



31000Z0085224



RSKe
658.155
Ann
1-1
2020

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	16-6-2020
Terima Dari	HP
No. Agenda	—

FINAL PROJECT - MO184804

RISK ASSESSMENT ON ONSHORE PIPELINE IN
RIAU

Daris An-Nahdah

Reg. Number 04311640000125

Supervisors :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2020

LEMBAR PENGESAHAN

RISK ASSESSMENT PADA ONSHORE PIPELINE DI RIAU

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

DARIS AN-NAHDAH

NRP. 04311640000125

Disetujui Oleh:

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Dosen Pembimbing 1)



2. Silvanita, S.T., M.S., Ph.D. (Dosen Pembimbing 2)



3. Prof. Ir. Soegiono (Dosen Penguji 1)



4. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Dosen Penguji 2)



SURABAYA, JANUARI 2020

RISK ASSESSMENT PADA ONSHORE PIPELINE DI RIAU

Nama : Daris An-Nahdah
NRP : 04311640000125
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Pipeline dikenal sebagai sarana transportasi yang paling aman untuk mendistribusikan fluida baik dalam bentuk liquid maupun gas. Sama halnya dengan peralatan lain pada umumnya, pipa juga dapat mengalami kegagalan dan memerlukan program inspeksi. Munculnya kegagalan pada pipa akan berdampak pada masyarakat disekitar jalur pipa serta kerusakan dan pencemaran pada lingkungan. Salah satu penyebab utama terjadinya kegagalan pada pipa adalah korosi. Oleh sebab itu, perlu adanya suatu penilaian risiko untuk mengetahui peluang kegagalan, konsekuensi kegagalan, serta tingkat risiko pada sistem perpipaan terutama terhadap korosi. *Pipeline risk assessment* adalah salah satu metode yang paling baik untuk mengidentifikasi suatu kejadian potensial tidak hanya yang menyebabkan gangguan pada operasional melainkan juga pada kejadian yang berhubungan dengan *safety* dan masalah lingkungan. Penelitian ini membahas tentang penilaian risiko pada pipa distribusi *crude oil* dari GS-3 (*Gathering Station*) sampai NBS (*North Booster Station*) sepanjang 11.1 km. Penilaian risiko pada penelitian ini menggunakan code API 581 dan dilakukan secara semikuantitatif yang mana perhitungan peluang kegagalan menggunakan metode simulasi Monte Carlo didapatkan hasil sebesar 0.0149 dan konsekuensi kegagalan ialah luas area yang terkena dampak dari terjadinya kebocoran yaitu seluas 2094.77 ft². Sehingga didapatkan hasil tingkat risiko pada pipa *crude oil* 12” dari GS-3 sampai NBS milik PT. X termasuk dalam kategori menengah atau medium.

Kata kunci: pipa, *risk assessment*, analisa tingkat risiko

RISK ASSESSMENT ON ONSHORE PIPELINE IN RIAU

Name : Daris An-Nahdah
Reg. Number : 04311640000125
Departement : Teknik Kelautan FTK-ITS
Supervisors : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.
Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstract

Pipelines are known as the safest of transportation to distribute fluids in both liquid and gas forms. As other equipment in general, the pipe can also fail and require an inspection program. The emergence of a failure on the pipe will have an impact on the community around the pipeline as well as damage and pollution to the environment. One of the main causes of failure of the pipe is corrosion. Therefore, it is necessary to have a risk assessment to determine the probability of failure, the consequences of failure, and the level of risk in the piping system, especially against corrosion. Pipeline risk assessment is one of the best methods for identifying a potential event, not only that causes of operational disruption but also in events related to safety and environmental problems. This study discusses the risk assessment on the crude oil distribution pipeline from GS-3 (Gathering Station) to NBS (North Booster Station) along 11.1 km. Risk assessment in this study uses API 581 code and is conducted semi quantitatively in which the calculation of the probability of failure using the Monte Carlo simulation method is 0.0149 and the consequence of failure is the area affected by leakage which is 2094.77 ft². So, we get the results of the level of risk in the 12" crude oil pipe from GS-3 to NBS owned by PT. X is included in the medium or medium category.

Key Words: Pipeline, Risk Assessment, Risk Level Analysis.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Penulis memanjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat dilancarkan dalam pengerjaan sampai dengan penyelesaian tugas akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul "*Risk Assessment pada Onshore Pipeline di Riau*".

Tugas Akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Besar harapan penulis Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi untuk perusahaan dalam mengambil keputusan berdasarkan hasil kajian risiko, dan dapat membantu pihak-pihak lainnya yang membutuhkan informasi di bidang teknik kelautan.

Dalam Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa tidak ada satupun hal di dunia ini yang sempurna, dimana masih banyak kekurangan baik dalam penulisan, pemilihan variabel, dan parameter. Oleh sebab itu, sangat diharapkan saran dan kritik membangun dari pembaca agar dapat menjadi evaluasi untuk laporan kedepannya. Akhir kata, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi sumber ilmu bagi para penulis selajutnya khususnya mahasiswa/i Jurusan Teknik Kelautan ITS.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2020

Daris An-Nahdah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur atas segala rahmat dan karunia kepada Allah SWT. Serta mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, dukungan, dan semangat yang telah diberikan oleh berbagai pihak selama penulisan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Abi, Umi, dan Adik penulis yang telah memberikan semangat, doa, dan dukungan baik moral maupun materil, juga mendidik dan memberi kasih sayang yang tiada habisnya kepada penulis.
2. Prof. Daniel, dan Ibu Silvianita, kedua dosen pembimbing penulis yang selalu sabar membimbing hingga penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini, terimakasih untuk ilmu dan waktu yang telah bapak dan ibu berikan.
3. Bapak Hasan selaku dosen wali penulis selama 3.5 tahun ini, terima kasih telah memberikan penulis nasihat, bimbingan, serta kesabaran selama ini.
4. Bapak Herman, selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan beserta seluruh staff dan karyawan departemen Teknik Kelautan yang telah membantu perizinan dan administratif Tugas Akhir ini.
5. Inez, Enggay, Nurika, Vanti, Yohana, Yujo yang selalu menguatkan, memotivasi, dan menemani suka duka penulis hingga selesainya Tugas ini.
6. Yasser dan Beni, selaku kelompok TRB 3 bersama penulis yang senantiasa menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Mas Juni selaku pemberi semangat terbanyak kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini, yang selalu mengingatkan kepada penulis bahwasannya menjaga kesehatan adalah hal yang paling penting.
8. Teman-teman satu bimbingan manajemen, yang telah memberikan masukan dan saran selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman Adhiwamastya, dan alumni-alumni Teknik Kelautan ITS yang telah membantu perkuliahan penulis, menjadi teman berdiskusi/*brainstorming* dan memberikan masukan/kritik berdasarkan pengalaman selama kuliah.

10. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung atau tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terimakasih atas segala bantuannya, semoga Allah SWT melimpahkan balasan berupa berkah dan rahmat yang tiada habisnya. Amin.

Surabaya, Januari 2020

Daris An-Nahdah.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Definisi Korosi	8
2.2.2 Tipe Korosi Internal yang Terjadi pada Pipa	8
2.2.3 Penyebab terjadinya Korosi Internal	9
2.2.4 Pengendalian Korosi Internal	10
2.2.5 <i>Risk Based Inspection</i>	11
2.2.6 Konsep Keandalan Struktur	13
2.2.7 Metode Simulasi Monte Carlo	14
2.2.8 Moda Kegagalan terhadap Kebocoran.....	16
2.2.9 Analisa Konsekuensi Semi-Kuantitatif.....	17
2.2.10 Rekomendasi Jadwal Inspeksi.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Metode Penelitian	26
3.2 Diagram Pehitungan Peluang Kegagalan terhadap Kebocoran.....	29

3.3	Diagram Perhitungan Konsekuensi Kegagalan terhadap Kebocoran	32
3.4	Data Penelitian.....	33
3.5	Lokasi Penelitian	34
3.6	Timeline Penelitian.....	35
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Data Utama.....	36
4.2	Perhitungan Peluang Kegagalan Pipa terhadap Kebocoran	36
4.3	Analisa Konsekuensi Lingkungan dengan Menggunakan Metode Kuantitatif RBI.....	39
4.3.1	Menentukan Sifat dan Jenis Fluida Representatif.....	39
4.3.2	Analisa Laju Pelepasan Fluida	39
4.3.3	Menentukan Jenis Kebocoran	40
4.3.4	Analisa Luas Daerah Akibat Kebocoran.....	41
4.3.5	Frekuensi Kerusakan Generik	43
4.3.6	Analisa Konsekuensi Kegagalan	43
4.4	Analisa Tingkat Risiko Lingkungan	44
4.5	Rekomendasi Interval Inspeksi.....	45
4.6	Prosedur <i>Intelligent Pigging</i>	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51
LAMPIRAN A DATA INSPEKSI KETEBALAN PIPA		52
LAMPIRAN B SIMULASI <i>MONTE CARLO</i>		57
LAMPIRAN C TABEL API 581 UNTUK ANALISA RISIKO.....		110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi pipa objek penelitian (Sumber: PT. X)	3
Gambar 2. 1 Matriks Risiko (API 581)	12
Gambar 2. 2 Fungsi kerapatan peluang (f _{kp}) dari kapasitas X dan tuntutan Y (Rosyid, 2007).....	14
Gambar 2. 3 <i>Flammable Event Tree</i> (API 581).....	21
Gambar 2. 4 Matriks Risiko Interval Inspeksi (DNV RP G-101).....	23
Gambar 2. 5 Intelligent Pig (sumber: PT. X).....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Alur Simulasi Monte Carlo	29
Gambar 3. 3 Diagram Alur Konsekuensi Kegagalan	32
Gambar 3. 4 Rute onshore pipeline (Sumber: PT.X)	34
Gambar 4. 1 Grafik peluang kegagalan pipa	38
Gambar 4. 2 Laju Pelepasan Fluida	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ukuran lubang kebocoran (API 581).....	18
Tabel 2. 2 Kategori peluang kegagalan (API 581).....	22
Tabel 2. 3 Kategori konsekuensi lingkungan (API 581).....	22
Tabel 3. 1 Data utama onshore pipeline (Sumber: PT. X)	33
Tabel 4. 1 Distribusi statistik ketebalan pada pipa (mm)	37
Tabel 4. 2 Peluang kegagalan pipa terhadap kebocoran	38
Tabel 4. 3 Laju pelepasan fluida	40
Tabel 4. 4 Jenis Pelepasan Fluida	41
Tabel 4. 5 Luas daerah kerusakan akibat kebocoran.....	42
Tabel 4. 6 Luas daerah berbahaya akibat kebocoran	42
Tabel 4. 7 Frekuensi dan fraksi kerusakan generik.....	43
Tabel 4. 8 Luas daerah konsekuensi kegagalan	43
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan analisa risiko terhadap lingkungan.....	44
Tabel 4. 10 Hasil interval inspeksi.....	45



BAB 1

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak dan gas bumi merupakan sumber daya alam yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan kapasitas produksi migas tertinggi di Asia Tenggara. Kebutuhan akan minyak dan gas memang cukup tinggi sampai saat ini. Meskipun telah dilakukan upaya penelitian dan pencarian sumber energi alternatif setiap tahunnya, nyatanya kebutuhan energi tetap meningkat dengan energi minyak dan gas sebagai energi utama dalam pemenuhan kebutuhan. Hal tersebut menjadikan industri migas semakin memegang peranan penting dalam kehidupan saat ini. Riau sendiri adalah salah satu daerah penyumbang *crude oil* terbanyak untuk Indonesia. Kisaran rata-rata 2 miliar barrel telah disumbangkan Riau untuk memenuhi kebutuhan akan migas Indonesia. Guna menunjang kegiatan industri migas diperlukan mode transportasi untuk mendistribusikan minyak dan gas.

Menurut Widharto (2002), tidak ada satupun industri industri yang di dalam proses produksinya menggunakan tekanan dan transportasi media yang tidak menggunakan insulasi perpipaan, oleh karenanya perpipaan dapat dikatakan sebagai urat nadi industri yang fungsinya sangat vital di dalam proses produksi. Sejumlah besar produk minyak dan gas diangkut dan didistribusikan melalui jaringan pipa, yang pada umumnya dapat membentang hingga ribuan kilometer. Dalam industri migas sendiri, *pipeline* merupakan komponen utama dalam pendistribusian minyak dan gas baik di darat (*onshore*) maupun di lepas pantai (*offshore*) serta merupakan salah satu metode yang paling praktis dan terjangkau sejak 1950 (Haryadi, dkk., 2016). Proses pendistribusian migas ada kalanya dilakukan melalui pipa yang melewati perkotaan, pemukiman penduduk dan tempat-tempat penting lainnya. Sehingga, dalam hal ini penting bagi sebuah *pipeline* untuk beroperasi dengan aman sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitarnya. Sistem pipa penyalur adalah rangkaian pipa yang digunakan sebagai sarana transportasi fluida dengan jarak yang cukup panjang. Fluida yang terkandung didalam pipa umumnya memiliki sifat mudah terbakar bahkan mengandung racun. Kondisi ini mengakibatkan risiko

apabila peralatan mengalami kegagalan salah satu kegagalan yang diakibatkan oleh sifat fluida yang mengalir di dalam pipa adalah korosi. Meskipun dalam tahap desain degradasi material sudah dipertimbangkan dengan memberikan batas umur operasi, namun akibat sulitnya mengontrol dan tidak seragamnya laju korosi untuk setiap lokasi, maka kegagalan yang mengakibatkan kebocoran pipa masih sering terjadi.

Menurut Jones (1996), korosi adalah hasil destruktif reaksi kimia logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Korosi merupakan penyebab adanya kegagalan yang paling tinggi. Korosi didefinisikan sebagai suatu proses penurunan mutu suatu material logam. Korosi dapat menjadi masalah yang serius dalam dunia material dan sangat merugikan karena dapat mengurangi kemampuan suatu konstruksi. Pada saat beroperasi, suatu *pipeline* akan mengalami kontak langsung dengan lingkungan yang ada di luar maupun yang ada didalam *pipeline*. Pada *pipeline* dari GS-3 (*Gathering Station*) menuju NBS (*North Booster Station*) yang berada di daerah Minas ini, aliran yang mengalir didalamnya mengandung unsur C^{25+} yang cukup tinggi. Sedangkan C^{25+} merupakan salah satu unsur kimia yang sangat reaktif dengan lingkungan yang ada disekitarnya sehingga dapat memunculkan permasalahan *internal corrosion* yang akan mengakibatkan cacat pada dinding pipa. Suatu penelitian tentang analisa risiko pada pipa telah dilakukan oleh Lubis (2010) dengan objek penelitiannya adalah *reducer pipeline*, menyimpulkan bahwa risiko kegagalan pada *reducer pipeline* akibat *internal corrosion* adalah masuk dalam kategori menengah. Penelitian yang hampir serupa oleh Hakim (2010) mengenai analisa risiko pada *elbow pipe* akibat *internal corrosion* yang masuk dalam kategori menengah tinggi. Walaupun tidak sebesar yang terjadi pada *elbow pipe*, korosi pada pipa lurus juga dapat mempengaruhi kinerja *pipeline* dalam mendistribusikan migas. Kemungkinan kegagalan struktur pipa akibat penipisan dinyatakan bahwa batas ketebalan korosi maksimum yang diijinkan pada suatu pipa ialah tidak boleh lebih dari 80% tebal pipa. Maka dari itu, bilamana ketebalan *pipeline* terindikasi kurang dari 20% tebal awal sebelum pengoperasian selesai maka dapat dikatakan *pipeline* tersebut mengalami keretakan (Sumber: ASME B31. G, 1991).

PT. X sebagai salah satu *oil and gas company* terbesar di Indonesia yang memproduksi *crude oil* hingga 2 miliar barrel serta menjadi salah satu penyumbang minyak terbanyak di Indonesia, sangatlah penting bagi pertumbuhan ekonomi bangsa Indonesia khususnya dari bidang migas. Maka, pada penelitian ini akan dilakukan penilaian risiko pada pipa lurus akibat *internal corrosion* dengan menggunakan bantuan metode simulasi Monte Carlo untuk menentukan peluang kegagalan dan untuk konsekuensi kegagalannya ditinjau pada luas daerah yang mengalami dampak kebakaran akibat suatu kebocoran serta konsekuensi terhadap keselamatan. *Code* yang digunakan sebagai acuan ataupun panduan pada penelitian ini adalah ASME B31. G (1991), API RP 581 (2016), dan DNV RP-F107. Peta lokasi pipa PT. X yang digunakan untuk *risk assessment* pada *pipeline* adalah sebagai berikut.



Gambar 1. 1 Lokasi pipa objek penelitian (Sumber: PT. X)

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai topik permasalahan antara lain sebagai berikut:

1. Berapa peluang kegagalan (*probability of failure*) terhadap kebocoran akibat *internal corrosion* pada *crude oil pipeline*?

2. Berapa konsekuensi kegagalan (*concequence of failure*) terhadap luas daerah kebocoran akibat *internal corrosion* pada *crude oil pipeline*?
3. Berapa tingkat risiko *crude oil pipeline* yang mengalami *internal corrosion* pada *risk matrix* dengan menggunakan metode *Risk Based Inspection*?
4. Bagaimana jadwal inspeksi yang sesuai dengan kondisi tingkat risiko pada pipa?

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah, maka dapat ditentukan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui peluang kegagalan akibat *internal corrosion* pada *crude oil pipeline* PT. X di Riau.
2. Mengetahui besar konsekuensi kegagalan akibat *internal corrosion* pada *crude oil pipeline* PT. X di Riau
3. Mengetahui tingkat risiko *crude oil pipeline* yang mengalami *internal corrosion* pada *risk matrix* dengan menggunakan metode *Risk Based Inspection*.
4. Mengetahui interval inspeksi yang sesuai dengan tingkat risiko pipa.

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis, untuk mengetahui dan mempelajari mengenai *onshore pipeline*.
2. Bagi Pembaca, dapat dijadikan sebagai referensi jika ada yang ingin melakukan penelitian sejenis.
3. Bagi Perusahaan, dapat dijadikan informasi dan juga saran untuk pengembangan kinerja *pipeline*.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang digunakan agar menghindari pembahasan yang melebar dan mempermudah perhitungan sehingga digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Tidak dilakukan analisa konsekuensi untuk kategori ekonomi dan keselamatan
2. Besaran-besaran statistik dan probabilistik yang tidak diketahui diasumsikan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Tidak memperhitungkan korosi eksternal, beban tanah, dan korosi pada sambungan pipa.
4. Fenomena *subsidence* dan *scoring* diabaikan, karena kondisi tanah relatif stabil.
5. Perhitungan laju korosi tidak mempertimbangkan luasan korosi yang terjadi dan adanya pengaruh suhu.
6. Pada perhitungan konsekuensi terhadap lingkungan segment pipa yang dapat merepresentasikan seluruh segment pipa GS-3 sampai NBS adalah:
 - a. PKM 860, koordinat N 00°46' 37.33" - E 101°25' 09.14"
 - b. PKM 890, koordinat N 00°46' 37.67" - E 101°25' 08.75"
 - c. PKM 933, koordinat N 00°46' 38.67" - E 101°25' 07.10"

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dimulai dari bab satu yakni pendahuluan. Berisi tentang hal yang menjadi latar belakang penulisan laporan penelitian ini, perumusan masalah yang akan diselesaikan, tujuan dan manfaat dari penelitian tersebut, batasan masalah yang menjadi rujukan penulis untuk lebih menyederhanakan sistem penganalisaan, serta sistematika penulisan.

Bab dua berisi mengenai tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir, dasar-dasar teori, rumus-rumus dan code yang digunakan dalam penelitian tugas akhir. Lalu, pada bab tiga menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Dalam bab ini terdapat flowchart yang menjabarkan

kepada hal-hal yang mengarah pada hal detail dan bersifat teknis sekaligus data-data yang digunakan dalam penelitian.

