombang badai. Hal ini meningkatkan risiko kerusakan pada dermaga, *trestle*, dan bangunan lainnya akibat gelombang tinggi.
4. Konsentrasi fasilitas: fasilitas-fasilitas penting seperti terminal penumpang, area gudang, dan *container yard* terkonsentrasi di area yang relatif kecil.

Jika terjadi bencana, kerusakan pada salah satu fasilitas ini dapat mengganggu keseluruhan operasional pelabuhan.

5.3 Analisis Data Responden pada Studi Kasus Kota Tarakan

Analisis distribusi jenis kelamin ini penting untuk memahami konteks sosial dan demografis responden yang memberikan data, sehingga dapat memperkaya interpretasi hasil penelitian serta mempertimbangkan faktor-faktor demografis dalam pengembangan model risiko dan ketahanan infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan. Tabel 5.1 memperlihatkan perbandingan jumlah dan persentase responden berdasarkan jenis kelamin. Pada bagian ini, dilakukan analisis terhadap data responden yang terlibat dalam studi kasus di Kota Tarakan, dengan fokus pada karakteristik demografis yang menjadi dasar evaluasi persepsi dan tanggapan terhadap kondisi serta risiko infrastruktur pelabuhan.

Tabel 5.1 Perbandingan Jenis Kelamin

No	Jenis Kelamin	Jumlah	Persentasi (%)
1	Laki-Laki	23	79,31
2	Perempuan	6	20,69

Distribusi jenis kelamin responden yang berpartisipasi dalam penelitian mengenai ketahanan infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan terhadap hujan ekstrem ditampilkan pada Tabel 5.1. Dari total 29 responden, 23 orang (79,31%) adalah laki-laki, sementara 6 orang (20,69%) adalah Perempuan. Dominasi responden laki-laki mencerminkan bahwa lebih banyak individu dari jenis kelamin ini terlibat dalam sektor infrastruktur pelabuhan.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Berdasarkan Pendidikan terakhir

No	Pendidikan Terakhir	Jumlah	Presentase (%)
1	D3	-	-
2	S1	4	14,3
3	S2	19	64,3
4	S3	2	7,1
5	SMA/SMK Sederajat	4	14,3

Analisis terhadap pendidikan terakhir responden dalam penelitian ini menunjukkan bahwa mayoritas memiliki latar belakang pendidikan tinggi, dengan 64,3% di antaranya memiliki gelar Magister (S2) (Tabel 5.2). Hal ini mencerminkan bahwa responden tidak hanya memiliki pengetahuan yang mendalam, tetapi juga kemampuan analitis yang diperlukan untuk memahami kompleksitas isu ketahanan

pelabuhan terhadap hujan ekstim. 14,3% responden memiliki gelar Sarjana (S1) dan 14,3% lainnya berasal dari pendidikan tingkat SMA/SMK. Keterlibatan responden dengan latar belakang pendidikan yang beragam ini sangat penting, karena dapat memberikan perspektif yang berbeda dan pengalaman praktis sehingga dapat meningkatkan ketahanan pelabuhan di Kota Tarakan secara efektif. Pemilihan responden mengikuti kriteria representatif yang telah dijelaskan di Bab 3, dengan mempertimbangkan keterlibatan instansi terkait yang berperan penting dalam ketahanan pelabuhan, sehingga data yang diperoleh mencerminkan perspektif yang relevan.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Berdasarkan Instansi

No	Pekerjaan/Instansi	Jumlah	Presentase (%)
1	Kantor Syahbandar dan otoritas Pelabuhan (KSOP)	5	17,24
2	Pekerjaan Umum dan Tata Ruang	2	6,90
2	Akademisi	7	24,14
3	PT Pelabuhan Indonesia (Persero)	6	20,69
4	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda)	4	13,79
5	Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD)	5	17,24

Data mengenai pekerjaan atau instansi para responden dalam penelitian ini, sebagaimana terlihat pada Tabel 5.3, berasal dari berbagai latar belakang yang sangat relevan dengan ketahanan pelabuhan di Kota Tarakan. Sebanyak 17,24% responden bekerja di Kantor Syahbandar dan Otoritas Pelabuhan (KSOP), lembaga yang memegang peranan penting dalam pengawasan dan pengelolaan aktivitas pelabuhan. Selain itu, 24,14% responden adalah dosen yang membawa wawasan akademis dan penelitian ke dalam pembahasan ketahanan pelabuhan. Sebanyak 20,69% responden lain berasal dari PT Pelabuhan Indonesia (Persero), yang memberikan perspektif langsung terkait operasional pelabuhan. Keterlibatan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) yang masing-masing sebanyak 13,79% dan 17,24% menyoroti pentingnya perencanaan pembangunan serta manajemen risiko bencana dalam konteks memperkuat ketahanan pelabuhan. Dengan kombinasi pengalaman praktis, pengetahuan akademis, dan perencanaan strategis ini, penelitian diharapkan

mampu menghasilkan rekomendasi yang komprehensif dan efektif untuk meningkatkan daya tahan pelabuhan terhadap dampak hujan ekstrim.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Berdasarkan Pengalaman Kerja

No	Pengalaman Kerja	Jumlah	Presentasi (%)
1	0 sd 5 Tahun	2	6,90
2	6 sd 10 Tahun	6	20,69
3	11 sd 15 Tahun	9	31,03
4	16 sd 20 Tahun	8	27,59
5	Lebih 21 Tahun	4	13,79

Data mengenai pengalaman kerja responden dalam penelitian ini menunjukkan variasi yang signifikan, yang sangat relevan untuk memahami ketahanan pelabuhan di Kota Tarakan ditampilkan pada Tabel 5.4. Dari total 29 responden, hanya 6,90% yang memiliki pengalaman kerja antara 0 hingga 5 tahun, menandakan bahwa sebagian kecil responden masih baru dalam bidang ini. Sebanyak 20,69% responden memiliki pengalaman antara 6 hingga 10 tahun, yang menunjukkan bahwa pengetahuan dan keterampilan mulai berkembang. Kategori dengan persentase tertinggi adalah responden yang memiliki pengalaman kerja antara 11 hingga 15 tahun, mencapai 31,03%. Kelompok ini diharapkan memiliki wawasan mendalam mengenai berbagai tantangan ketahanan pelabuhan. Selain itu, 27,59% responden memiliki pengalaman antara 16 hingga 20 tahun, yang mencerminkan pemahaman luas mengenai operasional pelabuhan. Terakhir, 13,79% responden memiliki pengalaman kerja lebih dari 21 tahun, sehingga memiliki perspektif berharga terkait perubahan dan perkembangan sektor pelabuhan. Berdasarkan variasi pengalaman kerja tersebut, tampak bahwa pemahaman mengenai ketahanan pelabuhan di Kota Tarakan terbentuk dari berbagai sudut pandang dan tingkat pengetahuan. Landasan ini akan mendukung penjelasan rinci tujuan penerapan model penilaian pada bagian berikutnya.

5.4 Tujuan Penerapan Model

Tujuan penerapan model ini adalah untuk menyediakan kerangka penilaian yang terintegrasi guna menilai kondisi fisik infrastruktur pelabuhan secara menyeluruh dan komprehensif. Dengan adanya model ini, diharapkan pemerintah daerah dapat melakukan evaluasi yang lebih sistematis dan objektif sehingga memudahkan dalam menetapkan prioritas pembangunan serta pemeliharaan yang

paling mendesak dan strategis. Model ini juga dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas audit teknis yang selama ini mungkin masih berlangsung secara sporadis atau kurang terkoordinasi, sehingga audit dan monitoring dapat dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan, menghasilkan data dan laporan yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan.

Selain fokus pada aspek teknis dan administratif, model ini juga membuka ruang bagi keterlibatan berbagai stakeholder terkait, mulai dari kalangan pemerintah, pelaku usaha, hingga masyarakat yang memiliki kepentingan terhadap kelangsungan dan kualitas infrastruktur pelabuhan. Keterlibatan ini penting untuk memastikan proses evaluasi menjadi lebih transparan, partisipatif, dan menghasilkan solusi yang inklusif. Partisipasi aktif stakeholder juga dapat mendorong rasa kepemilikan dan komitmen bersama dalam menjaga serta mengembangkan infrastruktur pelabuhan. Model ini tidak hanya memperkuat proses audit teknis dan mendorong keterlibatan berbagai pihak yang berkepentingan, tetapi juga menjadi dasar penting bagi langkah-langkah selanjutnya. Pada bagian berikutnya akan dibahas strategi implementasi model ini di Kota Tarakan, yang memuat rencana tindakan konkret untuk menerapkan hasil evaluasi secara efektif guna meningkatkan ketahanan dan kualitas infrastruktur pelabuhan.

5.5 Strategi Implementasi di Kota Tarakan

1. Integrasi model ke dalam sistem pengelolaan daerah

Model kondisi infrastruktur dapat diintegrasikan ke dalam berbagai aspek perencanaan dan pengelolaan daerah untuk memastikan sinkronisasi dan efektivitas pengelolaan aset pelabuhan. Pertama, model ini dapat dijadikan bagian dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), sehingga indikator dan hasil penilaiannya menjadi bahan penting dalam penyusunan dan evaluasi rencana pembangunan yang lebih luas dan strategis. Selain itu, model ini juga dapat diintegrasikan dengan sistem informasi manajemen aset dan pemeliharaan yang dikelola oleh Dinas Pekerjaan Umum, sehingga data kondisi infrastruktur pelabuhan dapat tercatat secara digital dan dapat digunakan untuk memudahkan monitoring serta pengambilan keputusan terkait pemeliharaan dan perbaikan aset. Terakhir, model ini berperan sebagai instrumen monitoring berkala yang digunakan

oleh Dinas Perhubungan (Dishub) dan Sekretariat Daerah untuk melakukan evaluasi rutin atas kondisi infrastruktur sehingga dapat terdeteksi lebih awal kebutuhan perbaikan atau pemeliharaan sehingga pengelolaan pelabuhan menjadi lebih proaktif dan responsif.

2. Pendekatan partisipatif stakeholder

Pengumpulan data dan evaluasi kondisi infrastruktur dilakukan dengan pendekatan yang partisipatif, melibatkan berbagai pihak yang berkepentingan langsung dengan operasional dan pemanfaatan fasilitas pelabuhan. Para pegawai pelabuhan dan dinas teknis menjadi pihak utama yang berperan dalam proses ini, sebab mereka memiliki pengetahuan teknis mendalam mengenai kondisi struktural dan operasional infrastruktur. Selain itu, operator logistik dan perwakilan dunia usaha juga dilibatkan untuk memberikan perspektif terkait kebutuhan dan kendala yang dihadapi dalam aktivitas bisnis sehari-hari yang bergantung pada infrastruktur pelabuhan.

Tidak kalah penting, masyarakat pengguna fasilitas pelabuhan juga turut serta dalam pengumpulan data dan evaluasi, memastikan bahwa masukan dari sisi pengguna akhir dapat menjadi pertimbangan dalam penilaian. Pendekatan partisipatif ini penting karena memungkinkan validasi langsung di lapangan sekaligus memastikan bahwa indikator yang digunakan untuk evaluasi benar-benar relevan dan sesuai dengan kondisi aktual yang dialami di lapangan, sehingga hasil evaluasi menjadi lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

3. Visualisasi model dalam sistem pemantauan

Indikator yang telah divalidasi dapat divisualisasikan dalam berbagai bentuk yang memudahkan interpretasi dan pengambilan keputusan oleh pemangku kepentingan. Salah satu bentuk visualisasi yang efektif adalah dashboard berbasis indikator kondisi yang menampilkan data secara real-time dan interaktif, sehingga memudahkan monitoring kondisi infrastruktur secara cepat dan komprehensif. Selain itu, peta tematik digital dengan teknologi Sistem Informasi Geografis (GIS) dapat digunakan untuk menunjukkan distribusi skor kondisi antar lokasi infrastruktur pelabuhan secara visual, memperlihatkan wilayah mana saja yang membutuhkan perhatian lebih. Selanjutnya, skor prioritas dapat disusun secara agregat per dimensi infrastruktur, memberikan gambaran yang jelas mengenai

aspek mana yang paling mendesak untuk diperbaiki atau dikembangkan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis. Setelah membahas strategi pelaksanaan model di Kota Tarakan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hasil penerapan model tersebut. Pada bagian berikut, akan dijelaskan bagaimana data dan indikator yang telah divalidasi divisualisasikan dalam bentuk yang mudah dipahami. Visualisasi ini bertujuan untuk mempermudah pemantauan kondisi fisik infrastruktur pelabuhan secara cepat dan komprehensif, serta memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih tepat dan strategis bagi para pemangku kepentingan.

5.6 Analisis Model Kondisi Infrastruktur Pelabuhan di Kota Tarakan

1. Analisis validitas konstruk (Konseptual)

Dalam studi kasus ini, analisis validitas konstruk konseptual difokuskan pada penilaian 15 parameter utama yang dikaitkan dengan infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan. Dengan demikian, dilakukan uji korelasi yang sesuai untuk memvalidasi bahwa setiap parameter secara akurat mengukur aspek relevan yang ditargetkan secara konseptual dan praktis. Hasil analisis menunjukkan koefisien korelasi yang signifikan pada setiap indikator, memastikan keterkaitan yang kuat baik secara teori maupun empiris.

Validitas konstruk yang dicapai ini memberikan dasar yang kuat bagi perencanaan strategis dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan infrastruktur pelabuhan, serta mendukung bahwa instrumen penelitian tidak hanya memenuhi standar teoritis tetapi juga sesuai dengan kondisi lapangan.

Dalam analisis mendalam di pelabuhan malundung, indikator integritas struktural dianalisis melalui beberapa parameter penting. Kekakuan dan stabilitas struktur menunjukkan korelasi sebesar 0.614, menandakan bahwa pelabuhan memiliki kapasitas untuk menahan tekanan fisik dengan efektif. Keandalan struktural terhadap tekanan dan beban juga diuji, memperoleh nilai korelasi 0.589, mengindikasikan bahwa struktur fisik pelabuhan mampu beradaptasi dengan perubahan beban dan kondisi lingkungan. Pada aspek kondisi permukaan jalan, kekasaran dan keausan permukaan jalan memberikan korelasi sebesar 0.563. Hasil ini menunjukkan bahwa pemeliharaan rutin dan perbaikan infra diperlukan untuk menjaga kualitas jalan. Sementara itu, kondisi tanda marka jalan memberikan

korelasi 0.552, menekankan kebutuhan akan peningkatan dalam pembaruan tanda serta rambu yang jelas untuk keselamatan navigasi. Keadaan fasilitas pendukung, seperti adanya fasilitas yang mendukung operasi pelabuhan, dikorelasikan 0.618. Hal ini menunjukkan seberapa pentingnya dukungan infrastruktur untuk efisiensi operasional pelabuhan. Ketersediaan alat berat dan peralatan operasional tercatat memiliki nilai korelasi 0.609, menggarisbawahi pentingnya pengelolaan logistik yang tepat agar operasional dapat berlangsung tanpa hambatan. Pada akhirnya, efektivitas sistem drainase menunjukkan korelasi 0.572, yang penting untuk penanganan air dan pencegahan banjir, memastikan bahwa area pelabuhan berfungsi dengan baik selama musim hujan. Hasil ini memberikan dasar yang kuat untuk perencanaan strategis dan peningkatan pengelolaan infrastruktur pelabuhan secara signifikan. Dengan analisis yang teliti, temuan ini memungkinkan pelaksanaan langkah-langkah yang fokus pada peningkatan efisiensi dan keamanan operasional pelabuhan.

Analisis validitas konstruk instrumen pengukuran kondisi infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan mengindikasikan bahwa seluruh 15 parameter utama memiliki kontribusi signifikan terhadap konstruk keseluruhan. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) yang semuanya ≥ 0.5 , dapat disimpulkan bahwa setiap indikator secara statistik memenuhi kriteria validitas yang dapat diterima, sehingga tidak ada satu pun indikator yang perlu dieliminasi dari instrumen pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen yang disusun mampu merepresentasikan aspek-aspek penting terkait kondisi infrastruktur pelabuhan secara menyeluruh dan koheren. Secara khusus, indikator dengan kode P15, yaitu "kondisi jalan akses ke pelabuhan," memiliki korelasi tertinggi dengan nilai r sebesar 0.612. Temuan ini mencerminkan bahwa akses jalan pelabuhan merupakan aspek prioritas utama yang dirasakan secara signifikan oleh para pemangku kepentingan (*stakeholders*). Kepentingan akses jalan ini sangat penting, mengingat fungsinya sebagai jalur utama yang menghubungkan pelabuhan dengan fasilitas dan area sekitarnya, sehingga pengaruhnya terhadap efisiensi operasional dan kelancaran aktivitas pelabuhan sangat besar. Parameter-parameter lain seperti integritas struktural (P1), keandalan terhadap tekanan dan beban (P2), kerusakan struktural (P3), serta berbagai indikator teknis dan operasional seperti fasilitas pendukung, alat berat,

kondisi mesin, sistem drainase, dan fasilitas administratif semuanya menunjukkan nilai korelasi yang valid dan saling memperkuat keterkaitan dalam konstruk. Hal ini konsisten dengan prinsip validasi konstruk yang menegaskan pentingnya mempertahankan semua indikator yang relevan agar instrumen tidak kehilangan dimensi krusial dalam pengukuran fenomena kompleks seperti infrastruktur pelabuhan.

Validitas konstruk yang tinggi ini mengokohkan dasar bagi pengembangan instrumen yang tidak hanya valid secara teoritis, tetapi juga dapat diaplikasikan secara praktis dalam evaluasi dan perencanaan manajemen infrastruktur pelabuhan di Tarakan. Dengan seluruh indikator yang berkontribusi signifikan, instrumen ini siap untuk tahap selanjutnya, yakni pengujian reliabilitas guna memastikan konsistensi internal instrumen dan stabilitas hasil pengukuran dalam berbagai kondisi pengukuran. Pendekatan ini selaras dengan literatur ilmiah yang menempatkan validitas konstruk sebagai tahap krusial dalam proses pengembangan instrumen penelitian, khususnya dalam bidang manajemen infrastruktur dan teknik sipil (Hair et al., 2010; Chang & Nojima, 2001). Pemahaman yang komprehensif dan empiris terhadap validitas instrumen ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan efektif dalam upaya peningkatan kualitas infrastruktur pelabuhan dan mitigasi risiko yang berhubungan. Setelah memastikan validitas konstruk instrumen pengukuran kondisi infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan, langkah berikutnya adalah menguji reliabilitas alat ukur tersebut. Pada bagian ini akan dibahas pengujian menggunakan *Cronbach's Alpha* untuk memastikan konsistensi internal instrumen dan kestabilan hasil pengukuran, sehingga data yang diperoleh dapat dipercaya dan digunakan secara efektif dalam evaluasi serta perencanaan pengelolaan pelabuhan.

2. Uji Reliabilitas – *Cronbach's Alpha*

Uji reliabilitas merupakan tahap penting dalam memastikan konsistensi internal suatu instrumen penelitian, sehingga hasil pengukuran dapat dipercaya dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Dalam konteks penelitian ini, dengan menggunakan 15 parameter yang mengukur kondisi infrastruktur pelabuhan dan data dari 29 responden, estimasi nilai *Cronbach's Alpha* diperoleh sekitar $\alpha \approx 0,912$, yang mencerminkan tingkat reliabilitas yang sangat tinggi. Nilai *Cronbach's Alpha*

sebesar 0,912 menunjukkan bahwa instrumen tersebut memiliki konsistensi internal yang sangat baik, dimana masing-masing indikator atau parameter yang terkandung dalam instrumen memberikan hasil yang saling berkorelasi secara kuat. Secara umum, nilai alpha di atas 0,9 dianggap sebagai indikasi reliabilitas yang sangat tinggi dan menunjukkan bahwa instrumen tersebut hampir tidak memiliki masalah pengukuran seperti ketidaksesuaian atau variabilitas yang tidak diinginkan antar item (Gliem & Gliem, 2003; Nunally & Bernstein, 1994). Hal ini juga berarti bahwa responden memberikan respons yang konsisten antar semua parameter, yang mendukung bahwa konstruk yang diukur sebagai kondisi infrastruktur pelabuhan dapat direpresentasikan secara stabil dan akurat oleh 15 parameter tersebut. Dalam praktik penelitian sosial dan teknik, nilai *Cronbach's Alpha* di atas 0,7 sudah dianggap memadai, sehingga pencapaian nilai 0,912 bukan hanya memenuhi, tetapi jauh melampaui syarat minimal tersebut, mengindikasikan kualitas instrumen yang optimal.

Reliabilitas yang tinggi juga memberikan dasar kuat untuk menggunakan instrumen ini dalam studi lanjutan berkaitan dengan evaluasi dan perbaikan infrastruktur pelabuhan. Dengan mempertahankan konsistensi internal, instrumen dapat diandalkan untuk melakukan pengukuran berulang pada populasi yang serupa, serta menjadi acuan dalam pengambilan keputusan yang berbasis data yang valid dan terpercaya. Secara keseluruhan, temuan reliabilitas ini menguatkan validitas konstruk yang sudah dibuktikan sebelumnya dengan analisis loading faktor dan korelasi antar indikator. Kombinasi hasil validitas dan reliabilitas yang baik memberikan keyakinan bahwa instrumen kondisi infrastruktur pelabuhan ini layak digunakan sebagai alat ukur dalam rangka mendukung perencanaan, audit, dan pengembangan kebijakan yang efektif di Kota Tarakan. Setelah menyelesaikan pengujian reliabilitas yang menunjukkan konsistensi tinggi instrumen ukur, selanjutnya akan dibahas hasil penilaian kondisi infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan. Bagian ini akan memaparkan evaluasi keseluruhan berdasarkan data dan parameter yang telah diuji, sehingga memberikan gambaran yang lengkap dan akurat tentang kondisi aktual infrastruktur pelabuhan yang menjadi fokus penelitian.

5.7 Penilaian Infrastruktur Pelabuhan Kota Tarakan

Penilaian terhadap kondisi dan kualitas infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan berdasarkan pengukuran menggunakan *Infrastructure Rating Tool*. Penilaian ini dilakukan dengan menganalisis berbagai kriteria dan parameter yang relevan untuk menilai tingkat kesiapan, kapabilitas, dan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap risiko yang ada. Tabel 5.5 memperlihatkan hasil analisis penilaian infrastruktur dengan menyajikan skor mentah (*Raw Scores*), skor yang telah dinormalisasi (*Normalized Scores*), bobot (*Weights*), serta total tertimbang (*Weighted Totals*) untuk masing-masing kriteria dan parameter yang diukur. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang komprehensif dengan mempertimbangkan tingkat kepentingan relatif dari setiap parameter dalam keseluruhan penilaian.

Tabel 5.5 Tabel Analisis Asesmen *Infrastructure Rating Tool*

Kriteria	Parameter	Raw Scores	Normalized Scores	Weights	Weighted Totals
Integritas Struktural	Kekakuan dan Stabilitas	3,97	0,79	0,05	0,04
	Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban	4,10	0,82	0,05	0,04
	Kerusakan Struktural	3,14	0,63	0,04	0,03
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan	3,28	0,66	0,04	0,03
	Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah	3,34	0,67	0,04	0,03
	Keadaan Fasilitas Pendukung	3,52	0,70	0,05	0,03
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional	3,76	0,75	0,05	0,04
	Kondisi Mesin dan Peralatan	3,66	0,73	0,05	0,04

Kriteria	Parameter	Raw Scores	Normalized Scores	Weights	Weighted Totals
Sistem Drainase dan Pengendalian Air	Efektivitas Sistem Drainase	3,52	0,70	0,05	0,03
	Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	3,55	0,71	0,05	0,03
Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan	3,55	0,71	0,05	0,03
	Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung	3,38	0,68	0,05	0,03
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik	4,03	0,81	0,05	0,04
	Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi	3,48	0,70	0,05	0,03
Kondisi Jalan dan Akses	Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan	3,79	0,76	0,05	0,04
JUMLAH				0,72	0,52

Tabel 5. 6 Skema Penilaian

Skema Penilaian				Bobot adaptif	
A	=	90-100%	Istimewa	0,0	0,4
B	=	80-89%	Baik	0,41	0,8
C	=	70-79%	Cukup	0,81	1,2
D	=	51-69%	Buruk	1,21	1,6
E	=	50% or lower	Tidak Memadai	1,61	2,00

Setelah memaparkan hasil penilaian dan evaluasi kondisi infrastruktur pelabuhan di Kota Tarakan, selanjutnya akan dibahas secara rinci hasil penilaian

ketahanan pelabuhan berdasarkan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan *Infrastructure Rating Tool*. Bagian ini akan menampilkan analisis nilai skor dari berbagai kriteria dan parameter yang relevan dalam menilai kesiapan dan ketahanan infrastruktur pelabuhan, sehingga memberikan gambaran kuantitatif dan komprehensif terkait kondisi saat ini dan area-area prioritas yang perlu diperhatikan.

5.8 Hasil Penilaian Ketahanan Pelabuhan Kota Tarakan

Infrastructure Rating Tool (IRT) adalah instrumen penilaian kondisi infrastruktur pelabuhan yang komprehensif, mencakup berbagai aspek dapat dilihat pada Tabel 5.5 seperti integritas struktural, kondisi jalan, peralatan operasional, drainase, bangunan pendukung, sistem energi, dan akses jalan. Hasil penilaian IRT Pelabuhan Malundung, Tarakan, menunjukkan skor bobot tertimbang (*Weighted Totals*) sebesar 0,52 dengan skor bobot (*Weights*) 0,72. Nilai ini mengindikasikan bahwa secara keseluruhan, kondisi infrastruktur pelabuhan berada pada kategori "Buruk" (D), yang berarti memerlukan perhatian dan perbaikan pada beberapa aspek.

1. Evaluasi indikator:
 - a. Integritas struktural
 - (a.) Dermaga dan *trestle* menunjukkan kehandalan struktural yang baik terhadap tekanan dan beban (4.10). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur utama pelabuhan mampu menahan beban operasional dan kondisi lingkungan seperti gelombang dan arus laut. Namun, terdapat kerusakan minor (3.14), seperti retak pada beton atau korosi pada baja, yang perlu segera ditangani untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Perbaikan ini dapat mencakup injeksi beton, penggantian komponen yang rusak, atau pelapisan anti korosi.
 - (b.) Kondisi bangunan dan fasilitas lainnya juga cukup baik (3.55). Ini mencakup bangunan terminal penumpang, gudang, kantor administrasi, dan fasilitas pendukung lainnya. Meskipun kondisinya cukup baik, pemeliharaan rutin seperti pengecatan ulang, perbaikan atap bocor, dan penggantian komponen yang

rusak perlu dilakukan untuk menjaga kualitas dan umur bangunan.

2. Kondisi jalan dan fasilitas:
 - a. Permukaan jalan di dalam pelabuhan memerlukan perbaikan (3.28) untuk meningkatkan kelancaran arus lalu lintas dan mengurangi risiko kecelakaan. Perbaikan dapat berupa penambalan lubang, pengaspalan ulang, atau peningkatan drainase permukaan untuk mencegah genangan air.
 - b. Marka jalan dalam kondisi cukup baik (3.34) dan perlu pemeliharaan rutin seperti pengecatan ulang dan penggantian marka yang rusak atau pudar untuk menjaga visibilitas dan keamanan lalu lintas.
3. Kondisi peralatan:
 - a. Fasilitas pendukung seperti pagar, penerangan, dan rambu-rambu dalam kondisi cukup baik (3.52). Ini menunjukkan bahwa pelabuhan telah memberikan perhatian pada aspek keamanan dan keselamatan. Pemeliharaan rutin seperti pengecatan ulang pagar, penggantian lampu yang rusak, dan perbaikan rambu-rambu akan memastikan fasilitas ini tetap berfungsi optimal.
 - b. Peralatan operasional, seperti *crane*, *forklift*, dan *conveyor*, berfungsi baik (3.76), menunjukkan manajemen aset yang efektif. Perawatan berkala, termasuk pelumasan, pemeriksaan komponen, dan kalibrasi, akan memastikan peralatan ini tetap beroperasi dengan efisien dan aman.
4. Sistem drainase dan pengendalian air:
 - a. Efektivitas sistem drainase perlu ditingkatkan (3.55). Saluran drainase yang ada mungkin tidak cukup untuk menampung debit air hujan yang tinggi, terutama saat musim hujan atau terjadi cuaca ekstrim. Peningkatan kapasitas drainase dapat dilakukan dengan membangun saluran drainase baru, memperbesar dimensi saluran yang ada, atau memasang pompa air tambahan.
 - b. Pengendalian air pasang meski memadai (3,55) tetapi masih memerlukan perhatian khusus, mengingat pelabuhan berada di daerah

pesisir yang rentan terhadap banjir rob. Pembangunan tanggul laut, pintu air, atau sistem peringatan dini banjir rob dapat menjadi solusi untuk mengurangi risiko banjir dan melindungi infrastruktur pelabuhan.

5. Kondisi bangunan pendukung:

Kondisi bangunan pendukung cukup baik (3.38), namun perlu ditingkatkan dari segi kebersihan dan perawatan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pembersihan secara rutin, pengecatan ulang dinding, perbaikan atap yang bocor, dan penggantian komponen yang rusak.

6. Kondisi sistem energi dan listrik:

a. Ketersediaan dan keandalan pasokan listrik sangat baik (4.03), menunjukkan ketersediaan daya yang cukup untuk operasional pelabuhan. Namun, perlu dipastikan bahwa sistem ini memiliki redundansi atau cadangan daya untuk mengantisipasi gangguan pasokan listrik dari jaringan utama.

b. Kondisi kabel, peralatan listrik, dan instalasi perlu diperhatikan dan dipelihara secara rutin (3.48). Pemeriksaan berkala terhadap kabel yang terkelupas, peralatan yang rusak, atau instalasi yang tidak sesuai standar akan mencegah terjadinya korsleting, kebakaran, atau gangguan listrik lainnya.

7. Kondisi jalan akses ke pelabuhan:

Kondisi jalan akses ke pelabuhan dinilai baik (3.79), menunjukkan aksesibilitas yang baik bagi pengguna jasa pelabuhan. Namun, pemeliharaan rutin seperti perbaikan lubang, pengaspalan ulang, pembersihan bahu jalan, dan perawatan drainase jalan tetap diperlukan untuk menjaga kualitas dan keamanan jalan akses.

Pelabuhan Malundung memiliki infrastruktur yang cukup baik, namun terdapat beberapa area yang perlu ditingkatkan untuk memastikan ketahanan terhadap cuaca ekstrim dan keberlanjutan operasional. Prioritas utama adalah peningkatan sistem drainase dan pengendalian banjir, pemeliharaan bangunan pendukung, dan perbaikan permukaan jalan. Selain itu, penting untuk menjaga kondisi optimal peralatan operasional dan sistem energi listrik melalui perawatan berkala. Setelah menyampaikan hasil penilaian ketahanan pelabuhan di Kota

Tarakan, selanjutnya akan dipaparkan respon terhadap temuan tersebut. Bagian ini membahas aspek-aspek yang sudah baik serta area-area yang membutuhkan perbaikan, dengan fokus pada upaya peningkatan ketahanan pelabuhan agar mampu menghadapi tantangan cuaca ekstrim dan mendukung kelangsungan operasional secara berkelanjutan.

Setelah menguraikan hasil penilaian ketahanan pelabuhan di Kota Tarakan secara detail, selanjutnya akan dijelaskan respon terhadap temuan tersebut. Bagian ini menyoroti kondisi infrastruktur yang sudah cukup baik sekaligus fokus pada beberapa area penting yang perlu diperbaiki, seperti drainase, bangunan pendukung, dan perbaikan jalan, demi memperkuat ketahanan pelabuhan terhadap cuaca ekstrim dan menjaga keberlanjutan operasional.

5.9 Respon Penilaian Ketahanan Pelabuhan

Respon penilaian ketahanan pelabuhan merupakan langkah dalam meningkatkan kualitas infrastruktur pelabuhan. Setelah melakukan penilaian menyeluruh terhadap kondisi infrastruktur langkah selanjutnya adalah merumuskan strategi adaptif yang tepat. Justifikasi respon ini mencakup analisis mendalam terhadap hasil penilaian, identifikasi kelemahan dan potensi dampak, serta perumusan tindakan konkret untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan. Tindakan ini dapat berupa perbaikan infrastruktur serta implementasi teknologi adaptif. Dengan justifikasi yang kuat, langkah-langkah responsif ini akan lebih terarah, efektif, dan berkelanjutan, sehingga mampu melindungi pelabuhan dari dampak negatif cuaca ekstrim, menjaga keberlangsungan operasional, dan memastikan keselamatan serta kesejahteraan seluruh pemangku kepentingan. Adapun respon tersebut sebagai strategi peningkatan pelabuhan, yaitu:

1. Sistem drainase: meningkatkan kapasitas dan efisiensi sistem drainase, termasuk pembangunan saluran drainase baru, pompa air, dan kolam retensi. Perbaikan ini akan membantu mengurangi risiko banjir dan genangan air yang dapat mengganggu operasional pelabuhan.
2. Pemeliharaan bangunan pendukung: meningkatkan frekuensi dan kualitas pemeliharaan bangunan pendukung, termasuk perbaikan atap, dinding, lantai, dan sistem kelistrikan. Pemeliharaan rutin dapat mencegah kerusakan lebih lanjut dan memperpanjang umur bangunan.

3. Perbaikan permukaan jalan: melakukan perbaikan pada permukaan jalan yang rusak, seperti penambalan lubang, pengaspalan ulang, dan pengecatan ulang marka jalan. Hal ini akan meningkatkan keamanan dan kelancaran lalu lintas di dalam pelabuhan.
4. Perawatan peralatan operasional: melakukan perawatan berkala dan penggantian komponen yang aus pada alat berat dan peralatan operasional untuk menjaga kinerja optimal dan mencegah kerusakan yang dapat mengganggu operasional pelabuhan.
5. Pemantauan sistem energi listrik: melakukan pemeriksaan dan pemeliharaan rutin pada sistem energi listrik, termasuk kabel, peralatan, dan instalasi, untuk memastikan keandalan pasokan listrik dan mencegah gangguan operasional.

Respon terhadap penilaian ketahanan pelabuhan adalah langkah penting untuk memperbaiki kualitas infrastruktur pelabuhan. Setelah menilai kondisi pelabuhan secara lengkap, langkah berikutnya adalah membuat rencana yang tepat untuk menghadapi kelemahan yang ditemukan. Respon ini meliputi perbaikan fisik seperti penguatan drainase, pemeliharaan bangunan, perbaikan jalan, dan perawatan alat-alat kerja. Selain itu, pemantauan sistem listrik juga penting untuk menjaga agar operasional pelabuhan tetap lancar. Dengan tindakan yang tepat dan terencana, pelabuhan akan lebih kuat menghadapi cuaca buruk dan bisa terus beroperasi dengan aman dan baik. Selanjutnya akan dibahas bagaimana model risiko bencana yang telah dirumuskan dapat diimplementasikan secara efektif di Kota Tarakan.

Bagian ini akan menguraikan penerapan model tersebut guna meningkatkan kesiapsiagaan dan ketahanan pelabuhan terhadap berbagai risiko bencana, sehingga pelabuhan dapat beroperasi secara aman.

5.10 Implementasi Model Risiko Bencana di Kota Tarakan

Kota Tarakan merupakan wilayah strategis yang menghadapi risiko multibencana sebagai akibat dari posisi geografisnya di pesisir utara Kalimantan dan karakteristik iklim tropis basah. Ancaman seperti gempa bumi, banjir, tsunami, tanah longsor, letusan gunung api, kekeringan, hujan ekstrem, dan angin puting beliung menjadi bagian dari potensi gangguan terhadap keselamatan publik, keberlanjutan infrastruktur, dan kelangsungan ekonomi lokal. Sebagai respons terhadap kompleksitas tersebut, dikembangkanlah sebuah model risiko bencana

yang mencakup tujuh dimensi penilaian untuk masing-masing jenis bencana. Model ini berfungsi sebagai alat analisis kuantitatif untuk mendukung pemetaan, mitigasi, dan pengambilan keputusan strategis oleh pemerintah daerah dan lembaga teknis. selanjutnya akan dijelaskan konsep dasar dari model tersebut. Bagian ini menguraikan bagaimana karakteristik geografis dan iklim Kota Tarakan menjadikan wilayah ini rawan terhadap berbagai jenis bencana alam, serta bagaimana model risiko bencana yang disusun dapat membantu pemerintah dan pihak terkait dalam menganalisis, memetakan, dan mengatasi risiko-risiko tersebut secara lebih sistematis dan terukur.

Fokus pada bencana alam banjir dalam studi kasus ini disebabkan oleh karakteristik risiko yang sangat spesifik dan dominan di lokasi studi, yaitu pelabuhan malundung di Kota Tarakan, yang secara geografis rentan terhadap banjir dan hujan ektrim. Dengan memusatkan kajian pada jenis bencana yang paling relevan secara lokal, model ini mampu memberikan analisis yang lebih tajam dan tepat sasaran untuk kesiapan dan mitigasi risiko.

5.11 Model Konseptual untuk Risiko Bencana Alam di Kota Tarakan

Dalam studi kasus ini, model penilaian risiko di pelabuhan malundung mengadopsi pendekatan komprehensif dengan mengintegrasikan berbagai dimensi risiko. Dimensi-dimensi tersebut meliputi probabilitas kejadian, dampak terhadap manusia, dampak terhadap properti, dampak terhadap bisnis dan aktivitas ekonomi, serta kesiapan pemerintah dan komunitas lokal. Lebih lanjut, elemen tanggapan Internal dari pihak pelabuhan dan tanggapan eksternal dari pemangku kepentingan eksternal turut dievaluasi. selanjutnya akan dibahas validasi dan reliabilitas dari indikator risiko multidimensi yang digunakan dalam studi kasus ini. Bagian ini berfokus pada bagaimana indikator-indikator tersebut diuji untuk memastikan data yang diperoleh akurat, konsisten, dan dapat dipercaya, sehingga mendukung analisis risiko.

5.12 Validasi dan Reliabilitas Indikator Risiko Multidimensi Studi Kasus

Bahasan validasi dan reliabilitas indikator risiko multidimensi dalam studi kasus ini, akan digunakan analisis validitas konstruk secara lebih mendalam. Bagian ini akan menguraikan bagaimana validitas konseptual dari indikator-

indikator tersebut diuji untuk memastikan bahwa setiap variabel yang diukur benar-benar merefleksikan konsep risiko yang ingin dikaji secara tepat dan konsisten.

1. Analisis validitas konstruk (Konseptual)

Pada tahap ini, dilakukan analisis validitas konstruk secara konseptual untuk menguji sejauh mana indikator-indikator yang digunakan dalam instrumen mampu merepresentasikan dimensi risiko yang hendak diukur. Validitas konstruk memastikan bahwa setiap indikator berkorelasi secara signifikan dengan konstruk risiko yang relevan, sehingga instrumen tersebut dapat dipercaya untuk menggambarkan fenomena yang dianalisis. Korelasi antar indikator diuji menggunakan nilai korelasi *Pearson* (r) dan diklasifikasikan berdasarkan interpretasi tingkat kekuatan hubungan, mulai dari korelasi yang valid hingga sangat valid. Hasil analisis ini menjadi dasar penting untuk memastikan bahwa instrumen multidimensi yang diaplikasikan memiliki kualitas pengukuran yang memadai sebelum dilakukan pengujian reliabilitas.

Dalam analisis model global, dimensi risiko dan kapasitas responsif dinilai melalui indikator-indikator kunci. Pada dimensi dampak, indikator peluang (*Probability*) menunjukkan korelasi sebesar 0,712 dan dinyatakan valid. Dampak manusia, dampak properti, dan dampak bisnis masing-masing memiliki korelasi 0,768, 0,783, dan 0,745 yang semuanya valid, menunjukkan bahwa dimensi dampak ini saling berhubungan erat dalam penilaian risiko. Pada dimensi kapasitas responsif, kemampuan kesiapan dan tanggapan internal menunjukkan korelasi 0,769 dan 0,784, sementara tanggapan eksternal tercatat 0,762, semuanya valid, yang menekankan bahwa kemampuan responsif juga merupakan faktor penting dalam mitigasi risiko. Dalam studi kasus pelabuhan malundung, terdapat variasi pada korelasi tiap indikator. Pada dimensi dampak, peluang (*Probability*) memiliki korelasi 0,78 dan dinyatakan valid, sedangkan dampak manusia mempunyai nilai korelasi lebih tinggi, 0,85, yang dianggap sangat valid. Dampak properti dan dampak bisnis menunjukkan korelasi 0,82 dan 0,79, keduanya valid, memperlihatkan bahwa dampak keuangan dan infrastruktur penting di area ini. Pada dimensi kapasitas responsif, kesiapan berhubungan 0,76 secara valid, namun tanggapan eksternal menunjukkan korelasi 0,81 dan sangat valid, mengindikasikan perlunya hubungan eksternal yang kuat dalam menghadapi risiko di pelabuhan.

Hasil analisis validitas konstruk yang diperoleh menunjukkan bahwa seluruh indikator risiko multidimensi memiliki nilai korelasi *Pearson* (r) yang signifikan dan berada dalam kategori valid hingga sangat valid, dengan nilai korelasi berkisar antara 0,73 hingga 0,85. Indikator seperti dampak terhadap manusia ($r = 0,85$) dan tanggapan eksternal ($r = 0,81$) bahkan termasuk dalam kategori sangat valid, menandakan representasi yang kuat terhadap konstruk risiko yang diukur.

Temuan ini konsisten dengan studi internasional bereputasi yang menempatkan validitas konstruk sebagai prasyarat utama dalam pembangunan instrumen pengukuran risiko multidimensi. Sebagai contoh, penelitian oleh Hair et al. (2014) dalam "*Multivariate Data Analysis*" menegaskan bahwa korelasi variabel indikator dengan konstruk utama harus berada di atas 0,70 untuk dianggap valid, yang adalah standar yang juga diterapkan dalam penelitian ini. Selain itu, penelitian-penelitian unggulan di bidang manajemen risiko seperti yang dipublikasikan di jurnal *Risk Analysis* dan *Journal of Disaster Risk Reduction* juga menunjukkan pendekatan serupa dalam validasi konstruk, dengan penekanan pada korelasi antar indikator yang kuat sebagai dasar untuk menjamin ketepatan pengukuran.

Pembuatan indikator yang tepat dan valid ini sangat penting untuk memastikan alat ukur yang digunakan bisa menggambarkan berbagai aspek risiko secara lengkap dan jelas dalam berbagai kondisi bencana. Tingginya validitas pada indikator dampak terhadap manusia dan respons dari pihak luar menunjukkan betapa pentingnya perhatian pada aspek kemanusiaan serta dukungan dari lingkungan sekitar dalam menghadapi bencana. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian internasional yang menyoroti pentingnya kerja sama sosial dan kesiapsiagaan komunitas sebagai faktor utama dalam mengurangi risiko bencana. Dengan begitu, alat ukur ini tidak hanya relevan untuk kondisi lokal di Tarakan tetapi juga sesuai untuk digunakan secara global, memberikan kontribusi dalam ilmu pengukuran risiko dan praktik penilaian bencana yang lebih akurat dan terintegrasi. Setelah memastikan bahwa indikator yang digunakan sudah valid dan mampu menggambarkan berbagai aspek risiko secara menyeluruh, langkah berikutnya adalah menguji reliabilitas instrumen tersebut. Dalam bagian ini akan dijelaskan bagaimana analisis reliabilitas menggunakan metode *Cronbach's Alpha*

dilakukan untuk memastikan bahwa alat ukur tersebut konsisten dan dapat dipercaya dalam mengukur risiko.

2. Analisis Reliabilitas (*Cronbach's Alpha*)

Pengujian reliabilitas dilakukan menggunakan *Cronbach's Alpha* terhadap tujuh dimensi risiko (kecuali jenis bencana dan responden) sebagai upaya untuk menilai konsistensi internal instrumen pengukuran risiko multidimensi yang dikembangkan. Dari simulasi data yang diperoleh dari 29 responden, nilai *Cronbach's Alpha* mencapai angka 0,902, yang menunjukkan tingkat reliabilitas sangat tinggi. Nilai ini menandakan bahwa instrumen yang digunakan memiliki konsistensi internal yang kuat, sehingga dapat dipercaya untuk mengukur konstruk risiko multidimensi secara akurat dan andal. Hasil ini sejalan dengan standar yang diadopsi dalam penelitian-penelitian internasional bereputasi tinggi, di mana nilai Alpha di atas 0,9 dipandang sebagai indikator optimal bagi instrumen yang efektif dan stabil dalam pengukuran psikometrik maupun penelitian sosial, sebagaimana dijelaskan oleh Gliem dan Gliem (2003) serta Tavakol dan Dennick (2011). Oleh karena itu, instrumen ini tidak hanya valid secara konstruk namun juga memiliki reliabilitas yang memadai, sehingga layak digunakan untuk penelitian lebih lanjut atau aplikasi praktis dalam penilaian risiko bencana secara multidimensional.

Setelah instrumen pengukuran risiko multidimensi terbukti memiliki reliabilitas yang sangat tinggi dan dapat dipercaya, selanjutnya akan dipaparkan bagaimana model ini diterapkan secara khusus untuk menganalisis risiko yang muncul dari kejadian hujan ekstrem. Bagian ini menunjukkan langkah konkret penerapan model dalam fokus bencana spesifik, agar hasil analisis risiko bisa lebih relevan dan bermanfaat dalam pengambilan keputusan dan mitigasi di lapangan.

5.13 Aplikasi Model Risiko Multidimensi ke Fokus Spesifik Hujan Ekstrim

Model konseptual risiko bencana alam yang telah dikembangkan dan divalidasi sebelumnya mencakup berbagai jenis ancaman, dengan struktur tujuh dimensi risiko yang komprehensif. Meskipun bersifat multi bencana, hasil simulasi indeks menunjukkan bahwa Kota Tarakan memiliki tingkat kerentanan paling tinggi terhadap kejadian hidrometeorologis, khususnya hujan ekstrem dan banjir akibat limpasan air.

Kondisi geografis pulau pesisir, intensitas curah hujan tahunan yang tinggi, serta keberadaan pelabuhan sebagai pusat aktivitas publik dan logistik menjadikan hujan ekstrem sebagai titik fokus utama dalam strategi pengurangan risiko bencana. Oleh karena itu, pembahasan pada sub bab berikut diarahkan secara spesifik untuk mengupas empat jenis kejadian hujan ekstrem yang dinilai oleh responden, yakni:

1. Curah hujan dalam waktu tertentu.
2. Durasi hujan ekstrem.
3. Ketinggian air akibat banjir.
4. Frekuensi banjir tahunan.

Pendalaman analisis terhadap setiap kejadian dilakukan dengan memanfaatkan struktur dimensi risiko multidimensi yang telah terbukti valid dan reliabel. Tujuannya adalah untuk menghasilkan rekomendasi adaptasi dan intervensi kebijakan yang lebih terfokus dan sesuai dengan karakteristik lokal Kota Tarakan. Setelah membahas penerapan model risiko multidimensi secara khusus pada fokus hujan ekstrem, kini akan mendalami analisis risiko yang lebih rinci terkait jenis bencana ini.

Sub-bagian berikut akan mengupas secara detail empat jenis kejadian hujan ekstrem yang paling berdampak bagi Kota Tarakan, dengan tujuan menghasilkan rekomendasi yang tepat dan sesuai dengan kondisi lokal untuk mengurangi risiko tersebut secara efektif. Sub-bagian berikut akan mengupas secara detail empat jenis kejadian hujan ekstrem yang paling berdampak bagi Kota Tarakan, dengan tujuan menghasilkan rekomendasi yang tepat dan sesuai dengan kondisi lokal untuk mengurangi risiko tersebut secara efektif.

5.14 Analisis Risiko Hujan Ekstrim

Analisis risiko hujan ekstrim merupakan bagian penting dalam penelitian ini, terutama untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi bahaya cuaca ekstrim yang dapat mengancam ketahanan pelabuhan. Analisis ini melibatkan identifikasi jenis-jenis cuaca ekstrim yang paling relevan dengan lokasi pelabuhan. Dalam konteks pelabuhan malundung Kota Tarakan, analisis risiko cuaca ekstrim melibatkan identifikasi jenis-jenis cuaca ekstrim yang paling mungkin terjadi, seperti curah hujan tinggi dan banjir, serta penilaian dampaknya terhadap infrastruktur, operasional, dan lingkungan pelabuhan. Dengan melakukan analisis

risiko cuaca ekstrim secara komprehensif, berupa data yang didapatkan dari para pemangku kepentingan sehingga dapat mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi yang efektif untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan. Data-data ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi tingkat probabilitas kejadian cuaca ekstrim, serta dampaknya terhadap manusia, properti, dan aktivitas bisnis di pelabuhan. Secara detail dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut :

Tabel 5.7 Analisis Hazard and Vulnerability Aessment Index

Kejadian	Kemungkinan	Tingkat keparahan = (Besaran - Mitigasi)						
		Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapsiagaan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Risiko
	<i>Kemungkinan Terjadi</i>	<i>Kemungkinan Kematian atau cedera</i>	<i>Kerugian dan kerusakan Fisik</i>	<i>Gangguan Layanan</i>	<i>Perencanaan Awal</i>	<i>Waktu, Efektivitas, Sumberdaya</i>	<i>Staf dan Perlengkapan Bantuan Masyarakat</i>	<i>Ancaman Relatif</i>
	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 = Tidak Tersedia 1 = Rendah 2 = Sedang 3 = Tinggi	0 - 100%
Curah Hujan	1,86	0,93	1,10	1,07	1,93	1,24	1,55	81%
Durasi Hujan Ekstrim	1,69	1,17	1,45	1,62	1,86	1,31	1,52	84%
Ketinggian Air Akibat Banjir	1,59	0,97	1,41	1,52	1,62	1,10	1,48	71%
Frekwensi banjir	1,41	1,00	1,34	1,52	1,52	1,24	1,45	63%
Nilai Rata-rata	1,64	1,02	1,33	1,43	1,73	1,22	1,50	75%

5.15 Hasil Penilaian Risiko pada Pelabuhan Kota Tarakan

Hasil dari *Hazard and Vulnerability Assessment Index* (HVAI) untuk menilai risiko bencana banjir di pelabuhan malundung Kota Tarakan disajikan pada Tabel 5.7. HVAI adalah metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi potensi bahaya dan kerentanan suatu wilayah terhadap bencana alam. Dalam tabel ini, penilaian difokuskan pada empat peristiwa terkait banjir: volume curah hujan, durasi hujan ekstrim, ketinggian air akibat banjir, dan frekuensi banjir. Pembahasan berdasarkan Komponen paada HVAI dijelaskan sebagai berikut:

1. Kemungkinan (*Probability*): probabilitas mengukur seberapa besar kemungkinan suatu peristiwa terjadi. Dalam tabel ini, probabilitas dinyatakan dalam skala 1 (rendah) hingga 3 (tinggi).
2. Kejadian:
 - a. Curah hujan: probabilitas tinggi (1,86) menunjukkan bahwa curah hujan tinggi merupakan ancaman yang sering terjadi di wilayah ini.
 - b. Durasi hujan ekstrim: probabilitas tinggi (1,69) menunjukkan bahwa hujan ekstrim dengan durasi yang lama juga merupakan ancaman yang sering terjadi.
 - c. Ketinggian air akibat banjir: probabilitas sedang (1,59) menunjukkan bahwa banjir dengan ketinggian air tertentu memiliki kemungkinan terjadi yang cukup signifikan.
 - d. Frekuensi banjir: probabilitas sedang (1,41) menunjukkan bahwa banjir terjadi dengan frekuensi yang cukup sering.
3. Dampak Manusia :

Dampak manusia pada Tabel 5.7 tersebut menunjukkan tingkat kemungkinan terjadinya korban jiwa atau cedera akibat kejadian cuaca ekstrim di pelabuhan. Skor dampak manusia diukur dari skala 1 (rendah) hingga 3 (tinggi). Berikut adalah hasil analisis dampak manusia untuk setiap kejadian:

 - a. Curah hujan: skor 0.93 menunjukkan dampak manusia yang rendah. Artinya, kemungkinan terjadinya korban jiwa atau cedera akibat volume curah hujan yang tinggi relatif kecil.

- b. Durasi hujan ekstrim: skor 1.17 menunjukkan dampak manusia yang moderat. artinya, terdapat kemungkinan terjadinya korban jiwa atau cedera akibat durasi hujan ekstrim yang lama.
- c. Ketinggian air akibat banjir: skor 0.97 menunjukkan dampak manusia yang rendah. Artinya, kemungkinan terjadinya korban jiwa atau cedera akibat ketinggian air banjir relatif kecil.
- d. Frekuensi banjir: skor 1.00 menunjukkan dampak manusia yang rendah. Artinya, kemungkinan terjadinya korban jiwa atau cedera akibat frekuensi banjir juga relatif kecil.

Secara keseluruhan, rata-rata skor dampak manusia adalah 1.02, yang menunjukkan bahwa secara umum, risiko terhadap manusia akibat kejadian cuaca ekstrim di pelabuhan ini relatif rendah. Oleh karena itu, tetap penting untuk melakukan tindakan pencegahan dan mitigasi risiko untuk meminimalkan dampak terhadap manusia.

4. Dampak properti:

Dampak properti mengukur potensi kerugian fisik dan kerusakan pada bangunan, infrastruktur, dan aset lainnya akibat suatu peristiwa.

- a. Curah hujan: dampak sedang (1,10) terhadap properti menunjukkan bahwa curah hujan tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur.
- b. Durasi hujan ekstrim: dampak sedang (1,45) terhadap properti menunjukkan bahwa hujan ekstrim dengan durasi yang lama dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah.
- c. Ketinggian air akibat banjir: dampak sedang (1,41) terhadap properti menunjukkan bahwa banjir dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur.
- d. Frekuensi banjir: dampak rendah (1,34) terhadap properti menunjukkan bahwa meskipun banjir sering terjadi, kerusakan properti yang ditimbulkan relatif lebih kecil dibandingkan dengan peristiwa lainnya.

5. Dampak bisnis :

Dampak bisnis mengukur potensi gangguan terhadap aktivitas ekonomi dan kerugian finansial akibat suatu peristiwa.

- a. Curah hujan: dampak rendah (1,07) terhadap bisnis menunjukkan bahwa curah hujan tinggi dapat menyebabkan gangguan ringan pada aktivitas ekonomi.
 - b. Durasi hujan ekstrim: dampak sedang (1,62) terhadap bisnis menunjukkan bahwa hujan ekstrim dengan durasi yang lama dapat menyebabkan gangguan yang lebih signifikan pada aktivitas ekonomi.
 - c. Ketinggian air akibat banjir: dampak sedang (1,52) terhadap bisnis menunjukkan bahwa banjir dapat menyebabkan gangguan yang signifikan pada aktivitas ekonomi.
 - d. Frekuensi banjir: dampak sedang (1,52) terhadap bisnis menunjukkan bahwa meskipun banjir sering terjadi, dampaknya terhadap aktivitas ekonomi cukup signifikan.
6. Kesiapsiagaan:
- a. Kesiapsiagaan mengukur tingkat kesiapan suatu wilayah dalam menghadapi dan merespons suatu peristiwa. Tabel ini membedakan antara kesiapsiagaan internal (tingkat kesiapan organisasi atau instansi terkait) dan kesiapsiagaan eksternal (tingkat kesiapan masyarakat dan pihak-pihak terkait di luar organisasi).
 - b. Kesiapsiagaan internal: kesiapsiagaan internal dinilai "Sedang hingga Tinggi" (1,93 - 1,86) untuk semua peristiwa, menunjukkan bahwa organisasi atau instansi terkait memiliki rencana dan prosedur yang memadai untuk menghadapi bencana banjir. Namun, masih ada ruang untuk peningkatan, terutama dalam hal koordinasi dan komunikasi antar instansi.
 - c. Kesiapsiagaan eksternal: kesiapsiagaan eksternal dinilai "Rendah" (1,00) untuk frekuensi banjir dan "Sedang" (1,24-1,31) untuk peristiwa lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat dan pihak-pihak terkait di luar organisasi kurang siap dalam menghadapi bencana banjir, baik dalam hal pengetahuan, keterampilan, maupun sumberdaya.
7. Respons internal dan eksternal:
- Respons mengukur efektivitas tindakan yang diambil untuk mengurangi dampak suatu peristiwa.

- a. Respons internal: respons internal dinilai "Sedang" (1,24-1,62) untuk semua peristiwa, menunjukkan bahwa terdapat upaya yang memadai untuk mengurangi dampak banjir, namun masih ada ruang untuk perbaikan, terutama dalam hal kecepatan dan efisiensi respons.
- b. Respons eksternal: respons eksternal dinilai "Sedang" (1,45-1,55) untuk semua peristiwa, menunjukkan bahwa terdapat upaya yang memadai dari masyarakat dan pihak-pihak terkait di luar organisasi untuk mengurangi dampak banjir, namun masih ada ruang untuk perbaikan, terutama dalam hal koordinasi dan kolaborasi.

8. Skor Risiko (*Risk Score*):

Skor risiko adalah hasil perkalian antara probabilitas dan dampak suatu peristiwa. Skor risiko dapat berkisar dari 0 (tidak ada risiko) hingga 100% (risiko sangat tinggi). Dalam tabel 5.7, risiko tertinggi adalah untuk durasi hujan ekstrem (84%), diikuti oleh volume curah hujan (81%), ketinggian air akibat banjir (71%), dan frekuensi banjir (63%). Hal ini menunjukkan bahwa durasi hujan ekstrem merupakan ancaman terbesar bagi pelabuhan malundung Tarakan.

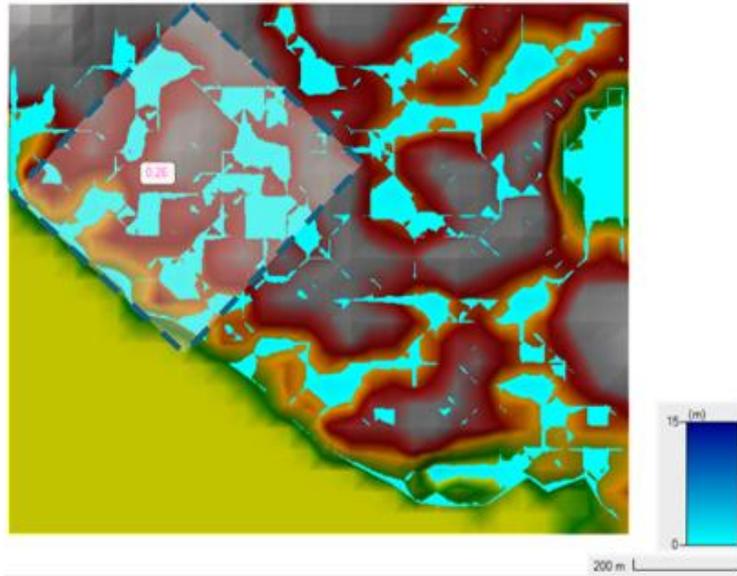
Analisis risiko hujan ekstrem membahas bagaimana cuaca ekstrem seperti hujan deras dan banjir dapat memberi dampak nyata pada pelabuhan malundung di Kota Tarakan. Penelitian ini fokus pada beberapa jenis hujan ekstrem yang dianggap paling berpengaruh, seperti intensitas curah hujan, lama hujan, tinggi genangan air, dan frekuensi banjir setiap tahun. Dengan mengambil data dari berbagai sumber dan pengalaman, analisis ini menggambarkan seberapa besar kemungkinan dan dampak risiko tersebut terhadap manusia, properti, dan aktivitas bisnis di pelabuhan. Misalnya, curah hujan yang tinggi dan durasi hujan yang lama ternyata berpotensi besar menyebabkan kerusakan fisik dan gangguan ekonomi, meskipun efek langsungnya terhadap manusia lebih sedikit. Selain itu, penelitian juga menilai kesiapan pihak terkait dalam menghadapi kondisi ini. Kesiapsiagaan internal dinilai cukup baik, tetapi dukungan dan respons dari masyarakat sekitar serta pihak eksternal masih perlu ditingkatkan.

Hasil dari analisis ini berfungsi sebagai dasar untuk merancang strategi dan kebijakan yang tepat agar pelabuhan malundung bisa lebih tahan menghadapi perubahan cuaca ekstrem di masa depan serta meminimalkan dampak negatifnya.

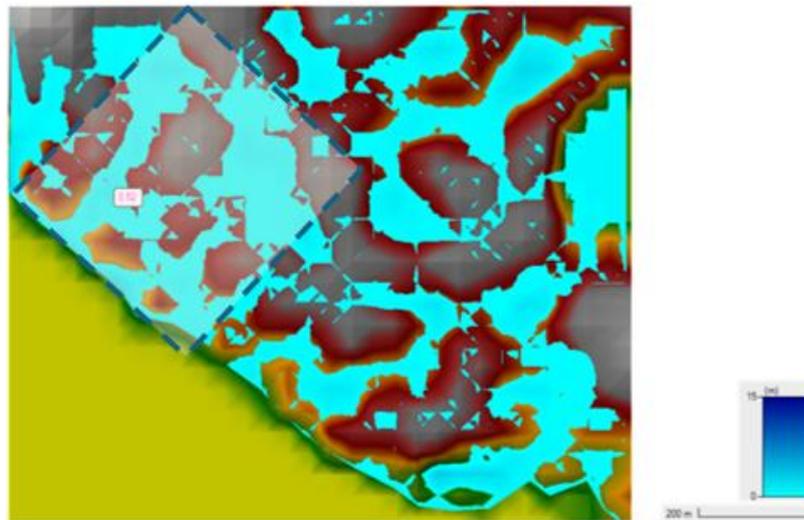
Setelah mendalami risiko hujan ekstrim dan dampaknya secara umum, kini beralih ke hasil analisis lebih teknis yang menghitung kemungkinan terjadinya banjir dalam periode waktu tertentu. Analisis ini penting untuk memprediksi seberapa sering dan seberapa besar banjir bisa terjadi, sehingga menjadi dasar yang lebih kuat dalam perencanaan mitigasi dan pengelolaan risiko agar pelabuhan malundung dan sekitarnya dapat lebih siap menghadapi ancaman banjir di masa depan.

5.16 Hasil Analisis Perhitungan Banjir Periode Ulang

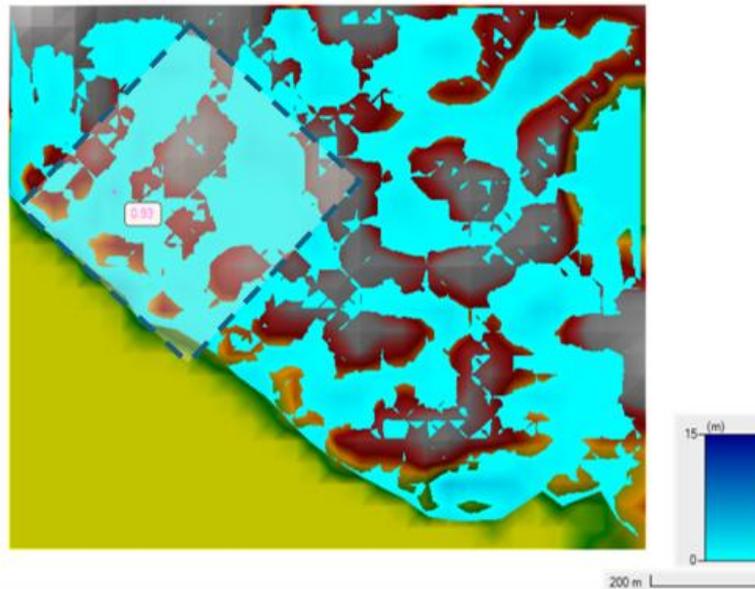
Analisis untuk menghasilkan perhitungan banjir pada wilayah pelabuhan dilakukan dengan pengolahan data hujan selama 10 tahun terhitung dari tahun 2013 sampai tahun 2023. Pada rentang tersebut didapat hujan ekstrim terjadi pada bulan desember tahun 2017 (*Rainfall Record* = 157,2 mm/hari) dan pada bulan September tahun 2023 (*Rainfall Record* = 167,5 mm/hari). Data ini mengindikasikan bahwa kejadian hujan ekstrim memiliki variabilitas yang tinggi, yang dapat berdampak besar terhadap operasi dan infrastruktur pelabuhan. Hujan dengan intensitas tinggi seperti ini berpotensi menyebabkan banjir, merusak struktur pelabuhan, mengganggu kegiatan operasional, dan meningkatkan risiko terhadap keselamatan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan langkah-langkah mitigasi yang efektif guna mengantisipasi dampak dari curah hujan ekstrim. Penelitian ini menegaskan perlunya peningkatan ketahanan struktural dan perbaikan sistem drainase di pelabuhan. Analisis ini dibantu aplikasi *Hec-Ras* menghasilkan simulasi gambar model genangan dengan menggunakan ketinggian bervariasi mulai 0,26 m, 0,52 m, 0,93 m. Analisis perhitungan banjir periode ulang ini dilakukan sebagai salah satu validasi terhadap potensi terjadinya bencana hujan ekstrim yang terjadi di Kota Tarakan.