Analisa penelitian dalam tugas akhir ini akan dibahas pada bab empat. Bab ini akan membahas pengolahan data hasil dari perhitungan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari tugas akhir. Dimana kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini diterangkan pada bab lima.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada industri minyak dan gas bumi, *pipeline* kerap dianggap sebagai komponen utama yang digunakan sebagai sarana pendistribusi dan transmisi minyak dan gas baik didaratan (*onshore*) maupun di lepas pantai (*offshore*). Dalam proses pendistribusian migas sering kali pipa melewati daerah perkotaan, pemukiman penduduk dan tempat-tempat penting lainnya. Oleh karena itu, dalam menjalankan tugasnya mendistribusikan migas, pipa haruslah beroperasi dengan aman agar tidak menimbulkan kerugian-kerugian yang membahayakan manusia dan lingkungan. Namun, *pipeline* yang beroperasi secara terus menerus selama satu kali 24 jam selama umur operasinya memungkinkan *pipeline* tersebut berpeluang untuk mengalami risiko kegagalan.

Suatu penelitian tentang analisa risiko korosi pada pipa telah dilakukan oleh Indrajaya (2014), dimana pada penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa peluang kegagalan terbesar pada *pipeline* PT. JOB Petrochina akibat *internal corrosion* terletak pada Lokasi Sokosari, yaitu sebesar 12,78% serta risiko lingkungan dan risiko keselamatan dengan menggunakan *risk matrix* masuk dalam kategori risiko menengah dan risiko kecil. Penelitian yang hampir sama juga dilakukan oleh Hakim (2010) dengan objek yang ditinjau pada *elbow pipe* akibat *internal corrosion*, dengan kesimpulannya bahwa peluang kegagalan pada *elbow pipe* pada sudut 45° sebesar 37,36%, dan peluang kegagalan pada *elbow pipe* dengan sudut 90° sebesar 33,85%, sedangkan untuk tingkat risiko kegagalan dari kedua tipe *elbow pipe* tersebut menunjukkan bahwa tingkat risiko kegagalan dari kedua tipe *elbow pipe* tersebut adalah sama yaitu masuk dalam kategori 2E (menengah tinggi).

Adanya penipisan pada dinding pipa dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur berupa *crack*. Dimana menurut ASME B31. G. 1991, bahwa dalam operasi *pipeline* batas kedalaman maksimum penipisan dinding pipa yang diijinkan adalah tidak boleh melebihi dari 80% tebal pipa selama umur operasi pipa tersebut. Untuk itulah perlu dilakukan suatu penilaian risiko pada pipa akibat dari

internal corrosion yang mana peluang kegagalan didapatkan dari hasil simulasi metode Monte Carlo dan konsekuensi terhadap luas daerah yang mengalami dampak kebakaran akibat suatu kebocoran serta konsekuensi terhadap risiko keselamatan. Pada hakekatnya penilaian risiko seharusnya dilakukan meliputi seluruh komponen dari sistem jaringan pipa, tetapi pada penelitian ini akan lebih dikhususkan pada analisa pipa lurus saja.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Korosi

Menurut Fontana (1910), korosi didefinisikan sebagai suatu proses memburuknya mutu suatu material logam karena reaksi terhadap lingkungannya. Pada saat peristiwa korosi, logam akan mengalami proses oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Korosi merupakan proses elektrokimia. Pada korosi besi, ada beberapa bagian tertentu yang berperan sebagai anoda, dimana besi mengalami oksidasi.

Secara garis besar korosi terbagi menjadi dua jenis, yakni korosi internal dan korosi eksternal

1. Korosi Internal

Merupakan korosi yang terjadi akibat adanya kandungan CO_2 dan H_2S pada minyak bumi, sehingga apabila terjadi kontak dengan air akan membentuk asam yang merupakan penyebab korosi.

2. Korosi Eksternal

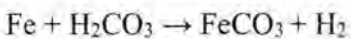
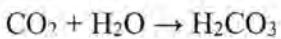
Merupakan korosi yang terjadi pada bagian permukaan (luar) dari sistem perpipaan dan peralatan, baik yang kontak langsung dengan udara bebas maupun permukaan tanah, akibat adanya kandungan zat asam pada udara dari tanah.

2.2.2 Tipe Korosi Internal yang Terjadi pada Pipa

Menurut jenisnya korosi internal dibagi beberapa jenis atau tipe menurut jenis kandungan zat kimia yang terdapat pada minyak bumi yang mengalir di dalamnya. Jenis-jenis korosi internal tersebut adalah sebagai berikut:

- Korosi CO₂

Di dalam senyawa gas bumi mengandung sejumlah CO₂. Dalam kondisi kering CO₂ tidak korosif, tetapi dengan adanya air maka CO₂ akan larut kedalamnya hingga membentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang akan menaikkan kasaman air (pH turun menjadi 4,5) dan menyebabkan korosi internal pada pipa transmisi, dimana pada tempat-tempat yang rendah tersebut sering ditemukan laju korosi yang tinggi. Secara umum reaksinya adalah:



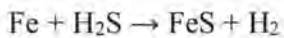
Korosi CO₂ disebut juga “*sweet corrosion*” yang berupa korosi merata area yang dangkal dari korosi terblokir.

- Korosi O₂

Kemungkinan lain dari adanya air di dalam pipa, bila gas bumi mengandung O₂ yang kemungkinan besar berasal dari luar sistem akan terbentuk korosi O₂. Korosi O₂ ini berupa korosi lubang yang ekstrim.

- Korosi H₂S

Unsur lain yang berbahaya dalam kandungan gas bumi adalah H₂S yang tidak saja beracun tetapi juga dapat menimbulkan korosi. H₂S larut dalam air untuk membentuk asam yang lebih lemah dari asam karbonat. H₂S yang terdapat pada fluida dari sumur minyak tidak saja beracun melainkan juga menimbulkan reaksi korosi asam, dengan formulanya sebagai berikut:



Korosi H₂S ini dikenal dengan “*sour corrosion*” yang berupa korosi lubang (*pitting*) dan korosi retak pada permukaan internal pipa retak yang terjadi secara cepat dan menyebabkan hilangnya logam yang cukup banyak dan dalam waktu singkat.

2.2.3 Penyebab terjadinya Korosi Internal

Korosi didefinisikan sebagai kerusakan yang terjadi pada logam atau non logam yang disebabkan oleh reaksi kimia dengan lingkungannya yang didukung oleh faktor-faktor tertentu. Secara garis besar faktor-faktor yang mempengaruhi cepat atau lambatnya suatu proses korosi adalah sebagai berikut:

1. Material konstruksi

Materia yang dipakai untuk membuat benda konstruksi sangat berpengaruh terhadap laju korosi.

2. Kondisi lingkungan/media

Lingkungan dimana benda konstruksi akan dibuat dan digunakan yang merupakan salah satu faktor dalam proses dan kecepatan korosi. Korosi yang timbul akan dipengaruhi oleh media korosif yang terkandung pada lingkungan tersebut.

3. Bentuk konstruksi

Bentuk konstruksi yang oleh sebagian orang diabaikan efeknya terhadap proses korosi, sebenarnya tidak sedikit dampak negatifnya. Karena bentuk ini sedikit banyak juga akan berpengaruh terhadap kecepatan korosi.

4. Fungsi konstruksi

Konstruksi baja yang digunakan untuk operasi suhu panas akan berlainan jika dengan operasi suhu rendah. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan jika konstruksi tersebut akan dibuat harus dipertimbangkan untuk apa alat tersebut dibuat atau untuk operasi yang bagaimana konstruksi tersebut dipakai.

2.2.4 Pengendalian Korosi Internal

Pengendalian korosi internal dapat dilakukan dengan berbagai metode dan dikelompokkan sebagai berikut:

- Penggunaan material yang tahan korosi
- Pengendalian unsur-unsur korosif
- Penggunaan pelapis internal

Penggunaan pelapis dengan material tertentu (*coating*) dapat mengurangi interaksi yang kuat antara metal dengan lingkungan. Namun, hal lain terkadang tidak selalu dapat mengatasi permasalahan korosi.

- Inhibitor korosi

Untuk memperlambat reaksi korosi digunakan bahan kimia yang disebut *corrosion inhibitor* yang bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan metal. Lapisan molekul pertama yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat yang disebut *chemis*

option. Corrosion inhibitor umumnya berbentuk fluid atau cairan yang diinjeksikan pada *production line*. Karena *inhibitor* tersebut merupakan masalah yang penting dalam menangani korosi maka perlu dilakukan pemilihan *inhibitor* yang sesuai dengan kondisinya.

Untuk mengetahui kerusakan atau korosi yang terjadi pada material *pipeline* dapat dilakukan beberapa metode yang diantaranya ialah menggunakan metode NDT yang meliputi *visual inspection, penetrant testing, magnetic testing, ultrasonic testing, dan radiography testing*.

2.2.5 Risk Based Inspection

Risk Based Inspection merupakan metode perencanaan atau program inspeksi dan pengujian yang memperhitungkan konsekuensi kegagalan dan kemungkinan kegagalan. Risiko yang didefinisikan sebagai fungsi peluang kegagalan (*probability of failure*) dan fungsi konsekuensi akibat kegagalan (*consequence of failure*) diformulasikan sebagai berikut (API RBI 581, 2016). Risiko pada *pipeline* ini akan digunakan sebagai dasar untuk menjalankan inspeksi selanjutnya. Risiko yang terkait dengan korosi yang mengakibatkan retak dalam hal *probability* yang mungkin terjadi dan konsekuensinya terhadap keselamatan, lingkungan, dan lain-lain perlu diperhatikan saat merancang sistim dan sebelum memulai operasi rutin. Risiko merupakan hasil perkalian dari konsekuensi kegagalan dan kemungkinan kegagalan.

$$\text{Risk} = \text{Pof} \times \text{Cof} \dots\dots\dots (2.1)$$

Peluang kegagalan (Pof) berupa kemungkinan kegagalan yang terjadi pada peralatan material yang disebabkan kerusakan peralatan dan lain sebagainya. Konsekuensi kegagalan (Cof) bisa berupa konsekuensi yang ditimbulkan pada lingkungan. Kedua faktor tersebut akan berpengaruh terhadap risiko yang ditimbulkan. Analisa pada masing-masing faktor memiliki pengaruh dan tingkat risiko yang berbeda, karena perbedaan dalam penanganannya. Risiko bisa dikurangi sesuai prosedur API RBI 581.

Dari kedua fungsi risiko tersebut perlu dilakukan identifikasi terhadap bobot kontribusi dari masing-masing untuk mengetahui batasan-batasan dan

penilaiannya. Pada umumnya analisa dengan metode RBI 581 dapat dilakukan dengan menggunakan 3 jenis analisa yaitu:

- Kualitatif

Analisa dengan pengalaman dan saran dari para ahli untuk mengetahui risiko yang ada.

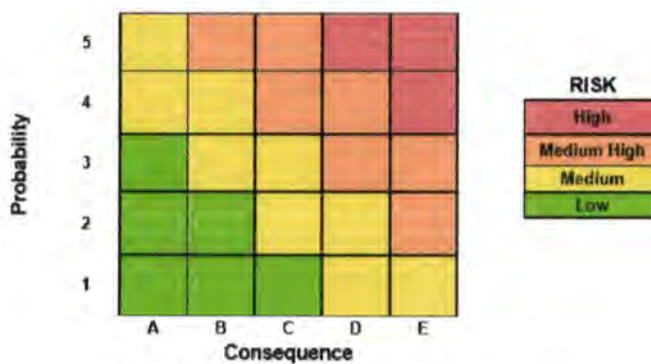
- Semikuantitatif

Analisa yang merujuk pada analisa kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan matriks risiko.

- Kuantitatif

Analisa menggunakan data yang ada sebagai potensi kegagalan terhadap manusia dan lingkungan.

Dalam pelaksanaannya, RBI menggunakan langkah-langkah yang meliputi pengumpulan data, kategori risiko dan program inspeksi sebagai metode lanjutan. Dengan analisa risiko tersebut diharapkan adanya pengurangan risiko melalui tahapan prosedur yang ada. Kategori risiko sebuah *pipeline* bisa ditentukan lewat matriks risiko pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2. 1 Matriks Risiko (API 581)

Analisa menggunakan metode semikuantitatif merujuk pada analisa kualitatif dan kuantitatif. Perhitungan dengan kategori peluang kegagalan (PoF) melalui analisa penipisan pada pipa. Konsekuensi kegagalan (CoF) diketahui

melalui analisa area dampak tumpahan fluida pada ukuran lubang kebocoran yang telah ditentukan. Kemudian akan diketahui matriks risiko seperti pada Gambar 2.1 di atas.

2.2.6 Konsep Keandalan Struktur

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid, 2007).

Dalam konsep keandalan, perancang dapat menggambarkan suatu sistem dengan segala hal yang mempengaruhi atau mengakibatkan kerusakan pada sistem tersebut misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya karena melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisisnya. Dalam analisa keandalan sistem strukturak maka perlu untuk mendefinikan ketidakpastian fisik, ketidakpastian statistikal, ketidakpastian model yang diterima oleh struktur.

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara *demand* (tuntutan atau beban) dan *capacity* (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas *safety factor* (angka keamanan) yang diperkenankan.

Menurut Rosyid (2007) ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nominal kemampuan (*capacity*), X^* , dan beban, Y^* , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan keterangan:

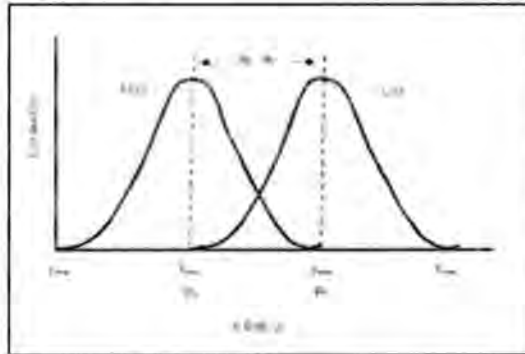
Z^* = Angka Keamanan

X^* = Nominal Kapasitas

Y^* = Nominal Beban

Mengingat nominal dari kapasitas, X^* , dan beban, Y^* , tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai distribusi peluang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2. dengan demikian, angka

keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z=X/Y$ dari dua variabel acak X dan Y .



Gambar 2. 2 Fungsi kerapatan peluang (fkp) dari kapasitas X dan tuntutan Y (Rosyid, 2007)

Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan adalah saat penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem). Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dari X dan Y diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi kumulatif dari X/Y . peluang kegagalan nol ($P_f = 0$) dan keandalan 100% ($K=1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{max} tidak melewati kapasitas maksimum X_{min} , sehingga kedua distribusi tidak saling *overlap*. Pemakaian analisa keandalan didasarkan pada metode probabilistik telah berkembang dan semakin penting peranannya untuk memecahkan masalah-masalah dalam perancangan.

2.2.7 Metode Simulasi Monte Carlo

Menurut Rosyid (2007) ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variabel atau parameter yang memiliki angka random, atau mengandung perubah acak maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini.

Simulasi Monte Carlo merupakan salah satu teknik asesmen risiko kuantitatif yang dapat digunakan dalam berbagai proses manajemen risiko. Terutama pada tahapan analisa risiko dan/atau evaluasi risiko yang memiliki

variable acak. Unsur pokok yang diperlukan di dalam simulasi Monte Carlo adalah sebuah random number generator (RNG). Hal ini karena, secara teknis, prinsip dasar metode simulasi Monte Carlo sebenarnya adalah sampling sistem dengan bantuan RNG, dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubah acak berdasarkan distribusi peluang perubah acak tersebut. Sehingga pada simulasi Monte Carlo mensyaratkan bahwa parameter distribusi dari perubah acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari dapat diasumsikan atau telah diketahui.

Untuk menentukan parameter distribusi dari perubah acak dapat diperoleh dengan software bantuan seperti minitab, dengan cara menginputkan peubah acak dari sample yang diperoleh dari data lapangan ke sistem minitab. Kemudian pemilihan distribusi dilakukan dengan menggunakan parameter tingkat kesalahan yang paling kecil, yaitu AD yang paling rendah dari P value antara 0.05 s.d 0.1. Maka jenis distribusi yang sesuai dengan parameter pemilihan di atas adalah distribusi yang menggambarkan sebaran data pada peubah acak yang diinputkan pada minitab. Selanjutnya dari jenis distribusi tersebut akan diperoleh standar deviasi dan mean dari data sample lapangan, yang nantinya digunakan untuk merandom data sample lapangan menjadi 15000 data acak. Langkah berikutnya adalah memasukkan data acak ke dalam persamaan fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Untuk suatu fungsi kinerja tertentu., misalnya setiap kali $FK(x) < 0$ maka sistem/komponen yang ditinjau dianggap gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah N (atau replikasi sejumlah N) maka dapat dicatat kejadian $FK(x) < 0$ sejumlah n kali.

Peluang kegagalan (P_g) sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan sampel atau replikasi, $P_g = n/N$. Atau dapat dituliskan seperti persamaan dibawah ini

$$P_{of} = 1 - P_k \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan P_{of} ialah peluang kegagalan dan P_k adalah keandalan sistem. Moda kegagalan yang digunakan untuk simulasi Monte Carlo pada penelitian ini adalah mode kegagalan terhadap kebocoran.

2.2.8 Moda Kegagalan terhadap Kebocoran

Risiko kegagalan pipa akibat *internal corrosion* terhadap kemungkinan terjadinya kebocoran juga perlu diperhitungkan, pipa dinyatakan gagal jika kedalaman korosi yang terjadi pada pipa selama umur operasinya lebih dari 80% tebal pipa (ASME B31.G, 1991). Jika korosi yang terjadi selama umur lebih besar dari 80%, maka dapat dipastikan kemungkinan pipa tersebut mengalami kebocoran sangat besar. Kegagalan terjadi ketika laju korosi pada tahun prediksi melebihi batas maksimum kedalaman korosi yang diizinkan, dengan persamaan:

$$P_f = P((CR \times T_x) \geq \alpha) \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan moda kegagalan (MK) ditunjukkan sebagai berikut:

$$g(X) = \alpha - CR \times T_x \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

$g(X)$ = Fungsi limit

CR = Laju korosi (inch/tahun)

α = Batas maksimum kedalaman korosi yang diizinkan, didasarkan pada ASME B31.G (1991) yaitu 80% dari ketebalan dinding pipa (*wall thickness*)

T_x = Waktu yang akan diprediksi (60 tahun)

Menurut API STD 570, laju korosi diperoleh dari selisih antara ketebalan pipa awal dengan informasi ketebalan pipa setelah terkorosi dibagi dengan selisih dari tahun inspeksi dan tahun instalasi. Rumus dibawah ini digunakan untuk menghitung laju korosi.

$$CR = \left(\frac{t_0 - t}{T - T_0} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan,

CR = Laju korosi (inch/year)

t_0 = Tebal pipa awal (inch)

t = Tebal setelah terkorosi (inch)

T_0 = Tahun instalasi

T = Tahun inspeksi

Sistem dikatakan gagal jika $g(X) < 0$, dinyatakan berhasil jika $g(X) > 0$ dan bila $g(X) = 0$, maka Sistem dinyatakan failure surface. Variabel acak dasar terdiri dari variabel fisik yang menggambarkan ketidakpastian. Dalam hal ini variabel acak yang digunakan adalah t (tebal setelah terkorosi) pada perumusan laju korosinya.

2.2.9 Analisa Konsekuensi Semi-Kuantitatif

Konsekuensi yang dimaksud pada bagian ini adalah suatu metode sederhana yang dipakai untuk menentukan prioritas tindak lanjut terhadap Peralatan berdasarkan hasil inspeksi.

Secara umum konsekuensi terlepasnya fluida kerja yang berbahaya, dapat diestimasi berdasarkan tujuh tahap di bawah ini:

1. Menentukan fluida representatif yang terlepas dan sifat-sifatnya.
2. Memilih ukuran lubang kebocoran yang nantinya dipakai untuk mencari luas konsekuensi pada perhitungan risiko.
3. Estimasi jumlah total fluida yang dapat terlepas.
4. Estimasi laju terlepasnya fluida yang paling potensial.
5. Mendefinisikan tipe dari kebocoran untuk menentukan metode yang dipakai dalam penentuan konsekuensi.
6. Pemilihan fase final dari fluida yang terlepas (cair atau gas).
7. Menentukan luas daerah konsekuensi.