Gambar 5.3 Genangan dengan curah hujan = 30 mm, waktu hujan = 1 jam, tinggi genangan = 0,26 m



Gambar 5.2 Genangan dengan curah hujan = 100 mm, waktu hujan = 1 jam, tinggi genangan = 0,52 m



Gambar 5.4 Genangan dengan curah hujan = 167,5 mm, waktu hujan = 1 jam, tinggi genangan = 0,93 m

Dalam kerangka penilaian ketahanan pelabuhan terhadap kondisi cuaca ekstrim, khususnya hujan deras, analisis genangan di pelabuhan malundung, Kota Tarakan, mengungkapkan bahwa intensitas hujan sangat memengaruhi tinggi genangan yang terjadi di area pelabuhan. Berdasarkan data genangan, simulasi pada tiga skenario curah hujan (30 mm, 100 mm, dan 167 mm per jam) menunjukkan peningkatan tinggi genangan dari 0,26 m hingga 0,93 m, seiring dengan intensitas hujan yang semakin tinggi. Data ini memberikan gambaran mengenai batas toleransi pelabuhan terhadap variasi intensitas hujan dan menyoroti tingkat kerentanan infrastruktur pelabuhan pada curah hujan ekstrim. Pada curah hujan rendah sebesar 30 mm/jam, tinggi genangan sebesar 0,26 m masih memungkinkan pelabuhan untuk beroperasi dengan gangguan minimal. Namun, pada intensitas menengah (100 mm/jam), genangan yang meningkat hingga 0,52 m mulai mempengaruhi operasi dan mengindikasikan kapasitas sistem drainase yang mungkin sudah hampir mencapai batas maksimum. Pada curah hujan ekstrim (167 mm/jam), genangan hampir mencapai 1 meter (0,93 m), yang secara kritis meningkatkan risiko terhadap keselamatan dan operasional pelabuhan, serta memperbesar kemungkinan kerusakan infrastruktur. Tingginya genangan ini menunjukkan bahwa saat intensitas hujan meningkat, ketahanan infrastruktur dan sistem pengendalian banjir menjadi esensial dalam menghadapi tantangan ini.

Analisis ini memberikan landasan bagi pengembangan model penilaian ketahanan pelabuhan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor utama seperti kapasitas drainase, laju infiltrasi tanah, dan kondisi infrastruktur resapan air di sekitar pelabuhan. Dengan menggunakan data ini, model dapat memprediksi titik-titik kritis di mana curah hujan ekstrem akan mulai mengganggu operasional dan mengancam keselamatan pelabuhan. Penilaian ini juga berfungsi sebagai alat peringatan dini untuk mengoptimalkan kapasitas adaptif pelabuhan dalam menghadapi pola curah hujan yang semakin tidak menentu akibat perubahan iklim.

Setelah melihat hasil perhitungan dan prediksi banjir dalam periode tertentu, beralih pada langkah penting berikutnya, yaitu mengenali kriteria utama yang menentukan ketahanan pelabuhan Tarakan terhadap cuaca ekstrem, khususnya hujan ekstrem. Pada bagian ini, akan dijelaskan bagaimana intensitas hujan berdampak pada genangan air di pelabuhan, serta bagaimana data tersebut membantu menentukan strategi yang tepat untuk meningkatkan kekuatan dan kesiapan pelabuhan agar dapat beroperasi dengan aman dan lancar meskipun menghadapi hujan dengan intensitas yang sangat tinggi.

5.17 Identifikasi Kriteria Kunci dan Strategi Ketahanan Pelabuhan Kota

Tarakan

Penelitian ini menggunakan *Interpretive Structural Modeling* (ISM) untuk menganalisis tujuh elemen kunci yang dianggap berpengaruh terhadap ketahanan pelabuhan malundung, yaitu: (1) Integritas Struktural, (2) Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan, (3) Ketersediaan dan Kondisi Peralatan, (4) Sistem Drainase dan Pengendalian Air, (5) Kondisi Bangunan Pendukung, (6) Kondisi Sistem Energi dan Listrik, dan (7) Kondisi Jalan dan Akses. Melalui serangkaian tahapan analisis ISM, seperti pembuatan *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM), *Initial Reachability Matrix*, *Final Reachability Matrix*, *Level Partitioning*, *Driving Power and Dependence Diagram*, dan *Hierarchical Structure Diagram*, akan diidentifikasi elemen-elemen kunci yang paling berpengaruh terhadap ketahanan pelabuhan, serta hubungan ketergantungan antar elemen tersebut.

1. *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM)

Structural Self-Interaction Matrix (SSIM), model global menggambarkan interaksi kompleks antara elemen-elemen seperti A1 hingga A7. Penggunaan

simbol seperti 'V', 'O', dan 'A' menunjukkan kedinamisan dalam hubungan ini. Misalnya, A1 memiliki pengaruh signifikan terhadap beberapa elemen, menandakan adanya dominasi dan ketergantungan tertentu dalam sistem ini. Hal ini menunjukkan adanya hierarki pengaruh yang dapat mempengaruhi keseluruhan model struktural. Sebaliknya, dalam studi kasus, penggunaan simbol 'X' mendominasi, yang menandakan interaksi yang lebih langsung dan terarah. Setiap elemen memiliki keterkaitan yang lebih jelas dan spesifik, menunjukkan bahwa hubungan yang ada cenderung lebih terlokalisasi dan sesuai dengan konteks khusus studi kasus tersebut.

Transformasi ini menyoroti perlunya perhatian terhadap detail lokal dan bagaimana adaptasi model global perlu dilakukan agar dapat diterapkan secara efektif dalam situasi lokal. Dengan menyesuaikan dan memahami dinamika lokal, model tersebut dapat dikalibrasi untuk mendukung keputusan strategis yang lebih tepat sasaran. Akibatnya, hal ini berkontribusi pada pengembangan strategi mitigasi risiko yang lebih baik dan responsif terhadap kebutuhan nyata di lapangan. *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM), memberikan gambaran bagaimana elemen-elemen penting berinteraksi dalam model global dan studi kasus. Dalam model global, elemen A1 (Integritas Struktural), A2 (Kondisi Bangunan), dan A4 (Sistem Drainase dan Pengendalian Air) muncul sebagai elemen yang paling berpengaruh. Ketiganya menunjukkan hubungan positif yang kuat (V) dengan elemen lain, menunjukkan peran penting mereka dalam menstabilkan sistem. Integritas struktural dan kondisi bangunan yang baik memastikan bahwa infrastruktur pelabuhan dapat menahan cuaca ekstrem, sedangkan sistem drainase yang efektif mencegah kerusakan akibat banjir. Di sisi lain, A7 (Kondisi Jalan dan Akses) dianggap paling dipengaruhi, menerima dampak signifikan dari A1, A2, dan A4. Hal ini menandakan bahwa meskipun akses yang baik krusial, gangguan dari elemen-elemen lain dapat mempengaruhi efisiensi operasi pelabuhan. Untuk studi kasus, A1 dan A4 tetap menjadi elemen utama, menegaskan relevansi fokus pada integritas struktural dan sistem drainase dalam menangani kebutuhan lokal yang dinamis. A7 masih menjadi elemen yang paling dipengaruhi, dengan koneksi ke A1, A4, dan A6, yang menekankan pentingnya penanganan logistik yang tepat sesuai dengan kondisi lokal. A3 (Ketersediaan dan Kondisi Peralatan) dan A5

(Sistem Energi), yang memiliki hubungan negatif (X), muncul sebagai elemen independen, menunjukkan bahwa meskipun kritis, mereka tidak secara langsung mempengaruhi elemen lainnya. Pendekatan ini menyoroti bahwa adaptasi lokal dan intervensi terfokus dapat memperkaya penyelesaian masalah di lapangan.

2. *Initial Reachability Matrix*

Initial Reachability Matrix merupakan representasi matematis dari SSIM dalam bentuk matriks biner. Angka 1 menunjukkan adanya hubungan pengaruh, sedangkan angka 0 menunjukkan tidak adanya hubungan pengaruh langsung. *Initial Reachability Matrix* tahap *interpretive structural modeling* pada model global, ditemukan bahwa elemen A1 (Integritas Struktural) memiliki keterkaitan lengkap dengan seluruh elemen lainnya, menandai pentingnya peran sebagai fondasi utama bagi sistem. Hal ini mengindikasikan bahwa integritas struktural adalah kunci dalam memastikan bahwa semua bagian sistem berfungsi dengan efisien dan stabil. Sementara itu, pada studi kasus, *Initial Reachability Matrix* mengungkapkan pola yang lebih terpisah. A1 di sini juga berperan signifikan namun berkolaborasi erat dengan elemen lain seperti A5 (Kesiapan Infrastruktur), menunjukkan bahwa kesiapan lokal lebih banyak dipengaruhi oleh hubungan antar elemen kunci. Perbandingan ini menunjukkan bahwa sementara model global lebih menekankan pada keterkaitan holistik dan ketergantungan lintas elemen, studi kasus menyoroti kebutuhan akan pendekatan adaptif dan responsif terhadap perubahan dan kebutuhan spesifik lokal.

3. *Final Reachability Matrix*

Final Reachability Matrix, diperoleh setelah menerapkan prinsip *transitivity* pada *Initial Reachability Matrix*. Prinsip *transitivity* menyatakan bahwa jika elemen A mempengaruhi elemen B, dan elemen B mempengaruhi elemen C, maka elemen A juga mempengaruhi elemen C. Dengan menerapkan prinsip ini, dapat mengidentifikasi hubungan pengaruh tidak langsung antara elemen-elemen dalam sistem. *Final Reachability Matrix* dari model global memperlihatkan bahwa elemen A1 (Integritas Struktural) tetap menjadi elemen sentral yang mempengaruhi hampir semua elemen lain, menunjukkan posisi strategisnya dalam menjaga keselarasan dan kekokohan sistem secara keseluruhan. Elemen lainnya, seperti A4 (Faktor Sosial) dan A6 (Faktor Ekonomi), menunjukkan peningkatan keterkaitan,

mencerminkan bagaimana perubahan di elemen-elemen ini dapat secara langsung mempengaruhi kondisi struktural sistem. Sementara itu, dalam studi kasus, focus keterhubungan lebih terkonsentrasi pada elemen A5 (Kesiapan Infrastruktur) dan A6, menekankan pentingnya elemen-elemen tersebut dalam adaptasi lokal terhadap tantangan spesifik. Perbedaan ini menggambarkan bahwa meskipun di tingkat global, keselarasan dan hubungan antar elemen diutamakan, dalam konteks lokal, respons adaptif terhadap perubahan lingkungan menjadi kunci utama dalam pengelolaan struktur.

4. *Level partitioning*

Level partitioning menyajikan hasil dari proses *level partitioning*, yaitu pengelompokan elemen-elemen ke dalam tingkatan (level) berdasarkan *reachability set* dan *antecedent set* mereka. Selain itu, gambar ini juga menunjukkan nilai *driving power* dan *dependence* untuk setiap elemen. Analisis *Level Partitioning* menunjukkan perbedaan yang signifikan antara model global dan studi kasus dalam konteks elemen yang berpengaruh dan keterhubungan antar elemen. Pada model global, elemen A1 (Integritas Struktural) memiliki derajat pengaruh (D) yang tertinggi pada nilai 7 dan level ketergantungan (L) yang rendah dengan nilai 1, menunjukkan dominasi dan pengaruhnya yang luas terhadap elemen lain tanpa bergantung pada mereka. Sebaliknya, pada studi kasus, elemen ini menunjukkan nilai L yang lebih tinggi, yaitu 5, yang menggambarkan kebergantungannya pada lebih banyak elemen lain. Selain itu, elemen A2 hingga A7 menunjukkan variasi signifikan dalam nilai D dan L ketika dibandingkan antara keduanya. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks global, struktur cenderung lebih terpusat pada elemen tunggal, sedangkan dalam studi kasus, distribusi pengaruh lebih merata, mencerminkan adaptasi kontekstual dan mungkin adanya pengaruh lokal yang lebih beragam. Perbedaan dalam distribusi dan hubungan ini menunjukkan bahwa pendekatan dan strategi perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan dinamika lokal, meskipun ada kerangka global yang mapan.

5. *Driving Power and Dependence Diagram (Mic-Mac Analysis)*

Driving Power and Dependence Diagram dalam tahap *interpretive structural modelling*, setiap elemen memainkan peran unik. Model global menunjukkan elemen "Integritas Struktural" (A1) berada di kuadran "*Independent*", yang berarti

elemen ini memiliki dampak besar dalam mengarahkan sistem tanpa banyak ketergantungan pada elemen lain. Elemen seperti "Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan" (A2) dan "Kondisi Jalan dan Akses" (A7) berada di kuadran "*Linkage*", menunjukkan interaksi yang kompleks dan ketergantungan terhadap elemen lain meskipun memiliki kekuatan pendorong yang tinggi. Sebaliknya, dalam studi kasus, elemen A1 dan "Sistem Drainase dan Pengendalian Air" (A4) berada di "*Independent*", menonjolkan peran dominan mereka. Elemen "Ketersediaan dan Kondisi Peralatan" (A3) dalam kuadran "*Autonomous*" menunjukkan pengaruhnya yang terbatas, sedangkan "Kondisi Bangunan Pendukung" (A5) dan A7 di "*Dependent*" menunjukkan bahwa mereka lebih dipengaruhi oleh elemen lain, menuntut strategi berbeda untuk meningkatkan stabilitas serta efektivitas sistem. Analisis ini menyoroti perlunya strategi yang disesuaikan dengan konteks lokal untuk mengoptimalkan kinerja sistem dan memanfaatkan elemen independen sebagai penggerak utama.

6. *Hierarchical Structure Diagram*

Tahap akhir *interpretive structural modelling*, dapat mengamati berbagai aspek dari struktur elemen. Pada model global, diagram menunjukkan bahwa elemen E2 hingga E7 berada pada Level 1, dengan E5 sebagai pusat koneksi utama yang menghubungkan ke E1, yang ditempatkan pada Level 2. Hal ini menunjukkan bahwa E5 berfungsi sebagai penghubung kritis dalam sistem, memastikan bahwa aliran informasi atau kontrol dapat diteruskan ke elemen E1, meskipun berada pada tingkatan hierarki yang lebih rendah. Dalam studi kasus, struktur hierarki lebih berlapis dengan tujuh tingkatan yang jelas. Elemen E3 berada di puncak hirarki pada Level 1, yang menandakan peran sentral yang memungkinkan kontrol atau pengaruh yang besar terhadap elemen di bawahnya. Elemen seperti E2 dan E5 berada di Level 2 dan 3, terus mendukung hubungan vertikal ini ke E7 sampai ke E1 di tingkatan paling bawah (Level 7). Penyusunan ini menciptakan suatu jalur hierarki yang kompleks namun teratur, mencerminkan kedalaman interaksi antar elemen dan memastikan bahwa setiap elemen memainkan bagian yang ditentukan dalam keseluruhan sistem. Perbandingan antara kedua diagram ini menyoroti perbedaan dalam pentingnya dan posisi strategis elemen-elemen tersebut. Model global dengan struktur yang lebih datar memungkinkan aliran komunikasi dan

kontrol yang lebih langsung antar elemen, sedangkan studi kasus menekankan kompleksitas dan perlunya pengelolaan aliran informasi antara lapisan hirarki yang lebih besar.

Strategi manajemen sistem yang tepat harus disesuaikan dengan struktur hierarki yang ada untuk mengoptimalkan efisiensi dan efektivitas operasional. Setelah membahas data intensitas hujan dan dampaknya pada genangan di pelabuhan, sekarang memasuki tahap analisis yang lebih mendalam dengan menggunakan model struktural interpretatif (*interpretive structural modelling*). Model ini membantu menguraikan bagaimana berbagai elemen penting dalam sistem pelabuhan saling berhubungan dan berpengaruh satu sama lain. Pada bagian ini, akan dijelaskan posisi dan peran krusial beberapa elemen dalam struktur hierarki tersebut, yang kemudian dijadikan dasar dalam merancang strategi manajemen dan ketahanan pelabuhan terhadap ancaman cuaca ekstrem.

5.18 Nilai Kerentanan pada Pelabuhan Kota Tarakan

Pada penilaian kerentanan dibutuhkan hasil dari penilaian infrastruktur pelabuhan dengan nilai risiko terhadap cuaca ekstrim, sehingga:

$$\text{Vulnerability Index} = \text{Probability/Potensial Impact Hazard Nature} + \text{Adaptive Weight}$$

$$\text{Vulnerability Index} = 1,64 + 1,30 = 2,94$$

Nilai kerentanan 2,94 berdasarkan Tabel 3.4 Nilai Indeks Kerentanan (*Vulnerability Index*) Sehingga dapat diinterpretasikan sebagai hasil analisis kerentanan infrastruktur menunjukkan bahwa kerentanan daerah pelabuhan malundung Kota Tarakan terhadap cuaca ekstrim berada pada tingkat sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat kerentanan wilayah ini sebanding dengan rata-rata kerentanan pelabuhan lain di Indonesia. Interpretasi dari analisis:

1. Kerentanan moderat: pelabuhan malundung memiliki tingkat kerentanan yang tidak terlalu tinggi atau rendah terhadap cuaca ekstrim. Artinya, terdapat beberapa aspek infrastruktur dan kesiapsiagaan yang perlu ditingkatkan untuk mengurangi risiko dan dampak dari bencana.
2. Probabilitas dampak sedang: meskipun cuaca ekstrim dapat terjadi, probabilitas dampak yang ditimbulkan terhadap pelabuhan ini berada pada tingkat sedang. Artinya, terdapat kemungkinan terjadinya kerusakan dan

gangguan operasional akibat cuaca ekstrim, namun dampak tersebut diperkirakan tidak akan terlalu parah.

3. Kesiapsiagaan cukup: pelabuhan malundung memiliki tingkat kesiapsiagaan yang cukup dalam hal sumberdaya material dan kapasitas personel. Artinya, pelabuhan ini memiliki sumberdaya yang cukup untuk menghadapi bencana dalam skala kecil hingga sedang, namun mungkin tidak mencukupi untuk menghadapi bencana skala besar.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pelabuhan malundung perlu meningkatkan upaya mitigasi dan adaptasi terhadap cuaca ekstrim. Meskipun tingkat kerentanan saat ini tergolong sedang, namun potensi dampak yang dapat ditimbulkan oleh cuaca ekstrim tetap perlu diwaspadai. Beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan malundung terhadap cuaca ekstrim antara lain:

1. Peningkatan infrastruktur: perkuat bangunan dan infrastruktur pelabuhan yang dianggap rentan terhadap cuaca ekstrim, seperti dermaga, gudang, dan sistem drainase.
2. Peningkatan kapasitas: tingkatkan kapasitas sumber daya manusia dan peralatan untuk menghadapi kemungkinan terjadinya bencana skala besar.
3. Pengembangan rencana kontijensi: kembangkan rencana kontijensi yang lebih komprehensif untuk menghadapi berbagai skenario cuaca ekstrim, termasuk langkah-langkah mitigasi, respons, dan pemulihan.
4. Peningkatan sistem peringatan dini: tingkatkan sistem peringatan dini untuk memberikan informasi yang lebih akurat dan cepat mengenai potensi cuaca ekstrim.
5. Kerjasama dengan stakeholder: tingkatkan kerjasama dengan berbagai pemangku kepentingan, seperti pemerintah daerah, BMKG, dan masyarakat sekitar, untuk memperkuat upaya mitigasi dan adaptasi terhadap cuaca ekstrim.

Dengan melakukan langkah-langkah tersebut, diharapkan pelabuhan malundung dapat mengurangi tingkat kerentanannya dan meningkatkan ketahanannya terhadap cuaca ekstrim di masa depan. Penilaian kerentanan pelabuhan malundung terhadap cuaca ekstrim menunjukkan nilai kerentanan

sebesar 2,94, yang menempatkannya pada tingkat kerentanan sedang jika dibandingkan dengan pelabuhan lain di Indonesia. Ini berarti pelabuhan ini cukup rentan terhadap dampak hujan deras atau cuaca buruk, namun tidak sampai pada tingkat yang sangat berbahaya. Analisis tersebut juga mengindikasikan beberapa hal penting: kemungkinan dampak kerusakan dan gangguan operasi berada pada tingkat menengah, kesiapsiagaan pelabuhan sudah cukup dengan sumberdaya yang tersedia, namun masih perlu peningkatan agar mampu menghadapi bencana berskala besar. Oleh karena itu, pelabuhan malundung perlu melakukan beberapa langkah strategis, seperti memperkuat infrastruktur, meningkatkan kapasitas sumberdaya, mengembangkan rencana kontijensi, memperbaiki sistem peringatan dini, serta mempererat kerja sama dengan berbagai pihak terkait. Upaya-upaya ini diharapkan dapat mengurangi risiko dan membuat pelabuhan lebih tangguh di masa depan menghadapi perubahan cuaca yang ekstrim. Setelah menguraikan nilai kerentanan dan langkah-langkah strategis yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan malundung terhadap cuaca ekstrim, kini kita akan membahas model yang dikembangkan berdasarkan studi kasus tersebut. Model ini akan memaparkan kerangka kerja dan cara-cara penerapan analisis risiko dan kerentanan yang telah dibahas sebelumnya secara lebih nyata dan terperinci, sehingga bisa menjadi panduan praktis dalam mengelola dan memperkuat ketahanan pelabuhan di masa depan.

5.19 Model Berdasarkan Studi Kasus

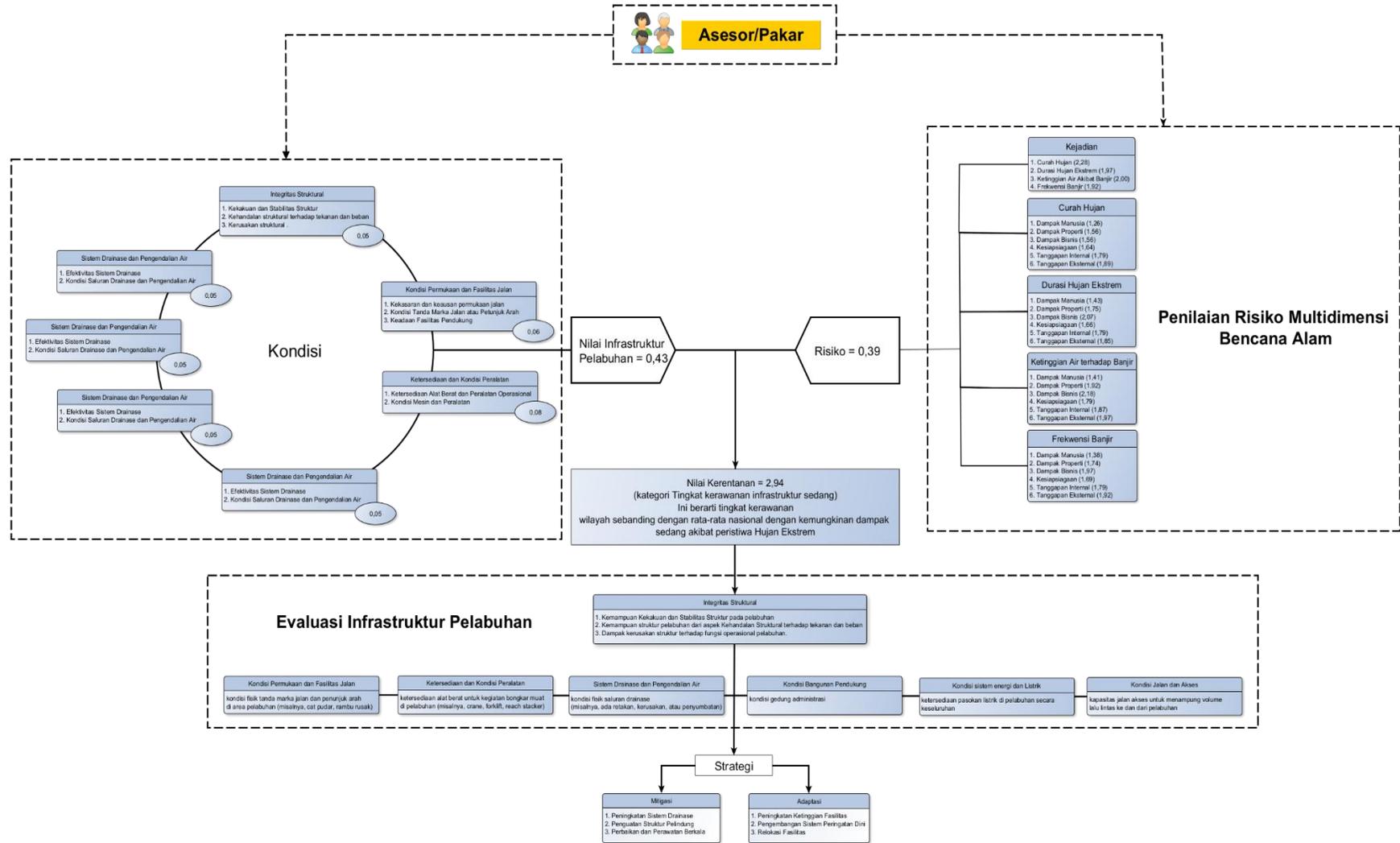
Model konseptual yang dikembangkan berdasarkan hasil studi kasus di Kota Tarakan, yang menggambarkan hubungan antara kondisi infrastruktur pelabuhan, risiko yang dihadapi, serta strategi mitigasi dan adaptasi yang dapat diterapkan. Model ini dirancang untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pelabuhan terhadap bencana dan gangguan operasional. Gambar 5.5 yang terlampir memperlihatkan struktur model dengan tiga komponen utama: kondisi infrastruktur pelabuhan, risiko, dan evaluasi infrastruktur pelabuhan serta strategi yang terdiri dari mitigasi dan adaptasi. Kondisi infrastruktur diuraikan melalui berbagai aspek seperti integritas struktural, sistem drainase dan pengendalian air, kondisi permukaan dan fasilitas jalan, ketersediaan serta kondisi peralatan, kondisi bangunan pendukung, sistem energi

dan listrik, serta kondisi jalan dan akses. Masing-masing aspek ini memiliki parameter spesifik yang dievaluasi secara kuantitatif, dengan bobot tertentu yang mencerminkan tingkat kepentingannya.

Pada bagian risiko, model mengintegrasikan berbagai faktor risiko seperti curah hujan, durasi banjir, ketinggian air akibat banjir, dan frekuensi banjir, yang dianalisis berdasarkan dampak terhadap manusia, bisnis, dan lingkungan serta kapasitas respons internal dan eksternal. Penilaian risiko ini menghasilkan nilai risiko keseluruhan yang menjadi dasar untuk menentukan prioritas tindakan.

Komponen mitigasi dan adaptasi dalam model mencakup langkah-langkah strategis seperti peningkatan sistem drainase, penguatan struktur pendukung, perawatan berkala, peningkatan ketangguhan fasilitas, pengembangan sistem peringatan dini, serta relokasi fasilitas jika diperlukan. Semua proses penilaian dan pengambilan keputusan dalam model ini dilakukan oleh asesor atau pakar yang memiliki keahlian dalam bidang terkait, memastikan validitas dan relevansi hasil evaluasi.

Model ini tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai panduan praktis bagi pengambil kebijakan dan pengelola pelabuhan dalam merancang dan mengimplementasikan strategi peningkatan ketahanan pelabuhan Kota Tarakan terhadap risiko bencana alam dan gangguan lainnya.



Gambar 5.5 Model pada studi kasus pelabuhan internasional malundung di Kota Tarakan dengan bencana hujan ekstrem

Model dihasilkan berdasarkan analisis penilaian infrastruktur pelabuhan dan analisis risiko hujan ekstrem yang menghasilkan nilai kerentanan dapat disimpulkan bahwa pelabuhan malundung memiliki tingkat ketahanan yang cukup terhadap cuaca ekstrem, namun tetap memerlukan peningkatan dalam beberapa aspek dilihat pada Gambar 5.5 Integritas struktural merupakan elemen paling krusial yang harus dijaga, diikuti oleh sistem drainase dan pengendalian air. Berikut rangkuman lengkap dan komprehensif yang mudah dipahami oleh masyarakat umum dari penjelasan mengenai model berdasarkan studi kasus pelabuhan internasional malundung di Kota Tarakan.

Model ini dibuat berdasarkan studi kasus di pelabuhan malundung Kota Tarakan, dengan tujuan untuk merepresentasikan model global risiko serta ketahanan pelabuhan terhadap bencana cuaca ekstrem seperti hujan deras dan banjir. Model ini menghubungkan tiga komponen utama yaitu kondisi infrastruktur pelabuhan, risiko yang dihadapi, dan strategi mitigasi serta adaptasi yang dapat diterapkan.

Pada bagian kondisi infrastruktur, model menilai berbagai aspek penting seperti kekuatan dan stabilitas struktur bangunan pelabuhan, efektivitas sistem drainase dan pengendalian air, kondisi jalan dan fasilitas pendukung, serta ketersediaan peralatan yang sesuai untuk operasional pelabuhan. Setiap aspek ini diukur secara kuantitatif dengan bobot tertentu untuk menentukan seberapa besar pengaruhnya terhadap ketahanan pelabuhan.

Di sisi risiko, model memperhitungkan berbagai faktor seperti intensitas dan durasi hujan ekstrem, tinggi permukaan air banjir, serta frekuensi terjadinya banjir yang dapat berdampak pada keselamatan manusia, kerusakan properti, gangguan bisnis, dan lingkungan sekitar. Risiko yang terukur menjadi dasar penting untuk menentukan prioritas tindakan dan kesiapan pelabuhan dalam merespons bencana tersebut.

Untuk strategi mitigasi dan adaptasi, model menyarankan langkah-langkah praktis seperti peningkatan sistem drainase, penguatan struktur bangunan, perawatan berkala fasilitas pelabuhan, pengembangan sistem peringatan dini, dan jika perlu, relokasi fasilitas agar lebih aman dari dampak banjir dan cuaca ekstrem.

Semua penilaian dan rekomendasi dalam model ini dilakukan oleh pakar yang berkompeten, sehingga hasilnya valid dan relevan. Model ini tidak hanya membantu menganalisis kondisi saat ini tetapi juga menjadi panduan bagi pengambil kebijakan dan pengelola pelabuhan dalam mengembangkan langkah-langkah yang dapat meningkatkan ketahanan pelabuhan secara berkelanjutan. Dari hasil analisis infrastruktur dan risiko cuaca ekstrim, pelabuhan malundung berada pada tingkat ketahanan yang cukup baik, dengan nilai kerentanan sedang yaitu 2,94. Namun, model menegaskan bahwa aspek integritas struktural pelabuhan adalah yang paling krusial untuk dijaga, diikuti oleh sistem drainase dan pengendalian air sebagai fokus utama peningkatan. Perbaikan dan penguatan pada aspek-aspek ini diharapkan mampu menekan risiko dampak buruk dari bencana hujan ekstrem dan banjir sehingga pelabuhan dapat beroperasi dengan lebih aman dan lancar di masa depan.

-----Halaman Sengaja Dikosongkan-----

BAB 6

PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara mendalam proses perancangan dan pengembangan model penilaian risiko terhadap infrastruktur pelabuhan yang berorientasi pada ancaman bencana alam. Model tersebut pertama kali dipaparkan dalam Bab 4 sebagai pendekatan global, kemudian diuji validitas dan penerapannya melalui studi kasus di Kota Tarakan sebagaimana dijelaskan pada Bab 5. Fokus pembahasan mencakup tinjauan konseptual, pendekatan metodologis, dan hasil empiris yang diperoleh, dengan tujuan menilai sejauh mana kekuatan, keterbatasan, dan relevansi model tersebut ketika diterapkan pada kondisi nyata di lapangan.

6.1 Proses Pembentukan Model Penilaian Risiko Infrastruktur Pelabuhan

Data responden yang diperoleh pada Bab 4 dan Bab 5 menunjukkan perbedaan karakteristik penting dalam konteks pengembangan model ketahanan infrastruktur pelabuhan. Bab 4 menyajikan model ketahanan pada tingkat nasional yang dikembangkan dari responden beragam asal provinsi di Indonesia. Dominasi responden dari Provinsi Maluku menjadi hal penting karena wilayah ini menghadapi tantangan khusus terkait aksesibilitas dan pengembangan pelabuhan, yang berdampak pada model ketahanan secara keseluruhan. Responden dari provinsi lain seperti Jawa Timur, Kalimantan Utara, dan Nusa Tenggara Timur memperkaya analisis dengan perspektif yang beragam. Sebaliknya, Bab 5 fokus pada studi kasus pelabuhan malundung di Kota Tarakan, dengan data yang lebih lokal dan kontekstual. Pendekatan ini sangat berharga untuk menguji kelayakan dan relevansi model global yang dikembangkan pada Bab 4. Uji empiris ini membantu mengidentifikasi dimensi ketahanan yang spesifik dan unik sesuai kondisi setempat.

Hasil dari Bab 4 menegaskan bahwa model ketahanan infrastruktur pelabuhan harus bersifat holistik dan mencakup variabel seperti kerentanan geografis, kapasitas operasional, dan kebijakan pengelolaan tingkat nasional. Namun, temuan studi kasus Bab 5 menunjukkan bahwa model tersebut perlu adaptasi agar responsif

terhadap kondisi unik pelabuhan lokal, termasuk faktor sosial dan lingkungan yang secara langsung memengaruhi ketahanan.

Kombinasi data global dan studi kasus menekankan pentingnya model ketahanan yang fleksibel dan adaptif. Model tidak dapat diterapkan secara seragam tanpa mempertimbangkan konteks lokal. Oleh karenanya, studi kasus Bab 5 berperan penting sebagai validasi yang memperkuat keandalan dan aplikasi praktis model global dari Bab 4.

Secara keseluruhan, penggabungan temuan dari kedua bab ini memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi ketahanan infrastruktur pelabuhan di Indonesia. Pendekatan yang mengintegrasikan analisis nasional dan kajian lapangan mendalam menjadi landasan bagi rekomendasi yang realistis dan sesuai dengan kondisi riil, sehingga mendukung pengembangan ilmu ketahanan dan peningkatan kebijakan pengelolaan pelabuhan.

1. Kerangka konseptual model

Pengembangan kerangka konseptual model untuk menilai risiko dan ketahanan infrastruktur pelabuhan harus dilandasi oleh integrasi yang sistematis antara data lapangan dan kajian ilmiah. Dari model global pada Bab 4, diperoleh data empiris yang menggambarkan siapa saja yang terlibat dalam operasional pelabuhan, karakteristik demografis seperti jenis kelamin, pendidikan, dan pengalaman kerja mereka, serta bagaimana mereka memandang dan bersiap menghadapi berbagai risiko bencana. Misalnya, sekitar 75% responden adalah laki-laki yang aktif dalam pengelolaan pelabuhan, yang memengaruhi cara mereka menilai risiko dan respon mitigasi (lihat Tabel 4.1). Selain itu, analisis korelasi risiko multidimensi (Tabel 4.10 dan 4.11) mengungkap dimensi risiko yang paling dominan serta saling berkaitan dalam konteks lokal pelabuhan.

Studi kasus pelabuhan malundung Kota Tarakan di Bab 5 membawa pada penyusunan model kondisi dan evaluasi, yang merupakan fondasi ilmiah dalam kerangka ini. Kajian teori dan metode seperti *Infrastructure Rating Tool* serta *Hazard and Vulnerability Assessment Index* memberikan alat ukur kuantitatif dan kualitatif untuk menilai kondisi fisik infrastruktur dan tingkat kerentanannya terhadap ancaman bencana (Tabel 5.5 dan 5.7). Model ini mempermudah evaluasi

kondisi nyata pelabuhan berdasarkan parameter teknis sekaligus menyediakan dasar untuk perumusan strategi peningkatan ketahanan yang lebih terarah.

Melalui perbandingan dan sintesa model global dan model pada studi kasus, kerangka konseptual yang dikembangkan menjadi model penilaian risiko komprehensif yang menjembatani data empiris dan teori. Misalnya, temuan pada model global tentang kerentanan fisik akibat banjir dan angin kencang memvalidasi bobot risiko yang digunakan dalam model konseptual di studi kasus, sementara persepsi kesiapan sumber daya manusia menuju strategi mitigasi yang lebih efektif.

Seluruh rangkaian model ini juga mengandung metode evaluasi, memungkinkan pemantauan kondisi infrastruktur dan kesiapan operasional secara rutin serta pembaruan strategi mitigasi berdasar hasil evaluasi. Dengan demikian, model ini dinyatakan valid, juga sangat aplikatif untuk membantu pengambil kebijakan dan pengelola pelabuhan dalam meningkatkan ketahanan, kesiapan, dan respons terhadap risiko bencana. Berdasarkan integrasi sistematis antara data empiris yang diperoleh dari model global dan studi kasus pelabuhan malundung di Bab 4 dan Bab 5, serta pengembangan model kondisi dan evaluasi yang menjadi kerangka konseptual, langkah selanjutnya adalah menjabarkan secara rinci metodologi yang digunakan dalam pengembangan model tersebut.

Sub bab berikut akan menguraikan pendekatan metodologis yang mencakup desain penelitian, teknik pengumpulan dan analisis data, serta proses validasi model yang memastikan bahwa kerangka konseptual dapat diterapkan secara efektif dan akurat dalam menilai risiko serta meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan.

2. Metodologi pengembangan model

Metode yang digunakan untuk mengembangkan model kondisi infrastruktur pelabuhan, risiko multidimensi dan evaluasi infrastruktur pelabuhan ini dirancang secara sistematis agar hasilnya memadukan data lapangan dengan teori yang sudah ada dalam penelitian sebelumnya. Pendekatan ini menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif sehingga hasil analisisnya tidak hanya kuat secara ilmiah, tetapi juga praktis untuk diterapkan. Awalnya, data dikumpulkan langsung dari pelabuhan melalui survei yang menggambarkan profil sosial dan pengalaman kerja para pekerja pelabuhan, serta bagaimana mereka menilai risiko bencana yang mungkin terjadi. Data ini kemudian dianalisis menggunakan teknik statistik,

termasuk analisis faktor dan korelasi, untuk menemukan bagian mana dari risiko yang paling signifikan dan saling terkait dalam konteks lokal pelabuhan (lihat Tabel 4.1 dan Tabel 4.10–4.11).

Kemudian, dilakukan kajian literatur intensif dan adaptasi dari beberapa model, seperti *Infrastructure Rating Tool* dan *Hazard and Hazard Vulnerability Assessment Index* (seperti diuraikan pada Bab 5, Tabel 5.5 dan 5.7). Model-model ini berfungsi sebagai alat untuk mengevaluasi kondisi fisik infrastruktur dan tingkat kerentanannya terhadap ancaman bencana alam.

Hasil analisis data lapangan dan model teori tersebut digabungkan menjadi satu kerangka kerja yang dapat menilai kondisi pelabuhan secara menyeluruh dan memberikan dasar yang kuat untuk perencanaan mitigasi risiko. Validasi dilakukan melalui diskusi dengan para ahli dan pemangku kepentingan terkait, serta dengan pengujian simulasi menggunakan data nyata dari studi kasus pelabuhan Malundung. Hal ini memastikan bahwa model bukan hanya valid secara akademik tapi juga relevan di lapangan.

Secara keseluruhan, metodologi ini mengikuti langkah sistematis mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, pengembangan model, sampai evaluasi secara berkelanjutan. Dengan pendekatan tersebut, model yang dihasilkan mampu membantu pengambil keputusan dan pengelola pelabuhan untuk meningkatkan ketahanan terhadap risiko bencana serta kesiapan operasionalnya. Dengan landasan kerangka kerja yang sudah teruji dan tervalidasi, langkah berikutnya adalah mengkaji secara mendalam inovasi dan kontribusi unik pada model ini dalam konteks pengelolaan risiko dan peningkatan ketahanan infrastruktur pelabuhan. Pembahasan selanjutnya akan memperlihatkan pendekatan baru yang dapat memberikan nilai tambah bagi pengambilan keputusan strategis di lapangan.

3. Inovasi dan kontribusi model

Penelitian ini menghasilkan model penilaian dan peningkatan ketahanan infrastruktur pelabuhan yang memiliki sejumlah inovasi dan kontribusi penting, yang membedakan model ini dari pendekatan sebelumnya serta memperkuat literatur ilmiah di bidang pengelolaan risiko dan ketahanan infrastruktur kritis.

Salah satu inovasi utama yang dikembangkan adalah pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan aspek fisik, sosial, dan operasional secara bersamaan dalam model penilaian risiko. Pendekatan ini memungkinkan model untuk tidak hanya menilai kondisi fisik infrastruktur pelabuhan, seperti bangunan, sistem kelistrikan, dan fasilitas pendukung, tetapi juga memadukan analisis terhadap faktor sosial seperti kesiapan sumber daya manusia dan manajemen risiko pelabuhan. Hal ini selaras dengan pendekatan holistik yang kini banyak diadopsi secara internasional, sebagaimana dikemukakan oleh Misra et al. (2022) yang menegaskan pentingnya penilaian risiko yang holistik untuk infrastruktur kritis agar mampu mengakomodasi kompleksitas berbagai dimensi risiko.

Selain itu, model ini dibangun atas dasar integrasi data empiris lapangan dan model konseptual yang telah teruji, seperti *Infrastructure Rating Tool* dan *Hazard and Vulnerability Assessment Index* yang digunakan sebagai kerangka evaluasi utama. Penggunaan kombinasi data primer berupa survei kondisi aktual infrastruktur dan data dari responden di lapangan memberikan dimensi validitas dan realistis yang kuat, sehingga model yang dihasilkan lebih aplikatif bagi pengambil kebijakan. Pendekatan gabungan kualitatif dan kuantitatif ini mendapat pengakuan dari Kumar et al. (2021), yang meninjau studi manajemen risiko pelabuhan di negara maju dan menggarisbawahi pentingnya kombinasi metode untuk menghasilkan analisis yang komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Kontribusi signifikan berikutnya adalah proses validasi model yang dilakukan melalui simulasi berbasis studi kasus nyata pelabuhan malundung. Validasi ini menegaskan kemampuan model untuk beroperasi dalam konteks lokal dengan segala kompleksitas dan variabel uniknya, serta menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan aplikasi lapangan sebuah aspek yang jarang dijumpai dalam literatur, seperti ditekankan oleh Singh & Roy (2024). Dengan demikian, model ini dapat dipastikan bukan hanya sebagai instrumen akademis, tetapi siap digunakan secara praktis untuk mendukung upaya mitigasi risiko bencana dan peningkatan kesiapan operasional pelabuhan.

Model ini juga menyajikan kerangka kerja strategis yang berkelanjutan bagi pengambil keputusan dan pengelola pelabuhan dalam merancang serta

melaksanakan rencana mitigasi risiko yang tepat sasaran dan adaptif terhadap perubahan lingkungan dan kondisi risiko. Kerangka ini menjadikan model bukan hanya alat penilaian risiko, melainkan juga panduan untuk pengelolaan ketahanan jangka panjang yang terukur dan adaptif terhadap dinamika perubahan iklim dan ancaman bencana (Zhang et al., 2023). Dalam konteks perubahan iklim dan peningkatan intensitas bencana, inovasi ini sangat relevan dan kritis agar pelabuhan dapat tetap beroperasi secara optimal sekaligus meminimalisasi kerugian akibat bencana. Lebih lanjut, penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan metode risiko dan ketahanan infrastruktur di sektor transportasi laut, yang merupakan salah satu elemen vital infrastruktur nasional. Kontribusi ini membuka peluang bagi pengembangan model serupa di pelabuhan lain dengan karakteristik risiko dan kondisi lokal yang berbeda, serta dapat dilanjutkan dengan pengembangan model yang mengadopsi teknologi digital terkini seperti sensor IoT untuk monitoring kondisi infrastruktur secara real-time, yang kerap disarankan dalam literatur mutakhir (Elasha et al., 2020).

Secara ringkas, model ini tidak sekadar sebuah kerangka penilaian risiko, tetapi sebuah sistem terintegrasi dan valid yang mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi, risiko, dan strategi mitigasi di pelabuhan, dengan bukti empiris dan validasi kuat, sehingga memberikan nilai tambah strategis dan praktis untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap bencana alam. Untuk memastikan bahwa model tersebut tidak hanya kuat secara konsep tetapi juga relevan dan efektif di lapangan, selanjutnya dilakukan tahap validasi melalui studi kasus di Kota Tarakan.

6.2 Validasi Model Melalui Studi Kasus Kota Tarakan

Proses validasi model merupakan tahap krusial dalam memastikan bahwa model penilaian risiko dan ketahanan infrastruktur pelabuhan yang dikembangkan tidak hanya valid secara teori, tetapi juga aplikatif dan mampu menggambarkan kondisi nyata di lapangan. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan melalui studi kasus di Kota Tarakan, khususnya pada pelabuhan Malundung, yang mewakili konteks lokal dengan karakteristik risiko bencana alam yang spesifik seperti banjir, angin kencang, dan curah hujan tinggi.

1. Validasi model: pendekatan dan tujuan

Validasi model ini berfokus pada beberapa aspek penting: kesesuaian struktur faktor dan bobot indikator risiko dengan kondisi nyata di lapangan, kemampuan model untuk mengidentifikasi variabel risiko paling dominan yang mempengaruhi ketahanan pelabuhan, dan kecermatan model dalam menghitung nilai risiko keseluruhan yang bisa dijadikan dasar kebijakan mitigasi. Penelitian menerapkan metode pengumpulan data yang menggabungkan survei terstruktur kepada pekerja dan pengelola pelabuhan, serta observasi dan pengukuran kondisi fisik infrastruktur secara komprehensif. Dengan metode ini, validasi model tidak hanya bersandar pada data sekunder, tetapi menggunakan data primer yang relevan dan aktual.

2. Hasil validasi dan implikasi

Hasil validasi mengonfirmasi bahwa model mampu secara akurat menangkap dimensi risiko fisik seperti durasi dan frekuensi banjir yang merupakan masalah utama di pelabuhan malundung. Temuan ini sejalan dengan temuan dari Zhang et al. (2023), yang menekankan pentingnya memasukkan faktor risiko hidrometeorologi dalam penilaian ketahanan pelabuhan pesisir. Selain aspek fisik, model juga berhasil mengintegrasikan variabel sosial dan operasional, seperti kesiapan tenaga kerja dan keandalan sistem energi, yang selama ini kurang diperhatikan dalam studi ketahanan pelabuhan konvensional. Integrasi ini menegaskan pentingnya pendekatan multidimensi yang direkomendasikan dalam studi Misra et al. (2022) dan Kumar et al. (2021), yang menunjukkan bahwa pendekatan holistik meningkatkan ketepatan penilaian risiko dan kemampuan adaptasi sistem.

Secara kuantitatif, nilai risiko total yang dihitung sekitar 0,39 menandakan tingkat kerentanan menengah-tinggi yang membutuhkan perhatian serius dalam pengambilan keputusan strategis. Nilai ini menjadi dasar untuk merumuskan rekomendasi peningkatan ketahanan yang tidak hanya fokus pada perbaikan fisik seperti penguatan struktur bangunan dan perbaikan sistem drainase, tetapi juga peningkatan kapasitas manajerial dan kesiapan operasional yang tercermin dalam indikator kesiapan respons dan sistem energi.

3. Perbandingan dengan studi terkini

Model yang divalidasi ini memperlihatkan keunggulan dibandingkan penelitian terdahulu yang seringkali hanya fokus pada satu dimensi risiko fisik. Misalnya, Elasha et al. (2020) mengembangkan model berbasis simulasi untuk ketahanan pelabuhan, namun kurang menekankan integrasi data sosial, kritikal dalam konteks Indonesia yang memiliki dinamika sosial kompleks di pelabuhan. Sementara itu, Singh & Roy (2024) menegaskan pentingnya validasi lapangan agar model tidak hanya teoritis, yang secara metodologis diadopsi dan diterapkan secara tepat pada studi kasus Tarakan ini.

Dengan memadukan survei lapangan dengan pemodelan kuantitatif, penelitian ini menjawab tantangan dalam literatur manajemen risiko yang selama ini mengkritik kurangnya validasi empiris di tingkat lokal (Kumar et al., 2021). Hal ini menciptakan nilai tambah yang substansial bagi penelitian, karena model ini tidak hanya diperkirakan secara matematis tetapi juga diuji kebenarannya berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

4. Kontribusi bagi pengembangan model ketahanan nasional

Model ketahanan pelabuhan yang dibuat oleh ini berbeda dari model yang sudah ada sebelumnya karena menggabungkan beberapa hal penting sekaligus. Tidak hanya menganalisis kondisi fisik pelabuhan seperti kekuatan bangunan dan jalan saja, tapi juga melihat risiko bencana alam seperti gempa, banjir, dan tsunami serta dampaknya terhadap kegiatan pelabuhan.

Bagian paling penting, model ini juga menghitung seberapa cepat pelabuhan bisa bangkit kembali setelah terkena bencana, dengan melihat kesiapan sumber daya manusia dan sistem pengelolaan darurat yang ada. Jadi, bukan hanya soal pelabuhan bisa tahan lama saat bencana, tapi juga bisa cepat pulih sehingga operasi pelabuhan bisa berjalan kembali dengan lancar.

Ini sangat penting untuk pelabuhan di Indonesia yang rawan bencana dan perubahan iklim, karena model ini membantu pengelola pelabuhan membuat rencana yang matang, baik untuk memperkuat fisik pelabuhan maupun meningkatkan sistem tanggap darurat. Dengan cara ini, pelabuhan bisa tetap kuat dan siap menghadapi masalah di masa depan.

Singkatnya, keunggulan model ini terletak pada penggabungan kondisi fisik pelabuhan, risiko bencana, dan kemampuan pulih pasca-bencana dalam satu sistem yang lengkap dan terukur. Pendekatan ini membuat model lebih praktis dan berguna untuk menangani tantangan nyata di lapangan dibandingkan dengan model-model sebelumnya yang hanya berfokus pada salah satu aspek saja. Dengan validasi yang kuat, model ini dapat menjadi referensi penting bagi pengembangan kebijakan dan program ketahanan pelabuhan, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di wilayah lain yang menghadapi risiko bencana serupa. Misalnya, hasil studi ini dapat menjadi pedoman bagi pengelola pelabuhan lain dalam melakukan adaptasi model sesuai kebutuhan lokal, sehingga meningkatkan resiliensi infrastruktur transportasi laut secara nasional.

Pendekatan multidimensi dan validasi kontekstual model juga menyelaraskan model ini dengan tren global seperti yang dipaparkan oleh Misra et al. (2022) dan Zhang et al. (2023) yang menekankan integrasi aspek sosial dan fisik dalam menghadapi perubahan iklim dan ancaman bencana. dari validasi model dan konfirmasi kontribusi pada pengembangan kebijakan ketahanan pelabuhan secara nasional, langkah selanjutnya adalah merancang strategi operasional yang aplikatif dan efektif untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan. Oleh karena itu, pada bagian berikut ini akan dibahas secara mendalam mengenai strategi ketahanan infrastruktur pelabuhan, yang dirumuskan berdasarkan hasil evaluasi model serta *best practices* global yang relevan, guna memastikan pelabuhan dapat bertahan dan beradaptasi di tengah tantangan bencana alam.

6.3 Strategi Ketahanan Infrastruktur Pelabuhan

Strategi ketahanan infrastruktur pelabuhan merupakan pilar utama untuk menjamin keberlangsungan operasional pelabuhan di tengah ancaman bencana alam dan perubahan iklim yang semakin intensif. Berdasarkan hasil validasi model ketahanan di pelabuhan malundung Kota Tarakan yang sudah diuraikan sebelumnya, strategi ini membutuhkan pendekatan holistik dengan integrasi.

1. Pendekatan multidimensi berbasis risiko

Sebagaimana ditekankan oleh penelitian Misra et al. (2022), penguatan ketahanan infrastruktur pelabuhan harus menggabungkan mitigasi teknis dengan kapasitas sosial dan manajerial, serta penggunaan alat analisis risiko berbasis data.

Ini sesuai dengan temuan dalam penelitian ini yang menunjukkan bahwa risiko signifikan seperti kerentanan struktur dan sistem drainase harus diimbangi dengan peningkatan kesiapan SDM dan manajemen risiko yang adaptif.

Kumar et al. (2021) juga menunjukkan bagaimana manajemen risiko berbasis teknologi informasi dan komunikasi (TIK), seperti sistem pemantauan real-time dan respons cepat, memainkan peranan penting dalam mengurangi dampak bencana di pelabuhan. Ini paralel dengan model yang diusulkan dalam penelitian yang merekomendasikan integrasi sistem manajemen risiko digital untuk meningkatkan kecepatan dan kualitas pengambilan keputusan.

2. Strategi teknis dan infrastruktur: adaptasi terhadap perubahan iklim

Zhang et al. (2023) menambahkan bahwa penguatan infrastruktur fisik harus dilakukan dengan pendekatan adaptasi perubahan iklim. Ini termasuk pengembangan sistem drainase efisien untuk pengendalian banjir akibat curah hujan ekstrem, penguatan struktur dermaga agar tahan terhadap gelombang tinggi dan gempa, serta pengembangan energi cadangan. Rekomendasi ini sejalan dengan hasil penelitian yang mengidentifikasi kebutuhan perbaikan drainase dan penguatan bangunan pendukung di pelabuhan malundung. Keduanya menegaskan pentingnya infrastruktur yang tangguh untuk menjamin ketersediaan layanan pelabuhan.

3. Peningkatan kapasitas operasional dan manajemen risiko

Mitigasi dapat berupa penguatan fisik struktur pelabuhan, pengembangan sistem peringatan dini, dan pelatihan kesiapsiagaan bagi personel operasional. Strategi mitigasi ini bertujuan untuk meminimalkan kerentanan dan menjaga kontinuitas operasional pelabuhan agar tetap dapat berfungsi optimal saat menghadapi ancaman gangguan.

Strategi manajerial yang kuat diterapkan melalui pelatihan berkelanjutan, simulasi bencana, serta penguatan koordinasi antar unit operasional di pelabuhan. Studi oleh Nguyen et al. (2020) mendukung pentingnya peningkatan kapasitas sumber daya manusia dan organisasi dalam menghadapi dinamika risiko bencana secara proaktif. Hasil penelitian juga menegaskan bahwa kesiapan SDM menjadi kunci keberhasilan respons cepat dan mitigasi, terutama dalam pengelolaan risiko cuaca ekstrem yang memiliki probabilitas tinggi di wilayah Tarakan.

4. Pendekatan adaptasi lingkungan dan integrasi hijau

Selain mitigasi, adaptasi merupakan aspek krusial dalam memperkuat ketahanan pelabuhan setelah terjadinya bencana atau perubahan lingkungan. Adaptasi meliputi tindakan penyesuaian dan modifikasi yang dilakukan untuk memperbaiki kondisi pascabencana, mempercepat pemulihan, serta meningkatkan daya tahan sistem pelabuhan terhadap kejadian serupa di masa depan. Pendekatan adaptasi ini dapat mencakup perbaikan infrastruktur, revisi prosedur operasional, serta penerapan konsep integrasi hijau yang ramah lingkungan sebagai bagian dari strategi berkelanjutan. Dengan demikian, adaptasi menjadi respons dinamis yang melengkapi usaha mitigasi dalam menjaga keberlanjutan dan kesinambungan operasional pelabuhan.

Strategi ketahanan modern tidak lengkap tanpa fokus pada keberlanjutan lingkungan. Inisiatif pengembangan infrastruktur hijau sebagai bagian dari pengendalian banjir dan mitigasi perubahan iklim kini menjadi tren global (Misra et al., 2022).

5. Implementasi bertahap dan evaluasi dinamis

Sistem evaluasi yang disarankan menjadi pendekatan penting untuk menyesuaikan strategi ketahanan dengan perkembangan risiko baru dan perubahan kebijakan nasional maupun global. Tinjauan berkala ini memastikan bahwa strategi tidak kaku tetapi responsif terhadap kebutuhan lapangan dan ilmu pengetahuan terbaru. Untuk menjaga keberlanjutan operasional pelabuhan di tengah ancaman bencana alam dan perubahan iklim yang semakin ekstrem. Berdasarkan validasi model ketahanan di pelabuhan malundung Kota Tarakan, dan didukung oleh literatur terkini, strategi ini perlu diimplementasikan secara multidimensi, mencakup aspek mitigasi teknis, adaptasi struktural dan operasional, serta peningkatan kapasitas manajemen risiko.

a. Mitigasi risiko infrastruktur

- (a.) Peningkatan sistem drainase Tarakan mengalami intensitas dan durasi hujan ekstrim yang tinggi, oleh karena itu peningkatan kapasitas sistem drainase menjadi prioritas utama. Langkah ini meliputi pembangunan saluran drainase tambahan, pembersihan dan perawatan saluran yang ada secara rutin, peningkatan

kapasitas pompa air, serta pembangunan kolam retensi untuk menahan air hujan berlebih. Penelitian oleh Zhang et al. (2023) menegaskan bahwa sistem drainase yang efektif merupakan komponen krusial dalam mengurangi dampak banjir di pelabuhan pesisir, yang juga diperkuat dalam studi lokal yang mensyaratkan peningkatan drainase sebagai bagian dari adaptasi struktural.

- (b.) Penguatan struktur pelindung pembangunan tanggul laut dan pemecah gelombang di area rawan banjir rob dan gelombang tinggi terbukti menjadi strategi mitigasi efektif. Menurut Kumar et al. (2021), struktur pelindung ini bukan hanya mengurangi kerusakan fisik tetapi juga memperlambat laju degradasi infrastruktur, yang selaras dengan temuan penelitian ini yang merekomendasikan penguatan dermaga dan infrastruktur pendukung sebagai investasi jangka panjang.
- (c.) Perbaikan dan perawatan berkala pemeliharaan rutin terhadap dermaga, jalan, bangunan pendukung, dan peralatan operasional dianjurkan untuk menjaga integritas infrastruktur. Perbaikan kerusakan minor secara cepat dapat mencegah kerusakan lebih besar yang mahal di kemudian hari. Pendekatan ini sesuai dengan hasil penelitian Nguyen et al. (2020), yang menyatakan bahwa manajemen pemeliharaan proaktif mendukung daya tahan infrastruktur terhadap risiko bencana berulang.

b. Adaptasi struktural dan sistem operasional

- (a.) Peningkatan ketinggian fasilitas mengacu pada perubahan permukaan laut dan risiko banjir rob, meningkatkan elevasi dermaga, gudang, dan bangunan pelabuhan sangat direkomendasikan. Zhang et al. (2023) menekankan bahwa adaptasi ketinggian secara struktural merupakan mitigasi efektif dalam menghadapi kenaikan muka air laut dan gelombang tinggi, yang juga tercermin dalam strategi di Pelabuhan Malundung.
- (b.) Pengembangan sistem peringatan dini implementasi sistem peringatan dini yang terintegrasi dengan BMKG memberikan

informasi cuaca terkini, yang memungkinkan pengelola pelabuhan mengambil tindakan antisipatif sebelum bencana terjadi. Misra et al. (2022) menggarisbawahi peran krusial sistem informasi real-time sebagai alat mitigasi manajerial yang meningkatkan respon cepat dan koordinasi antar unit operasional di pelabuhan.

- (c.) Relokasi fasilitas penting sebagai opsi jangka panjang, relokasi fasilitas vital ke lokasi yang lebih aman dari ancaman cuaca ekstrem dan bencana dapat mengurangi risiko kerusakan besar. Pendekatan ini disokong oleh studi Kumar et al. (2021), yang mengidentifikasi relokasi sebagai strategi adaptasi spasial yang kritis bila mitigasi struktural tidak cukup, sejalan dengan rekomendasi peneliti untuk memetakan area rawan bencana dalam perencanaan pembangunan pelabuhan.

Strategi ketahanan infrastruktur pelabuhan harus dirancang sebagai respons mendesak terhadap meningkatnya risiko bencana alam yang semakin kompleks akibat perubahan iklim global. Fokus utama diarahkan pada penguatan sistem drainase yang menjadi tulang punggung mitigasi banjir serta pemadatan struktur fisik kritis yang menentukan integritas keseluruhan pelabuhan. Pendekatan adaptasi yang inovatif dan berbasis teknologi, termasuk pengembangan sistem peringatan dini yang real-time dan penerapan manajemen risiko digital, menjadi kunci untuk memastikan respons cepat dan akurat terhadap ancaman dinamis. Evaluasi dan pembaruan strategi harus dilakukan secara berkelanjutan dan dinamis, menyesuaikan dengan data risiko terbaru dan perubahan kebijakan global, agar ketahanan pelabuhan tetap relevan dan efektif. Selain itu, integrasi solusi berbasis alam seperti konservasi ekosistem pesisir menguatkan daya tahan infrastruktur sekaligus menjamin keberlanjutan lingkungan sekitar.

Sejalan dengan pendapat pakar seperti Cutter et al. (2014) yang menekankan pentingnya ketahanan infrastruktur berorientasi sistem dan integratif untuk risiko iklim, strategi ini menegaskan bahwa kesiapan infrastruktur pelabuhan bukan hanya soal fisik semata, tetapi juga melibatkan kemampuan adaptasi manajemen risiko yang dinamis dan inovasi teknologi. Menurut Ayyub (2014), keberlanjutan

ketahanan perlu didasarkan pada proses evaluasi terus-menerus yang responsif terhadap perubahan risiko, sehingga penyesuaian kebijakan dan implementasi dapat dilakukan secara cepat dan tepat.

BAB 7

KESIMPULAN

7.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil memenuhi seluruh tujuan yang ditetapkan melalui proses pengembangan model penilaian ketahanan infrastruktur pelabuhan terhadap risiko bencana alam secara komprehensif dan objektif. Model ini menunjukkan bagaimana berbagai aspek penting dalam infrastruktur pelabuhan berperan dalam kerentanan terhadap risiko bencana, sekaligus memberikan panduan yang jelas untuk menentukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan. Kesimpulan berikut merangkum hasil utama dari pengembangan model ini, dengan harapan dapat memberikan manfaat luas dalam upaya memperkuat ketahanan pelabuhan di berbagai wilayah.

1. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi satu kriteria utama yaitu kondisi. Kondisi sebagai variabel utama dalam menilai ketahanan infrastruktur pelabuhan, yang tersusun dari tujuh indikator spesifik, yaitu: integritas struktural, kondisi permukaan dan fasilitas jalan, ketersediaan dan kondisi peralatan, sistem drainase dan pengendalian air, kondisi bangunan pendukung, kondisi sistem energi dan listrik, serta kondisi jalan dan akses.
2. Evaluasi terhadap kondisi infrastruktur menunjukkan bahwa indikator integritas struktural dan sistem drainase merupakan aspek paling rentan dan kritis, menjadi perhatian utama dalam strategi peningkatan ketahanan infrastruktur pelabuhan.
3. Analisis potensi risiko bencana alam menegaskan bahwa kerentanan tertinggi terdapat pada sistem drainase dan integritas struktural bangunan, mengindikasikan bahwa mitigasi risiko yang berfokus pada dua aspek ini memiliki relevansi dan urgensi global dalam meningkatkan ketahanan infrastruktur pelabuhan.
4. Penghitungan nilai indeks kerentanan pelabuhan menggunakan bobot kontribusi masing-masing indikator berdasarkan hasil analisis statistik dan

korelasi menghasilkan gambaran kuantitatif yang objektif mengenai tingkat kerentanan keseluruhan pelabuhan terhadap risiko bencana alam. Temuan memperlihatkan bahwa indikator sistem drainase dan integritas struktural memiliki pengaruh dominan dalam menaikkan skor kerentanan sehingga aspek ini harus diprioritaskan dalam strategi mitigasi..

5. Model yang dikembangkan merupakan *framework* kuantitatif terpadu yang mengintegrasikan kondisi infrastruktur pelabuhan, risiko multidimensi bencana alam, dan evaluasi infrastruktur pelabuhan dari tujuh indikator utama. Model ini secara efektif mengidentifikasi dan menetapkan kriteria kunci ketahanan pelabuhan secara objektif dan terukur serta dapat diterapkan secara luas sebagai alat bantu strategis dalam pengambilan keputusan, penentuan prioritas intervensi, dan alokasi sumber daya untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan.

7.2 Saran

Penelitian mendatang disarankan untuk memperluas validasi model penilaian ketahanan pelabuhan dengan cakupan geografis, sosial, dan ekonomi yang lebih beragam. Langkah ini penting untuk menjamin bahwa model tetap relevan, adaptif, dan responsif terhadap kompleksitas kondisi nyata di berbagai wilayah.

Pengembangan teknologi monitoring berbasis data real-time juga perlu mendapat prioritas, guna menyediakan informasi dinamis yang presisi dan terkini. Integrasi teknologi semacam ini dapat mempercepat kemampuan model dalam mendeteksi dan merespons dinamika risiko yang bersifat fluktuatif.

Selain itu, arah penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada desain modul rekomendasi mitigasi yang bersifat aplikatif, terstruktur, dan mudah diterapkan oleh para pengelola pelabuhan. Pendekatan ini akan berperan sebagai jembatan antara landasan teoritis dan kebutuhan praktis, sehingga hasil riset memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan risiko bencana di sektor pelabuhan.

Tidak kalah penting, penguatan kapasitas sumber daya manusia serta pengembangan kolaborasi lintas sektor perlu diarusutamakan. Dengan melibatkan pemangku kepentingan secara partisipatif dan sinergis, proses implementasi model penilaian akan lebih efektif, inklusif, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achillopoulou, D. V. Mitoulis, S.A. Argyroudis, S.A. and Wang, Y. (2020), "Monitoring of transport infrastructure exposed to multiple hazards: a roadmap for building resilience", In *Science of the Total Environment* (Vol. 746)Elsevier B.V.
- Adeniyi, O., Perera, S., Ginige, K., & Feng, Y. (2019). Developing maturity levels for flood resilience of businesses using built environment flood resilience capability areas. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101778. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101778>
- Ahmad, N. and Qahmash, A. (2021), "Smartism: Implementation and assessment of interpretive structural modeling", *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 13, No. 16.
- Aktan, A. E., Farhey, D. N., Helmicki, A. J., Brown, D. L., Hunt, V. J., Lee, K.-L., & Levi, A. (1997). Structural Identification for Condition Assessment: Experimental Arts. *Journal of Structural Engineering*, 123(12), 1674–1684. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1997\)123:12\(1674\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1997)123:12(1674))
- Alamouh, A.S. Ballini, F. and Ölçer, A.I. (2021), "Revisiting port sustainability as a foundation for the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs)", *Journal of Shipping and Trade*, Vol. 6, No. 1.
- Alexandr, V. B. (2018). Enterprise's Innovative Infrastructure Development Model Based on Quality Function Deployment Method. In *Proceedings of the 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"*, *IT and QM and IS 2018* (pp. 27–34). <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2018.8524924>
- Allard, R. F. (2021). Climate Change Adaptation: Infrastructure and Extreme Weather. *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, 105–116. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95873-6_53
- Aldrian, E. and Dwi Susanto, R. (2003), "Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature", *International Journal of Climatology*, Vol. 23, No. 12, Hal. 1435–1452.
- Alves De Moura, D. and Botter, R.C. (2020), "Essential Factors for the Implementation of Sustainable Port Logistics Operations", In *Proceeding of the VI International Ship Design & Naval Engineering Congress (CIDIN) and XXVI Pan-American Congress of Naval Engineering, Maritime Transportation and Port Engineering (COPINAVAL)* (pp. 424–433)Springer International Publishing.
- Alzebdeh, K. Bashir, H.A. and Al Siyabi, S.K. (2015), "Applying Interpretive Structural Modeling to Cost Overruns in Construction Projects in the Sultanate of Oman", In *The Journal of Engineering Research* (Vol. 12, Issue 1).