2.2.9.1 Menentukan fluida representatif yang terlepas dan sifat-sifatnya

Pada suatu proses produksi, sangat sedikit aliran fluida yang merupakan fluida murni atau material murni. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara untuk menentukan fluida representatif yang nanti dapat mewakili fluida dalam aliran untuk dipakai ke dalam analisa lebih lanjut. Untuk aliran yang berupa campuran dari beberapa senyawa kimia, material atau fluida representatif ditentukan berdasarkan titik didih normal (NBP) dan berat molekul (MW), jika tidak bisa, maka dapat menggunakan berat jenis fluida tersebut. jika tidak diketahui maka sifat campuran dapat diketahui dengan menggunakan Tabel fluida Representatif dan Tabel sifat-sifat fluida representatif yang terdapat pada API 581.

2.2.9.2 Memilih ukuran lubang kebocoran

Metode RBI memiliki metode yang tetap dalam menentukan ukuran lubang kebocoran. Pendekatan ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa jika ukuran lubang sudah didefinisikan terlebih dahulu dan ukurannya tetap, maka dapat mengetahui kemampuan reduksi fluida yang bekerja dalam peralatan yang sedang dianalisa serta dapat menjaga konsistensi untuk dapat dianalisa lebih lanjut. Ukuran lubang kebocoran sesuai dengan metode RBI seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Ukuran lubang kebocoran (API 581)

Release/hole Number	Ukuran Lubang	Range (inch)	Harga Representatif (inch)
1	<i>Small</i>	0-0,25	0,25
2	<i>Medium</i>	>0,25-2	1
3	<i>Large</i>	>2-6	4
4	<i>Rupture</i>	>6	Sesuai dengan diameter peralatan

Berdasarkan jenis peralatan yang dianalisa. Maka keempat ukuran lubang tersebut tidak semuanya digunakan. Untuk menganalisa peralatan pipa, RBI menggunakan standar keempat ukuran lubang diatas dengan batasan ukuran lubang kebocoran yang terjadi pada kasus sebenarnya dan diameter pipa itu sendiri. Sebagai contoh, untuk pipa dengan diameter 2 inch. Maka dapat digunakan 3 ukuran lubang untuk dianalisa yaitu ¼ inch, 1 inch dan pecah karena ukuran terbesar yang mungkin terjadi ialah 2 inch.

2.2.9.3 Estimasi laju pelepasan fluida

Dalam metode RBI digunakan dua tipe kebocoran yang terjadi, yaitu:

- a. Kebocoran secara cepat atau seketika
- b. Kebocoran yang lebih lambat atau kontinyu

Kebocoran secara cepat atau seketika merupakan tipe kebocoran yang terjadi dengan sangat cepat sehingga fluida yang terlepas menghasilkan gumpalan “awan” jika fluida tersebut berupa gas dan akan menghasilkan genangan jika fluida tersebut berupa cairan. Sedangkan kebocoran kontinyu merupakan tipe kebocoran yang memerlukan waktu yang lebih lama untuk melepas fluida daripada kebocoran

seketika. Laju kebocoran fluida bergantung pada sifat material atau fluida yang bersangkutan.

Untuk menentukan Laju tumpahan Laju fluida yang mengalir pada lubang dibagi menurut fase liquid atau gas.

- Untuk laju pelepasan liquid menggunakan persamaan berikut: (API RBI 581)

$$Q_L = C_d A \sqrt{2 \cdot \rho \cdot DP \cdot \frac{g_c}{144}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

Q_L = Laju pelepasan fluida (lbs/s)

C_d = Koefisien pelepasan (0.6-0.64)

A = Luas penampang lubang (in²)

ρ = Berat jenis fluida (lb/ft³)

DP = Perbedaan tekanan aliran operasi dengan atmosfer (psi)

g_c = Faktor konversi [32.2 (lbm-ft) / (lbf-S²)]

- Untuk laju pelepasan gas menggunakan persamaan berikut: (API RBI 581)

$$W_s = C_d \cdot A \cdot P \sqrt{\left(\frac{KM}{RT}\right) \frac{g_c}{144} \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{K+1}{K-1}}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

W_s = Laju Pelepasan Fluida gas (lb/s)

C_d = Koefisien keluaran (0,60-0,64)

A = Luas Penampang (inch)

P = Tekanan Operasi (psi)

M = massa molekul (lb/mol)

R = Konstanta Gas Universal (10,73 ft³.psia/lbmol^oR)

T = temperatur hulu (°R)

Jika tekanan yang dianalisa memiliki jumlah lebih besar daripada P_{trans} maka tipe pelepasan fluida yang terjadi ialah *sonic*. Dan sebaliknya jika tekanan yang diamati memiliki jumlah yang lebih kecil daripada P_{trans} maka tipe pelepasan fluida yang terjadi adalah *subsonic*.

2.2.9.4 Menentukan Jenis kebocoran

Untuk mengetahui efek dari terlepasnya fluida dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. Kriteria yang digunakan oleh metode RBI mengacu pada catatan kegagalan yang pernah terjadi yang disebabkan oleh kebakaran dan ledakan. Suatu kebocoran dikatakan dalam jenis kebocoran seketika jika fluida yang keluar sekitar 10000 lb atau lebih dalam waktu singkat (3 menit). Jenis tumpahan bisa ditentukan dengan menentukan massa fluida yang tumpah dalam 3 menit. Secara sistematis penentuan tipe terlepasnya fluida adalah sebagai berikut.

- a. Semua kebocoran dengan katagori kebocoran kecil atau berukuran 0,25 inch. dikelompokkan ke dalam kebocoran dengan tipe kebocoran kontinyu.
- b. Kebocoran yang mengakibatkan terlepasnya fluida sejumlah 10000 lb dalam waktu tiga menit dimasukkan ke dalam katagori kebocoran seketika.
- c. Semua terlepasnya fluida kerja yang lambat, dimasukkan kedalam katagori kebocoran kontinyu.

2.2.9.5 Menentukan luas daerah akibat kebocoran

Luas daerah terbakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. (API RBI 581)

$$A = \alpha x^b \dots\dots\dots (2.9)$$

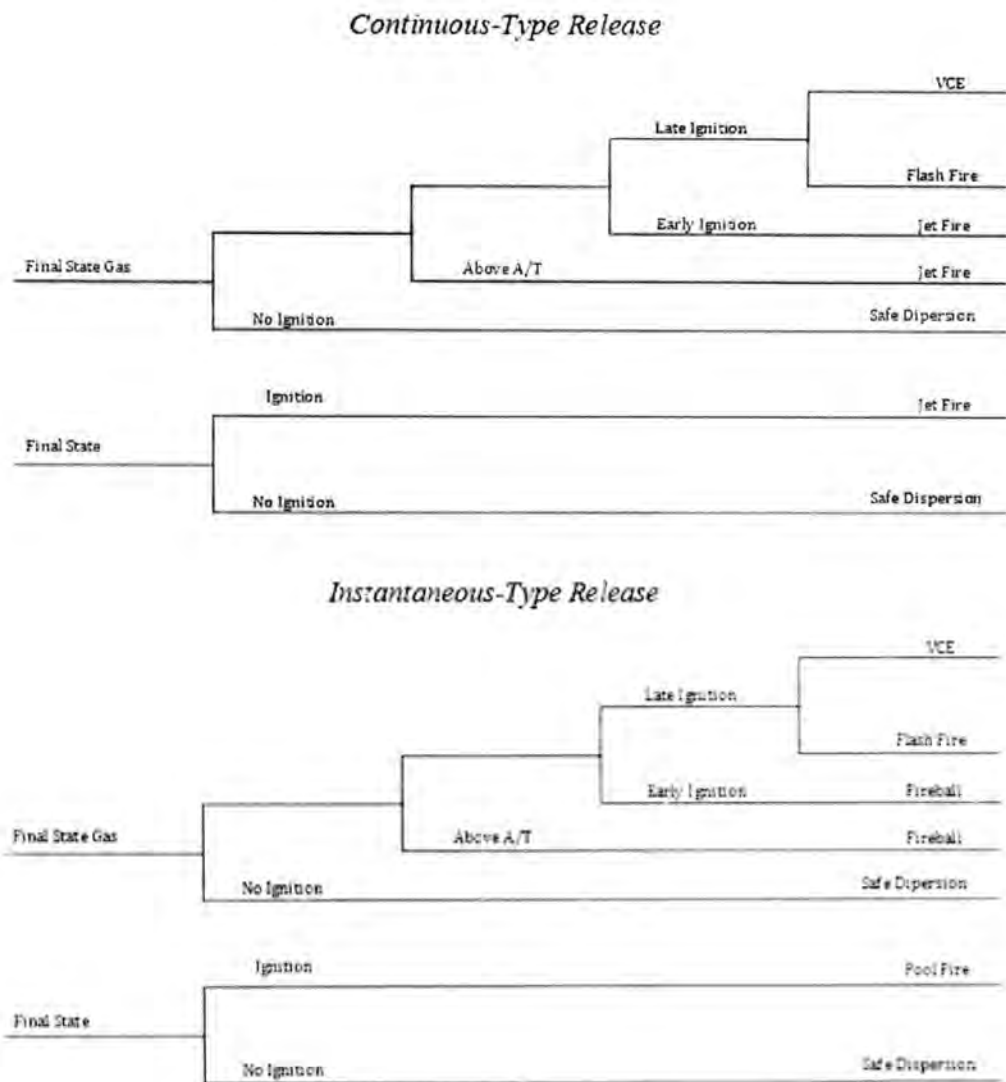
dengan:

A = Luas daerah terbakar (ft²)

X = laju aliran fluida (lb/s)

α^b = konstanta untuk tiap material

Konsekuensi terhadap kebakaran memperhatikan jenis tumpahan yang sudah diketahui yaitu berupa fluida *liquid*. Kemudian ditentukan kemungkinan terjadinya auto ignition ataupun tidak dengan menggunakan persamaan pada Tabel 7.10 dan 7.11 yang terdapat pada API RBI 581.



Gambar 2.3 *Flammable Event Tree (API 581)*

Pada Gambar 2.3 di atas menunjukkan potensi kejadian di mana kemungkinan terjadi ignition ataupun tidak. Apabila terjadi ignition pada fasa liquid bisa menimbulkan *pool fire* ataupun *jet fire*. Sedangkan apabila tidak terjadi ignition maka efek aman atau *safe dispersion*.

Kategori kegagalan ialah kategori yang diambil dari penyesuaian peluang kegagalan yang dihasilkan dari perhitungan keandalan terhadap kebocoran yang dilakukan dengan simulasi Monte Carlo. penyesuaian kategori peluang kegagalan dilakukan dengan menggunakan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 2 Kategori peluang kegagalan (API 581)

Kategori	Peluang Kegagalan
1	< 0,07
2	< 0,14
3	< 0,21
4	< 0,28
5	< 0,35

Kategori konsekuensi kegagalan adalah dampak kebocoran fluida, yaitu luas daerah terbakar Kategori konsekuensi kegagalan bisa dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 3 Kategori konsekuensi lingkungan (API 581)

Kategori	Luas Daerah (ft ²)
A	< 10
B	10-100
C	100-1000
D	1000-10000
E	> 10000

Setelah mengetahui potensi risiko yang bisa mengakibatkan kegagalan peralatan, maka prosedur inspeksi berbasis RBI akan diambil langkah yang tepat dalam penjadwalan inspeksi maupun modifikasi peralatan yang akan digunakan. Dalam upaya pencapaian integritas sistem yang optimal maka perlu adanya program terencana dalam operasi maupun pemeliharaan. Evaluasi terhadap

permasalahan tersebut mencakup kondisi kegagalan yang terjadi dan disesuaikan dengan sistem penanganan.

2.2.10 Rekomendasi Jadwal Inspeksi

A. Interval Inspeksi

Untuk mendapatkan interval inspeksi berdasarkan DNV RP G-101, menggunakan Gambar 2.4 berikut ini.

		Time to Inspect (years)				
Probability	5	Corrective Maintenance	4	2	1	1
	4	Corrective Maintenance	4	2	1	1
	3	Corrective Maintenance	Corrective Maintenance	4	2	2
	2	Corrective Maintenance	Corrective Maintenance	8	4	4
	1	Corrective Maintenance	Corrective Maintenance	8	8	8
		A	B	C	D	E
		Consequence				

Gambar 2. 4 Matriks Risiko Interval Inspeksi (DNV RP G-101)

Pada Gambar 2.4 masing-masing kotak berwarna memiliki lambang angka yang menggambarkan jarak interval inspeksi yang sesuai dengan tingkat risiko kegagalan yang dialami property/pipa, semakin ke kanan atas semakin tinggi tingkat risikonya.

B. Penentuan Metode Inspeksi

Menurut Widharto (2002), ada beberapa jenis pengujian inspeksi yang pada umumnya dilakukan, antara lain:

1. Uji radiography, untuk sambungan las perbaikan
2. Uji ultrasonic, untuk mengukur ketebalan maupun mutu sambungan las perbaikan
3. Uji penetrant atau magnetic particle, untuk mengetahui sambungan las jenis fillet
4. Uji tekanan yang meliputi uji hidrostatis atau pneumatis, untuk mengetahui integritas sambungan las dan kekuatan pasangan pipa

5. Uji kebocoran dengan menggunakan gas/udara bertekanan untuk mengetahui integritas sambungan flensa dan las
6. Uji visual, untuk mengetahui kondisi permukaan perpipaan dan sambungan lasnya serta komponen-komponen dan ukuran masing-masing bagian perpipaan tersebut
7. Uji helium/CO₂, untuk plat penguat pada nozzle

Pilihan atas metode inspeksi didasarkan atas kondisi pipa dengan rute yang panjang serta ada beberapa pipa yang tidak terjangkau sehingga membuat perusahaan mengambil keputusan menggunakan metode *pigging/ intelligent pig* yang artinya *Pipeline Intelligent Gauge (PIG)*. Inspeksi untuk pipa dengan area yang kurang terjangkau memiliki banyak keterbatasan dan besar kemungkinan sulit menggunakan teknik survey permukaan. Alat berkualitas tinggi seperti *geo-pigs* dapat memberikan pengukuran konfigurasi yang akurat, walaupun memiliki keterbatasan. Metode inspeksi ini adalah suatu cara/metode dalam mendapatkan suatu informasi mengenai kondisi alat yang diinspeksi. Contoh alat *intelligent pig* adalah sebagaimana pada Gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Intelligent Pig (sumber: PT. X)
Ada empat manfaat utama *intelligent pig* sebagai berikut:

1. Pemisahan fisik antar berbagai macam fluida yang mengalir didalam pipa.
2. Pembersihan intenal pipa.

3. Inspeksi kondisi dinding pipa atau disebut juga In-Line Inspection.
4. Menangkap dan merekam informasi geometri yang berkaitan dengan pipeline itu sendiri, seperti ukuran, letak/ posisi, dan sebagainya.

Dalam API RBI disebutkan bahwa metode inspeksi didasarkan pada faktor kerusakan yang dapat terjadi pada alat tersebut, sehingga setiap metode inspeksi yang dilaksanakan harus dapat memberikan informasi yang dibutuhkan terkait faktor kerusakan tersebut. Metode inspeksi yang baik adalah metode inspeksi yang memiliki keefektifan tinggi. Keefektifan ini didapatkan dari seberapa baik kemampuan metode tersebut untuk mengidentifikasi keadaan asli alat yang berkaitan dengan faktor kerusakan yang dimilikinya. Kategori keefektifan inspeksi untuk tiap faktor kerusakan dijelaskan pada API RBI disertai contohnya.



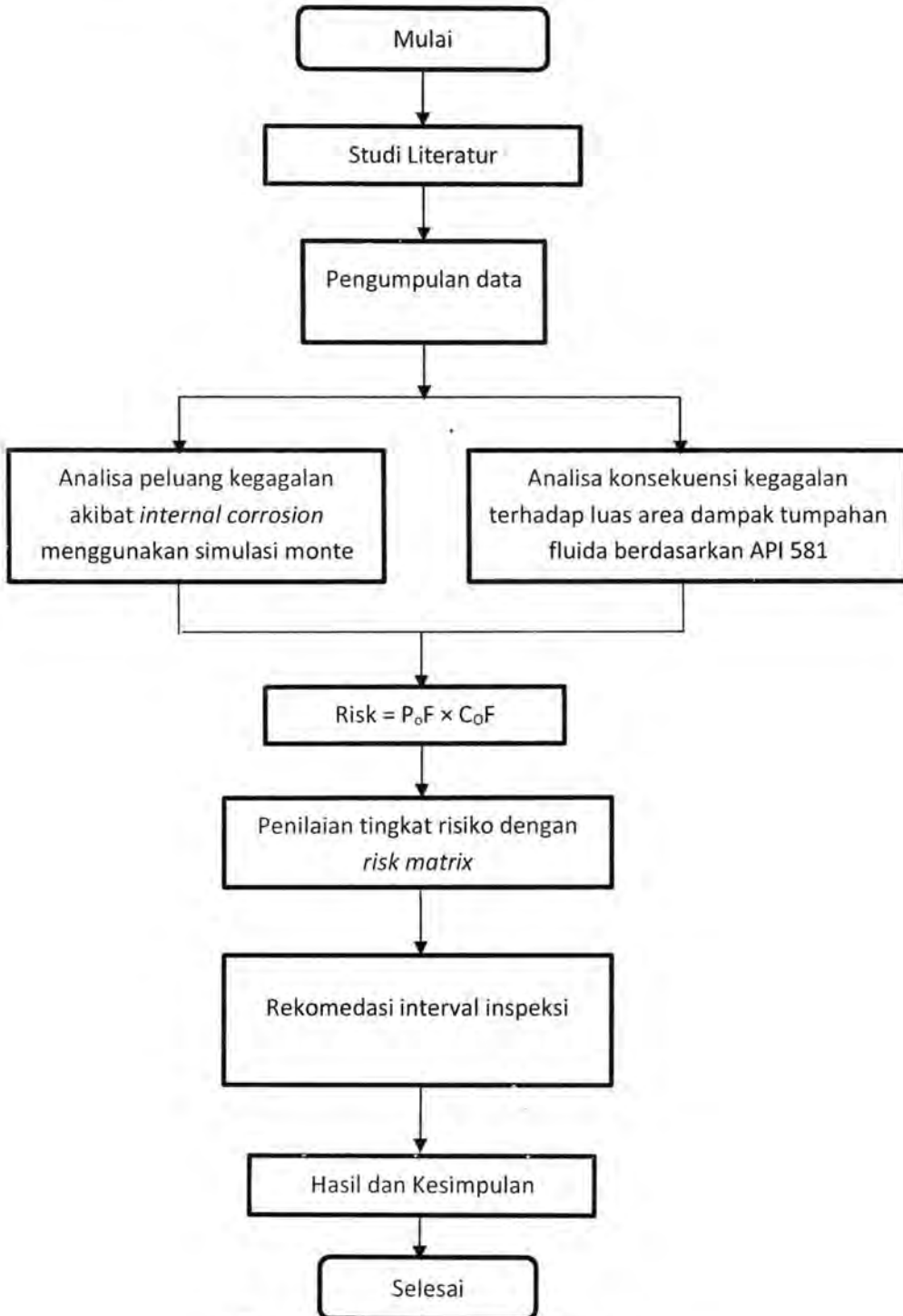


BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Prosedur Penelitian

Prosedur atau langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut, yaitu:

1. Studi Literatur

Tahap awal dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah mengumpulkan bahan-bahan atau materi yang digunakan sebagai literatur yang berasal dari tugas akhir sebelumnya, buku-buku yang berkaitan dengan penelitian, serta code atau standart acuan seperti API 5L, ASME B31.1, ASME B31.4, API 570, dan API 581.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini antara lain berupa: data temperature operasi, laju aliran, fase fluida, ukuran pipa (tebal awal, panjang, diameter), tebal saat ini, desain temperatur, dan tahun instalasi.