- Amekudzi, A.A. Asce, M. Shelton, R. And, ; and Bricker, T.R. (2013), "Infrastructure Rating Tool: Using Decision Support Tools to Enhance ASCE Infrastructure Report Card Process", *Leadership and Management in Engineering*, Vol. 13, Hal. 76–82.
- American Society of Civil Engineers (2009), *American Society of Civil Engineers*, .
www.asce.org/reportcard
- Amer, R. (2024). Assessing vulnerability and enhancing resilience of port systems in southeast Texas facing sea-level rise. *Frontiers in Built Environment*, 10.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1369833>
- Andersson, J. Grassi, V. Mirandola, R. and Perez-Palacin, D. (2021), "A conceptual framework for resilience: fundamental definitions, strategies and metrics", *Computing*, Vol. 103, No. 4, Hal. 559–588.
- Azwar, S. (1986), *Validitas dan Reliabilitas*, Rineka Cipta.
- Bakkensen, L.A. Fox-Lent, C. Read, L.K. and Linkov, I. (2017), "Validating Resilience and Vulnerability Indices in the Context of Natural Disasters", *Risk Analysis*, Vol. 37, No. 5, Hal. 982–1004.
- Bakker, F. P., van der Werff, S., Baart, F., Kirichek, A., de Jong, S., & van Koningsveld, M. (2024). Port Accessibility Depends on Cascading Interactions between Fleets, Policies, Infrastructure, and Hydrodynamics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/jmse12061006>
- Bichou, K., & Gray, R. (2005). A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1), 75–92. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.11.003>
- Bappeda Kota Tarakan (2019), *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Tarakan 2019-2024*, .
- BAPPEDA Kota Tarakan (2019), *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Tarakan 2019-2024*, .
- Begum, S. Fisher, R.S. Ferranti, E.J.S. and Quinn, A.D. (2022), "Evaluation of Climate Change Resilience of Urban Road Network Strategies", *Infrastructures*, Vol. 7, No. 11.
- Bles, T. Costa, A.L. Hüsken, L. Woning, M. Espinet, X. Van Muiswinkel, K. and Page, S. (2019), "Progressing Road Infrastructure Resilience From Different Institutional Development Perspectives", *26th World Road Congress*, Hal. 1–16.
- Blockley, D. Agarwal, J. and Godfrey, P. (2012), *Infrastructure resilience for high-impact low-chance risks*, Vol. 165, Hal. 13–19.
- Briguglio, L. (1995), "Small Island Developing States and Their Economic Vulnerabilities", In *World Development* (Vol. 23, Issue 9).

- Brink, S.A. Eeri,) M and Davidson, R.A. (2015), *Framework for Comprehensive Assessment of a City's Natural Disaster Risk*, .
- C., O., S., O., & A. M., O. (2024). Port Logistics and Supply Chain Management: An Empirical Review. *African Journal of Economics and Sustainable Development*, 7(3), 82–91. <https://doi.org/10.52589/ajesd-cb4sa99c>
- Caldeira dos Santos, M. and Pereira, F.H. (2021), "Development and application of a dynamic model for road port access and its impacts on port-city relationship indicators", *Journal of Transport Geography*, Vol. 96.
- Calliari, E. Surminski, S. and Mysiak, J. (2019), *The Politics of (and Behind) the UNFCCC's Loss and Damage Mechanism* (pp. 155–178), .
- Camp, J. (2017), "Leveraging the ASCE Infrastructure Report Card in the STEM Classroom Classroom", *American Society for Engineering Education*.
- Campbell, P. Trockman, S.J. and Walker, A.R. (2011), "STRENGTHENING HAZARD VULNERABILITY ANALYSIS: RESULTS OF RECENT RESEARCH IN MAINE", *From the Schools of Public Health*, Vol. 126, Hal. 126–293.
- Caraka, R.E. Yasin, H. and Suparti (2015), "Pemodelan Tinggi Pasang Air Laut di Kota Semarang dengan Menggunakan Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT)", *Jurnal Metereologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, Vol. 2, No. 2, Hal. 104–114.
- Cardona, O.D. (2003), "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management 1", In *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*.
- Chen, X., & Hossain, F. (2019). Infrastructure-Relevant Storms of the Last Century. *Resilience of Large Water Management Infrastructure*, 61–75. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26432-1_5
- Chambers, R. (1989), "Editorial Introduction: Vulnerability, Coping and Policy", *IDS Bulletin*, Vol. 20, No. 2, Hal. 1–7.
- Chester, M. V. El Asmar, M. Hayes, S. and Desha, C. (2021), "Post-disaster infrastructure delivery for resilience", *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 13, No. 6.
- Connor, K.M. and Davidson, J.R.T. (2003), "Development of a new Resilience scale: The Connor-Davidson Resilience scale (CD-RISC)", *Depression and Anxiety*, Vol. 18, No. 2, Hal. 76–82.
- Creswell, J.W. (2009), *Research Design : Qualitative, Quantitave, Mixed Methods Approaches* (Third), .
- Cook, R. I., & Long, B. A. (2021). Building and revising adaptive capacity sharing for technical incident response: A case of resilience engineering. *Applied Ergonomics*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103240>

- Dargin, J. S., & Mostafavi, A. (2020). Human-centric infrastructure resilience: Uncovering well-being risk disparity due to infrastructure disruptions in disasters. *PLoS ONE*, 15(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234381>
- Dauids, P., Boelens, L., & Tempels, B. (2020). The effects of tailor-made flood risk advice for homeowners in Flanders, Belgium. *Flood Resilience of Private Properties*, 51–65. <https://doi.org/10.4324/9781003106500-4>
- ESCAP (2014), *Regional Connectivity For Shared Prosperity*, .
- Findayani, A. (2015), "Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir di Kota Semarang", *Jurnal Geografi*, Vol. 12, No. 1.
- Fouad, S.S. Heggy, E. and Weilacher, U. (2023), "Waterways transformation in the vulnerable port city of Alexandria", *Cities*, Vol. 141.
- Fuchs, S. Birkmann, J. and Glade, T. (2012), "Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: Current approaches and future challenges", *Natural Hazards*, Vol. 64, No. 3, Hal. 1969–1975.
- Füssel, H.M. (2007), "Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research", *Global Environmental Change*, Vol. 17, No. 2, Hal. 155–167.
- Garcia-Alonso, L. Moura, T.G.Z. and Roibas, D. (2020), "The effect of weather conditions on port technical efficiency", *Marine Policy*, Vol. 113.
- Gorzeń-Mitka, I. (2019), "Interpretive Structural Modeling Approach to Analyze the Interaction Among Key Factors of Risk Management Process in SMEs: Polish Experience", *European Journal of Sustainable Development*, Vol. 8, No. 1.
- Grafius, D. R., Varga, L., & Jude, S. (2020). Infrastructure Interdependencies: Opportunities from Complexity. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(4), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000575](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000575)
- Griffiths, K. and Henning, T. (2015), *Infrastructure sustainability rating tools-how they have developed and what we might expect to see in the future Data collection and monitoring strategies for asset management of New Zealand Road Bridges View project Sustainability in engineering View project*, . <https://www.researchgate.net/publication/299366012>
- Gu, Y., Fu, X., Liu, Z., Xu, X., & Chen, A. (2020). Performance of transportation network under perturbations: Reliability, vulnerability, and resilience. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.003>
- Han, X. Mehrotra, R. Sharma, A. and Rahman, A. (2022), "Incorporating nonstationarity in regional flood frequency analysis procedures to account for climate change impact", *Journal of Hydrology*, Vol. 612.

- Harouni, P. Attari, N.K.A. and Rofooei, F.R. (2022), "Evaluation of a robust dynamic vibration absorber based on negative stiffness and internal resonance against seismic excitation", *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol. 146.
- Harrington, P., & Schultz, S. (2018). *DHS RESILIENCE FRAMEWORK, Providing a roadmap for the Department in Operational Resilience and Readiness*.
- Hegger, D. L. T., Driessen, P. P. J., & Bakker, M. H. N. (2018). Evaluations of Flood Risk Governance in Terms of Resilience, Efficiency and Legitimacy. *Flood Risk Management Strategies and Governance*, 55–61. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67699-9_5
- Hayes, S. Desha, C. Burke, M. Gibbs, M. and Chester, M. (2019), "Leveraging socio-ecological resilience theory to build climate resilience in transport infrastructure", *Transport Reviews*, Vol. 39, No. 5, Hal. 677–699.
- Helmrich, A.M. Chester, M. V. Hayes, S. Markolf, S.A. Desha, C. and Grimm, N.B. (2020), "Using Biomimicry to Support Resilient Infrastructure Design", *Earth's Future*, Vol. 8, No. 12.
- Hlali, A., & Hammami, S. (2018). Seaport Concept and Services Characteristics: Theoretical Test. *The Open Transportation Journal*, 11(1), 120–129. <https://doi.org/10.2174/1874447801711010120>
- Hinkel, J. (2011), "'Indicators of vulnerability and adaptive capacity': Towards a clarification of the science-policy interface", *Global Environmental Change*, Vol. 21, No. 1, Hal. 198–208.
- Hlali, A. and Hammami, S. (2018), "Seaport Concept and Services Characteristics: Theoretical Test", *The Open Transportation Journal*, Vol. 11, No. 1, Hal. 120–129.
- Hollnagel, E. (2014), "Resilience engineering and the built environment", *Building Research and Information*, Vol. 42, No. 2, Hal. 221–228.
- Huang, Y. Shi, M. and Fu, Z. (2022), "A Dynamical Systems Perspective to Characterize the El Niño Diversity in Spatiotemporal Patterns", *Frontiers in Physics*, Vol. 10.
- Jacobson, T. (2020). Too much water, not enough water: planning and property rights considerations for linking flood management and groundwater recharge. *Flood Resilience of Private Properties*, 100–118. <https://doi.org/10.4324/9781003106500-7>
- Jung, S., Lee, S., & Yu, J. (2021). Identification and prioritization of critical success factors for off-site construction using ISM and MICMAC analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168911>
- Kamara, T. A. R., Turay, A. U., Souldan, S. M., Paul, D. J., Smith, D., Smith, V., & Conteh, A. A. (2025). Impact of Infrastructure Investment on Port Efficiency: A Case Study of Queen Elizabeth II Quay, Sierra Leone. *Journal of Transportation Technologies*, 15(02), 203–221. <https://doi.org/10.4236/jtts.2025.152011>

- Kaiser Foundation Health Plan (2001), *Medical Center Hazard and Vulnerability Analysis*, .
- Kaming, P.F. and Raharjo, F. (2017), "KAJIAN MENGENAI KECUKUPAN INFRASTRUKTUR DI KAWASAN TIMUR INDONESIA", *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil Dan Perencanaan (KN-TSP) 2017*, Hal. 310–320.
- Kantamaneni, K. (2016), "Coastal infrastructure vulnerability: an integrated assessment model", *Natural Hazards*, Vol. 84, No. 1, Hal. 139–154.
- Kim, J., & Morrison, J. R. (2012). Offshore port service concepts: Classification and economic feasibility. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24(3), 214–245. <https://doi.org/10.1007/s10696-011-9100-9>
- Kishore, L., Pai, Y. P., Ghosh, B. K., & Pakkan, S. (2024). Maritime shipping ports performance: a systematic literature review. In *Discover Sustainability* (Vol. 5, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00299-y>
- Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem, Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2010).
- Kim, D. Lee, J. Kim, J. Lee, M. Wang, W. and Kim, H.S. (2022), "Comparative analysis of long short-term memory and storage function model for flood water level forecasting of Bokha stream in NamHan River, Korea", *Journal of Hydrology*, Vol. 606.
- Kristian Saragi, F. Albert Mamahit, D. and Yoga Budi Prasetyo, T. (2018), "Implementasi Pembangunan Tol Laut Untuk Mewujudkan Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia", *Jurnal Keamanan Maritim*, Vol. 4, No. 1, Hal. 69–92. <http://www.bakosurtanal.go.id/berita->
- Kurniadi Atmaja, H. and Mahalli, K. (2015), "PENGARUH PENINGKATAN INFRASTRUKTUR TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI DI KOTA SIBOLGA", *Jurnal Ekonomi*, Vol. 3, No. 4, Hal. 248–265.
- Lee, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2013). Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience. *Natural Hazards Review*, 14(1), 29–41. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000075](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000075)
- Leichenko, R. McDermott, M. and Bezborodko, E. (2015), "Barriers, Limits and Limitations to Resilience", *Journal of Extreme Events*, Vol. 02, No. 01, Hal. 1550002.
- Leviäkangas, P. and Aapaoja, A. (2015), "RESILIENCE OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE SYSTEMS", *CSID Journal of Infrastructure Development*, Vol. 1.

- Liao, T.Y. Hu, T.Y. and Ko, Y.N. (2018), "A resilience optimization model for transportation networks under disasters", *Natural Hazards*, Vol. 93, No. 1, Hal. 469–489.
- Lucas, M. Renard, B. Coz, J. Le Lang, M. Bard, A. and Pierrefeu, G. (2023), "Are historical stage records useful to decrease the uncertainty of flood frequency analysis ? A 200-year long case study", *Journal of Hydrology*, Hal. 129840.
- Luskova, M. Titko, M. and O'Connor, A. (2018), "Societal Vulnerability to Impacts of Extreme Weather Events on Land Transport Infrastructure Societal Vulnerability to Impacts", *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, Vol. 20, No. 2, Hal. 62–67.
- Mahendra, R.S. Mohanty, P.C. Bisoyi, H. Kumar, T.S. and Nayak, S. (2011), "Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore-Villupuram, east coast of India using geospatial techniques", *Ocean and Coastal Management*, Vol. 54, No. 4, Hal. 302–311.
- Makris, C. Androulidakis, Y. Karambas, T. Papadimitriou, A. Metallinos, A. Kontos, Y. Baltikas, V. Chondros, M. Krestenitis, Y. Tsoukala, V. and Memos, C. (2021), "Integrated modelling of sea-state forecasts for safe navigation and operational management in ports: Application in the Mediterranean Sea", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 89, Hal. 1206–1234.
- Mananohas, M. Bobanto, M.D. and Ferdy (2019), "Hubungan Cuaca dan Tanaman Pangan Menggunakan Regresi Linear di Kota Tondano", *D'Cartesian : Jurnal Matematika Dan Aplikasi*, Vol. 8, No. 2, Hal. 169–175. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>
- Maghsoudi, S., Duffield, C., & Wilson, D. (2015). *Innovation Evaluation: Past, Current Models and a Framework for Infrastructure Projects* (Vol. 7, Issue 4).
- Malvarez, G., Ferreira, O., Navas, F., Cooper, J. A. G., Gracia-Prieto, F. J., & Talavera, L. (2021). Storm impacts on a coupled human-natural coastal system: Resilience of developed coasts. *Science of the Total Environment*, 768, 144987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144987>
- Mojtahedi, M., Newton, S., & Tahmasebinia, F. (2017). An Additive Statistical Modeling Approach to the Analysis of Transport Infrastructure Flood Risk-Based Resilience. *Flood Risk Management*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69232>
- Morshed, S. A., Arafat, M., Mokhtarimousavi, S., Khan, S. S., & Amine, K. (2021). 8R Resilience Model: A stakeholder-centered approach of disaster resilience for transportation infrastructure and network. *Transportation Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100058>
- Munim, Z. H., & Schramm, H.-J. (2018). The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade. *Journal of Shipping and Trade*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s41072-018-0027-0>

- Maniglio, M. Balomenos, G.P. Padgett, J.E. and Cimellaro, G.P. (2021), "Parameterized coastal fragilities and their application to aging port structures subjected to surge and wave", *Engineering Structures*, Vol. 237.
- Marroni, G. Casson Moreno, V. Ovidi, F. Chiavistelli, T. and Landucci, G. (2023), "A methodology for risk assessment of LNG carriers accessing vulnerable port areas", *Ocean Engineering*, Vol. 273.
- PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA NOMOR 19 TAHUN 2012 TENTANG PROGRAM KAMPUNG IKLIM, (2012).
- Moses, O. Blamey, R.C. and Reason, C.J.C. (2023), "Extreme rainfall events over the Okavango river basin, southern Africa", *Weather and Climate Extremes*, Vol. 41, Hal. 100589.
- Ngamkhanong, C., Kaewunruen, S., Calçada, R., & Martin, R. (2022). Responses of mast structure and overhead line equipment (OHLE) subjected to extreme events. *Rail Infrastructure Resilience*, 425–439. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821042-0.00015-0>
- Nguyen, T. T. X., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. In *Ocean and Coastal Management* (Vol. 123, pp. 18–43). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022>
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1–2), 127–150. <https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>
- Nogal, M. O'Connor, A. Caulfield, B. and Brazil, W. (2016), "A Multidisciplinary Approach for Risk Analysis of Infrastructure Networks in Response to Extreme Weather", *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, Hal. 78–85.
- Oluwalaiye, O. and Ozbek, M.E. (2019), "Consistency between infrastructure rating systems in measuring sustainability", *Infrastructures*, Vol. 4, No. 1.
- Oh, E. H., Deshmukh, A., & Hastak, M. (2013). Criticality Assessment of Lifeline Infrastructure for Enhancing Disaster Response. *Natural Hazards Review*, 14(2), 98–107. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000084](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000084)
- Pagani, A., Mosquera, G., Alturki, A., Johnson, S., Jarvis, S., Wilson, A., Guo, W., & Varga, L. (2019). Resilience or robustness: Identifying topological vulnerabilities in rail networks. *Royal Society Open Science*, 6(2). <https://doi.org/10.1098/rsos.181301>

- Peleg, N., Leitão, J. P., Paschalis, A., Fatichi, S., Molnar, P., & Burlando, P. (2022). *Parameterizing the spatial structure of torrential rain for flood impact assessments*. Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/iahs2022-163>
- Pan, X. Rahman, A. Haddad, K. Ouarda, T.B.M.J. and Sharma, A. (2023), "Regional flood frequency analysis based on peaks-over-threshold approach: A case study for South-Eastern Australia", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 47.
- Panahi, R. Sadeghi Gargari, N. Lau, Y. yip and Ng, A.K.Y. (2022), "Developing a resilience assessment model for critical infrastructures: The case of port in tackling the impacts posed by the Covid-19 pandemic", *Ocean and Coastal Management*, Vol. 226.
- Parreau, C. (2004), "Les ports de commerce bretons", *Norois*, 190, Hal. 41–53.
- Pathway Health (2017), *HAZARD VULNERABILITY ASSESSMENT*, . <https://asprtracie.hhs.gov/technical-resources/52/long-term-care-facilities/47>
- Pitilakis, K. Argyroudis, S. Fotopoulou, S. Karafagka, S. Kakderi, K. and Selva, J. (2019), "Application of stress test concepts for port infrastructures against natural hazards. The case of Thessaloniki port in Greece", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 184, Hal. 240–257.
- Pitilakis, K. Argyroudis, S. Kakderi, K. and Selva, J. (2016), "Systemic Vulnerability and Risk Assessment of Transportation Systems under Natural Hazards Towards More Resilient and Robust Infrastructures", *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, Hal. 1335–1344.
- Phelan, K., Gardner, A., Selig, E. R., & Sparks, J. L. D. (2022). Towards a model of port-based resilience against fisher labour exploitation. *Marine Policy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105108>
- Platt, L.S. (2020), "Design for resilience", In *Design for Health* (pp. 161–181)Elsevier.
- Qing, C. Tai, N. Fan, F. Yu, J. Wang, J. and Hu, Y. (2023), "Optimal operation of the green port system considering the multiport power electronic transformer in day-ahead markets", *Frontiers in Energy Research*, Vol. 11.
- Rahmawati, A. Pamungkas, B.T.T. and Partini, D. (2021), "Pemetaan Tingkatan Cuaca Ekstrem Masing-Masing Kecamatan di Kota Kupang", *Jurnal Geoedusains*, Vol. 2, No. 1.
- Rakhman, A. Neneng Saputri, A. and Akbar Fisu, A. (2020), "Pengaruh Pelabuhan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Pulau Sulawesi", *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, Vol. 5, No. 2, Hal. 54–63.
- Repetto, M.P. Burlando, M. Solari, G. De Gaetano, P. and Pizzo, M. (2017), "Integrated tools for improving the resilience of seaports under extreme wind events", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 32, Hal. 277–294.

- Rezvani, S.M. Falcão, M.J. Komljenovic, D. and de Almeida, N.M. (2023), "A Systematic Literature Review on Urban Resilience Enabled with Asset and Disaster Risk Management Approaches and GIS-Based Decision Support Tools", *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 4, Hal. 2223.
- Roa, I., Peña, Y., Amante, B., & Goretti, M. (2013). Ports: Definition and study of types, sizes and business models. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 1055–1064. <https://doi.org/10.3926/jiem.770>
- Safitri, S. (2015), "El Nino, La Nina dan dampaknya terhadap kehidupan di Indonesia", *Jurnal Criksetra*, Vol. 4, No. 8, Hal. 153–156.
- Schmucker, D. (2016), "A Civil Infrastructure System Perspective-Not Just the Built Environment", *American Society for Engineering Education* , Hal. 1–16.
- Schneiderbauer, S. Pedoth, L. Zhang, D. and Zebisch, M. (2013), "Assessing adaptive capacity within regional climate change vulnerability studies-an Alpine example", *Natural Hazards*, Vol. 67, No. 3, Hal. 1059–1073.
- Senarak, C. (2021), "Port cybersecurity and threat: A structural model for prevention and policy development", *Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 37, No. 1, Hal. 20–36.
- Sharkey, T.C. Nurre Pinkley, S.G. Eisenberg, D.A. and Alderson, D.L. (2021), "In search of network resilience: An optimization-based view", *Networks*, Vol. 77, No. 2, Hal. 225–254.
- Shi, S. and Misra, V. (2020), "The role of extreme rain events in Peninsular Florida's seasonal hydroclimate variations", *Journal of Hydrology*, Vol. 589.
- Shi, J., Chen, J., Xu, L., Di, Z., & Qu, Q. (2023). Improving the resilience of maritime supply chains: The integration of ports and inland transporters in duopoly markets. *Frontiers of Engineering Management*, 10(1), 51–66. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0231-3>
- Silvast, A. (2017). Infrastructure, risk, and resilience. *Making Electricity Resilient*, 3–25. <https://doi.org/10.4324/9781315306117-1>
- Soens, T. (2023). Slow Infrastructures, Flood Protection and Extreme Weather Events. *Environment and Infrastructure*, 179–198. <https://doi.org/10.1515/9783111112756-010>
- Söderlund, J. (2017), "A Reflection of the State-of-the-Art in Megaproject Research: The Oxford Handbook of Megaproject Management", In *Project Management Journal PAPERS*. www.pmi.org/PMJ
- Sofian, I. and Astor, Y. (2017), "Kajian Kerentanan Perubahan Iklim di Kota Tarakan", *Jurnal Konstruksi*, Vol. 1, No. 1, Hal. 19–28. <https://www.researchgate.net/publication/317717044>

- Sogut, M.Z. and Erdoğan, O. (2022), "An investigation on a holistic framework of green port transition based on energy and environmental sustainability", *Ocean Engineering*, Vol. 266.
- Song, T. Li, Y. Zhang, X.P. Wu, C. Li, J. Guo, Y. and Gu, H. (2020), "Integrated port energy system considering integrated demand response and energy interconnection", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 117.
- Sugihartono, J.D. (2018), "Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Dalam Poros Maritim dan Tol Laut", *Jurnal Saintek Maritim*, Vol. 18, No. 1, Hal. 1–16.
- Sugiyono (2013), *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*, .
- Suryotrisongko, H. (2017), "Arsitektur Microservice untuk Resiliensi Sistem Informasi", *Jurnal Sisfo*, Vol. 06, No. 02, Hal. 235–250.
- Tamm, O. Saaremäe, E. Rahkema, K. Jaagus, J. and Tamm, T. (2023), "The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change – Need for a frequent update of intensity–duration–frequency curves", *Climate Services*, Vol. 30.
- Taneja, P., van der Kloot, G. van R., & van Koningsveld, M. (2021). Sustainability performance of port infrastructure—a case study of a quay wall. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132111932>
- Thomas, J., & Rony, A. (2022). Lessons to Be Learned from “Kerala Flood Response” and Building Disaster Resilience. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4003872>
- Tian, Q., Peng, Y., Xu, X., & Wang, W. (2024). Opportunity-Maintenance-Based Scheduling Optimization for Ship-Loading Operation Systems in Coal Export Terminals. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/jmse12081377>
- The American Society of Civil Engineers (2017), *A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF AMERICA’S INFRASTRUCTURE*, . www.infrastructurereportcard.org
- The American Society of Civil Engineers (2021), *A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF AMERICA’S INFRASTRUCTURE 2 Letter from the President*, . www.infrastructurereportcard.org
- The Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (2023), *Infrastructure Resilience Planning Framework (IRPF)*, .
- Tripathy, S.S. Karmakar, S. and Ghosh, S. (2021), "Hazard at weather scale for extreme rainfall forecast reduces uncertainty", In *Water Security* (Vol. 14)Elsevier B.V.
- Verschuur, J. Koks, E.E. and Hall, J.W. (2020), "Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 85.

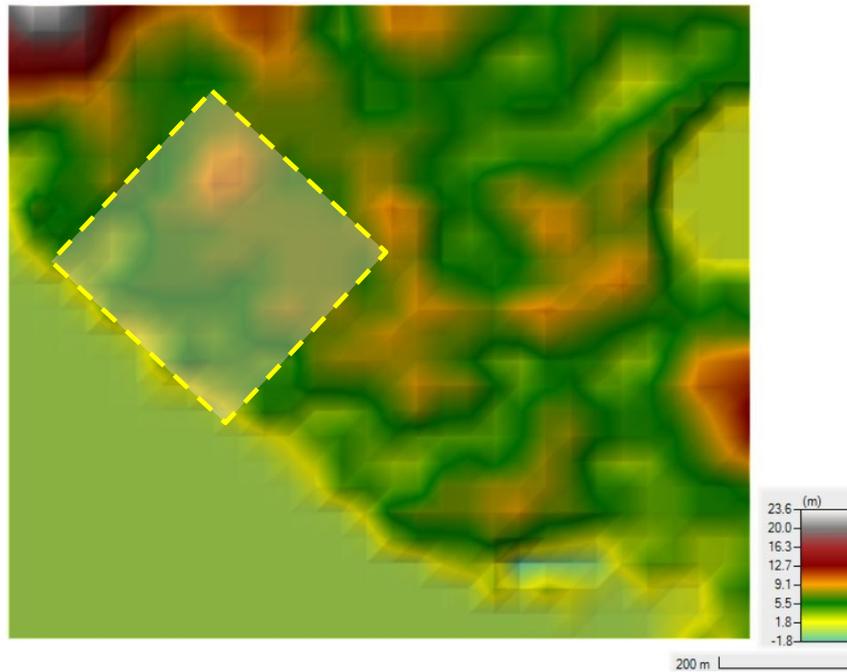
- Wang, C. Beer, M. and Ayyub, B.M. (2021), "Time-Dependent Reliability of Aging Structures: Overview of Assessment Methods", *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, Vol. 7, No. 4.
- Wang, L. Xue, X. Zhao, Z. and Wang, Z. (2018), "The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: Emerging trends and challenges", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15, No. 6.
- Wang, X. Xia, J. Zhou, M. Deng, S. and Li, Q. (2022), "Assessment of the joint impact of rainfall and river water level on urban flooding in Wuhan City, China", *Journal of Hydrology*, Vol. 613.
- Wang, S., Yin, J., & Khan, R. U. (2023). Dynamic Safety Assessment and Enhancement of Port Operational Infrastructure Systems during the COVID-19 Era. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/jmse11051008>
- Wang, T., Qu, Z., Yang, Z., Nichol, T., Clarke, G., & Ge, Y. E. (2020). Climate change research on transportation systems: Climate risks, adaptation and planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102553>
- Wei, M. Xu, J. and Wang, Y. (2022), "Resilience Assessment of Traffic Networks in Coastal Cities under Climate Change: A Case Study of One City with Unique Land Use Characteristics", *Land*, Vol. 11, No. 10.
- Woldesenbet, A. Jeong, H.D. and Park, H. (2016), "Framework for Integrating and Assessing Highway Infrastructure Data", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 32, No. 1.
- Woods, D.D. (2015), "Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 141, Hal. 5–9.
- Wu, P. Clark, R. Furtado, K. Xiao, C. Wang, Q. and Sun, R. (2023), "A case study of the July 2021 Henan extreme rainfall event: From weather forecast to climate risks", *Weather and Climate Extremes*, Vol. 40.
- Yang, Z. Barroca, B. Bony-Dandrieux, A. and Dolidon, H. (2022), "Resilience Indicator of Urban Transport Infrastructure: A Review on Current Approaches", In *Infrastructures* (Vol. 7, Issue 3)MDPI.
- Yusuf, N.R. (2019), "Kewenangan Pemerintah Daerah terhadap zonasi pengelolaan wilayah pesisir dan pulau pulau kecil di Provinsi Kalimantan Utara", *Borneo Law Review*, Vol. 3, No. 2, Hal. 155–171.
- Zhang, W. Cao, Y. Zhu, Y. Wu, Y. Ji, X. He, Y. Xu, Y. and Wang, W. (2017), "Flood frequency analysis for alterations of extreme maximum water levels in the Pearl River Delta", *Ocean Engineering*, Vol. 129, Hal. 117–132.

- Zhang, Y. (2021), "Application of Kaiser Model-Based Disaster Vulnerability Analysis in Pediatric Clinics of Tertiary General Hospitals", *Global Journal of Pediatrics & Neonatal Care*, Vol. 3, No. 3.
- Zheng, S. Fu, X. Wang, K. and Li, H. (2021), "Seaport adaptation to climate change disasters: Subsidy policy vs. adaptation sharing under minimum requirement", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 155.
- Zhu, B. and Frangopol, D.M. (2012), "Reliability, redundancy and risk as performance indicators of structural systems during their life-cycle", *Engineering Structures*, Vol. 41, Hal. 34–49.
- Zins, C. (2007), "Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 58, No. 4, Hal. 479–493.
- Zohuri, B., & Moghaddam, M. (2017). A General Business Resilience System Infrastructure. *Business Resilience System (BRS): Driven Through Boolean, Fuzzy Logics and Cloud Computation*, 379–385. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53417-6_16

-----Halaman Sengaja Dikosongkan----

===== LAMPIRAN =====

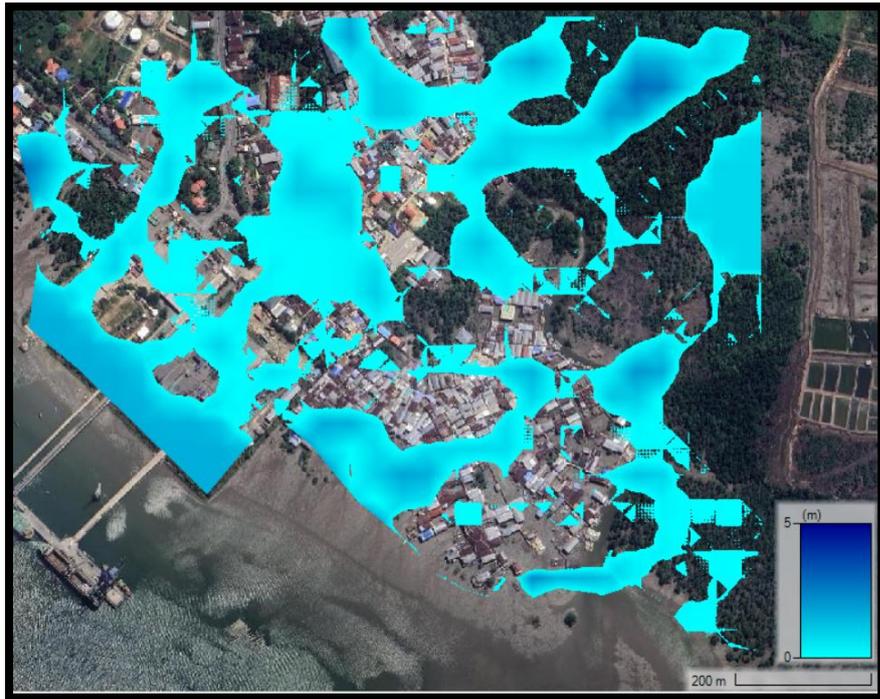
Peta model elevasi digital dan Genangan



Gambar model elevasi digital



Intensitas Hujan 30 mm



Intensitas Hujan 100 mm



Intensitas Hujan 167 mm

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

MODEL PENILAIAN KETAHANAN INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI DI KOTA TARAKAN



IDENTITAS STAKEHOLDER

Kuesioner Pendahuluan Kondisi Infrastruktur dan Risiko Bencana Alam

Nama :

Jabatan :

Umur :

Pendidikan Terakhir :

Alamat :

Pekerjaan/Instansi :

KUESIONER PENELITIAN

Responden yang terhormat,

Perkenalkan, Nama saya Eko Prihartanto, Mahasiswa Program Doktor Ilmu Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya saat ini sedang melakukan pengumpulan data terkait dengan judul penelitian disertasi saya yaitu “**Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan terhadap Cuaca Ekstrem (Studi kasus: Kota Tarakan)**”. Saya mohon dengan hormat untuk kesediaan waktu Bapak/ Ibu/ Saudara/i responden dapat berkenan membantu penelitian ini dengan mengisi pertanyaan dalam kuisisioner.

Instruksi Pengisian:

Untuk setiap pernyataan berikut, beri tanda:

1 (setuju) atau 0 (tidak setuju) pada kolom Jawaban.

Kolom Catatan dapat diisi dengan komentar tambahan jika diperlukan.

No	Pernyataan	Jawaban (1/0)	Catatan
1	Bangunan memiliki kekakuan dan stabilitas yang baik.		
2	Struktur bangunan mampu menahan tekanan dan beban dengan baik.		
3	Tidak terdapat kerusakan struktural pada bangunan.		
4	Permukaan jalan dalam kondisi kasar dan tidak licin.		
5	Marka jalan dan petunjuk arah tersedia dan jelas.		
6	Fasilitas pendukung jalan tersedia dan berfungsi dengan baik.		
7	Alat berat dan perlengkapan operasional tersedia cukup.		
8	Mesin dan peralatan dalam kondisi baik dan dapat		

	dioperasikan.		
9	Sistem drainase efektif dalam mengalirkan air.		
10	Saluran drainase dan pengendalian air dalam kondisi baik.		
11	Gedung administrasi dan fasilitas karyawan dalam kondisi baik.		
12	Kebersihan dan perawatan gedung pendukung terjaga rutin.		
13	Pasokan listrik tersedia dan andal.		
14	Kabel, peralatan listrik, dan instalasi terpasang dengan baik.		
15	Jalan akses ke pelabuhan dalam kondisi baik.		

Kuesioner ini disusun untuk mengidentifikasi persepsi Anda terhadap risiko berbagai jenis bencana alam di wilayah Anda. Penilaian Anda akan sangat membantu dalam membangun model risiko multidimensi yang dapat digunakan untuk perencanaan mitigasi dan strategi adaptasi di masa depan.

Instruksi Pengisian:

- Baca setiap pertanyaan dengan saksama.
- Anda akan diminta menilai 8 jenis bencana (gempa bumi, banjir, tsunami, dll.).
- Untuk setiap bencana, terdapat 7 aspek risiko yang perlu Anda nilai.

Gunakan skala 1 sampai 5 untuk setiap aspek.

1. Sangat Rendah/ Tidak Siap
2. Rendah
3. Sedang
4. Tinggi
5. Sangat Tinggi/ sangat siap

Jawablah berdasarkan pengalaman, pengetahuan, atau persepsi pribadi Anda.

- Tidak ada jawaban benar atau salah.
- Yang kami butuhkan adalah penilaian jujur dan objektif dari Anda.

No.	Jenis Bencana	Proba-bilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal
1	Gempa bumi							
2	Banjir							
3	Tsunami							
4	Letusan gunung api							
5	Tanah longsor							
6	Kekeringan							
7	Angin puting beliung							
8	Hujan ekstrem							

Seluruh jawaban Anda akan dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk keperluan akademik dan pengembangan kebijakan. Tidak ada informasi pribadi yang akan dipublikasikan. Terima kasih atas waktu dan kesempatan yang anda berikan.



KUESIONER PENELITIAN DISERTASI MODEL PENILAIAN KETAHANAN PELABUHAN TERHADAP CUACA EKSTREM (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

Responden
yang terhormat,

Perkenalkan, Nama saya Eko Prihartanto, Mahasiswa Program Doktor Ilmu Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya saat ini sedang melakukan pengumpulan data terkait dengan judul penelitian disertasi saya yaitu "**Model Penilaian Ketahanan Pelabuhan terhadap Cuaca Ekstrem**". Saya mohon dengan hormat untuk kesediaan waktu Bapak/ Ibu/ Saudara/i responden dapat berkenan membantu penelitian ini dengan mengisi pertanyaan dalam kuisisioner. Berikut ini kuisisioner yang memiliki 3 bagian. Adapun bagian tersebut sebagai berikut:

1. Kuisisioner bagian Pertama untuk menilai peringkat (*Rating*) pada Infrastruktur Pelabuhan berdasarkan pada Indikator Variabel Kondisi
2. Kuisisioner bagian kedua untuk menilai risiko bahaya dan dampak dari cuaca ekstrem dalam hal ini hujan ekstrem dan banjir pada Infrastruktur Pelabuhan.
3. Kuisisioner bagian ketiga untuk melakukan pemodelan Indikator Variabel Kondisi kunci pada Infrastruktur pelabuhan dengan *Interpretive Structural Modelling*.

Pada Setiap bagian kuisisioner akan diberikan petunjuk pengisian, dimana Bapak/ Ibu/ Saudara/i responden dapat mengisi kuisisioner sesuai petunjuk yang tertera. Bapak/ Ibu/ Saudara/i responden responden dapat berkenan untuk memberikan jawabannya dengan sejujur-jujurnya dan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Adapun jawaban yang Bapak/Ibu/Saudara/i responden berikan tidak akan berpengaruh pada diri Bapak/Ibu/Saudara/I responden karena penelitian ini dilakukan untuk pengembangan ilmu pengetahuan.



Besar harapan kami
Bapak/Ibu/Saudara/I responden berkenan meluangkan waktu sebentar ditengah kesibukan, demi kemajuan ilmu pengetahuan. Atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu/Saudara/I responden, Saya ucapkan terimakasih.

eqho.prihartanto@gmail.com [Ganti akun](#)



Tidak dibagikan

Nama

Jawaban Anda

Jenis Kelamin

- Laki-Laki
- Perempuan

Pendidikan Terakhir

- SMA/SMK Sederajat
- D3
- S1
- S2
- S3

Alamat

Jawaban Anda

Pekerjaan/Instansi

Jawaban Anda



Jabatan/Posisi

Jawaban Anda

Lama bekerja (Tahun/Bulan)

Jawaban Anda

No. HP

Jawaban Anda

Alamat Email

Jawaban Anda

Kota anda berdomisili saat ini

Jawaban Anda

Provinsi anda berdomisili saat ini

Jawaban Anda

Berikutnya

Kosongkan formulir

Jangan pernah mengirimkan sandi melalui Google Formulir.

Konten ini tidak dibuat atau didukung oleh Google. - [Hubungi pemilik formulir](#) - [Persyaratan Layanan](#) - [Kebijakan Privasi](#)

Google Formulir





KUESIONER PENELITIAN DISERTASI MODEL PENILAIAN KETAHANAN PELABUHAN TERHADAP CUACA EKSTREM (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

eqho.prihartanto@gmail.com [Ganti akun](#)



Tidak dibagikan

(BAGIAN 1) PERNYATAAN

Pada Kuesioner ini Bapak/ Ibu/ Saudara/I responden diminta mengisi dengan memilih salah satu yang sesuai menurut pilihan anda terkait pernyataan pada kuesioner. Seperti petunjuk pengisian berikut :

1 = Sangat Buruk

2 = Buruk

3 = Cukup

4 = Baik

5 = Sangat Baik

Contoh :

Bagaimana anda menilai indikator variabel kondisi pada pernyataan Kondisi bangunan pelabuhan saat ini berdasarkan pilihan berikut?

Contoh dibawah ini dengan asumsi anda menilai indikator variabel kondisi pada pernyataan Kondisi pelabuhan dengan pilihan baik. Sehingga anda memilih pada kolom baik (angka 4).

CONTOH PENGISIAN

Bagaimana Anda menilai kemampuan Kekakuan dan Stabilitas Struktur pada pelabuhan saat ini?

Sangat Buruk 1 2 3 4 5 Sangat Baik



(Kekakuan dan Stabilitas Struktur)

Bagaimana Anda menilai kemampuan Kekakuan dan Stabilitas Struktur pada pelabuhan saat ini?

1 2 3 4 5

Sangat Buruk (Terdapat deformasi atau pergeseran signifikan) Sangat Baik (Tidak ada tanda-tanda kerusakan)

(Kekakuan dan Stabilitas Struktur)

Bagaimana Anda menilai kemampuan struktur pelabuhan dari aspek Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban (misalnya, pada dermaga)

1 2 3 4 5

Sangat Buruk (Terdapat lendutan atau retakan berlebihan) Sangat Baik (Tidak ada tanda-tanda kerusakan)

(Kekakuan dan Stabilitas Struktur)

Seberapa besar dampak kerusakan struktur terhadap fungsi operasional pelabuhan?

1 2 3 4 5

Sangat Besar (Kerusakan parah, berpotensi membahayakan) Tidak ada (Tidak ada kerusakan yang terlihat)

(Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan)

Bagaimana Anda menilai tingkat kekasaran permukaan jalan di area pelabuhan secara umum?

1 2 3 4 5

Sangat Kasar (Permukaan sangat tidak rata, mengganggu kenyamanan dan keselamatan berkendara) Sangat Halus (Permukaan sangat rata, sangat nyaman untuk berkendara)



(Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan)

Apakah terdapat lubang, retakan, atau kerusakan lain pada permukaan jalan yang dapat mengganggu kelancaran lalu lintas?

1 2 3 4 5

Sangat Banyak (Lubang dan kerusakan sangat parah, sangat mengganggu lalu lintas)

Tidak ada (Tidak ada lubang atau kerusakan yang terlihat)

(Kondisi Tanda Marka Jalan atau Penunjuk Arah)

Apakah tanda marka jalan dan penunjuk arah di area pelabuhan sudah lengkap dan sesuai dengan kebutuhan?

1 2 3 4 5

Sangat tidak lengkap (Informasi membingungkan atau menyesatkan)

Sangat lengkap (Informasi sangat mudah dipahami, tidak menimbulkan keraguan)

(Kondisi Tanda Marka Jalan atau Penunjuk Arah) Bagaimana Anda menilai kondisi fisik tanda marka jalan dan penunjuk arah di area pelabuhan (misalnya, cat pudar, rambu rusak)?

1 2 3 4 5

Sangat Buruk (Banyak tanda marka atau rambu yang rusak parah)

Sangat Baik (Semua tanda marka atau rambu dalam kondisi baik)

(Kondisi Keadaan Fasilitas Pendukung)

Bagaimana Anda menilai kebersihan dan ketertiban area pelabuhan secara umum (misalnya, area parkir, terminal penumpang, area bongkar muat)

1 2 3 4 5

Sangat Buruk (Kotor, tidak terawat, banyak sampah berserakan)

Sangat Baik (Sangat bersih, tertata rapi, tidak ada sampah)



(Kondisi Keadaan Fasilitas Pendukung)

Bagaimana Anda menilai ketersediaan dan kondisi fasilitas pendukung lainnya di pelabuhan (misalnya, mushola, klinik, tempat makan, ATM)?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Tidak ada atau kondisinya sangat buruk) Sangat baik (Tersedia lengkap, kondisinya sangat baik, dan mudah diakses)

(Kondisi Keadaan Fasilitas Pendukung)

Bagaimana Anda menilai ketersediaan dan kondisi fasilitas untuk penyandang disabilitas di area pelabuhan?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Tidak ada fasilitas untuk penyandang disabilitas) Sangat baik (Fasilitas lengkap, modern, dan sangat mudah diakses)

(Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional)

Bagaimana Anda menilai ketersediaan alat berat untuk kegiatan bongkar muat di pelabuhan (misalnya, crane, forklift, reach stacker)

1 2 3 4 5

Sangat kurang (Sering terjadi antrian panjang, mengganggu kelancaran operasional) Sangat Baik (Tersedia lebih dari cukup, dapat menangani lonjakan aktivitas)

(Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional)

Bagaimana Anda menilai kinerja mesin-mesin utama di pelabuhan (misalnya, mesin crane, mesin kapal tunda, mesin generator)?

1 2 3 4 5

Tidak Sesuai (Sering mengalami kerusakan, tidak dapat beroperasi optimal) Sangat Baik (Berfungsi optimal, sangat handal)



(Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional)

Bagaimana Anda menilai kondisi peralatan pendukung di pelabuhan (misalnya, pompa, kompresor, peralatan listrik)?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Banyak peralatan yang rusak atau tidak berfungsi)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Peralatan dalam kondisi prima, terawat secara rutin)				

(Efektivitas Sistem Drainase)

Bagaimana Anda menilai kemampuan sistem drainase dalam menampung dan mengalirkan air hujan saat terjadi hujan deras atau badai?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Terjadi banjir, melumpuhkan aktivitas pelabuhan)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Tidak terjadi genangan atau banjir sama sekali)				

(Efektivitas Sistem Drainase)

Bagaimana Anda menilai kebersihan saluran drainase di pelabuhan (misalnya, ada sampah, lumpur, atau endapan)?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Saluran penuh sampah dan lumpur, tidak berfungsi)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Saluran sangat bersih, tidak ada sampah atau lumpur)				

(Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air)

Apakah pernah terjadi kerusakan infrastruktur atau gangguan operasional akibat masalah drainase di pelabuhan?

	1	2	3	4	5	
Sangat sering (Masalah drainase sering menyebabkan kerusakan dan gangguan)	<input type="radio"/>	Tidak pernah (Tidak ada catatan kerusakan atau gangguan akibat masalah drainase)				



(Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air)

Bagaimana Anda menilai kondisi fisik saluran drainase (misalnya, ada retakan, kerusakan, atau penyumbatan)?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Banyak kerusakan parah, saluran tidak berfungsi) Sangat baik (Tidak ada kerusakan yang terlihat, saluran berfungsi optimal)

(Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan)

Bagaimana Anda menilai kondisi gedung administrasi (misalnya, cat, dinding, atap)?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Rusak parah, tidak terawat) Sangat baik (Kondisi sangat baik, seperti baru)

(Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan)

Bagaimana Anda menilai ketersediaan dan kondisi fasilitas pendukung karyawan (misalnya, ruang makan, ruang istirahat, toilet)?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Tidak ada atau kondisinya sangat buruk) Sangat baik (Fasilitas lengkap, modern, kondisinya sangat baik)

(Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung)

Bagaimana Anda menilai kebersihan area bangunan pendukung (misalnya, gudang, bengkel, pos jaga)?

1 2 3 4 5

Sangat buruk (Banyak sampah berserakan, tidak terawat) Sangat baik (Sangat bersih, tidak ada sampah yang terlihat)



(Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik)

Bagaimana Anda menilai ketersediaan pasokan listrik di pelabuhan secara keseluruhan?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Sering terjadi pemadaman listrik dalam waktu lama)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Tidak pernah atau hampir tidak pernah terjadi pemadaman listrik)				

(Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik)

Bagaimana Anda menilai keandalan sistem distribusi listrik di pelabuhan (misalnya, jaringan kabel, gardu listrik)?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Sering terjadi kerusakan atau gangguan pada sistem distribusi)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Sistem distribusi modern, terawat dengan sangat baik)				

(Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi)

Bagaimana Anda menilai keamanan instalasi kabel listrik di pelabuhan (misalnya, terpasang rapi, terlindungi dari cuaca, tidak overload)?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Instalasi sangat tidak aman, berpotensi menyebabkan kecelakaan)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Instalasi sangat aman, sesuai standar keselamatan)				

(Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi)

Bagaimana Anda menilai kondisi lampu penerangan di area pelabuhan (misalnya, cukup terang, ada lampu yang mati)?

	1	2	3	4	5	
Sangat buruk (Banyak lampu yang mati, area pelabuhan sangat gelap)	<input type="radio"/>	Sangat baik (Penerangan sangat baik, semua area terang benderang)				



(Kondisi Jalan Akses)

Bagaimana Anda menilai lebar jalan akses ke pelabuhan?

1 2 3 4 5

Sangat sempit (Jalan sangat sempit, sulit untuk dua kendaraan berpapasan)

Sangat lebar (Jalan sangat lebar, dapat menampung banyak kendaraan)

(Kondisi Jalan Akses)

Bagaimana Anda menilai kapasitas jalan akses untuk menampung volume lalu lintas ke dan dari pelabuhan?

1 2 3 4 5

Sangat tidak memadai (Sering terjadi kemacetan parah)

Sangat memadai (Jalan sangat lancar, tidak pernah terjadi kemacetan)

Kembali

Berikutnya

Kosongkan formulir

Jangan pernah mengirimkan sandi melalui Google Formulir.

Konten ini tidak dibuat atau didukung oleh Google. - [Hubungi pemilik formulir](#) - [Persyaratan Layanan](#) - [Kebijakan Privasi](#)

Google Formulir





KUESIONER PENELITIAN DISERTASI MODEL PENILAIAN KETAHANAN PELABUHAN TERHADAP CUACA EKSTREM (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

eqho.prihartanto@gmail.com [Ganti akun](#)



Tidak dibagikan

(BAGIAN 2) PERNYATAAN

Pada Kuesioner ini Bapak/ Ibu/ Saudara/I responden salah satu nilai. Diantara nilai 0 sampai dengan 3 sesuai keterangan pada kotak di Tabel berikut menurut pilihan anda. Seperti petunjuk pengisian berikut:

0 = N/A

1= Rendah

2 = Sedang

3 = Tinggi

Contoh :

Berikan penilaian anda terhadap potensi bahaya cuaca ekstrem yang pernah terjadi di Kota Tarakan ?

Contoh dibawah ini dengan asumsi anda memberikan nilai pada setiap kotak isian dengan mengisi salah 1 nilai antara nilai 0 sampai dengan 3 terhadap penilaian potensi bahaya kejadian alam yang ada. Contoh dibawah ini anda menilai antara kejadian dengan peluang bernilai tinggi (angka 3)



CONTOH PENGISIAN

KEJADIAN *

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

PELUANG

Kemungkinan kejadian

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Tinggi

Jawaban Anda _____

KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

PELUANG

Kemungkinan kejadian

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

DAMPAK MANUSIA

Kemungkinan meninggal atau cedera

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

DAMPAK PROPERTI

Kerugian dan kerusakan fisik

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

KESIAPAN

Pra perencanaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

TANGGAPAN DARI DALAM

Waktu, efektivitas, sumber daya

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Volume Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)

TANGGAPAN DARI LUAR

Masyarakat/Staff saling bantu dan persediaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

PELUANG

Kemungkinan kejadian

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

DAMPAK MANUSIA

Kemungkinan meninggal atau cedera

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

DAMPAK PROPERTI

Kerugian dan kerusakan fisik

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

DAMPAK BISNIS

Gangguan layanan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

KESIAPAN

Pra perencanaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

TANGGAPAN DARI DALAM

Waktu, efektivitas, sumber daya

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Durasi Hujan Ekstrem

TANGGAPAN DARI LUAR

Masyarakat/Staff saling bantu dan persediaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

PELUANG

Kemungkinan kejadian

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

DAMPAK MANUSIA

Kemungkinan meninggal atau cedera

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

DAMPAK PROPERTI

Kerugian dan kerusakan fisik

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

DAMPAK BISNIS

Gangguan layanan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

KESIAPAN

Pra perencanaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

TANGGAPAN DARI DALAM

Waktu, efektivitas, sumber daya

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Ketinggian Air Akibat Banjir

TANGGAPAN DARI LUAR

Masyarakat/Staff saling bantu dan persediaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

PELUANG

Kemungkinan Kejadian

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

DAMPAK MANUSIA

Kemungkinan meninggal atau cedera

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

DAMPAK PROPERTI

Kerugian dan kerusakan fisik

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi



KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

DAMPAK BISNIS

Gangguan layanan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

KESIAPAN

Pra perencanaan

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi

KEJADIAN

Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)

TANGGAPAN DARI DALAM

Waktu, efektivitas, sumber daya

	0	1	2	3	
N/A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tinggi





KUESIONER PENELITIAN DISERTASI MODEL PENILAIAN KETAHANAN PELABUHAN TERHADAP CUACA EKSTREM (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

eqho.prihartanto@gmail.com [Ganti akun](#)



 Tidak dibagikan

(BAGIAN 3)

PERNYATAAN: Teknik Permodelan Interpretasi Struktural
(*Interpretatif Structural Modelling--ISM*)

Berilah skor langsung dengan rentang 1 (sangat diprioritaskan) sampai dengan 7 (tidak diprioritaskan) pada masing-masing elemen sesuai tingkat kepentingannya (Untuk menghindari *inconsistency*). Catatan: Skor dapat nilai yang sama dalam satu pernyataan pada kriteria.

Contoh :

Contoh dibawah ini dengan asumsi anda memberikan skor nilai pada setiap elemen dengan mengisi rentang nilai 4 pada pernyataan Kondisi bangunan pelabuhan

CONTOH PENGISIAN

	1	2	3	4	5	6	7
Integritas Struktural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Silahkan centang salah satu pilihan anda berdasarkan nilai 1 sampai dengan 7 pada indikator dibawah ini, dimana **nilai 1 sebagai urutan prioritas tertinggi** dan **nilai 7 prioritas terendah**.

	1	2	3	4	5	6	7
Integritas Struktural	<input type="checkbox"/>						
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	<input type="checkbox"/>						
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	<input type="checkbox"/>						
Sistem Drainase dan Pengendalian Air	<input type="checkbox"/>						
Kondisi Bangunan Pendukung	<input type="checkbox"/>						
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	<input type="checkbox"/>						
Kondisi Jalan dan Akses	<input type="checkbox"/>						

Kembali

Berikutnya

Kosongkan formulir

Jangan pernah mengirimkan sandi melalui Google Formulir.

Konten ini tidak dibuat atau didukung oleh Google. - [Hubungi pemilik formulir](#) - [Persyaratan Layanan](#) - [Kebijakan Privasi](#)

Google Formulir





KUESIONER PENELITIAN DISERTASI MODEL PENILAIAN KETAHANAN PELABUHAN TERHADAP CUACA EKSTREM (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

KUESIONER PENELITIAN DISERTASI

eqho.prihartanto@gmail.com [Ganti akun](#)



Tidak dibagikan

PERNYATAAN

Berilah penilaian perbandingan antar sub elemen kendala dalam kriteria prioritas dalam ketahanan infrastruktur transportasi dengan menggunakan isian V A X O

V = jika sub elemen kiri lebih penting dari sub elemen kanan

A = jika sub elemen kanan lebih penting dari sub elemen kiri

X = jika sub elemen kanan sama penting dengan sub elemen kiri

O = jika sub elemen kanan tidak berhubungan dengan sub elemen kiri

Bapak/Ibu/Saudara/i responden dimohon memberikan pendapat tentang keterkaitan antar sub elemen **kriteria** dalam ketahanan infrastruktur transportasi, dengan mengurutkan dari yang paling berpengaruh hingga tidak terkait sama sekali sebagai berikut:

Contoh

:



Contoh

dibawah ini dengan asumsi anda berpendapat bahwa elemen "Integritas Struktural" lebih penting dari elemen "kondisi permukaan dan fasilitas jalan" maka diberikan notasi (V), jika anda berpendapat Elemen "Integritas Struktural" tidak berhubungan dengan kriteria "Ketersediaan dan kondisi peralatan" tidak berhubungan diberikan notasi (O)

CONTOH PENGISIAN

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan *

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- A = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan tidak berhubungan dengan Integritas Struktural

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- A = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan tidak berhubungan dengan Integritas Struktural



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- A = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan tidak berhubungan dengan Integritas Struktural

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- A = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Sistem Drainase dan Pengendalian Air sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Sistem Drainase dan Pengendalian Air tidak berhubungan dengan Integritas Struktural

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Kondisi Bangunan Pendukung

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- A = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Kondisi Bangunan Pendukung sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Kondisi Bangunan Pendukung tidak berhubungan dengan Integritas Struktural



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- A = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Kondisi Sistem Energi dan Listrik sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Kondisi Sistem Energi dan Listrik tidak berhubungan dengan Integritas Struktural

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Integritas Struktural dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Integritas Struktural lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Integritas Struktural
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Integritas Struktural
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Integritas Struktural

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan

- V = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- A = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- X = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan sama penting dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- O = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan tidak berhubungan dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air

- V = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- A = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- X = Sistem Drainase dan Pengendalian Air sama penting dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- O = Sistem Drainase dan Pengendalian Air tidak berhubungan dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan dengan Kondisi Bangunan Pendukung

- V = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- A = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- X = Kondisi Bangunan Pendukung sama penting dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- O = Kondisi Bangunan Pendukung tidak berhubungan dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

- V = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- A = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- X = Kondisi Sistem Energi dan Listrik sama penting dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- O = Kondisi Sistem Energi dan Listrik tidak berhubungan dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Ketersediaan dan Kondisi Peralatan dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air

- V = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- A = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- X = Sistem Drainase dan Pengendalian Air sama penting dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- O = Sistem Drainase dan Pengendalian Air tidak berhubungan dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Ketersediaan dan Kondisi Peralatan dengan Kondisi Bangunan Pendukung

- V = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- A = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- X = Kondisi Bangunan Pendukung sama penting dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- O = Kondisi Bangunan Pendukung tidak berhubungan dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Ketersediaan dan Kondisi Peralatan dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

- V = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- A = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- X = Kondisi Sistem Energi dan Listrik sama penting dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- O = Kondisi Sistem Energi dan Listrik tidak berhubungan dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Ketersediaan dan Kondisi Peralatan dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Ketersediaan dan Kondisi Peralatan lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Ketersediaan dan Kondisi Peralatan

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Sistem Drainase dan Pengendalian Air dengan Kondisi Bangunan Pendukung

- V = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- A = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- X = Kondisi Bangunan Pendukung sama penting dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- O = Kondisi Bangunan Pendukung tidak berhubungan dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Sistem Drainase dan Pengendalian Air dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

- V = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- A = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- X = Kondisi Sistem Energi dan Listrik sama penting dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- O = Kondisi Sistem Energi dan Listrik tidak berhubungan dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Sistem Drainase dan Pengendalian Air dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Sistem Drainase dan Pengendalian Air lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Sistem Drainase dan Pengendalian Air

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Bangunan Pendukung dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

- V = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- A = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- X = Kondisi Sistem Energi dan Listrik sama penting dengan Kondisi Bangunan Pendukung
- O = Kondisi Sistem Energi dan Listrik tidak berhubungan dengan Kondisi Bangunan Pendukung



Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Bangunan Pendukung dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Kondisi Bangunan Pendukung lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Kondisi Bangunan Pendukung
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Kondisi Bangunan Pendukung
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Kondisi Bangunan Pendukung

Menurut Anda mana lebih berpengaruh Kondisi Sistem Energi dan Listrik dengan Kondisi Jalan dan Akses

- V = Kondisi Sistem Energi dan Listrik lebih penting dari Kondisi Jalan dan Akses
- A = Kondisi Jalan dan Akses lebih penting dari Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- X = Kondisi Jalan dan Akses sama penting dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik
- O = Kondisi Jalan dan Akses tidak berhubungan dengan Kondisi Sistem Energi dan Listrik

Kembali

Kirim

Kosongkan formulir

Jangan pernah mengirimkan sandi melalui Google Formulir.

Konten ini tidak dibuat atau didukung oleh Google. - [Hubungi pemilik formulir](#) - [Persyaratan Layanan](#) - [Kebijakan Privasi](#)

Google Formulir





PEMERINTAH KOTA TARAKAN DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG

Belimbing RT.13 No.51 Kel. Kampung Empat Kec. Tarakan Timur Kota Tarakan 77124

Laman : <https://dpupr.tarakankota.go.id> Pos-el : dpupr@tarakankota.go.id

Kawasan Banjir Kota Tarakan Tahun 2024 Triwulan I

Kode	Lokasi	Luas Genangan (Ha)	Lama Genangan (Jam)	Tinggi Genangan (cm)	Penyebab	Keterangan
B.01	Karang Anyar	22,55	± 2-3	± 20 - 40	Pasang air laut, padatnya penduduk bantaran sungai	Dimensi saluran kurang maksimal, tata guna lahan antara lain gunung yang digusur oleh masyarakat di hulu sungai karang anyar (jalan Matahari) menggunakan alat berat dan penambangan pasir
B.02	Jl. Padat Karya (Dekat Pasar Juata laut)	2,40	± 1	± 10	Pasang air laut, daerah cekungan	saluran yang belum ada pasangan mortarnya dan penampang saluran / drainase rata-rata masih kecil
B.03	Markoni	2,40	± 1-2	± 15-30	Daerah Cekungan, trase aliran air, sedimentasi dan banyaknya pipa utilitas	Sedimentasi material pasir di saluran, dimensi dan perletakan saluran terlalu rendah, Pipa pertamina yang melintang (cross) pada saluran utama.
B.04	Jl. Celebes / Belakang Kepiting Saos	0,00	± 0	± 0		
B.05	Jl. Aki Balak/ Yonif 613 Raja Alam	0,00	± 0	± 0		
B.06	Selumit dan Karang Balik	0,08	± 2	± 15	Pasang air laut, padatnya penduduk bantaran sungai	Sedimentasi material pasir sungai selumit, saluran yang belum ada pasangan mortarnya dan penampang saluran / drainase rata-rata masih kecil
B.07	Sebengkok	0,00	± 0	± 0		
B.08	JL. P. Sulawesi	0,00	± 0,45	± 10	Pasang Air Laut, elevasi jaringan saluran dan dimensi penampang kurang maksimal	Terjadinya penyempitan saluran yang ada di samping kantor imigrasi, sehingga saluran tidak mampu menampung debit aliran air serta sedimentasi
B.09	JL. WR. Supratman	0,00	± 0	± 0		
B.10	JL. S. Sesayap/ Depan SMP dan SD Ulul Albab	0,27	± 0,75	± 20	Kenaikan Pasang air laut, Cor beton penutup saluran, DAS Pamusian (Jembatan), Sedimentasi yang cukup tinggi, Pipa / utilitas yang menghalangi arus aliran air.	Sedimentasi material pasir yang tinggi, saluran primer di sepanjang kawasan dominan ditutup oleh cor beton Yang tidak sesuai dengan aturan Perwali No 40 tahun 2011 Banyaknya kotoran sampah DAS Kp IV (samping RRI) mengalami pendangkalan
B.11	Jl. P. Banda - P. Flores	0,00	± 1	± 15		
	JUMLAH	27,70				

Frekuensi Terjadinya Bencana

Elemen Data	Data Tahun					Satuan	Keterangan	Unit Pengentri
	2018	2019	2020	2021	2022			
Frekuensi Terjadinya Bencana Alam	98	127	169	176	n/a			Badan Penanggulangan Bencana Daerah
a. Longsor	15	4	18	60	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
b. Banjir	15	5	14	24	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
c. Angin Topan/Putting Bellung	4	3	24	28	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
d. Kebakaran Hunian	32	16	35	43	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
e. Cempa Bumi	0	2	0	1	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
f. Celombang Pasang	1	0	0	0	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
i. Tenggelam	12	2	7	2	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
j. Kebakaran Hutan dan Lahan	5	93	70	16	n/a	Kejadian		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
k. Lain-lain	14	2	1	2	n/a	Kejadian	Abrasi	Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Indeks Resiko Bencana	n/a	n/a	n/a	157.03	n/a			Badan Penanggulangan Bencana Daerah

11 Elemen Data | n/a (Tidak Ada) | Tetap | Sementara | Proyeksi

Refresh								
Elemen Data	Data Tahun					Satuan	Keterangan	Unit Pengentri
	2018	2019	2020	2021	2022			
Abrasi	1	39	8	7	n/a	Rumah		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Angin Putting Bellung	5	0	20	20	n/a	Rumah		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Banjir	349	162	2	41	n/a	Rumah		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Celombang Pasang	20	0	0	0	n/a	Rumah		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Cempa Bumi	0	0	0	0	n/a	Unit		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Kebakaran Hunian	45	30	207	136	n/a	Rumah		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Kebakaran Hutan dan Lahan	48	75	449.37	33	n/a	Lahan		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Konflik	0	0	0	0	n/a	Kali		Badan Penanggulangan Bencana Daerah
Longsor	61	16	68	39	n/a	Unit	Rumah dan Tiang Listrik	Badan Penanggulangan Bencana Daerah

9 Elemen Data | n/a (Tidak Ada) | Tetap | Sementara | Proyeksi

Data Banjir Kota Tarakan



[BERANDA](#) [PROFIL](#) [DATA SDA](#) [PETA](#) [GALLERY](#)

NO	LOKASI	LUAS AREA	LAMA GENANGAN	TINGGI RATA-RATA(m)
1	Sebengkok Tiram	0.80	1	0.15
2	K.H Agus Salim-Dr. Sutomo-Adityawarman	10.70	2	0.15
3	Imam Bonjol (Markoni)	3.60	1	0.15
4	RE. Martadinata	0.20	1	0.10
5	Sulawesi & Patimura	0.30	0	0.10
6	Flores	0.06	1	0.15
7	Slamet Riyadi s/d Mulawarman	43.80	2	0.20
8	Cendrawasih	15.00	2	0.25
9	Aki Balak (Persemaian)	1.50	1	0.20
10	Padat Karya (Dekat Pasar Juata Laut)	4.80	2	0.40
11	Aki Balak (dgn. Yonif 613 RJA)	0.90	1	0.20
12	Chelebes (Belakang Kepiting Saos)	2.30	2	0.25
13	Sei Sesayap	6.60	1	0.15
14	Sei Sesayap (Dgn. SMP & SD Ulul Al-Bab)	0.30	2	0.40
15	WR. Supratman	0.30	2	0.15
16	Gang Bersama 2	4.40	3	0.80