3. Perhitungan Peluang

Perhitungan peluang kegagalan akibat penipisan pipa yang disebabkan *internal corrosion* dilakukan dengan menggunakan simulasi monte carlo.

4. Perhitungan Konsekuensi

Konsekuensi kegagalan dihitung sesuai dengan code API 581 berdasarkan luasan dari daerah yang mengalami kerusakan atau daerah berbahaya akibat kebocoran pipa.

5. Analisa Risiko

Analisa risiko dilakukan dengan mengalikan antara kemungkinan kegagalan (P_oF) dengan konsekuensi kegagalan (C_oF) untuk menentukan derajat atau level kegagalannya.

6. Penilaian Risiko dengan *Risk Matrix*

Setelah dilakukan analisa risiko dimana kegagalan yang telah diidentifikasi dapat ditentukan letaknya pada matriks risiko sehingga dapat diketahui tingkat risiko nya.



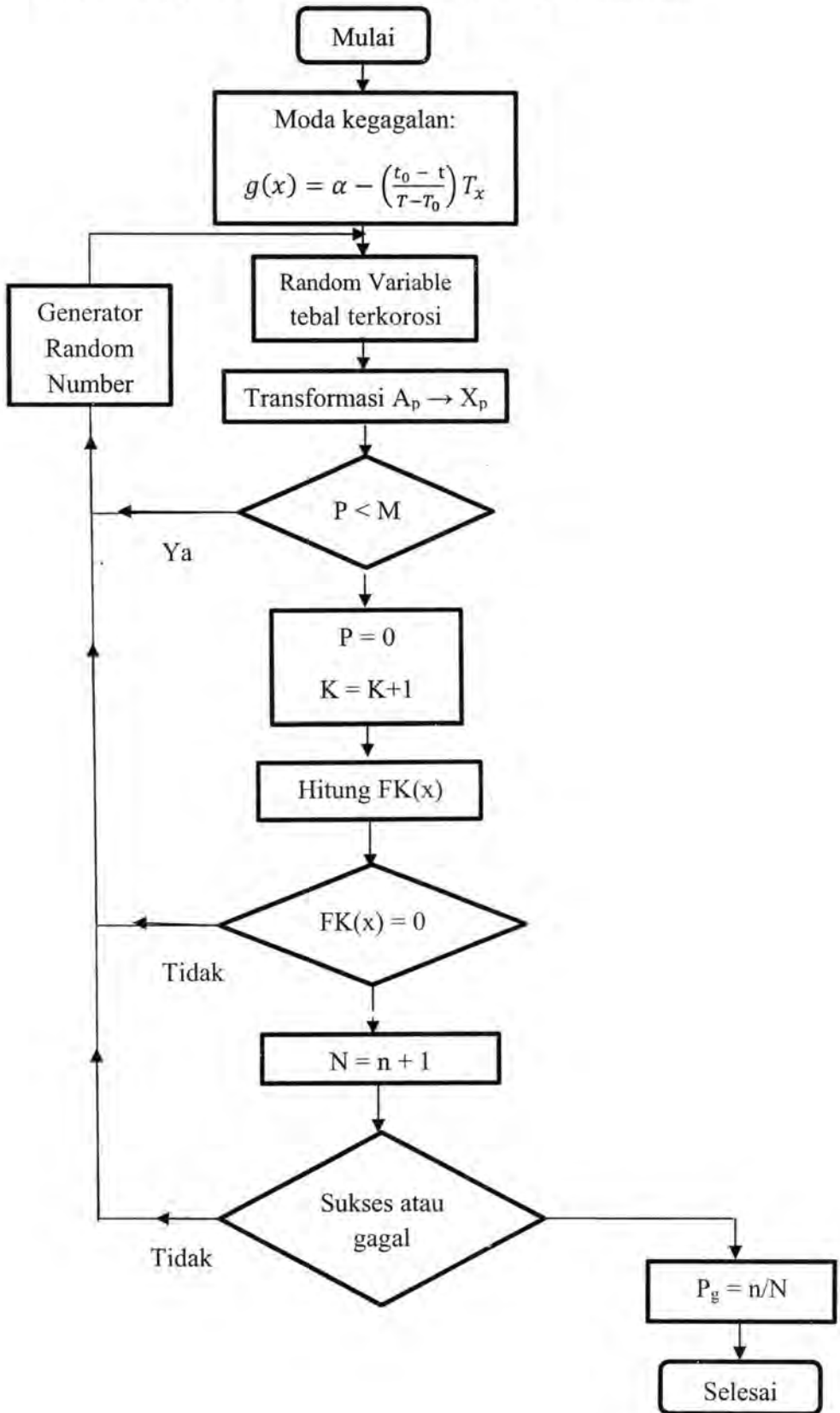
7. Rekomendasi Interval Inspeksi

Dalam hal ini merekomendasikan interval waktu inspeksi sesuai dengan hasil tingkat risiko pipa. Untuk metode inspeksi nya sendiri PT. X selalu melakukan inspeksi dengan *pigging/ intelligent pig* yang artinya *Pipeline Intelligent Gauge* (PIG). Dimana menurut PT. X metode inspeksi ini lebih akurat dan efisien daripada metode inspeksi manual.

8. Hasil dan Kesimpulan

Setelah hasil risiko dari matriks risiko dapat diterima, maka dapat ditarik hasil serta kesimpulannya yang mana nantinya berupa indeks atau level kegagalannya. Bila tingkat risiko belum bisa diterima, maka akan terjadi *looping* pada analisa kemungkinan dan konsekuensi kegagalan sehingga didapatkan tingkat risiko yang dapat diterima.

3.2 Diagram Pehitungan Peluang Kegagalan terhadap Kebocoran



Gambar 3. 2 Diagram Alur Simulasi Monte Carlo
(Sumber: Rosyid, D. M., 2007)

Penjelasan langkah-langkah pada diagram diatas adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Moda Kegagalan

Pada tahap ini ditentukan persamaan moda kegagalan yang digunakan untuk melakukan perhitungan. Dimana moda kegagalan pada tugas akhir ini adalah kebocoran dengan persamaan yang digunakan ialah

$$g(X) = \alpha - \left(\frac{t_0 - t}{T}\right) T_x$$

2. Variabel Acak

Setelah sudah mengetahui moda kegagalan yang digunakan langkah berikutnya menentukan variabel acak. Variabel acak dari sistem yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah tebal pipa saat ini (t).

3. Distribusi Data

Langkah selanjutnya menentukan distribusi data dari masing-masing variabel acak yang telah ditentukan dalam menentukan distribusi data metode distribusi yang digunakan adalah distribusi normal.

4. Fungsi Distribusi Kumulatif (fdk)

Setelah diketahui jenis distribusi masing-masing data dari setiap variabel acak yang digunakan, langkah berikutnya adalah menentukan persamaan dari fungsi distribusi kumulatif (fdk) untuk setiap distribusi data masing-masing variabel acak.

5. Random Number Generated (RNG)

Selanjutnya adalah menentukan Random Number Generated (RNG). RNG merupakan unsur pokok yang diperlukan dalam melakukan simulasi Monte Carlo. RNG biasanya ada dalam CPU komputer sebagai *built-in computer* program dalam bagian ROMnya.

6. Transformasi RNG

Kemudian RNG yang telah didapatkan ditransformasikan ke dalam persamaan fdk yang telah ditentukan sebelumnya.

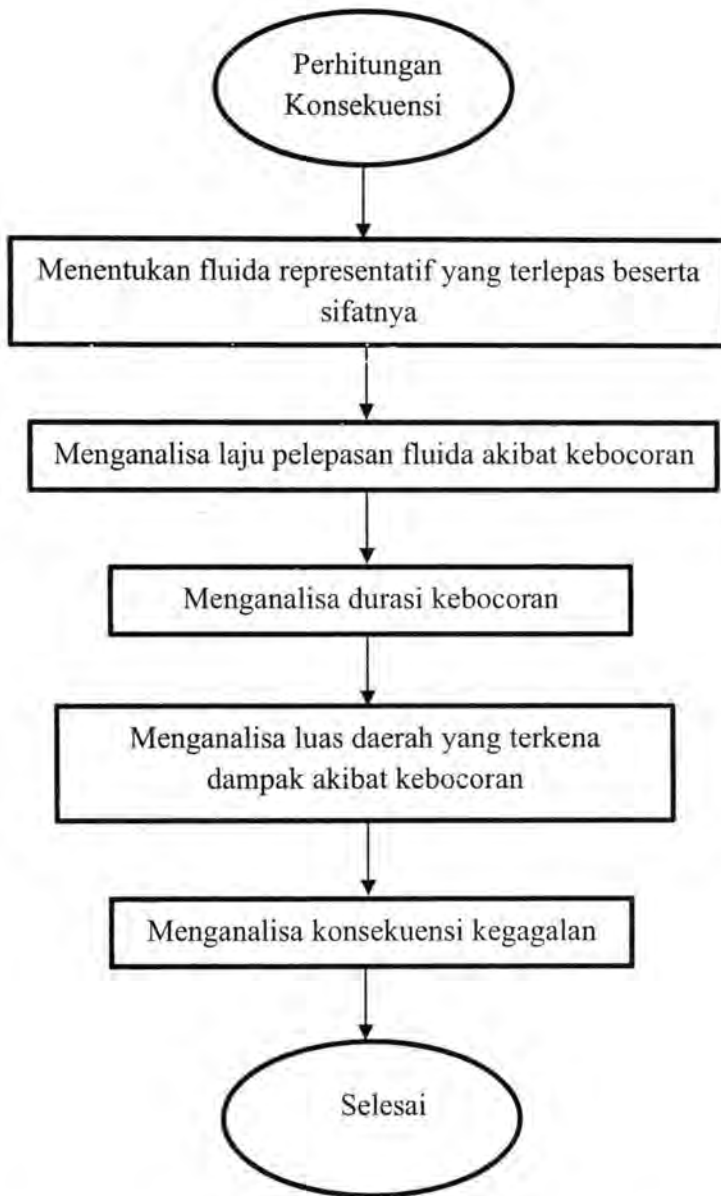
7. Perhitungan Keandalan

Setelah didapatkan harga dari fdk -nya, langkah selanjutnya adalah memasukkan harga dari masing-masing variabel acak tersebut ke dalam persamaan moda kegagalan yang telah ditentukan di awal untuk mengetahui keandalan.

8. Tingkat Keandalan

Langkah terakhir adalah menentukan tingkat kegagalan dari sistem yang ditinjau dengan cara mengakumulasikan jumlah kejadian yang gagal pada perhitungan keandalan dibagi dengan jumlah simulasi, sehingga dengan mengetahui tingkat kegagalan maka juga dapat diketahui tingkat keandalannya.

3.3 Diagram Perhitungan Konsekuensi Kegagalan terhadap Kebocoran



Gambar 3. 3 Diagram Alur Konsekuensi Kegagalan

Penjelasan langkah-langkah perhitungan konsekuensi kegagalan pada diagram diatas, adalah

1. Melakukan penentuan fluida representatif yang terlepas serta sifat-sifat dari fluida tersebut. Hal ini dilakukan untuk menentukan konsekuensi kegagalan yang dapat terjadi.
2. Menganalisa laju pelepasan fluida.
3. Menganalisa jangka waktu kebocoran pipa yang terjadi.
4. Menganalisa luas daerah yang terkena dampak kebocoran pipa tersebut.
5. Menghitung reduksi luas daerah akibat dampak kebocoran.
6. Menentukan frekuensi kerusakan yang terjadi akibat dari kebocoran pipa tersebut.
7. Menghitung luas daerah konsekuensi kegagalan.

3.4 Data Penelitian

Berikut merupakan data spesifikasi *onshore pipeline* PT. X yang menjadi objek penelitian penilaian risiko tugas akhir ini:

Tabel 3. 1 Data utama onshore pipeline (Sumber: PT. X)

GS3-NBS Pipeline	
<i>Length of Pipeline</i> , km	11.100
<i>Outside Diameter</i> , in/mm	12 / 304.8
<i>Wall Thickness</i> , inch/mm	8.74 / 9.53
Tekanan Operasi, psi	144
Temperatur Operasi, °F	151
Laju Aliran, BOPD	4500
Desain Temperatur, °F	200
Desain Tekanan, psi	694
Spesifikasi Material	API 5L Grade B
Yield Strength, psi	35.000



3.5 Lokasi Penelitian

Objek pada penelitian ini terletak pada area kawasan kerja PT. X, Minas, Riau sepanjang ±11,1 km.






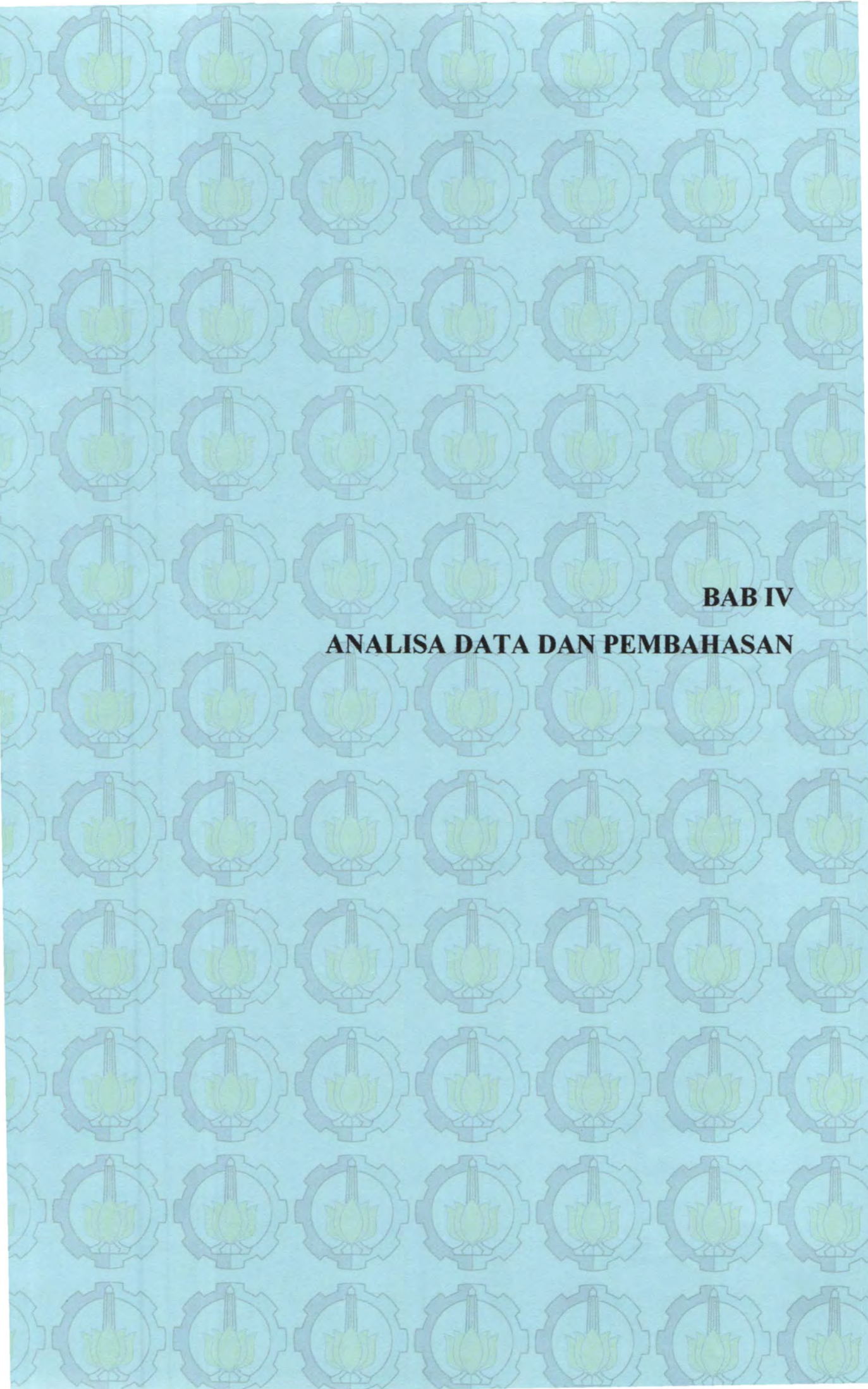
Gambar 3. 4 Rute onshore pipeline (Sumber: PT.X)

3.6 Timeline Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Waktu Pengerjaan dalam Bulan																				
		September				Oktober				November				Desember				Januari				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Menentukan bidang studi yang ingin dipilih	Orange	Orange																			
2	Menentukan judul tugas akhir		Orange																			
3	Studi literatur		Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
4	Pengumpulan data	Red	Red	Red	Red																	
5	Mengerjakan proposal P1		Orange	Orange	Orange																	
6	Sidang proposal P1				Green																	
7	Pengerjaan revisi P1				Orange	Orange																
8	Analisa <i>probability</i> kebocoran dengan simulasi monte carlo					Red	Red															
9	Analisa konsekuensi kebocoran berdasarkan API RBI 581						Orange	Orange														
10	Menentukan tingkat risiko menggunakan matriks risiko serta rekomendasi program inspeksi							Orange														
11	Analisa hasil dan kesimpulan								Orange	Orange												
12	Menyelesaikan laporan P2						Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange								
13	Sidang tugas akhir P2													Green								
14	Pengerjaan revisi P2													Orange	Orange	Orange						
14	Menyelsaikan laporan P3														Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
15	Sidang tugas akhir P3																				Green	

Keterangan:

-  Durasi Pengerjaan
-  Dipresiksi Tidak Tepat Waktu
-  Sidang



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Utama

Salah satu data yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah data tebal hasil inspeksi pipa GS-3 sampai NBS (*North Booster Station*) pada tahun 2018 (terbaru) yang dapat dilihat pada halaman Lampiran, lalu beberapa data utama pada Tabel 3.1.

4.2 Perhitungan Peluang Kegagalan Pipa terhadap Kebocoran

Peluang kegagalan pada pipa ini dianalisa dengan cara menghitung beberapa PKM (*pipeline kilometer*) dari pipa yang dianggap paling berpotensi terkena *internal corrosion* serta dapat mewakili PKM (*pipeline kilometer*) yang lainnya berdasarkan pada kemungkinan terjadinya kebocoran pada pipa. Kebocoran yang terjadi pada pipa akibat adanya *internal corrosion* yang terjadi selama pipa beroperasi dalam melakukan perhitungan peluang kegagalan digunakan Persamaan 2.5.

Laju korosi diperoleh dari informasi ketebalan pipa setelah mengalami korosi di kurangi dengan selisih dari tahun inspeksi dan tahun instalasi. Untuk menghitung laju korosi digunakan Persamaan 2.6.

Dalam melakukan perhitungan peluang kegagalan digunakan variabel acak yang berupa data t (tebal setelah terkorosi). Data hasil inspeksi berupa data ketebalan pipa setelah mengalami *internal corrosion* pada tahun 2018 yang ditampilkan pada halaman ampiran A. Inspeksi pada GS-3 (*Gathering Station*) sampai NBS (*North Booster Station*) dilakukan setiap 2 tahun sekali dengan menggunakan salah satu metode NDT yaitu *Ultrasonic Test*. Namun data yang digunakan pada analisa perhitungan tugas akhir ini ialah data inspeksi ketebalan pada beberapa titik (PKM/*Pipeline Kilometer*) yang diwakili dengan sebutan TP (*test point*) yang hasilnya maksimal karena dianggap dapat mewakili data-data ketebalan pipa yang telah mengalami *internal corrosion* lainnya yang lebih kecil.

Kemudian untuk masing-masing variabel acak tersebut dicari distribusinya, dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Distribusi statistik ketebalan pada pipa (mm)

Parameter Statistik	Distribusi Data	Mean (mm)	Standard Deviasi (mm)
TP-1	Distribusi Normal	5.35	0.0833
TP-2	Distribusi Normal	5.35	0.248
TP-3	Distribusi Normal	5.4	0.0857

Perhitungan peluang kegagalan pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Hal ini disebabkan karena dengan metode simulasi Monte Carlo dapat lebih menggambarkan kondisi/keadaan riil yang terjadi di lapangan. Maksudnya adalah simulasi yang dilakukan dalam metode ini dengan menggunakan data acak yang berasal dari *Random Number Generator* (RNG) atau angka acak yang sesuai dengan data sebenarnya di lapangan.