Kondisi Pelabuhan Kota Tarakan



Gambar Lampiran 1. Gerbang Utama Pelabuhan Malundung Kota Tarakan



Gambar Lampiran 2. Terminal Penumpang Pelabuhan Malundung Kota Tarakan



a



b

Gambar Lampiran 3. Operasional Bongkar Muat Kontainer Pelabuhan Malundung



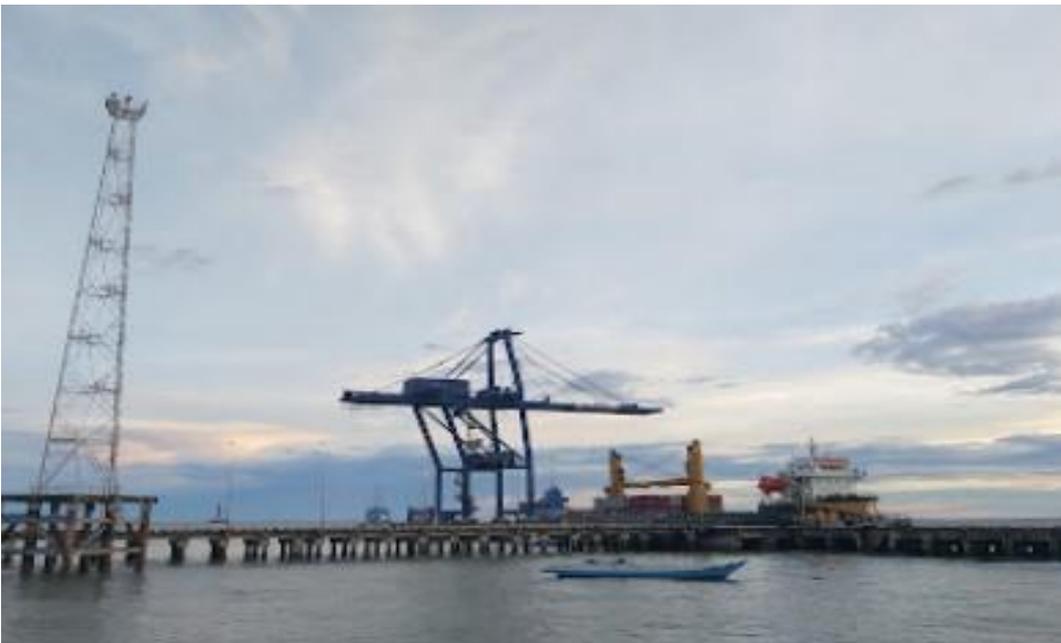
Gambar Lampiran 4. Salah Satu Sarana di Pelabuhan Malunndung



Gambar Lampiran 5. Bongkar Muat Kontainer Dari Kapal



Gambar Lampiran 6. Aktivitas Kegiatan Pelabuhan



Gambar Lampiran 7. Tampak Samping Sarana di Pelabuhan Malundung



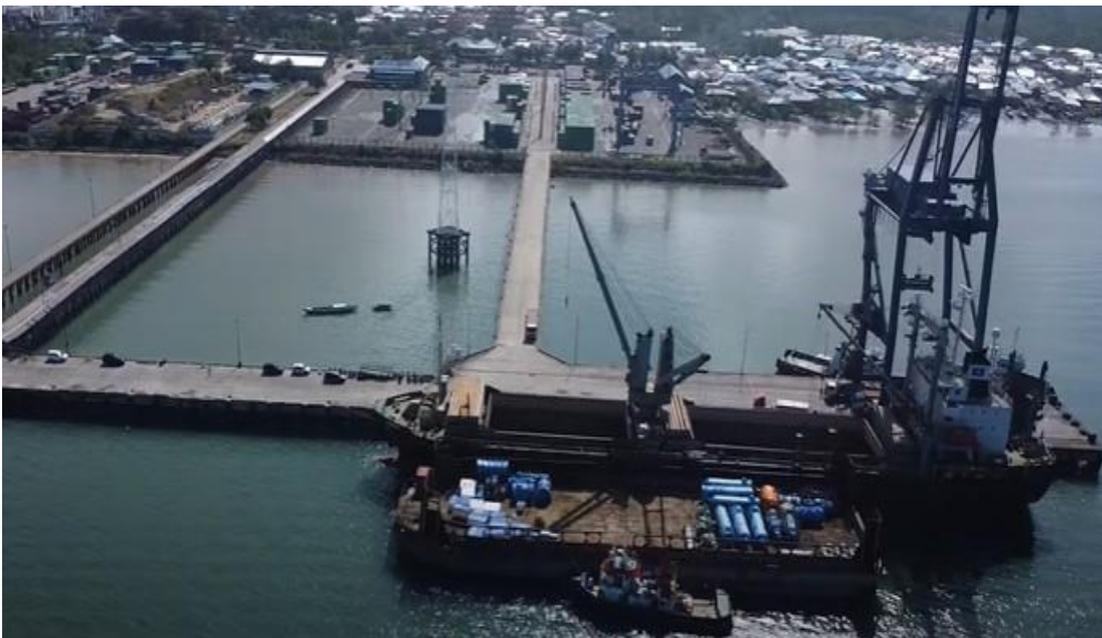
Gambar Lampiran 8. Tampak Atas Pelabuhan Malundung



Gambar Lampiran 9. Lapangan Kontainer Pelabuhan Malundung



Gambar Lampiran 10. Aktivitas Kegiatan Dermaga Pelabuhan Malundung



Gambar Lampiran 11. Kegiatan Aktivitas Kapal Barang



Gambar Lampiran 12. Kapal PELNI Bersandar di Pelabuhan Malundung

Tabel Indeks Risiko Bencana

Responden	Jenis Bencana	Probabilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Total Score	Indeks risiko bencana
R1	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R1	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R2	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tanah longsor	4	4	4	4	5	4	4	28	80,00
R2	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R3	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R3	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R3	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R4	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R5	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R6	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R6	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R6	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R6	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R6	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R7	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14

R8	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R9	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R10	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R11	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R12	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R13	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R14	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R15	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86

Tabel Indeks Risiko Bencana Kota Tarakan

Responden	Jenis Bencana	Probabilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Total Score	Indek risiko bencana
R1	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tsunami	1	4	3	4	5	4	4	25	71,43
R1	Letusan gunung api	1	5	4	3	5	3	5	26	74,29
R1	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R1	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tsunami	1	3	5	4	5	4	3	25	71,43
R2	Letusan gunung api	1	3	5	3	4	3	4	23	65,71
R2	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Hujan ekstrem	4	5	5	4	3	5	3	29	82,86
R3	Gempa bumi	3	3	4	3	4	5	4	26	74,29
R3	Banjir	2	4	5	4	3	5	3	26	74,29
R3	Tsunami	1	3	3	5	3	4	3	22	62,86
R3	Letusan gunung api	1	4	4	5	4	5	4	27	77,14
R3	Tanah longsor	4	5	3	5	3	4	3	27	77,14
R3	Kekeringan	3	3	4	3	4	5	4	26	74,29
R3	Angin puting beliung	2	4	5	4	3	5	3	26	74,29
R3	Hujan ekstrem	3	3	3	5	3	4	3	24	68,57
R4	Gempa bumi	4	4	3	5	4	5	4	29	82,86
R4	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tsunami	4	5	4	3	5	3	4	28	80,00
R4	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	5	29	82,86
R4	Tanah longsor	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R4	Kekeringan	2	3	5	3	4	3	3	23	65,71
R4	Angin puting beliung	3	4	5	4	5	4	4	29	82,86
R4	Hujan ekstrem	4	3	5	3	4	3	4	26	74,29
R5	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	5	29	82,86
R5	Banjir	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R5	Tsunami	1	3	5	3	4	3	3	22	62,86
R5	Letusan gunung api	1	3	5	4	5	4	4	26	74,29
R5	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Kekeringan	4	5	5	4	3	5	3	29	82,86
R5	Angin puting beliung	4	4	4	3	4	5	4	28	80,00
R5	Hujan ekstrem	4	5	5	4	3	5	3	29	82,86
R6	Gempa bumi	3	3	3	5	3	4	3	24	68,57
R6	Banjir	2	4	4	5	4	5	4	28	80,00
R6	Tsunami	1	3	3	5	3	4	3	22	62,86
R6	Letusan gunung api	1	4	4	3	4	5	4	25	71,43
R6	Tanah longsor	4	5	5	4	3	5	3	29	82,86
R6	Kekeringan	3	3	3	5	3	4	3	24	68,57
R6	Angin puting beliung	2	4	3	5	4	5	4	27	77,14
R6	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tanah longsor	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R7	Kekeringan	2	4	3	4	5	4	3	25	71,43
R7	Angin puting beliung	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R7	Hujan ekstrem	4	3	5	3	4	3	4	26	74,29
R8	Gempa bumi	4	4	5	4	5	4	5	31	88,57

R8	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tsunami	2	4	3	4	5	4	3	25	71,43
R8	Letusan gunung api	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R8	Tanah longsor	4	3	5	3	4	3	4	26	74,29
R8	Kekeringan	4	3	5	4	5	4	5	30	85,71
R8	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R9	Tanah longsor	4	5	4	5	4	3	5	3	8,57
R9	Kekeringan	3	3	5	4	3	4	5	4	11,43
R9	Angin puting beliung	2	4	5	5	4	3	5	3	8,57
R9	Hujan ekstrem	3	3	5	3	5	3	4	3	8,57
R10	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	5	4	11,43
R10	Banjir	4	5	4	3	5	3	4	3	8,57
R10	Tsunami	4	4	3	4	3	4	5	4	11,43
R10	Letusan gunung api	4	5	4	5	4	3	5	3	8,57
R10	Tanah longsor	3	3	5	3	5	3	4	3	8,57
R10	Kekeringan	2	4	5	3	5	4	5	4	11,43
R10	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Banjir	3	4	3	4	5	4	4	27	77,14
R11	Tsunami	2	5	4	3	5	3	3	25	71,43
R11	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tanah longsor	4	4	5	4	5	4	4	30	85,71
R11	Kekeringan	4	3	5	3	4	3	5	27	77,14
R11	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Gempa bumi	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R12	Banjir	2	3	5	3	4	4	3	24	68,57
R12	Tsunami	3	3	5	4	5	3	4	27	77,14
R12	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R12	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Gempa bumi	4	4	3	5	4	3	5	28	80,00
R13	Banjir	4	5	4	3	5	3	4	28	80,00
R13	Tsunami	4	4	3	3	5	4	5	28	80,00
R13	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R13	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Banjir	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R14	Tsunami	2	3	5	3	4	4	3	24	68,57
R14	Letusan gunung api	3	3	5	4	5	3	4	27	77,14
R14	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Tsunami	3	5	4	3	5	3	4	27	77,14
R15	Letusan gunung api	4	3	5	3	4	4	4	27	77,14
R15	Tanah longsor	4	3	5	4	5	3	5	29	82,86

R15	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R16	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R17	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R17	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R17	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R17	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R17	Tanah longsor	4	5	4	3	5	4	4	29	82,86
R17	Kekeringan	4	3	5	3	4	3	5	27	77,14
R17	Angin puting beliung	4	3	5	4	3	5	4	28	80,00
R17	Hujan ekstrem	4	5	3	5	3	4	5	29	82,86
R18	Gempa bumi	3	3	3	5	4	3	5	27	77,14
R18	Banjir	2	5	4	3	5	4	3	26	74,29
R18	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R18	Letusan gunung api	4	3	5	4	5	4	4	29	82,86
R18	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R18	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R18	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R18	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R19	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R19	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R19	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R19	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R19	Tanah longsor	4	4	5	4	3	5	4	29	82,86
R19	Kekeringan	4	5	3	5	3	4	5	29	82,86
R19	Angin puting beliung	3	3	3	5	4	5	4	27	77,14
R19	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R20	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R20	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R20	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R20	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R20	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R20	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R20	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R20	Hujan ekstrem	3	3	5	5	4	3	5	28	80,00
R21	Gempa bumi	4	4	3	3	5	3	4	26	74,29
R21	Banjir	4	5	4	3	5	4	5	30	85,71
R21	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R21	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R21	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R21	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R21	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R21	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R22	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R22	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R22	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R22	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R22	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R23	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43

R23	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R23	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R23	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R23	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R23	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R23	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R23	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R24	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R24	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R24	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R24	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R24	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R25	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R25	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R25	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R25	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R25	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R26	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R26	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R26	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R26	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R26	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R26	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R26	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R26	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R27	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R27	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R28	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R28	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R28	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R28	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R28	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R28	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R28	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R28	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R29	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R29	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R29	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R29	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R29	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86

Tabel Indeks Risiko Bencana Global

Responden	Jenis Bencana	Probabilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Total Score	Indek risiko bencana
R1	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R1	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R2	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R3	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R3	Tanah longsor	4	4	3	5	5	3	5	29	82,86
R3	Kekeringan	3	5	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R4	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R5	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R6	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R6	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R6	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R6	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R6	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R7	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R8	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R9	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R10	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R11	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R12	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R13	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R14	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R15	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43

R16	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R16	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	5	3	26	71,43
R16	Hujan ekstrem	4	4	4	4	5	4	4	28	80,00
R17	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R17	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R17	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R17	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R17	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R17	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R17	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R17	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R18	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R18	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R18	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R18	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R18	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R18	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R18	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R18	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R19	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R19	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R19	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R19	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R19	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R19	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R19	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R19	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R20	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R20	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R20	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R20	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R20	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R20	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R20	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R20	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R21	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R21	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R21	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R21	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R21	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R21	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R21	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R21	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R22	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R22	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R22	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R22	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R22	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R22	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R23	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R23	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R23	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R23	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R23	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R23	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R23	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R23	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R24	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R24	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R24	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R24	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R24	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R24	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R25	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R25	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R25	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R25	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R25	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R25	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R26	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R26	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R26	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R26	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R26	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R26	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R26	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R26	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R27	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R27	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R27	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R27	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R29	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R29	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R29	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R29	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R29	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R29	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R30	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R30	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R30	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R30	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R30	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R30	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R30	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R30	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R31	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R31	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R31	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00

R31	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R31	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R31	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R31	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R31	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R32	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R32	Banjir	4	4	3	4	4	5	4	28	80,00
R32	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R32	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R32	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R32	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R32	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R32	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R33	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R33	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R33	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R33	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R33	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R33	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R33	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R33	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R34	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R34	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R34	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R34	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R35	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R35	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R35	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R35	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R35	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R36	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R36	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R36	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R36	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R36	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R36	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R37	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R37	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R37	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R37	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R38	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R38	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R38	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R38	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R38	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R39	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R39	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R39	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R39	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R39	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R40	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R40	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R40	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R40	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R40	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R41	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R41	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R41	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R41	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R41	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R41	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R41	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R41	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R42	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R42	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R42	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R42	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R42	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R42	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R43	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R43	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R43	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R43	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R43	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R43	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R43	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R44	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R44	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R44	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R44	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R44	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R45	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R45	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R45	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R45	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R45	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R46	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R46	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R46	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R46	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86

R46	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R47	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R47	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Letusan gunung api	4	4	4	4	5	4	5	28	80,00
R47	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R47	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R47	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R48	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R48	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R48	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R48	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R48	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R49	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R49	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R49	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R49	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R49	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R50	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R50	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R50	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R50	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R50	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R50	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R50	Angin puting beliung	3	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R50	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R51	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R51	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R51	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R51	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R51	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R51	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R51	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R51	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R52	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R52	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R52	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R52	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R52	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R52	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R52	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R52	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R53	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R53	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R53	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R53	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R53	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R53	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R53	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R53	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R54	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R54	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R54	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R54	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R54	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R54	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R54	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R54	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R55	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R55	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R55	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R55	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R55	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R55	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R55	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R55	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R56	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R56	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R56	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R56	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R56	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R56	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R56	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R56	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R57	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R57	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R57	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R57	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R57	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R57	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R57	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R57	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R58	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R58	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R58	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R58	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R58	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R58	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R58	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R58	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R59	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R59	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R59	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R59	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R59	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R59	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R59	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R59	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R60	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R60	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R60	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R60	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R60	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R60	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R60	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R60	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R61	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R61	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R61	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R61	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R61	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R61	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R61	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R61	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43

Tabel Rekapitulasi Indeks risiko bencana hujan ekstrim

Responden	Jenis Bencana	Probabilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Total Score	Indek risiko bencana
R1	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R1	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R1	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R1	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R2	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R2	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R2	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R2	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R3	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R3	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R3	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R3	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R4	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R4	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R4	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R4	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R5	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R5	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R5	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R5	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R6	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R6	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R6	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R6	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R7	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R7	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R7	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R7	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R8	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R8	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R8	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R8	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R9	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R9	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R9	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R9	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R10	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R10	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R10	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R10	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R11	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R11	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R11	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R11	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R12	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R12	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R12	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R12	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R13	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R13	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R13	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R13	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R14	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R14	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R14	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R14	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R15	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R15	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R15	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R15	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R16	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R16	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R16	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R16	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R17	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R17	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R17	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57

R17	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R18	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R18	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R18	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R18	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R19	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R19	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R19	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R19	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R20	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R20	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R20	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R20	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R21	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R21	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R21	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R21	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R22	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R22	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R22	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R22	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R23	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R23	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R23	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R23	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R24	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R24	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R24	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R24	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R25	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R25	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R25	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R25	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R26	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R26	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R26	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R26	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R27	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R27	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R27	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R27	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R28	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R28	Durasi Hujan Ekstrim	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R28	Ketinggian Air Akibat Banjir	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R28	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R29	Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R29	Durasi Hujan Ekstrim	4	3	3	4	4	4	5	27	77,14
R29	Ketinggian Air Akibat Banjir	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57
R29	Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	5	3	4	3	3	3	3	24	68,57

Tabel Indeks Risiko Bencana

Responden	Jenis Bencana	Probabilitas	Dampak Manusia	Dampak Properti	Dampak Bisnis	Kesiapan	Tanggapan Internal	Tanggapan Eksternal	Total Score	Indeks risiko bencana
R1	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Banjir	4	5	4	3	4	5	5	29	82,86
R1	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R1	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R1	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R1	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R1	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	4	4	25	71,43
R1	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R2	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R2	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	4	4	25	71,43
R2	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R2	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R2	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R3	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R3	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R3	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R3	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R3	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R4	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R4	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R4	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R4	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R5	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R5	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R5	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R5	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	3	5	29	82,86
R6	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R6	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R6	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R6	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R6	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	3	3	27	77,14
R6	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R7	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R7	Tanah longsor	4	5	4	3	4	3	4	25	71,43
R7	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R7	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R7	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R8	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R8	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R8	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R8	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Banjir	2	4	5	4	5	3	4	27	77,14
R9	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R9	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R9	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R9	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R9	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R10	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R10	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R10	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R10	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R11	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R11	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R11	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R11	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R12	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R12	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R12	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R12	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R13	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R13	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R13	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R13	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R14	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R14	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R14	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R14	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R15	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R15	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R15	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R15	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R16	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R16	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R16	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R16	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R17	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00

R17	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R17	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R17	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	4	4	25	71.43
R17	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R17	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R17	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	28	80.00	
R17	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R18	Gempa bumi	3	3	5	3	4	4	4	25	71.43
R18	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R18	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R18	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R18	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R18	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R18	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R18	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R19	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R19	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R19	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R19	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R19	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R19	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R19	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R19	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R20	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R20	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R20	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R20	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R20	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R20	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R20	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R20	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R21	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R21	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R21	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R21	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R21	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R21	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R21	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R21	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R22	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R22	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R22	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R22	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R22	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R22	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R22	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R22	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R23	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R23	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R23	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R23	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R23	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R23	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R23	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R23	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R24	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R24	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R24	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R24	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R24	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R24	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R24	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R24	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R25	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R25	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R25	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R25	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R25	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R25	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R25	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R25	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R26	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R26	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R26	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R26	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R26	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R26	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R26	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R26	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R27	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R27	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R27	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R27	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R27	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R27	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R27	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R27	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R28	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R28	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R28	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R28	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R28	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R28	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R28	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R28	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R29	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R29	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R29	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R29	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R29	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R29	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R29	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R29	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R30	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R30	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R30	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R30	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R30	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R30	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R30	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R30	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R31	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R31	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R31	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R31	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R31	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R31	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R31	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R31	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R32	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R32	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R32	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R32	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R32	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R32	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R32	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R32	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R33	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R33	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R33	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R33	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R33	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86

R33	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R33	Angin puting bellung	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R33	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Gempa bumi	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R34	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R34	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R34	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R34	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R34	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R35	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R35	Letusan gunung api	3	3	5	4	4	3	4	25	71,43
R35	Tanah longsor	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R35	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R35	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R35	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R36	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R36	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R36	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R36	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R36	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R36	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R37	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R37	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R37	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R37	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R37	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R37	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R38	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R38	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R38	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R38	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R38	Angin puting bellung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R38	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R39	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R39	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R39	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R39	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R39	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R39	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R40	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R40	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R40	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R40	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R40	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R40	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R41	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R41	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R41	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R41	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R41	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R41	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R41	Angin puting bellung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R41	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R42	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R42	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R42	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R42	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R42	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R42	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R43	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R43	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R43	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R43	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R43	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R43	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R43	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R43	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R44	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R44	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R44	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R44	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R44	Angin puting bellung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R44	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R45	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R45	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R45	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R45	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R45	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R45	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R46	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R46	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R46	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R46	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R46	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R46	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R47	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R47	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R47	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R47	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R47	Angin puting bellung	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R47	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R48	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R48	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R48	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R48	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R48	Angin puting bellung	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R48	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R49	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R49	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77,14
R49	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43
R49	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R49	Angin puting bellung	4	4	3	4	5	4	4	28	80,00
R49	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	3	5	29	82,86
R50	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71,43

R50	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R50	Tsunami	3	3	3	3	4	3	4	25	71.43
R50	Letusan gunung api	4	4	5	4	5	4	4	28	80.00
R50	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R50	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R50	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R50	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R51	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R51	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R51	Tsunami	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R51	Letusan gunung api	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R51	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R51	Kekeringan	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R51	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R51	Hujan ekstrem	4	4	4	3	5	4	4	28	80.00
R52	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R52	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R52	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R52	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R52	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R52	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R52	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R52	Hujan ekstrem	4	4	4	3	5	3	5	29	82.86
R53	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R53	Banjir	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R53	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R53	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R53	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R53	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R53	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R53	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R54	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R54	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R54	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R54	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R54	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R54	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R54	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R54	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R55	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R55	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R55	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R55	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R55	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R55	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R55	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R55	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R56	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R56	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R56	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R56	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R56	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R56	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R56	Angin puting beliung	4	4	3	4	5	3	5	29	82.86
R56	Hujan ekstrem	4	5	4	3	5	4	4	28	80.00
R57	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R57	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R57	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R57	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R57	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R57	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R57	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R57	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R58	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R58	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R58	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R58	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R58	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R58	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R58	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R58	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R59	Gempa bumi	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R59	Banjir	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R59	Tsunami	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R59	Letusan gunung api	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R59	Tanah longsor	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R59	Kekeringan	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R59	Angin puting beliung	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R59	Hujan ekstrem	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R60	Gempa bumi	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R60	Banjir	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R60	Tsunami	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R60	Letusan gunung api	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R60	Tanah longsor	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R60	Kekeringan	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R60	Angin puting beliung	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R60	Hujan ekstrem	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R61	Gempa bumi	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R61	Banjir	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R61	Tsunami	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R61	Letusan gunung api	4	4	3	4	5	4	4	28	80.00
R61	Tanah longsor	4	5	4	3	5	3	5	29	82.86
R61	Kekeringan	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43
R61	Angin puting beliung	2	4	5	4	5	4	3	27	77.14
R61	Hujan ekstrem	3	3	5	3	4	3	4	25	71.43

Tabel Rekapitulasi Responden Skala Guttman

Jika: Ya = 1 Tidak = 0

Responden	Pernyataan														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
R1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
R10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R18	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
R19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
R20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R28	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
R30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R43	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
R44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R49	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
R50	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
R51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R53	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
R55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	60	61	60	60	61	60	60	60	60	58	61	61	60	61	59
Jumlah "ya"	902														

Tabel Rekapitulasi Responden variabel kondisi

Responder	Pernyataan														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
R1	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4
R2	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R3	4	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5
R4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4
R5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R6	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5
R7	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R8	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4
R9	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4
R10	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5
R11	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5
R12	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4
R13	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4
R14	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
R15	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R16	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R17	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4
R18	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
R19	4	3	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5
R20	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5
R21	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R22	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R23	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5
R24	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
R25	4	3	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R26	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R27	4	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
R28	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R29	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5	4
Total	116	121	121	140	121	129	131	129	122	134	120	128	130	129	132

Tabel Rekapitulasi Responden variabel kondisi

Responden	Pernyataan														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
R1	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	4	5
R2	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	4
R3	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4
R4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5	4
R5	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5	4
R6	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	5	4	5
R7	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4
R8	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
R9	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4
R10	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
R11	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	5
R12	4	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4
R13	4	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4
R14	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	5	4
R15	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	5	4
R16	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	4	5	4	5
R17	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	4	4
R18	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5
R19	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	4
R20	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	5
R21	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4
R22	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	5
R23	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4
R24	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	5
R25	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	4
R26	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	5
R27	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5
R28	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5
R29	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4	4	5	5	4	5
R30	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5
R31	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5
R32	4	3	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4
R33	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4
R34	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R35	4	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5
R36	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4
R37	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R38	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5
R39	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R40	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4
R41	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4
R42	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5
R43	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5
R44	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4
R45	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4
R46	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
R47	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R48	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5
R49	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4
R50	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
R51	4	3	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5
R52	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5
R53	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R54	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4
R55	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5
R56	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
R57	4	3	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R58	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R59	4	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5
R60	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5
R61	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5	4
Total	244	262	257	292	257	280	266	268	260	267	251	275	276	269	274

Tabel Rekapitulasi indikator Relevansi

Indikator Variabel Kondisi	Pernyataan	Relevan		Persentasi	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
Integritas Struktural	Kekakuan dan Stabilitas	60	1	98,36	1,64
	Kehandalan Struktural terhadap tekanan dan beban	61	0	100,00	0,00
	Kerusakan Struktural	60	1	98,36	1,64
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Kekasaran dan Keausan Permukaan jalan	60	1	98,36	1,64
	Kondisi Tanda Marka Jalan atau Petunjuk Arah	61	0	100,00	0,00
	Keadaan Fasilitas Pendukung	60	1		
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Ketersediaan Alat Berat dan Peralatan Operasional	60	1	98,36	1,64
	Kondisi Mesin dan Peralatan	60	1	98,36	1,64
Sistem Drainase dan Pengendalian Air	Efektivitas Sistem Drainase	58	3	95,08	4,92
	Kondisi Saluran Drainase dan Pengendalian Air	61	0	100,00	0,00
Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi Gedung Administrasi dan Fasilitas Karyawan	61	0	100,00	0,00
	Kebersihan dan Perawatan Bangunan Pendukung	61	0	100,00	0,00
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Ketersediaan dan Keandalan Pasokan Listrik	60	1	98,36	1,64
	Kondisi Kabel, Peralatan Listrik, dan Instalasi	61	0	100,00	0,00
Kondisi Jalan dan Akses	Kondisi Jalan Akses ke Pelabuhan	59	2	96,72	3,28

Jumlah Responden = 61

Jumlah Pertanyaan = 15

Jumlah Sel Data = Jumlah Responden x Jumlah Pertanyaan = 915

Jumlah kesalahan/error (e) = 10

Indeks Reprodusibilitas (IR) ≥ 0.90 --> valid

Indeks Skalabilitas (IS) ≥ 0.60 --> data konsisten

x = 6,5

Uji Koherensi : Uji ini utk mengukur seberapa baik data mengikuti pola hierarki

Uji Konsistensi : Uji ini utk mengukur tingkat konsistensi data dalam mengikuti skala

$$IR = 1 - \frac{\text{Jumlah Kesalahan}}{\text{Jumlah Sel Data}} = 1 - \frac{10}{915} = 1 - 10/915 = 0,989071 \dots \text{ok}$$

Indeks skalabilitas (H) dihitung dengan rumus berikut:

$$H = 1 - \frac{E}{M} = 0,996877 \dots \text{ok}$$

E = jumlah kesalahan yang terjadi (order violations) dari data aktual (jumlah pelanggaran total)

M = jumlah kesalahan maksimum yang mungkin terjadi (maksimum pelanggaran)

Jumlah kesalahan maksimum dihitung dengan formula:

$$M = \frac{n \times (p^2 - p)}{4} = 3202,5$$

n = jumlah responden = 61

p = jumlah item atau pertanyaan pada skala = 15

Tabel Triangulasi: Wawancara, Dokumen, dan Observasi

Tabel berikut menyajikan hasil triangulasi data dari tiga metode pengumpulan data utama: wawancara, dokumen, dan observasi. **Tabel ini memvalidasi konsistensi temuan penelitian melalui pendekatan multi-metode.**

Indikator	Parameter Indikator	Wawancara	Dokumen	Observasi	Kesimpulan Triangulasi
Integritas Struktural	Kekakuan, stabilitas, kerusakan struktural	Responden menyampaikan bahwa struktur pelabuhan tampak kokoh dan stabil, tanpa ada kerusakan signifikan yang terlihat.	Laporan inspeksi menyatakan baik	Inspeksi fisik tidak ada kerusakan	Konsisten, saling mendukung
Kondisi Permukaan dan Fasilitas Jalan	Kekasaran jalan, keausan permukaan, marka jalan	Wawancara dengan operator mengungkap adanya beberapa area jalan yang terasa agak kasar, namun secara umum masih bisa diterima.	Dokumentasi pemeliharaan rutin	Jalan dilihat mulus dan terawat	Saling menguatkan
Ketersediaan dan Kondisi Peralatan	Keberadaan alat berat, fungsi mesin, kondisi operasional	Beberapa informan mengeluhkan keperluan perbaikan alat berat yang belum tertangani secara optimal.	Daftar pemeliharaan menunjukkan kurang optimal	Beberapa alat rusak teramati	Divergen, butuh klarifikasi dan update
Sistem Drainase dan Pengendalian Air	Kapasitas drainase, pengendalian genangan air	Narasumber mengakui bahwa sistem drainase berjalan dengan baik dan mampu mengatasi genangan air sewaktu-waktu.	Prosedur pemeliharaan sistem ada	Drainase berfungsi baik di lapangan	Konsisten, saling melengkapi

Kondisi Bangunan Pendukung	Kondisi gedung administrasi, fasilitas pendukung	Responden menyatakan bahwa kondisi bangunan pendukung dalam keadaan terawat dan sesuai fungsi.	Catatan pemeliharaan lengkap	Bangunan dilihat dalam kondisi terjaga	Konsisten
Kondisi Sistem Energi dan Listrik	Pasokan listrik, keandalan energi, instalasi listrik	Para tenaga teknis melaporkan pasokan listrik cukup stabil dan instalasi terjaga dengan baik.	Laporan operasional energi stabil	Observasi menunjukkan instalasi aman dan berfungsi	Konsisten
Kondisi Jalan dan Akses	Kondisi jalan akses, lalu lintas operasional	Pengawas lapangan menyebut akses jalan lancar dan mendukung kelancaran operasi di pelabuhan.	Dokumentasi kondisi jalan akses	Akses jalan dan parkir terlihat baik	Validasi silang baik
Kesiapan Operasional	SOP, kesiapan SDM, kesiapan peralatan	Wawancara mengindikasikan SOP sudah dipahami staf, dan tim dianggap siap menjalankan operasional sesuai prosedur.	SOP operasional lengkap dan diterapkan	Proses operasi berjalan lancar	Validasi silang dan saling melengkapi
Pengelolaan Risiko Bencana	Kesadaran bencana, prosedur mitigasi, pelatihan	Narasumber menyatakan sudah ada pelatihan rutin dan prosedur mitigasi yang dijalankan dengan keseriusan.	Dokumen kebijakan mitigasi lengkap	Praktek mitigasi terlihat dilaksanakan	Konsisten, memperkuat hasil

Catatan Tambahan

1. Tabel ini merupakan hasil analisis triangulasi dari tiga metode pengumpulan data utama.
2. Kolom 'Wawancara' menggunakan bahasa natural yang diungkapkan langsung oleh responden.
3. Hasil yang divergen (seperti pada indikator peralatan) memerlukan verifikasi lebih lanjut.

Analisis Kerentanan Banjir di Kota Tarakan Berdasarkan RBI 2023

1. Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kerentanan banjir di Kota Tarakan dengan menggunakan Indeks Kerentanan Banjir (IKB) berdasarkan metode RBI 2023 yang dikeluarkan oleh BNPB dan BPBD. Penelitian ini menganalisis faktor-faktor sosial, fisik, ekonomi, dan lingkungan yang mempengaruhi kerentanan terhadap banjir.

2. Metodologi

Metode penelitian ini menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy untuk menghitung nilai dari masing-masing parameter kerentanan. Data dikumpulkan melalui survei lapangan, laporan dari BPS, dan proyeksi BMKG.

3. Data dan Parameter

3.1. Data Sosial

- Kepadatan Penduduk: 996,65 jiwa/km² (BPS Kota Tarakan, 2023)
- Rasio Jenis Kelamin: 107,27 (BPS Kota Tarakan, 2023)
- Persentase Penduduk Miskin: 6,10% (BPS Kota Tarakan, 2023)
- Rasio Umur Rentan: 29,98% (BPS Kota Tarakan, 2023)
- Rasio Disabilitas: 0,111% (PEP Tarakan Field, 2023)

3.2. Data Fisik

- Kualitas Bangunan: Tinggi (Observasi Lapangan, 2023)
- Aksesibilitas Jalan: Sedang (Observasi Lapangan, 2023)
- Fasilitas Umum: Tinggi (Observasi Lapangan, 2023)

3.3. Data Ekonomi

- Ketergantungan pada Sektor Pertanian dan Perikanan: 10,81% (BPS Kota Tarakan, 2022)
- Kerugian Ekonomi Akibat Banjir: Rp 889 miliar (BPBD Kota Tarakan, 2023)

3.4. Data Lingkungan

- Kerusakan Ekosistem Mangrove: Penurunan 51,73% (BMKG, 2023)
- Tingkat Polusi Air: Cemaran sedang (Penelitian Sungai Karang Anyar, 2023)
- Perubahan Iklim dan Cuaca Ekstrem: Peningkatan curah hujan dan suhu (BMKG, 2023)

4. Perhitungan

4.1. Indeks Kerentanan Sosial (IKS)

$$V_s = FM(0.6k_p) + FM(0.1r_{kp}) + FM(0.1r_{ku}) + FM(0.1r_{pm}) + FM(0.1r_{pd})$$

- V_s : Indeks Kerentanan Sosial
- FM: Fungsi Keanggotaan Fuzzy
- k_p : Indeks kepadatan penduduk
- r_{kp} : Indeks rasio jenis kelamin
- r_{ku} : Indeks rasio kelompok umur
- r_{pm} : Indeks rasio penduduk miskin
- r_{pd} : Indeks rasio penduduk disabilitas

$$V_s = (0.4 \times 0.8) + (0.1 \times 0.3) + (0.1 \times 0.3) + (0.1 \times 0.61) + (0.1 \times 0.05) = 0.446$$

4.2. Indeks Kerentanan Fisik (IKF)

$$V_f = FM(0.4v_{rm}) + FM(0.3v_{ru}) + FM(0.3v_{rk})$$

- V_f : Indeks Kerentanan Fisik
- FM: Fungsi Keanggotaan Fuzzy
- v_{rm} : Indeks kualitas bangunan
- v_{ru} : Indeks aksesibilitas jalan
- v_{rk} : Indeks kualitas fasilitas umum

$$V_f = 0.4 \times 0.7 + (0.3 \times 0.5) + (0.3 \times 0.7) = 0.64$$

4.3. Indeks Kerentanan Ekonomi (IKE)

$$V_e = FM(0.6v_{pd}) + FM(0.4v_{ip})$$

- V_e : Indeks Kerentanan Ekonomi
- FM: Fungsi Keanggotaan Fuzzy
- v_{pd} : Indeks kontribusi PDRB
- v_{lp} : Indeks kerugian lahan produktif

$$V_e = (0.5 \times 0.61) + (0.3 \times 0.4) + (0.2 \times 0.9) = 0.605$$

4.4. Indeks Kerentanan Lingkungan (IKL)

$$V_l = FM(0.4v_{hl}) + FM(0.3v_{ha}) + FM(0.2v_{hb}) + FM(0.1v_{rk})$$

- V_l : Indeks Kerentanan Lingkungan
- FM: Fungsi Keanggotaan Fuzzy
- v_{hl} : Indeks luas hutan lindung
- v_{ha} : Indeks luas hutan alam
- v_{hb} : Indeks luas hutan bakau/mangrove
- v_{rk} : Indeks luas rawa dan semak belukar

$$V_l = (0.4 \times 0.9) + (0.3 \times 0.7) + (0.3 \times 0.8) = 0.81$$

4.5. Indeks Kerentanan Banjir (IKB)

$$IKB = (V_s \times 0.4) + (V_f \times 0.25) + (V_e \times 0.25) + (V_l \times 0.1)$$

- IKB: Indeks Kerentanan Banjir
- V_s : Indeks Kerentanan Sosial
- V_f : Indeks Kerentanan Fisik
- V_e : Indeks Kerentanan Ekonomi
- V_l : Indeks Kerentanan Lingkungan

$$IKB = (0.446 \times 0.4) + (0.64 \times 0.25) + (0.605 \times 0.25) + (0.81 \times 0.1) = 0.57065$$

5. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kota Tarakan memiliki kerentanan sangat tinggi terhadap banjir dengan IKB sebesar 0.57065. Faktor-faktor yang berkontribusi signifikan

adalah kerusakan ekosistem mangrove, peningkatan polusi air, dan perubahan iklim yang memperburuk kondisi curah hujan dan suhu.

6. Kesimpulan

Dengan kerentanan yang sangat tinggi, Kota Tarakan memerlukan langkah-langkah mitigasi dan adaptasi yang kuat dan terkoordinasi untuk mengurangi risiko banjir. Peningkatan kualitas infrastruktur, pengelolaan sosial-ekonomi, serta perlindungan dan restorasi ekosistem mangrove dan penanganan pencemaran air adalah tindakan-tindakan krusial yang harus segera diambil.

7. Rekomendasi

1. Peningkatan kualitas infrastruktur bangunan dan jalan.
2. Program-program pengurangan kemiskinan dan pemberdayaan masyarakat rentan.
3. Restorasi ekosistem mangrove dan pengelolaan lingkungan.
4. Penanganan polusi air dan penerapan pengolahan limbah yang lebih ketat.
5. Adaptasi terhadap perubahan iklim dengan kebijakan yang sesuai.

Analisis Perhitungan Banjir Periode Ulang

Diketahui:

Rata-rata RR pada data Hujan	Standar deviasi RR data Hujan
16,14971963	20,38201199

Tabel Rekapitulasi Data Curah Hujan dan Perhitungan Statistik Tahunan (2013-2023)

NO	TAHUN KEJADIAN	R	\bar{R}	$(R - \bar{R})$	$(R - \bar{R})^2$	$(R - \bar{R})^3$	$(R - \bar{R})^4$
1	2013	117,400	118,11	-0,708	0,502	-0,355	0,252
2	2014	117,400	118,11	-0,708	0,502	-0,355	0,252
3	2015	103,600	118,11	-14,508	210,492	-3053,884	44306,771
4	2016	135,800	118,11	17,692	312,995	5537,404	97965,913
5	2017	157,200	118,11	39,092	1528,158	59738,259	2335268,104
6	2018	115,800	118,11	-2,308	5,328	-12,300	28,392
7	2019	132,000	118,11	13,892	192,978	2680,792	37240,664
8	2020	130,400	118,11	12,292	151,085	1857,087	22826,698
9	2021	101,100	118,11	-17,008	289,283	-4920,229	83684,887
10	2022	75,400	118,11	-42,708	1824,002	-77900,074	3326982,333
11	2023	91,200	118,11	-26,908	724,058	-19483,205	524260,571
JUMLAH		1277			5195,82	-4448,77	6313502,87

$\bar{R} = \frac{1277,30}{11} = 116,1181$							
$S = 22,794333$				Normal	=	Ok	cs
$a = -370,7307$				Log normal	=	No	ck
$CS = -0,031302$				Gumbel	=	No	No
$b = 578737.76$						O	O
				Log person'	=	K	K
$CK = \frac{2,1437505}{8} = 3,001469$							
$Cv = 0,1963029$							

Tabel Rekapitulasi Curah Hujan Maksimum Tahunan dan Perhitungan Logaritmik (2013-2023)

NO	TAHUN KEJADIAN	R max	Log X	$(\log x - \overline{\log X})^2$	$(\log x - \overline{\log X})^3$
1	2017	157,20 0	2,20	0,019	0,003
2	2016	135,80 0	2,13	0,006	0,000
3	2019	132,00 0	2,12	0,004	0,000
4	2020	130,40 0	2,12	0,003	0,000
5	2013	117,40 0	2,07	0,000	0,000
6	2014	117,40 0	2,07	0,000	0,000
7	2018	115,80 0	2,06	0,000	0,000
8	2015	103,60 0	2,02	0,002	0,000
9	2021	101,10 0	2,00	0,003	0,000
10	2023	91,200	1,96	0,009	-0,001
11	2022	75,400	1,88	0,032	-0,006
Rerata		116	2,057	0,007	0,000
JUMLAH		1277	22,63	0,08	0,00

$$\begin{aligned}
 1 \quad \overline{\log X} &= 2,057 \\
 2 \quad S \log X &= 0,089 \\
 3 \quad Cs &= -0,571
 \end{aligned}$$

Tabel Curah Hujan Periode Ulang dan Analisis Statistik

PU	S log X	$\overline{\log X}$	K	Xtr	R (mm)
2	0,089	2,057	0,094	2,0652	116,2181
5	0,089	2,057	0,857	2,1331	135,8636
10	0,089	2,057	1,205	2,1640	145,9026
25	0,089	2,057	1,737	2,2114	162,7037
50	0,089	2,057	2,112	2,2448	175,7046
10	0,089	2,057	1,902	2,2261	168,3072

$$Q = C.I.A$$

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dimana:

C = Koefisien Limpasan (tidak bersatuan)

I = Intensitas (mm/jam)

A = Luasan (Km²)

$$I = R_{24}/24 \times (24/t_c)^{2/3}$$

$$t_c = t_0 + t_f$$

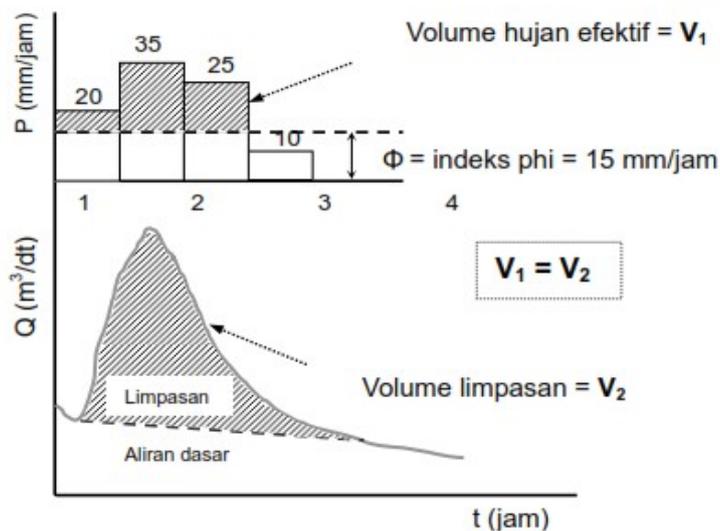
$$t_0 = 1,44 \times (n \times L / s^{0,5})^{0,467}$$

$$t_f = L/V$$

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

n = angka manning (material)

$$R = A/P = h \cdot b / (2h + b)$$



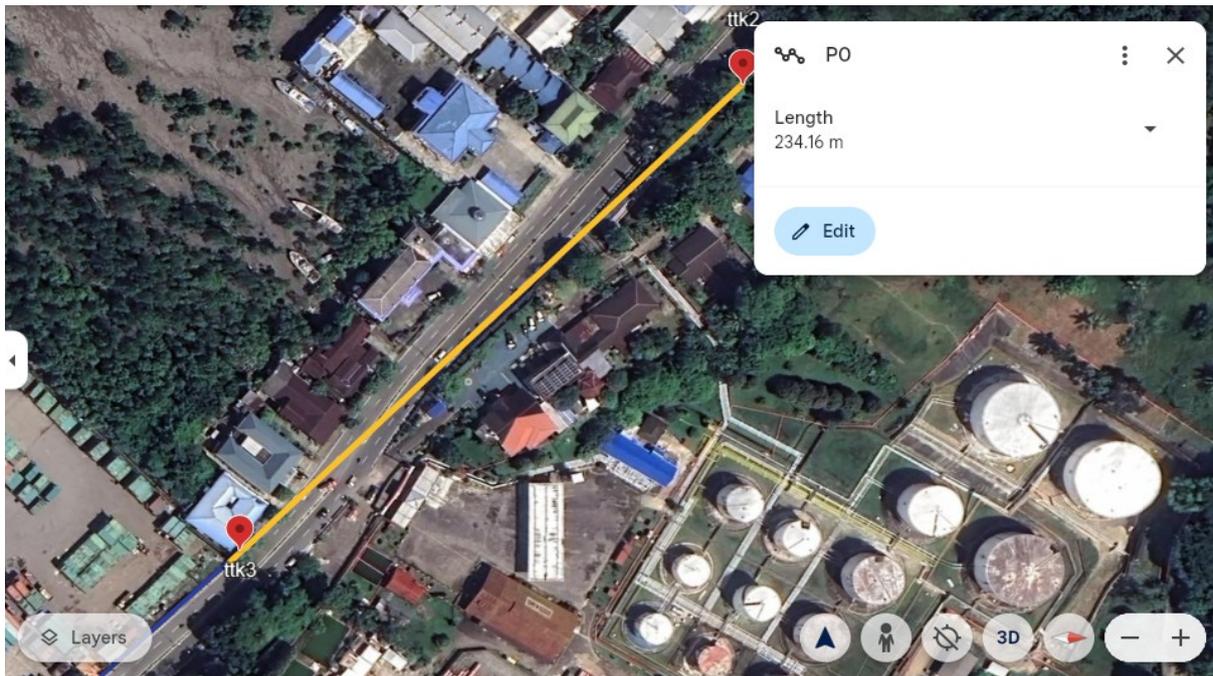
Koefisien Limpasan untuk Metoda Rasional
| (McGuen, 1989 dalam Suripin 2003)

No	Deskripsi Lahan / Karakter Permukaan	Koefisien C
1.	Bisnis	
	▪ Perkotaan ▪ Pinggiran	0,70 – 0,95 0,50 – 0,70
2.	Perumahan	
	▪ rumah tunggal	0,30 – 0,50
	▪ multiunit terpisah, terpisah	0,40 – 0,60
	▪ multiunit, tergabung	0,60 – 0,75
	▪ perkampungan	0,25 – 0,40
▪ apartemen	0,50 – 0,70	
3	Industri	
	▪ ringan ▪ berat	0,50 – 0,80 0,60 – 0,90
	Perkerasan	
	▪ aspal dan beton	0,70 – 0,95
	▪ batu bata, paving	0,50 – 0,70
	Atap	0,75 – 0,95
	Halaman, tanah berpasir	
	datar 2%	0,05 – 0,10
	rata-rata 2 – 7%	0,10 – 0,15
	curam 7%	0,15 – 0,20
	Halaman tanah berat	
	datar 2%	0,13 – 0,17
	rata-rata 2 – 7%	0,18 – 0,22
	curam 7%	0,25 – 0,35
	Halaman kereta api	0,10 – 0,35
	Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
	Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
	Hutan	
	datar, 0 – 5%	0,10 – 0,40
	bergelombang, 5 – 10%	0,25 – 0,50
	berbukit 10 – 30%	0,30 – 0,60

Tabel Koefisien Aliran dan Penggunaan Tutupan Lahan

Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	C	Luas x C
Warehouse	0,12	0,75	0,09
Passenger Terminal	0,22	0,75	0,165
Office 1	0,05	0,75	0,0375
Office 2	0,02	0,75	0,015
tumpukan pipa	0,09	0,75	0,0675
Kontainer 1	0,09	0,75	0,0675
Kontainer 2	0,11	0,75	0,0825
kontainer 3	0,04	0,75	0,03
kontainer 4	0,05	0,75	0,0375
Jalan masuk + Halaman kontainer 1	3,4	0,7	2,38
Halaman kontainer 2	0,68	0,05	0,034
jalan akses masuk dan keluar	0,46	0,75	0,345
Halaman kontainer 3	1,05	0,1	0,105
Halaman kontainer 4	2,39	0,75	1,7925

Total	8,77	5,249
-------	------	-------



L Panjang saluran pada Pelabuhan = 4001,49 m

L_0 (Titik awal/hulu air hujan masuk ke saluran) = 234,16 m
 $t_f = L/V = 1225,20109$ 5 second 0,340333 jam

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} = 3,26598630 \text{ m/s}$$

$$R = A/P = h.b/2h+b = 1 \times 1 / (2 \times 1 + 1) = 0,33333333 \text{ m}$$

$$t_c = t_1 + t_2 \cdot \frac{0,0195}{60} \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

Dengan ;

L = panjang sungai / saluran

$$t_1 = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L_0 \left(\frac{nd}{S_{0,5}} \right) \right]^{0,167}$$

S = kemiringan rerata sungai / saluran

$$t_2 = \frac{L}{(60 \cdot V)}$$

$$\begin{aligned}
 t_1 &= 1085,71112 \\
 &20,4200182 \\
 t_2 &= 5 \\
 &1222,37389 && 0,339548 \\
 t_c &= 2 && \text{Second} && 3 \text{ jam} \\
 t_0 &= && && 0,982105 \\
 1,44x(ndxL/s^{0,5})^{0,467} &= 58,9263497 && \text{menit} && 8 \text{ jam} \\
 &1,32243946 \\
 t_c = t_0 + t_f &= 6 && \text{jam} \\
 &41,9831898 \\
 I = R_{24}/24 \times (24/t_c)^{2/3} &= 8 && \text{mm/jam} \\
 &0,61262794 && \text{m}^3/ \\
 Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A &= 3 && \text{sekon}
 \end{aligned}$$



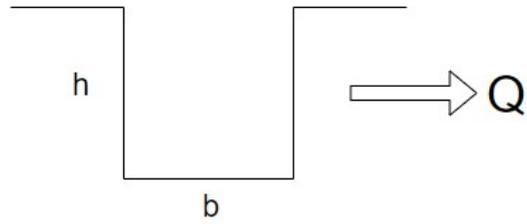
Luas genangan = volume

$$\begin{aligned}
 \text{Luas area} &= && 175942,43 && \text{m}^2 \\
 \text{tinggi banjir} &= && 0,6 && \text{m} \\
 \text{Volume} &= && 105565,458 && \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Skenario

- 1 Perubahan dimensi saluran
- 2 Penambahan pompa air pada saluran drainase

Dimensi
Bentuk Persegi



$$Q = A.V$$
$$Q = (b.h).V$$

$$0,612627943 = b.h$$
$$3,265986$$
$$3$$

$$0,187578234 = h.h$$

$$0,187578234 = h^2$$

$$h = 0,433103029 \text{ dibulatkan menjadi } 0,5 \text{ m}$$

Sehingga dimensi yang dibuat adalah tinggi 0,5 m dan lebar 0,5 m

Tabel Analisis Risiko

KEJADIAN	KONDISI SULIT = (UKURAN KEKUATAN - MITIGASI)																																		
	PELUANG				Rata-rata	DAMPAK MANUSIA				Rata-rata	DAMPAK PROPERTI				Rata-rata	DAMPAK BISNIS				Rata-rata	KESIAPAN				Rata-rata	TANGGAPAN DARI DALAM				Rata-rata	TANGGAPAN DARI LUAR				Rata-rata
	Kemungkinan Kejadian					Kemungkinan meninggal atau cedera					Kerugian dan kerusakan fisik					Gangguan layanan					Pra perencanaan					Waktu, efektivitas, sumber daya					Masyarakat/Staff saling bantu dan persediaan				
	0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
SKOR	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3							
Curah Hujan dalam Waktu Tertentu (misalnya per jam atau per hari)	1	6	29	25	2,28	15	21	19	6	1,26	9	19	23	10	1,56	10	18	22	11	1,56	2	23	31	5	1,64	0	18	38	5	1,79	1	14	37	9	1,89
Durasi Hujan Ekstrem	2	15	27	17	1,97	9	27	15	10	1,43	4	17	30	10	1,75	2	13	25	21	2,07	1	24	31	5	1,66	2	16	36	7	1,79	2	12	40	7	1,85
Ketinggian Air Akibat Banjir	2	15	25	19	2,00	8	26	21	6	1,41	1	16	31	13	1,92	0	10	30	21	2,18	2	19	30	10	1,79	0	14	41	6	1,87	1	11	38	11	1,97
Frekuensi Banjir dalam Waktu Tertentu (misalnya per tahun)	2	18	24	17	1,92	6	29	23	3	1,38	3	19	30	9	1,74	1	17	26	17	1,97	1	23	31	6	1,69	1	18	35	7	1,79	1	13	37	10	1,92
JUMLAH	7	54	105	78		38	103	78	25		17	71	114	42		13	58	103	70		6	89	123	26		3	66	150	25		5	50	152	37	

Tabel Risiko berdasarkan kejadian

EVENT	PROBABIL ITY	SEVERITY = (MAGNITUDE - MITIGATION)						RISK
		HUMAN IMPACT	PROPERT Y IMPACT	BUSINESS IMPACT	PREPARED- NESS	INTERNAL RESPONSE	EXTERNAL RESPONSE	
	<i>Likelihood this will occur</i>	<i>Possibility of death or injury</i>	<i>Physical losses and damages</i>	<i>Interuption of services</i>	<i>Preplanning</i>	<i>Time, effectivness, resouces</i>	<i>Community/ Mutual Aid staff and</i>	<i>Relative threat*</i>
SCORE	0 = N/A 1 = Low 2 = Moderate 3 = High	0 = N/A 1 = Low 2 = Moderate 3 = High	0 = N/A 1 = Low 2 = Moderate 3 = High	0 = N/A 1 = Low 2 = Moderate 3 = High	0 = N/A 1 = High 2 = Moderate 3 = Low or none	0 = N/A 1 = High 2 = Moderate 3 = Low or none	0 = N/A 1 = High 2 = Moderate 3 = Low or none	0 - 100%
Curah Hujan	2,28	1,26	1,56	1,56	1,64	1,79	1,89	41%
Durasi Hujan Ekstrem	1,97	1,43	1,75	2,07	1,66	1,79	1,85	38%
Ketinggian Air Akibat Banjir	2,00	1,41	1,92	2,18	1,79	1,87	1,97	41%
Frekwensi banjir	1,92	1,38	1,74	1,97	1,69	1,79	1,92	37%
<i>*Threat increases with percentage.</i>								
AVERAGE SCORE	2,04	1,37	1,74	1,94	1,69	1,81	1,91	39%

$$\text{RISK} = \text{PROBABILITY} * \text{SEVERITY} \longrightarrow 0,40 = 0,68 \times 0,58$$

Vulnerability Index = Probability/Potensial Impact Hazard Nature + Adaptive Weight

$$\text{Vulnerability Index} = 2,04 + 0,84 = 2,88$$

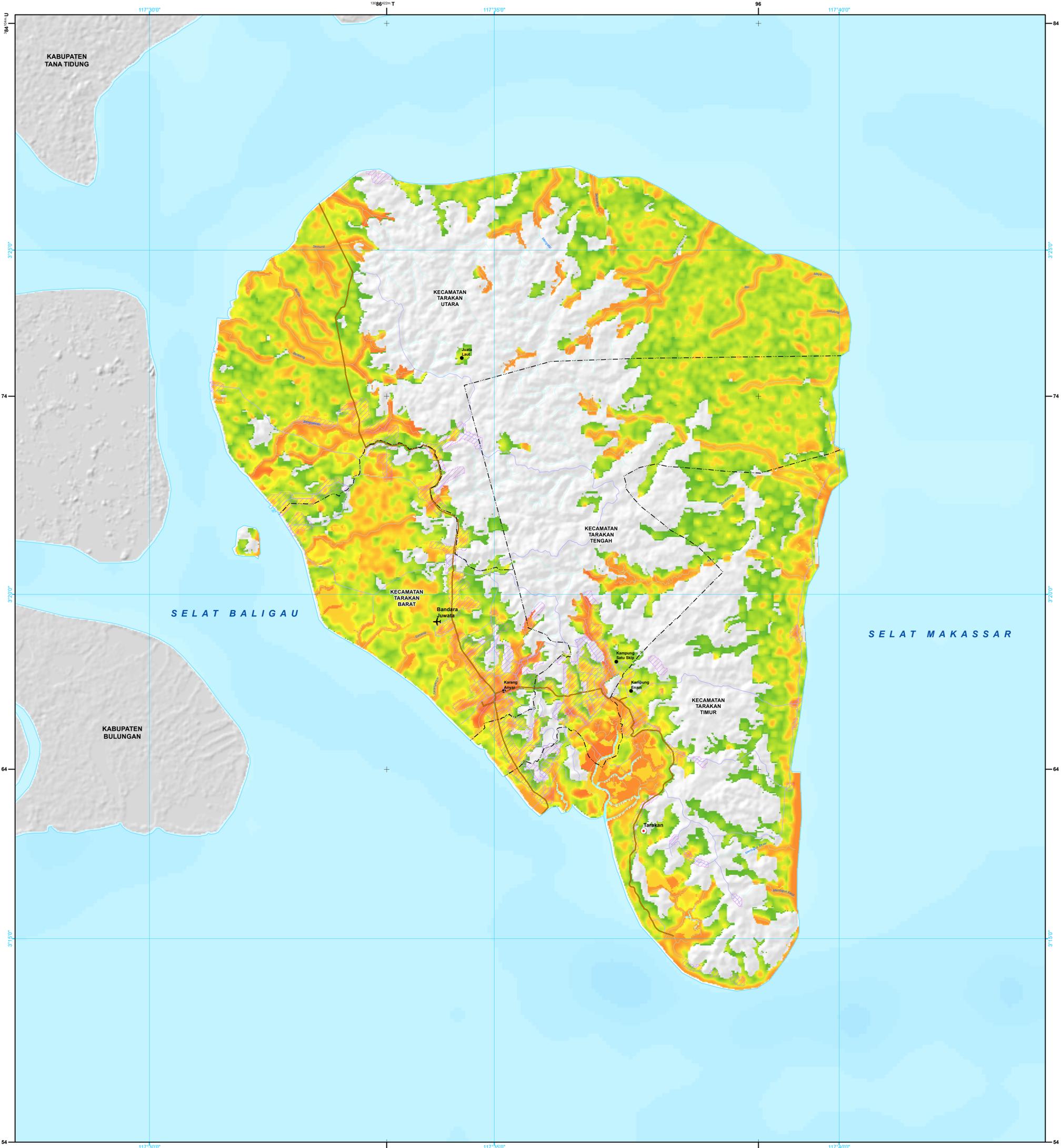
Vulnerability Index				
VI = 2,88				
<1 – 1,8>	(1,8 – 2,6>	(2,6 – 3,4>	(3,4 – 4,2>	(4,2 – 5>

Vulnerability Index values

VI value	Deskripsi
<1;1.8	Tingkat kerawanan Infrastruktur sangat minim. Indikator kerawanan menunjukkan bahwa daerah (area) yang diteliti memiliki tingkat kerawanan yang minimal dibandingkan dengan rata-rata kerawanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat kemungkinan dampak yang dapat diabaikan yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrem tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang tinggi. Dalam tugas perencanaan jangka panjang yang ditujukan untuk mempertahankan tingkat kesiapsiagaan masyarakat dan memantau faktor risiko, perubahan yang dapat meningkatkan tingkat kerentanan harus disertakan.
>1.8;2.6	Tingkat kerawanan infrastruktur rendah. Indikator kerentanan infrastruktur menunjukkan bahwa daerah (area) yang diteliti kurang rentan dibandingkan dengan rata-rata kerentanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat kemungkinan dampak yang dapat diterima yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrim tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang memadai. Dalam tugas perencanaan jangka panjang, yang ditujukan untuk mengurangi faktor risiko yang dapat membahayakan wilayah yang diperiksa dan mempertahankan tingkat kapasitas yang diperlukan untuk mengatasi kemungkinan krisis, kejadian harus disertakan.

<p>>2.6;3.4</p>	<p>Tingkat kerawanan infrastruktur sedang. Indikator kerawanan infrastruktur menunjukkan bahwa kerawanan daerah (area) yang diteliti sebanding dengan rata-rata kerawanan di negara tersebut. Dapat dikatakan bahwa wilayah yang diperiksa menunjukkan tingkat sedang kemungkinan dampak yang disebabkan oleh peristiwa cuaca ekstrim tertentu. Kesiapsiagaan dalam hal sumber daya material dan kapasitas personel berada pada tingkat yang dapat ditoleransi, tetapi dalam kasus bencana skala besar mungkin tidak mencukupi. Dalam perencanaan krisis, dalam aspek jangka menengah, tugas-tugas yang ditujukan untuk mengurangi tingkat kerentanan masyarakat dan meningkatkan tingkat kesiapsiagaan menghadapi cuaca ekstrim, kejadian-kejadian harus dimasukkan.</p>
<p>>3.4;4.2</p>	<p>Tingkat kerawanan infrastruktur tinggi. Infrastruktur memiliki beberapa bagian yang sangat sensitif terhadap kejadian cuaca ekstrim. Jaringan transportasi dan masyarakat kurang siap menghadapi potensi kejadian ekstrim dan sangat sensitif terhadap dampak kejadian tersebut hampir di segala aspek. Jaringan transportasi bisa sangat terganggu sehingga tidak mungkin menyediakan layanan penting bagi masyarakat. Penting untuk mengadopsi langkah-langkah untuk mengurangi kerentanan infrastruktur dan untuk memastikan tingkat sumber daya dan kapasitas personel yang lebih tinggi untuk mengatasi peristiwa cuaca ekstrem.</p>
<p>4.2;5></p>	<p>Tingkat kerawanan infrastruktur sangat tinggi. Jaringan transportasi mengandung banyak bagian kritis, yang membuatnya lebih rentan. Selain itu, jaringan transportasi dan masyarakat kurang siap menghadapi peristiwa krisis masing-masing dan mereka juga sangat peka terhadap dampak peristiwa krisis hampir dalam segala hal. Jaringan transportasi bisa sangat terganggu sehingga tidak mungkin menyediakan layanan penting bagi masyarakat. Diperlukan langkah-langkah untuk mengurangi kerentanan sesegera mungkin karena jika terjadi peristiwa krisis, dampak yang luas dapat terjadi pada masyarakat.</p>

PETA RISIKO BENCANA BANJIR DI KOTA TARAKAN



Legenda

Ibukota, Bandara, Pelabuhan

- Ibukota Kabupaten/Kota
- Ibukota Kecamatan
- Bandara
- Pelabuhan

Jaringan Jalan

- Jalan Arteri
- Jalan Kolektor
- Jalan Lokal
- Jalan Kereta Api

Lainnya

- Sesar Aktif
- Pemukiman
- Tidak Ada Potensi Bahaya

Batas Administrasi

- Batas Kabupaten/Kota
- Batas Kecamatan
- Batas Desa

Perairan

- Garis Pantai
- Sungai
- Danau/Waduk

Indeks Risiko Bencana Banjir

0 0.3 0.6 1.0

Rendah Sedang Tinggi



U

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4

Kilometers

Skala
1 : 50.000 pada ukuran A1
1 cm di peta sama dengan 0.5 km di lapangan

ID Peta : Peta_Risiko_Bencana_Banjir
Dibuat Tanggal : 30 September 2016

Metodologi dan Zonasi Risiko Bencana :
Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)

Disclaimer :
Peta ini digunakan sebagai acuan dalam penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana (RPB) tingkat Kabupaten/Kota. Penggambaran batas administrasi dan nama geografi, tidak dapat digunakan sebagai referensi resmi mengenai batas sesungguhnya di lapangan, dan tidak menyiratkan pengesahan resmi dari BNPB
Peta dapat dilihat dengan jelas pada ukuran kertas A1.

Proyeksi Lokal :
World Mercator

Unit Grid :
Geografis : Interval Antar Grid 5 Menit
UTM : Zona 50 N Interval Antar Grid 10.000 Meter

Unit Datum :
WGS 84

Gambar Latar :
Hillshade SRTM 30 dan Bathymetri SRTM 15 Plus

Ibukota, Bandara, dan Pelabuhan :
BIG, 2013 dan Kementerian Perhubungan, 2012

Peta Dasar :
Peta Digital Rupabumi Skala 1 : 25.000, BIG, 2013

Batas Administrasi :
BPS, 2014

Sumber Data :
- Hasil Kajian Risiko Bencana dengan 3 komponen yaitu Bahaya (H), Kerentanan (V), dan Kapasitas (C)
- Formula Risiko yang digunakan $R = H \times V/C$
- Detail metodologi dan klasifikasi parameter dapat dilihat di buku Pedoman Kajian Risiko Bencana Nasional, BNPB, 2012.

BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA (BNPB)
Gedung GRAHA BNPB Jl. Pramuka Kav. 38, Jakarta Timur
Telp. (021) 21281200, Fax. (021) 21281200

PEMERINTAH KOTA TARAKAN
Jl. Skip Tarakan - Kalimantan Timur
Telp. (0551) 34200 Fax. (0551) 34200

Disusun Oleh : PT. CATURBINA GUNA PERSADA