Simulasi Monte Carlo yang dilakukan dengan men-generate masing-masing variabel acak menjadi 15000 *Random Number Generator* (RNG) yang berbeda satu sama lain. Setelah didapat 15000 *Random Number Generator* (RNG) kemudian dilakukan transformasi (RNG) ke dalam persamaan fdk-nya. Setelah didapat fungsi distribusi kumulatif (fdk)-nya, maka hasilnya dimasukkan ke dalam persamaan moda kegagalan seperti pada Persamaan 2.5 untuk dilakukan simulasi. Dan dari hasil simulasi sebanyak 15000 simulasi tersebut, kemudian dihitung jumlah gagal dibagi dengan jumlah simulasi agar diperoleh peluang gagalnya. Untuk lebih memudahkan dalam melihat kestabilan simulasi dan pembacaannya, maka pencatatan peluang kegagalan dilakukan untuk setiap 1000 simulasi. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik, sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Grafik peluang kegagalan pipa

Setelah dilakukan simulasi Monte Carlo untuk moda kegagalan terhadap kebocoran, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Peluang kegagalan pipa terhadap kebocoran

Lokasi	Keandalan	Peluang Kegagalan
TP-1	0.9851	0.0149
TP-2	0.9999	0.0001
TP-3	1	0

Berdasarkan hasil perhitungan simulasi Monte Carlo, didapat peluang kegagalan (P_g) terbesar terjadi pada pipa sebesar 0.0149 dan peluang keandalannya (P_s) ialah sebesar 0.9851. Analisa secara umum dari hasil simulasi Monte Carlo untuk setiap *test point* menunjukkan bahwa peluang kegagalan terbesar terletak pada Lokasi TP-1.

Dari hasil perhitungan peluang kegagalan yang menggunakan simulasi Monte Carlo diketahui bahwa peluang kegagalan terbesar terjadi di TP-1 (*test point*) dengan peluang kegagalan sebesar 0.0149, maka katagori peluang kegagalan dapat diketahui dengan cara menyesuaikan hasil perhitungan peluang kegagalan terbesar dengan tabel kategori peluang kegagalan yang ada pada Tabel 2.2.

Setelah dilakukan penyesuaian antara perhitungan peluang kegagalan dengan Tabel 2.2, maka diketahui kategori peluang kegagalan yang terjadi yaitu masuk kedalam kategori 1.

4.3 Analisa Konsekuensi Lingkungan dengan Menggunakan Metode Kuantitatif RBI

4.3.1 Menentukan Sifat dan Jenis Fluida Representatif

Langkah pertama dalam melakukan analisa konsekuensi dengan menggunakan metode kuantitatif RBI ialah menentukan sifat dan jenis fluida representatif yang disalurkan melalui pipa tersebut. berdasarkan referensi yang didapatkan, maka fluida representatif yang dialirkan adalah C_{25}^+ . Dimana sifat-sifat dari fluida jenis C_{25}^+ tersebut menurut Tabel 4.2 di API RBI 581 (Lampiran) adalah sebagai berikut:

- Berat molekul : 422 lb/mol
- Massa jenis : 56.187 lb/ft³
- Temperatur Autoignition : 398 °F
- Tingkat keadaan : Liquid

Pada pipa milik PT.X ini, konsekuensi dari fluida representatif yang mungkin terjadi ialah terjadinya kebakaran.

4.3.2 Analisa Laju Pelepasan Fluida

Setelah diketahui jenis dan sifat fluida yang mengalir maka kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui tipe laju pelepasan fluida yang mengalir tersebut. tipe laju pelepasan fluida dapat diketahui dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2.7.

Dari hasil perhitungan didapat laju pelepasan fluida pada masing-masing lubang kebocoran (0.25, 1, 4, 12 inch) yang ditampilkan pada Tabel 4.3 serta grafik laju pelepasan fluida yang terjadi sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Laju pelepasan fluida

Ukuran Lubang (inch)	Laju Pelepasan Fluida (lb/s)
0.25	1.70
1	27.26
4	436.22
12	3925.94



Gambar 4. 2 Laju Pelepasan Fluida

Dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.2 di atas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar lubang kebocoran maka semakin besar pula laju pelepasan fluidanya. Hal ini disebabkan karena hubungan antara laju pelepasan fluida yang berbanding lurus dengan luas lubang kebocoran sesuai dengan Tabel 4.4 API RBI 581 (Lampiran).

4.3.3 Menentukan Jenis Kebocoran

Untuk menentukan jenis kebocoran yang terjadi adalah dengan menghitung laju aliran massa yang keluar dalam waktu 3 menit. API RBI memiliki dua klasifikasi mengenai tipe kebocoran tersebut. Dua tipe kebocoran itu yaitu tipe kebocoran kontinyu (terus menerus) dan tipe kebocoran seketika. Suatu kebocoran dikatakan dalam jenis kebocoran seketika jika total massa fluida yang keluar sekitar 10000 lb atau lebih dalam waktu singkat (3 menit). Sedangkan untuk tipe kebocoran kontinyu (terus menerus) adalah jika total massa fluida yang keluar kurang dari 10000 lb dalam waktu 3 menit. Pada kasus yang dianalisa ini diketahui bahwa total

massa yang keluar dari lubang kebocoran dengan ukuran 0.25 dan 1 inch dalam selang waktu 3 menit adalah kurang dari 10000 lb, maka dapat disimpulkan bahwa tipe kebocoran yang terjadi pada ukuran lubang 0.25 dan 1 inch termasuk dalam tipe kebocoran kontinyu (terus menerus). Sedangkan pada ukuran lubang kebocoran 4 dan 12 inch termasuk dalam tipe kebocoran seketika, karena total massa fluida yang keluar dalam selang waktu 3 menit adalah lebih dari 10000 lb. Hasil analisa ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Jenis Pelepasan Fluida

Ukuran Lubang (inch)	Laju Pelepasan Fluida × 3 menit (lb)	Jenis Pelepasan Fluida
0.25	306.71	Terus Menerus
1	4907.42	Terus Menerus
4	78518.73	Seketika
12	706668.56	Seketika

4.3.4 Analisa Luas Daerah Akibat Kebocoran

Dalam metode RBI, konsekuensi terlepasnya fluida representatif ditentukan dengan menggunakan ukuran luas daerah. Terdapat dua jenis luas daerah akibat kebocoran fluida yaitu luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya. Menurut API RBI 581 Persamaan yang digunakan untuk menghitung luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya ialah sebagai berikut yang terdapat pada Tabel 7.10 dan 7.11 yang terdapat pada API RBI 581 (Lampiran).

- Persamaan untuk luas daerah kerusakan

Pelepasan fluida terus menerus
 $A = 544 X^{0.90}$ (4.1)

Pelepasan fluida seketika
 $A = 1.4 X^{0.99}$ (4.2)

- Persamaan untuk luas daerah berbahaya

Pelepasan fluida terus menerus

$$A = 1604 X^{0.90} \dots\dots\dots (4.3)$$

Pelepasan fluida seketika

$$A = 4.1 X^{0.99} \dots\dots\dots (4.4)$$

Setelah dilakukan perhitungan maka dapat diketahui luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan 4.6 berikut.

Tabel 4. 5 Luas daerah kerusakan akibat kebocoran

Ukuran Lubang (inch)	Luas Daerah Kerusakan (ft ²)
0.25	878.85
1	10656.67
4	574.69
12	5059.78

Tabel 4. 6 Luas daerah berbahaya akibat kebocoran

Ukuran Lubang (inch)	Luas Daerah Berbahaya (ft ²)
0.25	2591.31
1	31421.51
4	1683.01
12	14817.94

4.3.5 Frekuensi Kerusakan Generik

Langkah berikutnya ialah dengan menentukan kerusakan generik peralatan yang dianalisa yang dipengaruhi oleh dimensi dan jenis peralatan yang mengalami kebocoran. Frekuensi kerusakan generik dari suatu peralatan diperoleh dengan menyesuaikan konsekuensi kebocoran dengan frekuensi kebocoran yang terdapat pada Tabel 8.1 di API RBI (Lampiran) dimana hasil penjumlahan dari frekuensi kebocoran dijadikan penyebut dan frekuensi kebocoran masing-masing pipa dijadikan pembilang sehingga diperoleh frekuensi dan fraksi kerusakan generik sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Frekuensi dan fraksi kerusakan generik

Frekuensi Kerusakan Generik				Jumlah Total Frekuensi Generik	Fraksi Kerusakan Generik			
Ukuran Lubang (inch)					Ukuran Lubang (inch)			
0.25	1	4	12		0.25	1	4	12
1×10^{-7}	3×10^{-7}	3×10^{-8}	2×10^{-8}	45×10^{-8}	0.02	0.07	0.01	0.004

4.3.6 Analisa Konsekuensi Kegagalan

Konsekuensi kegagalan dihitung berdasarkan luas daerah yang mengalami dampak kebakaran akibat suatu kebocoran. Konsekuensi kegagalan didapat dari luas daerah akibat kebocoran yang terdiri dari luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya. Dari kedua jenis luas akibat kebocoran tersebut kemudian dipilih yang paling besar. Konsekuensi kegagalan kemudian dikalikan dengan fraksi kerusakan generik sehingga didapat luas daerah konsekuensi kegagalan seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Luas daerah konsekuensi kegagalan

Ukuran Lubang (inch)	Luas Daerah Konsekuensi Kegagalan (ft ²)
0.25	57.58
1	2094.77
4	11.22
12	65.86



Dari Tabel 4.8 di atas maka dapat diketahui bahwa luas daerah konsekuensi kebocoran terbesar terjadi pada lubang kebocoran dengan diameter 1 inch yang memiliki luas daerah konsekuensi kebocoran dengan luas 2094.77 ft². Menurut Tabel B-3 pada API RBI 581 (Lampiran), Luas daerah konsekuensi kebocoran tersebut masuk pada kategori tipe konsekuensi D.

4.4 Analisa Tingkat Risiko Lingkungan

Dalam menentukan tingkat risiko semi-kuantitatif dilakukan dengan cara mengkombinasikan kategori peluang (*probability of failure*) dengan kategori kegagalan (*concequency of failure*). Dari hasil analisa peluang kegagalan dan konsekuensi kegagalan yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan analisa risiko terhadap lingkungan

Item yang dianalisa	Pipa 12" GS-3 - NBS
Peluang kegagalan	0.0149
Kategori peluang kegagalan	1
Konsekuensi kegagalan	2094.77 ft ²
Kategori konsekuensi	D
Risk = PoF×CoF	1D

Dari hasil perhitungan peluang dan konsekuensi kegagalan seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 4.12 di atas, maka dapat diketahui tingkat risiko pipa menggunakan matriks pada Gambar 2.1.

Dari gambar matriks risiko pada Gambar 2.1., maka dapat disimpulkan bahwa tingkat risiko pipa penyalur *crude oil* 12 inch yang ada di PT. X setelah



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah analisa risiko pada pipa penyalur minyak dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Peluang kegagalan terhadap *internal corrosion* pada masing-masing *test point* ialah sebagai berikut.

Tabel peluang kegagalan pipa terhadap kebocoran

Lokasi	Keandalan	Peluang Kegagalan
TP-1	0.9851	0.0149
TP-2	0.9999	0.0001
TP-3	1	0

Dimana peluang kegagalan tertinggi terletak pada *Test Point-1* (TP-1) yaitu sebesar 0.0149; masuk ke dalam kategori 1 berdasarkan tabel kategori peluang pada API 581. Menurut Google Earth, pada *Test Point-1* (TP-1) nampak berdekatan dengan sebuah *station* yang mana berpotensi memapar pipa GS-3 sampai NBS.

2. Konsekuensi kegagalan terhadap luas daerah kebocoran yang paling besar yakni 2094.77 ft² pada ukuran lubang 1 inch; masuk ke dalam kategori D berdasarkan tabel kategori konsekuensi pada API 581.
3. Hasil analisa tingkat risiko lingkungan dengan menggunakan metode semi-kuantitatif RBI pada *risk matrix* API 581 masuk ke dalam kategori risiko menengah atau *medium risk*.
4. Dengan melihat risiko pada peralatan yang dianalisa, maka interval inspeksi yang direkomendasikan adalah 8 tahun dengan menggunakan metode *intelligent pigging*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diajukan sehubungan dengan penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai *intelligent pig* dan penentuan metode inspeksi yang sesuai.
2. Karena pada penelitian ini menggunakan matriks DNV RP-G-101 dalam menentukan interval inspeksi, maka perlu dilakukan penentuan interval inspeksi dengan menggunakan metode lain.
3. Perlu dilakukan analisa konsekuensi terhadap *safety* / keselamatan, dan *cost* / biaya.





DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, *et al.* 2012. “*Analisa Risiko dan Langkah Mitigasi pada Offshore Pipeline*”. **Jurnal Teknik ITS**, Vol. 1, No. 1.
- API Recommended Practice 570. 1998. “*Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems*”. Washington.
- API Recommended Practice 581 Second Edition. 2008. “*Risk Based Inspection Technology*”. Washington.
- API Recommended Practice 581 Third Edition. 2016. “*Risk Based Inspection Methodology*”. Washington.
- API Recommended Practice 5L. 2000. “*Specification for Line Pipe*”. Washington.
- ASME B31.G. 1991. “*Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines*”. New York.
- ASME B31.4. 2016. “*Pipeline Transportation System for Liquid and Slurries*”. New York.
- Ariyani, D. and Vanny, I. “*Risk Assessment Dengan Simulasi Monte Carlo dan Mitigasinya Pada Industri Compressed Natural Gas*”. **Jurnal Tugas Akhir Program Studi Teknik Industri ITS**.
- DNV-RP-G101. 2010. “*Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment*”. Norway.
- Fontana, G. M. and Greene. D. N. 1910. “*Corrosion Engineering Second Edition*”. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Guo, B. and., *et al.* 2013. “*Offshore Pipelines 2nd Edition*”. United States of Amerika: Gulf Professional Publishing.

- Haryadi, D. G., et al. 2016. “*Penilaian Risiko Dan Perencanaan Inspeksi Pipa Transmisi Gas Alam Cepu-Semarang Menggunakan Metode Risk Based Inspection Semi-Kuantitatif API 581*”. **Jurnal Teknik Mesin**. Vol. 25: 18-28.
- Jones, A. D. 1996. “*Principles and Prevention of Corrosion*”. United States of Amerika: Frentice-Hall Inc.
- Lubis, Z. A. H. “*Analisa Resiko pada Reducer Pipeline Akibat Internal Corrosion dengan Metode RBF*”. **Jurnal Tugas Akhir Program Studi Teknik Kelautan ITS**.
- Perumal. 2014. “*Corrosion Risk Analysis, Risk Based Inspection and a Case Study Concerning a Condensate Pipeline*”. **Procedia Engineering 86: 597 – 605**.
- Prabowo, L. R., et al. “*Penilaian Risiko Pada Onshore Pipeline Menggunakan Metode Risk Based Inspection (RBI)*”. **Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and its Application**.
- Rosyid, D. M. 2007. “*Pengantar Rekayasa Keandalan*”. Surabaya: Airlangga University Press.
- Widharto, S. 2002. “*Inspeksi Teknik Jilid 3*”. Jakarta: PT Pradnya Paramita.



LAMPIRAN

LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA INSPEKSI KETEBALAN PIPA

Tabel Data Inspeksi GS-3 Sampai NBS Tahun 2018 (mm)

Test Point 1

Distance relative to datum	Indication Description	Comments
-8.34m	Weld	
-7.76m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.54mm (3 o'clock)
-6.98m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.17mm (2 o'clock)
-3.70m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.68mm (6 o'clock)
-3.20m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.27mm (6 o'clock)
-2.49m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.15mm (6 o'clock)
-1.94m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.64mm (7 o'clock)
0.00m	Weld	Datum
0.81m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.00mm (6 o'clock)
6.96m	Pipe Support	
8.27m	Sleeve->	Sleeve Start
14.35m	<-Sleeve	Sleeve End

Tabel Data Inspeksi GS-3 Sampai NBS Tahun 2018 (mm)

Test Point 2		
Distance relative to datum	Indication Description	Comments
-8.69m	Sleeve->	Sleeve End
0.00m	<-Sleeve	Datum / Sleeve Start
4.56m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.34mm (12 o'clock)
9.85m	Weld	
11.69m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.49mm (5 o'clock)
13.26m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.30mm (1 o'clock)
17.37m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.24mm (4 o'clock)
19.23m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.37mm (2 o'clock)
20.40m	Sleeve->	Sleeve Start
36.84m	<-Sleeve	Sleeve End



Tabel Data Inspeksi GS-3 Sampai NBS Tahun 2018 (mm)

Test Point 3

Distance relative to datum	Indication Description	Comments
-24.12m	<-Sleeve	Sleeve Start
-22.81m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.15mm (12 o'clock)
-21.59m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.30mm (2 o'clock)
-19.12m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.37mm (5 o'clock)
-16.70m	Sleeve->	Sleeve End
-14.21m	<-Sleeve	Sleeve Start
-9.81m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.40mm (4 o'clock)
-2.65m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.40mm (1 o'clock)
0.00m	Sleeve->	Datum / Sleeve Start
3.71m	<-Sleeve	Sleeve End
6.30m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.32mm (3 o'clock)
9.34m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.45mm (4 o'clock)
11.84m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.35mm (2 o'clock)
12.99m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.49mm (12 o'clock)
13.96m	Cat 1.	Internal Corrosion with WT Reading 5.40mm (12 o'clock)
15.53m	Pipe Support	
17.92m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.45mm (11 o'clock)
19.23m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.37mm (12 o'clock)
20.57m	Weld	
21.46m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.46mm (1 o'clock)

Tabel Data Inspeksi GS-3 Sampai NBS Tahun 2018 (mm) (lanjutan)**Test Point 3**

Distance relative to datum	Distance relative to datum	Distance relative to datum
22.95m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.40mm (5 o'clock)
24.13m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.60mm (5 o'clock)
25.48m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.45mm (6 o'clock)
27.76m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.40mm (6 o'clock)
28.39m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.34mm (3 o'clock)
29.80m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.45mm (10 o'clock)
30.40m	Pipe Support	
31.52m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.37mm (6 o'clock)
32.54m	Cat 2.	Internal Corrosion with WT Reading 5.47mm (12 o'clock)
32.80m	Weld	

LAMPIRAN B SIMULASI *MONTE*
CARLO

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1	9.53	5.587753811	3.942246189	65	0.060649941	60	0.731	1
2	9.53	5.616778752	3.913221248	65	0.060203404	60	0.7578	1
3	9.53	5.152334023	4.377665977	65	0.067348707	60	0.3291	1
4	9.53	5.519824634	4.010175366	65	0.061695006	60	0.6683	1
5	9.53	5.010751091	4.519248909	65	0.069526906	60	0.1984	1
6	9.53	5.317934018	4.212065982	65	0.064801015	60	0.4819	1
7	9.53	5.049397067	4.480602933	65	0.068932353	60	0.2341	1
8	9.53	5.619023021	3.910976979	65	0.060168877	60	0.7599	1
9	9.53	5.661406438	3.868593562	65	0.059516824	60	0.799	1
10	9.53	5.759275744	3.770724256	65	0.058011142	60	0.8893	1
11	9.53	5.580087207	3.949912793	65	0.060767889	60	0.7239	1
12	9.53	4.944957917	4.585042083	65	0.070539109	60	0.1377	1
13	9.53	5.317475014	4.212524986	65	0.064808077	60	0.4815	1
14	9.53	5.452410286	4.077589714	65	0.062732149	60	0.6061	1
15	9.53	5.277128638	4.252871362	65	0.06542879	60	0.4443	1
16	9.53	5.705275697	3.824724303	65	0.058841912	60	0.8395	1
17	9.53	5.204830749	4.325169251	65	0.066541065	60	0.3775	1
18	9.53	5.32490535	4.20509465	65	0.064693764	60	0.4884	1
19	9.53	5.120815575	4.409184425	65	0.067833607	60	0.3	1
20	9.53	5.518914521	4.011085479	65	0.061709007	60	0.6675	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
981	9.53	5.396186551	4.133813449	65	0.06359713	60	0.5542	1
982	9.53	5.488089936	4.041910064	65	0.062183232	60	0.639	1
983	9.53	5.327306943	4.202693057	65	0.064656816	60	0.4906	1
984	9.53	5.307457003	4.222542997	65	0.0649622	60	0.4723	1
985	9.53	5.137292909	4.392707091	65	0.067580109	60	0.3152	1
986	9.53	5.262978747	4.267021253	65	0.065646481	60	0.4312	1
987	9.53	5.408467158	4.121532842	65	0.063408198	60	0.5655	1
988	9.53	5.647385395	3.882614605	65	0.059732532	60	0.786	1
989	9.53	4.862734212	4.667265788	65	0.071804089	60	0.0618	1
990	9.53	5.116802393	4.413197607	65	0.067895348	60	0.2963	1
991	9.53	5.467694435	4.062305565	65	0.062497009	60	0.6202	1
992	9.53	5.563145795	3.966854205	65	0.061028526	60	0.7083	1
993	9.53	5.315330553	4.214669447	65	0.064841068	60	0.4795	1
994	9.53	5.083390414	4.446609586	65	0.068409378	60	0.2654	1
995	9.53	5.555693468	3.974306532	65	0.061143177	60	0.7014	1
996	9.53	5.23366284	4.29633716	65	0.066097495	60	0.4042	1
997	9.53	5.416260636	4.113739364	65	0.063288298	60	0.5727	1
998	9.53	5.493416692	4.036583308	65	0.062101282	60	0.6439	1
999	9.53	5.263281272	4.266718728	65	0.065641827	60	0.4315	1
1000	9.53	5.211489123	4.318510877	65	0.066438629	60	0.3837	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1981	9.53	5.24404625	4.28595375	65	0.06593775	60	0.4137	1
1982	9.53	5.471937119	4.058062881	65	0.062431737	60	0.6241	1
1983	9.53	5.607556949	3.922443051	65	0.060345278	60	0.7493	1
1984	9.53	4.846568707	4.683431293	65	0.072052789	60	0.0468	1
1985	9.53	4.956734127	4.573265873	65	0.070357937	60	0.1485	1
1986	9.53	5.188452095	4.341547905	65	0.066793045	60	0.3624	1
1987	9.53	5.279600999	4.250399001	65	0.065390754	60	0.4466	1
1988	9.53	5.242860396	4.287139604	65	0.065955994	60	0.4126	1
1989	9.53	5.268806234	4.261193766	65	0.065556827	60	0.4366	1
1990	9.53	5.340464394	4.189535606	65	0.064454394	60	0.5027	1
1991	9.53	5.297252909	4.232747091	65	0.065119186	60	0.4628	1
1992	9.53	5.310399928	4.219600072	65	0.064916924	60	0.475	1
1993	9.53	5.38633686	4.14366314	65	0.063748664	60	0.5451	1
1994	9.53	5.191884473	4.338115527	65	0.066740239	60	0.3656	1
1995	9.53	5.402126534	4.127873466	65	0.063505746	60	0.5597	1
1996	9.53	5.679091054	3.850908946	65	0.059244753	60	0.8153	1
1997	9.53	5.569838566	3.960161434	65	0.060925561	60	0.7145	1
1998	9.53	5.504505524	4.025494476	65	0.061930684	60	0.6542	1
1999	9.53	5.524313736	4.005686264	65	0.061625943	60	0.6724	1
2000	9.53	5.507580962	4.022419038	65	0.06188337	60	0.657	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
2981	9.53	5.240041527	4.289958473	65	0.065999361	60	0.41	1
2982	9.53	5.455662784	4.074337216	65	0.062682111	60	0.6091	1
2983	9.53	5.195839857	4.334160143	65	0.066679387	60	0.3692	1
2984	9.53	4.975344644	4.554655356	65	0.070071621	60	0.1657	1
2985	9.53	4.929899886	4.600100114	65	0.070770771	60	0.1238	1
2986	9.53	5.690218794	3.839781206	65	0.059073557	60	0.8256	1
2987	9.53	5.399762439	4.130237561	65	0.063542116	60	0.5575	1
2988	9.53	5.105366207	4.424633793	65	0.068071289	60	0.2857	1
2989	9.53	5.949551422	3.580448578	65	0.055083824	60	1.065	1
2990	9.53	5.254594879	4.275405121	65	0.065775463	60	0.4235	1
2991	9.53	5.340995857	4.189004143	65	0.064446218	60	0.5032	1
2992	9.53	5.469651686	4.060348314	65	0.062466897	60	0.622	1
2993	9.53	4.979624544	4.550375456	65	0.070005776	60	0.1697	1
2994	9.53	5.002589395	4.527410605	65	0.069652471	60	0.1909	1
2995	9.53	5.514255125	4.015744875	65	0.06178069	60	0.6632	1
2996	9.53	5.400924609	4.129075391	65	0.063524237	60	0.5585	1
2997	9.53	5.179719181	4.350280819	65	0.066927397	60	0.3544	1
2998	9.53	5.177527354	4.352472646	65	0.066961118	60	0.3523	1
2999	9.53	5.195333205	4.334666795	65	0.066687181	60	0.3688	1
3000	9.53	5.468799653	4.061200347	65	0.062480005	60	0.6212	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
3981	9.53	5.423663905	4.106336095	65	0.063174401	60	0.5795	1
3982	9.53	5.467227537	4.062772463	65	0.062504192	60	0.6197	1
3983	9.53	5.701195413	3.828804587	65	0.058904686	60	0.8357	1
3984	9.53	5.744201925	3.785798075	65	0.058243047	60	0.8754	1
3985	9.53	4.790664978	4.739335022	65	0.072912846	60	-0.0048	0
3986	9.53	5.576752945	3.953247055	65	0.060819185	60	0.7208	1
3987	9.53	5.418485169	4.111514831	65	0.063254074	60	0.5748	1
3988	9.53	5.262978747	4.267021253	65	0.065646481	60	0.4312	1
3989	9.53	5.799142535	3.730857465	65	0.057397807	60	0.9261	1
3990	9.53	5.275502671	4.254497329	65	0.065453805	60	0.4428	1
3991	9.53	5.358396555	4.171603445	65	0.064178515	60	0.5193	1
3992	9.53	5.229943443	4.300056557	65	0.066154716	60	0.4007	1
3993	9.53	5.555452689	3.974547311	65	0.061146882	60	0.7012	1
3994	9.53	5.547275203	3.982724797	65	0.061272689	60	0.6936	1
3995	9.53	5.506885126	4.023114874	65	0.061894075	60	0.6564	1
3996	9.53	5.712078426	3.817921574	65	0.058737255	60	0.8458	1
3997	9.53	5.23417062	4.29582938	65	0.066089683	60	0.4046	1
3998	9.53	5.338470772	4.191529228	65	0.064485065	60	0.5009	1
3999	9.53	5.532497424	3.997502576	65	0.06150004	60	0.68	1
4000	9.53	5.503723131	4.026276869	65	0.061942721	60	0.6534	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
4981	9.53	5.306975726	4.223024274	65	0.064969604	60	0.4718	1
4982	9.53	5.280252852	4.249747148	65	0.065380725	60	0.4472	1
4983	9.53	5.577214205	3.952785795	65	0.060812089	60	0.7213	1
4984	9.53	5.531008199	3.998991801	65	0.061522951	60	0.6786	1
4985	9.53	5.174225797	4.355774203	65	0.067011911	60	0.3493	1
4986	9.53	5.209578111	4.320421889	65	0.066468029	60	0.3819	1
4987	9.53	4.951097516	4.578902484	65	0.070444654	60	0.1433	1
4988	9.53	5.441271268	4.088728732	65	0.062903519	60	0.5958	1
4989	9.53	5.597926891	3.932073109	65	0.060493432	60	0.7404	1
4990	9.53	5.665241996	3.864758004	65	0.059457815	60	0.8025	1
4991	9.53	5.430073605	4.099926395	65	0.063075791	60	0.5855	1
4992	9.53	5.477621661	4.052378339	65	0.062344282	60	0.6293	1
4993	9.53	5.262898111	4.267101889	65	0.065647721	60	0.4311	1
4994	9.53	5.226862366	4.303137634	65	0.066202117	60	0.3979	1
4995	9.53	5.294240908	4.235759092	65	0.065165524	60	0.4601	1
4996	9.53	5.314774843	4.215225157	65	0.064849618	60	0.479	1
4997	9.53	5.251913034	4.278086966	65	0.065816723	60	0.421	1
4998	9.53	5.045644965	4.484355035	65	0.068990077	60	0.2306	1
4999	9.53	5.342021003	4.187978997	65	0.064430446	60	0.5042	1
5000	9.53	5.413002499	4.116997501	65	0.063338423	60	0.5697	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
5981	9.53	5.364892248	4.165107752	65	0.064078581	60	0.5253	1
5982	9.53	4.686309847	4.843690153	65	0.07451831	60	-0.1011	0
5983	9.53	5.6621175	3.8678825	65	0.059505885	60	0.7996	1
5984	9.53	5.926842576	3.603157424	65	0.055433191	60	1.044	1
5985	9.53	5.413257376	4.116742624	65	0.063334502	60	0.5699	1
5986	9.53	5.839907034	3.690092966	65	0.056770661	60	0.9638	1
5987	9.53	4.983625885	4.546374115	65	0.069944217	60	0.1733	1
5988	9.53	5.039675096	4.490324904	65	0.069081922	60	0.2251	1
5989	9.53	5.424536802	4.105463198	65	0.063160972	60	0.5803	1
5990	9.53	4.726269116	4.803730884	65	0.073903552	60	-0.0642	0
5991	9.53	5.150556652	4.379443348	65	0.067376052	60	0.3274	1
5992	9.53	5.383654451	4.146345549	65	0.063789932	60	0.5426	1
5993	9.53	5.802009335	3.727990665	65	0.057353703	60	0.9288	1
5994	9.53	5.79339653	3.73660347	65	0.057486207	60	0.9208	1
5995	9.53	5.02980144	4.50019856	65	0.069233824	60	0.216	1
5996	9.53	5.243879904	4.286120096	65	0.065940309	60	0.4136	1
5997	9.53	5.073261317	4.456738683	65	0.068565211	60	0.2561	1
5998	9.53	5.304488985	4.225511015	65	0.065007862	60	0.4695	1
5999	9.53	5.259012931	4.270987069	65	0.065707493	60	0.4276	1
6000	9.53	5.877049124	3.652950876	65	0.056199244	60	0.998	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
6981	9.53	5.438637353	4.091362647	65	0.062944041	60	0.5934	1
6982	9.53	5.65367104	3.87632896	65	0.05963583	60	0.7919	1
6983	9.53	5.192349116	4.337650884	65	0.066733091	60	0.366	1
6984	9.53	5.445282758	4.084717242	65	0.062841804	60	0.5995	1
6985	9.53	5.604325878	3.925674122	65	0.060394986	60	0.7463	1
6986	9.53	4.93552522	4.59447478	65	0.070684227	60	0.1289	1
6987	9.53	5.771219993	3.758780007	65	0.057827385	60	0.9004	1
6988	9.53	5.377231499	4.152768501	65	0.063888746	60	0.5367	1
6989	9.53	5.592024689	3.937975311	65	0.060584236	60	0.7349	1
6990	9.53	5.225723879	4.304276121	65	0.066219633	60	0.3968	1
6991	9.53	5.549390906	3.980609094	65	0.06124014	60	0.6956	1
6992	9.53	5.233535402	4.296464598	65	0.066099455	60	0.404	1
6993	9.53	5.216187427	4.313812573	65	0.066366347	60	0.388	1
6994	9.53	5.490488992	4.039511008	65	0.062146323	60	0.6412	1
6995	9.53	5.549994265	3.980005735	65	0.061230857	60	0.6961	1
6996	9.53	5.738989356	3.791010644	65	0.058323241	60	0.8706	1
6997	9.53	5.483724889	4.046275111	65	0.062250386	60	0.635	1
6998	9.53	5.14164555	4.38835445	65	0.067513145	60	0.3192	1
6999	9.53	5.371321684	4.158678316	65	0.063979666	60	0.5312	1
7000	9.53	4.920777327	4.609222673	65	0.070911118	60	0.1153	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
7981	9.53	5.049080163	4.480919837	65	0.068937228	60	0.2338	1
7982	9.53	5.530266125	3.999733875	65	0.061534367	60	0.6779	1
7983	9.53	5.408740079	4.121259921	65	0.063403999	60	0.5658	1
7984	9.53	5.166232139	4.363767861	65	0.06713489	60	0.3419	1
7985	9.53	4.828792743	4.701207257	65	0.072326265	60	0.0304	1
7986	9.53	5.699036854	3.830963146	65	0.058937895	60	0.8337	1
7987	9.53	5.600851772	3.929148228	65	0.060448434	60	0.7431	1
7988	9.53	5.269986167	4.260013833	65	0.065538674	60	0.4377	1
7989	9.53	5.557761241	3.972238759	65	0.061111366	60	0.7033	1
7990	9.53	5.171090023	4.358909977	65	0.067060153	60	0.3464	1
7991	9.53	4.875417152	4.654582848	65	0.071608967	60	0.0735	1
7992	9.53	5.065378744	4.464621256	65	0.068686481	60	0.2488	1
7993	9.53	5.390080504	4.139919496	65	0.063691069	60	0.5485	1
7994	9.53	5.0013714	4.5286286	65	0.069671209	60	0.1897	1
7995	9.53	5.323455597	4.206544403	65	0.064716068	60	0.487	1
7996	9.53	5.552393603	3.977606397	65	0.061193945	60	0.6984	1
7997	9.53	5.101603955	4.428396045	65	0.06812917	60	0.2822	1
7998	9.53	5.061009186	4.468990814	65	0.068753705	60	0.2448	1
7999	9.53	4.860361376	4.669638624	65	0.071840594	60	0.0596	1
8000	9.53	5.359573669	4.170426331	65	0.064160405	60	0.5204	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
8981	9.53	5.406206536	4.123793464	65	0.063442976	60	0.5634	1
8982	9.53	5.375285526	4.154714474	65	0.063918684	60	0.5349	1
8983	9.53	5.429873989	4.100126011	65	0.063078862	60	0.5853	1
8984	9.53	5.089595987	4.440404013	65	0.068313908	60	0.2712	1
8985	9.53	5.825891065	3.704108935	65	0.056986291	60	0.9508	1
8986	9.53	5.46108963	4.06891037	65	0.062598621	60	0.6141	1
8987	9.53	5.3633909	4.1666091	65	0.064101678	60	0.5239	1
8988	9.53	5.123247055	4.406752945	65	0.067796199	60	0.3022	1
8989	9.53	5.711638595	3.818361405	65	0.058744022	60	0.8454	1
8990	9.53	4.662292784	4.867707216	65	0.074887803	60	-0.1233	0
8991	9.53	5.620531418	3.909468582	65	0.06014567	60	0.7613	1
8992	9.53	5.299075391	4.230924609	65	0.065091148	60	0.4645	1
8993	9.53	5.462202461	4.067797539	65	0.062581501	60	0.6151	1
8994	9.53	5.441250968	4.088749032	65	0.062903831	60	0.5958	1
8995	9.53	5.345532044	4.184467956	65	0.06437643	60	0.5074	1
8996	9.53	5.203364643	4.326635357	65	0.066563621	60	0.3762	1
8997	9.53	5.428596222	4.101403778	65	0.06309852	60	0.5841	1
8998	9.53	5.656420552	3.873579448	65	0.05959353	60	0.7944	1
8999	9.53	5.308861645	4.221138355	65	0.06494059	60	0.4736	1
9000	9.53	5.325420178	4.204579822	65	0.064685843	60	0.4888	1



TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Deita Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
9981	9.53	5.639365234	3.890634766	65	0.059855919	60	0.7786	1
9982	9.53	5.52773089	4.00226911	65	0.061573371	60	0.6756	1
9983	9.53	5.550178092	3.979821908	65	0.061228029	60	0.6963	1
9984	9.53	5.625961647	3.904038353	65	0.060062129	60	0.7663	1
9985	9.53	4.953090291	4.576909709	65	0.070413996	60	0.1452	1
9986	9.53	4.965428133	4.564571867	65	0.070224183	60	0.1565	1
9987	9.53	5.264933178	4.265066822	65	0.065616413	60	0.433	1
9988	9.53	5.662201519	3.867798481	65	0.059504592	60	0.7997	1
9989	9.53	5.164078092	4.365921908	65	0.067168029	60	0.3399	1
9990	9.53	5.134760494	4.395239506	65	0.067619069	60	0.3129	1
9991	9.53	5.519776704	4.010223296	65	0.061695743	60	0.6683	1
9992	9.53	5.137621655	4.392378345	65	0.067575051	60	0.3155	1
9993	9.53	5.348093499	4.181906501	65	0.064337023	60	0.5098	1
9994	9.53	5.142938543	4.387061457	65	0.067493253	60	0.3204	1
9995	9.53	5.202527835	4.327472165	65	0.066576495	60	0.3754	1
9996	9.53	5.750851277	3.779148723	65	0.05814075	60	0.8816	1
9997	9.53	5.269506299	4.260493701	65	0.065546057	60	0.4372	1
9998	9.53	5.705011798	3.824988202	65	0.058845972	60	0.8392	1
9999	9.53	5.610437282	3.919562718	65	0.060300965	60	0.7519	1
10000	9.53	5.421822251	4.108177749	65	0.063202735	60	0.5778	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
10981	9.53	5.69645087	3.83354913	65	0.058977679	60	0.8313	1
10982	9.53	5.488045671	4.041954329	65	0.062183913	60	0.639	1
10983	9.53	5.788240349	3.741759651	65	0.057565533	60	0.9161	1
10984	9.53	5.43946683	4.09053317	65	0.06293128	60	0.5941	1
10985	9.53	5.635908045	3.894091955	65	0.059909107	60	0.7755	1
10986	9.53	5.103849352	4.426150648	65	0.068094625	60	0.2843	1
10987	9.53	5.296320804	4.233679196	65	0.065133526	60	0.462	1
10988	9.53	5.412512763	4.117487237	65	0.063345957	60	0.5692	1
10989	9.53	5.647892329	3.882107671	65	0.059724733	60	0.7865	1
10990	9.53	5.787699018	3.742300982	65	0.057573861	60	0.9156	1
10991	9.53	4.973373296	4.556626704	65	0.070101949	60	0.1639	1
10992	9.53	5.628691987	3.901308013	65	0.060020123	60	0.7688	1
10993	9.53	5.208105803	4.321894197	65	0.06649068	60	0.3806	1
10994	9.53	5.370941061	4.159058939	65	0.063985522	60	0.5309	1
10995	9.53	5.624381637	3.905618363	65	0.060086436	60	0.7648	1
10996	9.53	5.314295821	4.215704179	65	0.064856987	60	0.4786	1
10997	9.53	4.892175865	4.637824135	65	0.071351141	60	0.0889	1
10998	9.53	5.465512194	4.064487806	65	0.062530582	60	0.6182	1
10999	9.53	5.613252768	3.916747232	65	0.06025765	60	0.7545	1
11000	9.53	5.274847434	4.255152566	65	0.065463886	60	0.4422	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
11981	9.53	5.643642879	3.886357121	65	0.05979011	60	0.7826	1
11982	9.53	5.024309183	4.505690817	65	0.06931832	60	0.2109	1
11983	9.53	5.248518718	4.281481282	65	0.065868943	60	0.4179	1
11984	9.53	5.626950705	3.903049295	65	0.060046912	60	0.7672	1
11985	9.53	5.161428952	4.368571048	65	0.067208785	60	0.3375	1
11986	9.53	5.4399732	4.0900268	65	0.062923489	60	0.5946	1
11987	9.53	5.384496898	4.145503102	65	0.063776971	60	0.5434	1
11988	9.53	5.741409558	3.788590442	65	0.058286007	60	0.8728	1
11989	9.53	6.068111987	3.461888013	65	0.053259816	60	1.1744	1
11990	9.53	5.629406431	3.900593569	65	0.060009132	60	0.7695	1
11991	9.53	5.392080892	4.137919108	65	0.063660294	60	0.5504	1
11992	9.53	5.520521034	4.009478966	65	0.061684292	60	0.6689	1
11993	9.53	5.143770839	4.386229161	65	0.067480449	60	0.3212	1
11994	9.53	5.553480777	3.976519223	65	0.061177219	60	0.6994	1
11995	9.53	5.572918516	3.957081484	65	0.060878177	60	0.7173	1
11996	9.53	4.928136049	4.601863951	65	0.070797907	60	0.1221	1
11997	9.53	5.734571867	3.795428133	65	0.058391202	60	0.8665	1
11998	9.53	5.4273802	4.1026198	65	0.063117228	60	0.583	1
11999	9.53	5.432876968	4.097123032	65	0.063032662	60	0.588	1
12000	9.53	5.318029879	4.211970121	65	0.06479954	60	0.482	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
12981	9.53	5.281652983	4.248347017	65	0.065359185	60	0.4484	1
12982	9.53	5.2801147	4.2498853	65	0.065382851	60	0.447	1
12983	9.53	5.325210412	4.204789588	65	0.064689071	60	0.4887	1
12984	9.53	5.010557114	4.519442886	65	0.069529891	60	0.1982	1
12985	9.53	5.033091155	4.496908845	65	0.069183213	60	0.219	1
12986	9.53	5.451398673	4.078601327	65	0.062747713	60	0.6051	1
12987	9.53	5.600820194	3.929179806	65	0.06044892	60	0.7431	1
12988	9.53	5.142319677	4.387680323	65	0.067502774	60	0.3198	1
12989	9.53	5.296670414	4.233329586	65	0.065128147	60	0.4623	1
12990	9.53	5.250516286	4.279483714	65	0.065838211	60	0.4197	1
12991	9.53	4.983117259	4.546882741	65	0.069952042	60	0.1729	1
12992	9.53	5.124225398	4.405774602	65	0.067781148	60	0.3031	1
12993	9.53	6.136085147	3.393914853	65	0.052214075	60	1.2372	1
12994	9.53	5.371398091	4.158601909	65	0.063978491	60	0.5313	1
12995	9.53	5.053895191	4.476104809	65	0.068863151	60	0.2382	1
12996	9.53	5.603908602	3.926091398	65	0.060401406	60	0.7459	1
12997	9.53	5.419155349	4.110844651	65	0.063243764	60	0.5754	1
12998	9.53	5.561667284	3.968332716	65	0.061051273	60	0.7069	1
12999	9.53	5.171385218	4.358614782	65	0.067055612	60	0.3467	1
13000	9.53	4.862080103	4.667919897	65	0.071814152	60	0.0612	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
13981	9.53	5.632506116	3.897493884	65	0.059961444	60	0.7723	1
13982	9.53	5.551996627	3.978003373	65	0.061200052	60	0.698	1
13983	9.53	5.225013382	4.304986618	65	0.066230563	60	0.3962	1
13984	9.53	5.40098269	4.12901731	65	0.063523343	60	0.5586	1
13985	9.53	5.643719004	3.886280996	65	0.059788938	60	0.7827	1
13986	9.53	5.268926342	4.261073658	65	0.065554979	60	0.4367	1
13987	9.53	5.745144743	3.784855257	65	0.058228542	60	0.8763	1
13988	9.53	5.757436346	3.772563654	65	0.058039441	60	0.8876	1
13989	9.53	5.488267278	4.041732722	65	0.062180503	60	0.6392	1
13990	9.53	5.519824634	4.010175366	65	0.061695006	60	0.6683	1
13991	9.53	5.112005973	4.417994027	65	0.067969139	60	0.2919	1
13992	9.53	5.172195805	4.357804195	65	0.067043141	60	0.3474	1
13993	9.53	5.540501796	3.989498204	65	0.061376895	60	0.6874	1
13994	9.53	5.252220634	4.277779366	65	0.06581199	60	0.4213	1
13995	9.53	5.191326226	4.338673774	65	0.066748827	60	0.3651	1
13996	9.53	5.388217422	4.141782578	65	0.063719732	60	0.5468	1
13997	9.53	5.245540832	4.284459168	65	0.065914756	60	0.4151	1
13998	9.53	4.973072181	4.556927819	65	0.070106582	60	0.1636	1
13999	9.53	5.834547854	3.695452146	65	0.05685311	60	0.9588	1
14000	9.53	5.479531545	4.050468455	65	0.062314899	60	0.6311	1

TP-1								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
14981	9.53	4.859558402	4.670441598	65	0.071852948	60	0.0588	1
14982	9.53	5.564548745	3.965451255	65	0.061006942	60	0.7096	1
14983	9.53	5.401816114	4.128183886	65	0.063510521	60	0.5594	1
14984	9.53	5.433800333	4.096199667	65	0.063018456	60	0.5889	1
14985	9.53	5.413080879	4.116919121	65	0.063337217	60	0.5698	1
14986	9.53	5.019714634	4.510285366	65	0.069389006	60	0.2067	1
14987	9.53	5.476604973	4.053395027	65	0.062359923	60	0.6284	1
14988	9.53	5.263543197	4.266456803	65	0.065637797	60	0.4317	1
14989	9.53	5.211333772	4.318666228	65	0.066441019	60	0.3835	1
14990	9.53	5.057501811	4.472498189	65	0.068807664	60	0.2415	1
14991	9.53	5.072376015	4.457623985	65	0.068578831	60	0.2553	1
14992	9.53	5.063279394	4.466720606	65	0.068718779	60	0.2469	1
14993	9.53	5.697258356	3.832741644	65	0.058965256	60	0.8321	1
14994	9.53	5.074319732	4.455680268	65	0.068548927	60	0.2571	1
14995	9.53	5.311513886	4.218486114	65	0.064899786	60	0.476	1
14996	9.53	5.734635023	3.795364977	65	0.05839023	60	0.8666	1
14997	9.53	5.688621867	3.841378133	65	0.059098125	60	0.8241	1
14998	9.53	5.632469464	3.897530536	65	0.059962008	60	0.7723	1
14999	9.53	5.672261258	3.857738742	65	0.059349827	60	0.809	1
15000	9.53	5.7260865	3.8039135	65	0.058521746	60	0.8587	1

Jumlah percobaan	Jumlah sukses	Jumlah gagal	PoF	PoS
0	0	0	0.0000	0.0000
1000	987	13	0.0130	0.9870
2000	1982	18	0.0090	0.9910
3000	2964	36	0.0120	0.9880
4000	3937	63	0.0158	0.9843
5000	4920	80	0.0160	0.9840
6000	5905	95	0.0158	0.9842
7000	6888	112	0.0160	0.9840
8000	7876	124	0.0155	0.9845
9000	8861	139	0.0154	0.9846
10000	9849	151	0.0151	0.9849
11000	10836	164	0.0149	0.9851
12000	11821	179	0.0149	0.9851
13000	12806	194	0.0149	0.9851
14000	13793	207	0.0148	0.9852
15000	14780	220	0.0147	0.9853
Average			0.0149	0.9851



Jumlah Sampel	15000	
Sukses	14780	0.9851
Gagal	220	0.0149

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1	9.53	5.409032142	4.120967858	65	0.063399506	60	0.566	1
2	9.53	5.320689336	4.209310664	65	0.064758626	60	0.4845	1
3	9.53	5.368141044	4.161858956	65	0.064028599	60	0.5283	1
4	9.53	5.393369143	4.136630857	65	0.063640475	60	0.5516	1
5	9.53	5.455957123	4.074042877	65	0.062677583	60	0.6093	1
6	9.53	5.35496376	4.17503624	65	0.064231327	60	0.5161	1
7	9.53	5.504376488	4.025623512	65	0.061932669	60	0.654	1
8	9.53	5.277489992	4.252510008	65	0.065423231	60	0.4446	1
9	9.53	5.417892475	4.112107525	65	0.063263193	60	0.5742	1
10	9.53	5.434737629	4.095262371	65	0.063004036	60	0.5898	1
11	9.53	5.373142306	4.156857694	65	0.063951657	60	0.5329	1
12	9.53	5.369225846	4.160774154	65	0.06401191	60	0.5293	1
13	9.53	5.279050288	4.250949712	65	0.065399226	60	0.446	1
14	9.53	5.246583329	4.283416671	65	0.065898718	60	0.4161	1
15	9.53	5.359768801	4.170231199	65	0.064157403	60	0.5206	1
16	9.53	5.267373259	4.262626741	65	0.065578873	60	0.4353	1
17	9.53	5.39347142	4.13652858	65	0.063638901	60	0.5517	1
18	9.53	5.462156828	4.067843172	65	0.062582203	60	0.6151	1
19	9.53	5.326473302	4.203526698	65	0.064669642	60	0.4898	1
20	9.53	5.313263157	4.216736843	65	0.064872875	60	0.4776	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
981	9.53	5.150010899	4.379989101	65	0.067384448	60	0.3269	1
982	9.53	5.229409089	4.300590911	65	0.066162937	60	0.4002	1
983	9.53	5.275724005	4.254275995	65	0.0654504	60	0.443	1
984	9.53	5.330689113	4.199310887	65	0.064604783	60	0.4937	1
985	9.53	5.243568992	4.286431008	65	0.065945092	60	0.4133	1
986	9.53	5.315247524	4.214752476	65	0.064842346	60	0.4795	1
987	9.53	5.160212863	4.369787137	65	0.067227494	60	0.3364	1
988	9.53	5.316977998	4.213022002	65	0.064815723	60	0.4811	1
989	9.53	5.293046642	4.236953358	65	0.065183898	60	0.459	1
990	9.53	5.335380417	4.194619583	65	0.064532609	60	0.498	1
991	9.53	5.465279503	4.064720497	65	0.062534161	60	0.618	1
992	9.53	5.408427476	4.121572524	65	0.063408808	60	0.5655	1
993	9.53	5.3713856	4.1586144	65	0.063978683	60	0.5313	1
994	9.53	5.383525812	4.146474188	65	0.063791911	60	0.5425	1
995	9.53	5.273633193	4.256366807	65	0.065482566	60	0.441	1
996	9.53	5.400418979	4.129581021	65	0.063532016	60	0.5581	1
997	9.53	5.389268394	4.140731606	65	0.063703563	60	0.5478	1
998	9.53	5.387934623	4.142065377	65	0.063724083	60	0.5466	1
999	9.53	5.389389422	4.140610578	65	0.063701701	60	0.5479	1
1000	9.53	5.355761996	4.174238004	65	0.064219046	60	0.5169	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1981	9.53	5.367814894	4.162185106	65	0.064033617	60	0.528	1
1982	9.53	5.330040505	4.199959495	65	0.064614761	60	0.4931	1
1983	9.53	5.280061696	4.249938304	65	0.065383666	60	0.447	1
1984	9.53	5.410283902	4.119716098	65	0.063380248	60	0.5672	1
1985	9.53	5.361078991	4.168921009	65	0.064137246	60	0.5218	1
1986	9.53	5.292230792	4.237769208	65	0.065196449	60	0.4582	1
1987	9.53	5.158732495	4.371267505	65	0.067250269	60	0.335	1
1988	9.53	5.390261051	4.139738949	65	0.063688292	60	0.5487	1
1989	9.53	5.405903312	4.124096688	65	0.063447641	60	0.5631	1
1990	9.53	5.408020734	4.121979266	65	0.063415066	60	0.5651	1
1991	9.53	5.295714468	4.234285532	65	0.065142854	60	0.4614	1
1992	9.53	5.312622977	4.217377023	65	0.064882723	60	0.477	1
1993	9.53	5.34461482	4.18538518	65	0.064390541	60	0.5066	1
1994	9.53	5.29653136	4.23346864	65	0.065130287	60	0.4622	1
1995	9.53	5.428556486	4.101443514	65	0.063099131	60	0.5841	1
1996	9.53	5.175566569	4.354433431	65	0.066991284	60	0.3505	1
1997	9.53	5.298905896	4.231094104	65	0.065093755	60	0.4644	1
1998	9.53	5.211676491	4.318323509	65	0.066435746	60	0.3839	1
1999	9.53	5.368905282	4.161094718	65	0.064016842	60	0.529	1
2000	9.53	5.328910625	4.201089375	65	0.064632144	60	0.4921	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
2981	9.53	5.35657349	4.17342651	65	0.064206562	60	0.5176	1
2982	9.53	5.287517516	4.242482484	65	0.065268961	60	0.4539	1
2983	9.53	5.225982802	4.304017198	65	0.066215649	60	0.3971	1
2984	9.53	5.285231242	4.244768758	65	0.065304135	60	0.4518	1
2985	9.53	5.444926525	4.085073475	65	0.062847284	60	0.5992	1
2986	9.53	5.394695527	4.135304473	65	0.063620069	60	0.5528	1
2987	9.53	5.796856022	3.733143978	65	0.057432984	60	0.924	1
2988	9.53	5.399161917	4.130838083	65	0.063551355	60	0.5569	1
2989	9.53	5.302834099	4.227165901	65	0.065033322	60	0.468	1
2990	9.53	5.286788981	4.243211019	65	0.06528017	60	0.4532	1
2991	9.53	5.363785455	4.166214545	65	0.064095608	60	0.5243	1
2992	9.53	5.33923589	4.19076411	65	0.064473294	60	0.5016	1
2993	9.53	5.337537141	4.192462859	65	0.064499429	60	0.5	1
2994	9.53	5.486169248	4.043830752	65	0.062212781	60	0.6372	1
2995	9.53	5.294781283	4.235218717	65	0.065157211	60	0.4606	1
2996	9.53	5.350251716	4.179748284	65	0.06430382	60	0.5118	1
2997	9.53	5.425536278	4.104463722	65	0.063145596	60	0.5813	1
2998	9.53	5.362089168	4.167910832	65	0.064121705	60	0.5227	1
2999	9.53	5.270232286	4.259767714	65	0.065534888	60	0.4379	1
3000	9.53	5.380146023	4.149853977	65	0.063843907	60	0.5394	1



TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
3981	9.53	5.36030159	4.16969841	65	0.064149206	60	0.521	1
3982	9.53	5.406720109	4.123279891	65	0.063435075	60	0.5639	1
3983	9.53	5.279041197	4.250958803	65	0.065399366	60	0.446	1
3984	9.53	5.327168882	4.202831118	65	0.06465894	60	0.4905	1
3985	9.53	5.380765937	4.149234063	65	0.06383437	60	0.5399	1
3986	9.53	5.370307238	4.159692762	65	0.063995273	60	0.5303	1
3987	9.53	5.341539022	4.188460978	65	0.064437861	60	0.5037	1
3988	9.53	5.387638019	4.142361981	65	0.063728646	60	0.5463	1
3989	9.53	5.286695511	4.243304489	65	0.065281608	60	0.4531	1
3990	9.53	5.387546254	4.142453746	65	0.063730058	60	0.5462	1
3991	9.53	5.348053134	4.181946866	65	0.064337644	60	0.5097	1
3992	9.53	5.382237592	4.147762408	65	0.063811729	60	0.5413	1
3993	9.53	5.350334484	4.179665516	65	0.064302546	60	0.5118	1
3994	9.53	5.50838424	4.02161576	65	0.061871012	60	0.6577	1
3995	9.53	5.485807111	4.044192889	65	0.062218352	60	0.6369	1
3996	9.53	5.560263795	3.969736205	65	0.061072865	60	0.7056	1
3997	9.53	5.173934679	4.356065321	65	0.06701639	60	0.349	1
3998	9.53	5.392104504	4.137895496	65	0.063659931	60	0.5504	1
3999	9.53	5.294000946	4.235999054	65	0.065169216	60	0.4598	1
4000	9.53	5.43864746	4.09135254	65	0.062943885	60	0.5934	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
4981	9.53	5.351207629	4.178792371	65	0.064289113	60	0.5127	1
4982	9.53	5.426134221	4.103865779	65	0.063136397	60	0.5818	1
4983	9.53	5.405919316	4.124080684	65	0.063447395	60	0.5632	1
4984	9.53	5.412482484	4.117517516	65	0.063346423	60	0.5692	1
4985	9.53	5.347256224	4.182743776	65	0.064349904	60	0.509	1
4986	9.53	5.424390015	4.105609985	65	0.063163231	60	0.5802	1
4987	9.53	5.338824508	4.191175492	65	0.064479623	60	0.5012	1
4988	9.53	5.265411809	4.264588191	65	0.065609049	60	0.4335	1
4989	9.53	5.321447418	4.208552582	65	0.064746963	60	0.4852	1
4990	9.53	5.409944872	4.120055128	65	0.063385464	60	0.5669	1
4991	9.53	5.440189384	4.089810616	65	0.062920163	60	0.5948	1
4992	9.53	5.209053648	4.320946352	65	0.066476098	60	0.3814	1
4993	9.53	5.355672598	4.174327402	65	0.064220422	60	0.5168	1
4994	9.53	5.242081805	4.287918195	65	0.065967972	60	0.4119	1
4995	9.53	5.342735949	4.187264051	65	0.064419447	60	0.5048	1
4996	9.53	5.292699941	4.237300059	65	0.065189232	60	0.4586	1
4997	9.53	5.327102686	4.202897314	65	0.064659959	60	0.4904	1
4998	9.53	5.366155824	4.163844176	65	0.064059141	60	0.5265	1
4999	9.53	5.328034356	4.201965644	65	0.064645625	60	0.4913	1
5000	9.53	5.367599827	4.162400173	65	0.064036926	60	0.5278	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
5981	9.53	5.446817327	4.083182673	65	0.062818195	60	0.6009	1
5982	9.53	5.364018041	4.165981959	65	0.06409203	60	0.5245	1
5983	9.53	5.37375881	4.15624119	65	0.063942172	60	0.5335	1
5984	9.53	5.418596578	4.111403422	65	0.06325236	60	0.5749	1
5985	9.53	5.42355816	4.10644184	65	0.063176028	60	0.5794	1
5986	9.53	5.1394271	4.3905729	65	0.067547275	60	0.3172	1
5987	9.53	5.32452369	4.20547631	65	0.064699636	60	0.488	1
5988	9.53	5.425902392	4.104097608	65	0.063139963	60	0.5816	1
5989	9.53	5.17613326	4.35386674	65	0.066982565	60	0.351	1
5990	9.53	5.410981471	4.119018529	65	0.063369516	60	0.5678	1
5991	9.53	5.301737839	4.228262161	65	0.065050187	60	0.467	1
5992	9.53	5.357910386	4.172089614	65	0.064185994	60	0.5188	1
5993	9.53	5.378532316	4.151467684	65	0.063868734	60	0.5379	1
5994	9.53	5.345993479	4.184006521	65	0.064369331	60	0.5078	1
5995	9.53	5.430354293	4.099645707	65	0.063071472	60	0.5857	1
5996	9.53	5.395019689	4.134980311	65	0.063615082	60	0.5531	1
5997	9.53	5.53536573	3.99463427	65	0.061455912	60	0.6826	1
5998	9.53	5.450849134	4.079150866	65	0.062756167	60	0.6046	1
5999	9.53	5.251970309	4.278029691	65	0.065815841	60	0.421	1
6000	9.53	5.37692931	4.15307069	65	0.063893395	60	0.5364	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
6981	9.53	5.309975133	4.220024867	65	0.064923459	60	0.4746	1
6982	9.53	5.401371294	4.128628706	65	0.063517365	60	0.559	1
6983	9.53	5.349939486	4.180060514	65	0.064308623	60	0.5115	1
6984	9.53	5.358505867	4.171494133	65	0.064176833	60	0.5194	1
6985	9.53	5.392946586	4.137053414	65	0.063646976	60	0.5512	1
6986	9.53	5.47770827	4.05229173	65	0.06234295	60	0.6294	1
6987	9.53	5.486509793	4.043490207	65	0.062207542	60	0.6375	1
6988	9.53	5.377823857	4.152176143	65	0.063879633	60	0.5372	1
6989	9.53	5.274300079	4.255699921	65	0.065472306	60	0.4417	1
6990	9.53	5.062132791	4.467867209	65	0.068736419	60	0.2458	1
6991	9.53	5.43947136	4.09052864	65	0.06293121	60	0.5941	1
6992	9.53	5.383850826	4.146149174	65	0.06378691	60	0.5428	1
6993	9.53	5.391360342	4.138639658	65	0.063671379	60	0.5497	1
6994	9.53	5.262256557	4.267743443	65	0.065657591	60	0.4305	1
6995	9.53	5.237779912	4.292220088	65	0.066034155	60	0.408	1
6996	9.53	5.466149049	4.063850951	65	0.062520784	60	0.6188	1
6997	9.53	5.276225164	4.253774836	65	0.06544269	60	0.4434	1
6998	9.53	5.331127389	4.198872611	65	0.06459804	60	0.4941	1
6999	9.53	5.290426072	4.239573928	65	0.065224214	60	0.4565	1
7000	9.53	5.160721976	4.369278024	65	0.067219662	60	0.3368	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
7981	9.53	5.315052724	4.214947276	65	0.064845343	60	0.4793	1
7982	9.53	5.366110368	4.163889632	65	0.06405984	60	0.5264	1
7983	9.53	5.270915081	4.259084919	65	0.065524383	60	0.4385	1
7984	9.53	5.232418691	4.297581309	65	0.066116636	60	0.403	1
7985	9.53	5.454751957	4.075248043	65	0.062696124	60	0.6082	1
7986	9.53	5.346038083	4.183961917	65	0.064368645	60	0.5079	1
7987	9.53	5.264380893	4.265619107	65	0.065624909	60	0.4325	1
7988	9.53	5.408868309	4.121131691	65	0.063402026	60	0.5659	1
7989	9.53	5.442727564	4.087272436	65	0.062881114	60	0.5971	1
7990	9.53	5.443262247	4.086737753	65	0.062872889	60	0.5976	1
7991	9.53	5.210108997	4.319891003	65	0.066459862	60	0.3824	1
7992	9.53	5.172357337	4.357642663	65	0.067040656	60	0.3476	1
7993	9.53	5.482249757	4.047750243	65	0.062273081	60	0.6336	1
7994	9.53	5.244782871	4.285217129	65	0.065926417	60	0.4144	1
7995	9.53	5.481513361	4.048486639	65	0.06228441	60	0.6329	1
7996	9.53	5.359210822	4.170789178	65	0.064165987	60	0.52	1
7997	9.53	5.384321964	4.145678036	65	0.063779662	60	0.5432	1
7998	9.53	5.284989564	4.245010436	65	0.065307853	60	0.4515	1
7999	9.53	5.315171006	4.214828994	65	0.064843523	60	0.4794	1
8000	9.53	5.364328471	4.165671529	65	0.064087254	60	0.5248	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
8981	9.53	5.26135254	4.26864746	65	0.065671499	60	0.4297	1
8982	9.53	5.33814266	4.19185734	65	0.064490113	60	0.5006	1
8983	9.53	5.414665345	4.115334655	65	0.063312841	60	0.5712	1
8984	9.53	5.333044709	4.196955291	65	0.064568543	60	0.4959	1
8985	9.53	5.497748924	4.032251076	65	0.062034632	60	0.6479	1
8986	9.53	5.287963938	4.242036062	65	0.065262093	60	0.4543	1
8987	9.53	5.339891033	4.190108967	65	0.064463215	60	0.5022	1
8988	9.53	5.243439062	4.286560938	65	0.065947091	60	0.4132	1
8989	9.53	5.358025542	4.171974458	65	0.064184222	60	0.5189	1
8990	9.53	5.360089648	4.169910352	65	0.064152467	60	0.5209	1
8991	9.53	5.375289465	4.154710535	65	0.063918624	60	0.5349	1
8992	9.53	5.326526429	4.203473571	65	0.064668824	60	0.4899	1
8993	9.53	5.413364151	4.116635849	65	0.063332859	60	0.57	1
8994	9.53	5.236018092	4.293981908	65	0.06606126	60	0.4063	1
8995	9.53	5.362102048	4.167897952	65	0.064121507	60	0.5227	1
8996	9.53	5.104231612	4.425768388	65	0.068088744	60	0.2847	1
8997	9.53	5.332080746	4.197919254	65	0.064583373	60	0.495	1
8998	9.53	5.342422394	4.187577606	65	0.064424271	60	0.5045	1
8999	9.53	5.325010643	4.204989357	65	0.064692144	60	0.4885	1
9000	9.53	5.259454729	4.270545271	65	0.065700696	60	0.428	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
9981	9.53	5.362275919	4.167724081	65	0.064118832	60	0.5229	1
9982	9.53	5.469635755	4.060364245	65	0.062467142	60	0.622	1
9983	9.53	5.318215174	4.211784826	65	0.06479669	60	0.4822	1
9984	9.53	5.240271688	4.289728312	65	0.06599582	60	0.4103	1
9985	9.53	5.3511438	4.1788562	65	0.064290095	60	0.5126	1
9986	9.53	5.400572111	4.129427889	65	0.06352966	60	0.5582	1
9987	9.53	5.223415265	4.306584735	65	0.06625515	60	0.3947	1
9988	9.53	5.331924205	4.198075795	65	0.064585781	60	0.4949	1
9989	9.53	5.388408792	4.141591208	65	0.063716788	60	0.547	1
9990	9.53	5.302369496	4.227630504	65	0.065040469	60	0.4676	1
9991	9.53	5.411290102	4.118709898	65	0.063364768	60	0.5681	1
9992	9.53	5.333441412	4.196558588	65	0.06456244	60	0.4963	1
9993	9.53	5.367521604	4.162478396	65	0.064038129	60	0.5277	1
9994	9.53	5.463158766	4.066841234	65	0.062566788	60	0.616	1
9995	9.53	5.342236874	4.187763126	65	0.064427125	60	0.5044	1
9996	9.53	5.403390322	4.126609678	65	0.063486303	60	0.5608	1
9997	9.53	5.1231779	4.4068221	65	0.067797263	60	0.3022	1
9998	9.53	5.424504035	4.105495965	65	0.063161476	60	0.5803	1
9999	9.53	5.334012933	4.195987067	65	0.064553647	60	0.4968	1
10000	9.53	5.330446867	4.199553133	65	0.06460851	60	0.4935	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
10981	9.53	5.241934261	4.288065739	65	0.065970242	60	0.4118	1
10982	9.53	5.385804984	4.144195016	65	0.063756846	60	0.5446	1
10983	9.53	5.322041384	4.207958616	65	0.064737825	60	0.4857	1
10984	9.53	5.321278377	4.208721623	65	0.064749563	60	0.485	1
10985	9.53	5.364910883	4.165089117	65	0.064078294	60	0.5253	1
10986	9.53	5.318057496	4.211942504	65	0.064799115	60	0.4821	1
10987	9.53	5.321919977	4.208080023	65	0.064739693	60	0.4856	1
10988	9.53	5.244171481	4.285828519	65	0.065935823	60	0.4139	1
10989	9.53	5.345265985	4.184734015	65	0.064380523	60	0.5072	1
10990	9.53	5.309738949	4.220261051	65	0.064927093	60	0.4744	1
10991	9.53	5.313108604	4.216891396	65	0.064875252	60	0.4775	1
10992	9.53	5.497351179	4.032648821	65	0.062040751	60	0.6476	1
10993	9.53	5.41304122	4.11695878	65	0.063337827	60	0.5697	1
10994	9.53	5.34571913	4.18428087	65	0.064373552	60	0.5076	1
10995	9.53	5.368467479	4.161532521	65	0.064023577	60	0.5286	1
10996	9.53	5.255535428	4.274464572	65	0.065760993	60	0.4243	1
10997	9.53	5.429455768	4.100544232	65	0.063085296	60	0.5849	1
10998	9.53	5.349225724	4.180774276	65	0.064319604	60	0.5108	1
10999	9.53	5.341468469	4.188531531	65	0.064438947	60	0.5037	1
11000	9.53	5.320078419	4.209921581	65	0.064768024	60	0.4839	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
11981	9.53	5.266017896	4.263982104	65	0.065599725	60	0.434	1
11982	9.53	5.418444678	4.111555322	65	0.063254697	60	0.5747	1
11983	9.53	5.351481694	4.178518306	65	0.064284897	60	0.5129	1
11984	9.53	5.218861655	4.311138345	65	0.066325205	60	0.3905	1
11985	9.53	5.260653456	4.269346544	65	0.065682255	60	0.4291	1
11986	9.53	5.412990271	4.117009729	65	0.063338611	60	0.5697	1
11987	9.53	5.337079451	4.192920549	65	0.06450647	60	0.4996	1
11988	9.53	5.370563405	4.159436595	65	0.063991332	60	0.5305	1
11989	9.53	5.383532725	4.146467275	65	0.063791804	60	0.5425	1
11990	9.53	5.334259535	4.195740465	65	0.064549853	60	0.497	1
11991	9.53	5.252250056	4.277749944	65	0.065811538	60	0.4213	1
11992	9.53	5.175793851	4.354206149	65	0.066987787	60	0.3507	1
11993	9.53	5.461669685	4.068330315	65	0.062589697	60	0.6146	1
11994	9.53	5.321994223	4.208005777	65	0.06473855	60	0.4857	1
11995	9.53	5.333701366	4.196298634	65	0.064558441	60	0.4965	1
11996	9.53	5.527953283	4.002046717	65	0.061569949	60	0.6758	1
11997	9.53	5.370202215	4.159797785	65	0.063996889	60	0.5302	1
11998	9.53	5.510371449	4.019628551	65	0.061840439	60	0.6596	1
11999	9.53	5.32844318	4.20155682	65	0.064639336	60	0.4916	1
12000	9.53	5.321007721	4.208992279	65	0.064753727	60	0.4848	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
12981	9.53	5.313852198	4.216147802	65	0.064863812	60	0.4782	1
12982	9.53	5.49985432	4.03014568	65	0.062002241	60	0.6499	1
12983	9.53	5.345093724	4.184906276	65	0.064383173	60	0.507	1
12984	9.53	5.170061781	4.359938219	65	0.067075973	60	0.3454	1
12985	9.53	5.411098142	4.118901858	65	0.063367721	60	0.5679	1
12986	9.53	5.244853518	4.285146482	65	0.06592533	60	0.4145	1
12987	9.53	5.39570703	4.13429297	65	0.063604507	60	0.5537	1
12988	9.53	5.32599544	4.20400456	65	0.064676993	60	0.4894	1
12989	9.53	5.32921973	4.20078027	65	0.064627389	60	0.4924	1
12990	9.53	5.252831142	4.277168858	65	0.065802598	60	0.4218	1
12991	9.53	5.334408784	4.195591216	65	0.064547557	60	0.4971	1
12992	9.53	5.316010721	4.213989279	65	0.064830604	60	0.4802	1
12993	9.53	5.482092932	4.047907068	65	0.062275493	60	0.6335	1
12994	9.53	5.23751096	4.29248904	65	0.066038293	60	0.4077	1
12995	9.53	5.3070608	4.2229392	65	0.064968295	60	0.4719	1
12996	9.53	5.395396221	4.134603779	65	0.063609289	60	0.5534	1
12997	9.53	5.441622591	4.088377409	65	0.062898114	60	0.5961	1
12998	9.53	5.292659599	4.237340401	65	0.065189852	60	0.4586	1
12999	9.53	5.267757935	4.262242065	65	0.065572955	60	0.4356	1
13000	9.53	5.44664232	4.08335768	65	0.062820887	60	0.6007	1

TP-2								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
14981	9.53	5.273098132	4.256901868	65	0.065490798	60	0.4406	1
14982	9.53	5.324263072	4.205736928	65	0.064703645	60	0.4878	1
14983	9.53	5.449600783	4.080399217	65	0.062775373	60	0.6035	1
14984	9.53	5.309667354	4.220332646	65	0.064928195	60	0.4743	1
14985	9.53	5.447118477	4.082881523	65	0.062813562	60	0.6012	1
14986	9.53	5.208759696	4.321240304	65	0.06648062	60	0.3812	1
14987	9.53	5.280928211	4.249071789	65	0.065370335	60	0.4478	1
14988	9.53	5.359076157	4.170923843	65	0.064168059	60	0.5199	1
14989	9.53	5.279898431	4.250101569	65	0.065386178	60	0.4468	1
14990	9.53	5.314202024	4.215797976	65	0.06485843	60	0.4785	1
14991	9.53	5.399792816	4.130207184	65	0.063541649	60	0.5575	1
14992	9.53	5.321244568	4.208755432	65	0.064750084	60	0.485	1
14993	9.53	5.473326638	4.056673362	65	0.062410359	60	0.6254	1
14994	9.53	5.349028177	4.180971823	65	0.064322643	60	0.5106	1
14995	9.53	5.320465557	4.209534443	65	0.064762068	60	0.4843	1
14996	9.53	5.359736792	4.170263208	65	0.064157896	60	0.5205	1
14997	9.53	5.405656047	4.124343953	65	0.063451445	60	0.5629	1
14998	9.53	5.215311878	4.314688122	65	0.066379817	60	0.3872	1
14999	9.53	5.32287589	4.20712411	65	0.064724986	60	0.4865	1
15000	9.53	5.311923988	4.218076012	65	0.064893477	60	0.4764	1



Jumlah percobaan	Jumlah sukses	Jumlah gagal	PoF	PoS
0	0	0	0	0
1000	1000	0	0	1
2000	2000	0	0	1
3000	3000	0	0	1
4000	4000	0	0	1
5000	5000	0	0	1
6000	6000	0	0	1
7000	7000	0	0	1
8000	8000	0	0	1
9000	9000	0	0	1
10000	10000	0	0	1
11000	11000	0	0	1
12000	11999	1	0.0001	0.9999
13000	12999	1	0.0001	0.9999
14000	13999	1	0.0001	0.9999
15000	14998	2	0.0001	0.9999
Average			0.0001	0.9999

Jumlah Sampel	15000	
Sukses	14998	0.9999
Gagal	2	0.0001

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1	9.53	5.319282288	4.210717712	65	0.064780272	60	0.4832	1
2	9.53	5.387628777	4.142371223	65	0.063728788	60	0.5463	1
3	9.53	5.386056555	4.143943445	65	0.063752976	60	0.5448	1
4	9.53	5.459475327	4.070524673	65	0.062623457	60	0.6126	1
5	9.53	5.352265722	4.177734278	65	0.064272835	60	0.5136	1
6	9.53	5.40638807	4.12361193	65	0.063440184	60	0.5636	1
7	9.53	5.478258199	4.051741801	65	0.062334489	60	0.6299	1
8	9.53	5.480564553	4.049435447	65	0.062299007	60	0.6321	1
9	9.53	5.530586868	3.999413132	65	0.061529433	60	0.6782	1
10	9.53	5.386355371	4.143644629	65	0.063748379	60	0.5451	1
11	9.53	5.349749017	4.180250983	65	0.064311554	60	0.5113	1
12	9.53	5.45019652	4.07980348	65	0.062766207	60	0.604	1
13	9.53	5.602938883	3.927061117	65	0.060416325	60	0.745	1
14	9.53	5.375385868	4.154614132	65	0.06391714	60	0.535	1
15	9.53	5.287032304	4.242967696	65	0.065276426	60	0.4534	1
16	9.53	5.34223125	4.18776875	65	0.064427212	60	0.5044	1
17	9.53	5.415014099	4.114985901	65	0.063307475	60	0.5716	1
18	9.53	5.504910266	4.025089734	65	0.061924457	60	0.6545	1
19	9.53	5.436032981	4.093967019	65	0.062984108	60	0.591	1
20	9.53	5.532459855	3.997540145	65	0.061500618	60	0.68	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
981	9.53	5.394630459	4.135369541	65	0.06362107	60	0.5527	1
982	9.53	5.566567237	3.963432763	65	0.060975889	60	0.7114	1
983	9.53	5.319159721	4.210840279	65	0.064782158	60	0.4831	1
984	9.53	5.426519661	4.103480339	65	0.063130467	60	0.5822	1
985	9.53	5.340407952	4.189592048	65	0.064455262	60	0.5027	1
986	9.53	5.436326731	4.093673269	65	0.062979589	60	0.5912	1
987	9.53	5.393440941	4.136559059	65	0.06363937	60	0.5516	1
988	9.53	5.414914331	4.115085669	65	0.06330901	60	0.5715	1
989	9.53	5.272844993	4.257155007	65	0.065494692	60	0.4403	1
990	9.53	5.430238841	4.099761159	65	0.063073249	60	0.5856	1
991	9.53	5.482544128	4.047455872	65	0.062268552	60	0.6339	1
992	9.53	5.451203942	4.078796058	65	0.062750709	60	0.605	1
993	9.53	5.417778567	4.112221433	65	0.063264945	60	0.5741	1
994	9.53	5.219529166	4.310470834	65	0.066314936	60	0.3911	1
995	9.53	5.367228963	4.162771037	65	0.064042631	60	0.5274	1
996	9.53	5.537870707	3.992129293	65	0.061417374	60	0.685	1
997	9.53	5.362089161	4.167910839	65	0.064121705	60	0.5227	1
998	9.53	5.358010757	4.171989243	65	0.06418445	60	0.5189	1
999	9.53	5.412735708	4.117264292	65	0.063342528	60	0.5694	1
1000	9.53	5.546737581	3.983262419	65	0.06128096	60	0.6931	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
1981	9.53	5.442144546	4.087855454	65	0.062890084	60	0.5966	1
1982	9.53	5.436613856	4.093386144	65	0.062975171	60	0.5915	1
1983	9.53	5.375563482	4.154436518	65	0.063914408	60	0.5351	1
1984	9.53	5.343157611	4.186842389	65	0.06441296	60	0.5052	1
1985	9.53	5.280867348	4.249132652	65	0.065371272	60	0.4477	1
1986	9.53	5.340349495	4.189650505	65	0.064456162	60	0.5026	1
1987	9.53	5.409383836	4.120616164	65	0.063394095	60	0.5664	1
1988	9.53	5.426251632	4.103748368	65	0.06313459	60	0.5819	1
1989	9.53	5.566007601	3.963992399	65	0.060984498	60	0.7109	1
1990	9.53	5.295793565	4.234206435	65	0.065141637	60	0.4615	1
1991	9.53	5.459375169	4.070624831	65	0.062624997	60	0.6125	1
1992	9.53	5.323525348	4.206474652	65	0.064714995	60	0.4871	1
1993	9.53	5.443578515	4.086421485	65	0.062868023	60	0.5979	1
1994	9.53	5.425880815	4.104119185	65	0.063140295	60	0.5816	1
1995	9.53	5.390728208	4.139271792	65	0.063681104	60	0.5491	1
1996	9.53	5.453527054	4.076472946	65	0.062714968	60	0.6071	1
1997	9.53	5.312788019	4.217211981	65	0.064880184	60	0.4772	1
1998	9.53	5.460303868	4.069696132	65	0.06261071	60	0.6134	1
1999	9.53	5.583145082	3.946854918	65	0.060720845	60	0.7267	1
2000	9.53	5.465989276	4.064010724	65	0.062523242	60	0.6186	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
2981	9.53	5.3614736	4.1685264	65	0.064131175	60	0.5221	1
2982	9.53	5.370826259	4.159173741	65	0.063987288	60	0.5308	1
2983	9.53	5.488041302	4.041958698	65	0.06218398	60	0.639	1
2984	9.53	5.541329068	3.988670932	65	0.061364168	60	0.6881	1
2985	9.53	5.389685613	4.140314387	65	0.063697144	60	0.5482	1
2986	9.53	5.439726928	4.090273072	65	0.062927278	60	0.5944	1
2987	9.53	5.48038119	4.04961881	65	0.062301828	60	0.6319	1
2988	9.53	5.364917348	4.165082652	65	0.064078195	60	0.5253	1
2989	9.53	5.295930746	4.234069254	65	0.065139527	60	0.4616	1
2990	9.53	5.466342556	4.063657444	65	0.062517807	60	0.6189	1
2991	9.53	5.406723423	4.123276577	65	0.063435024	60	0.5639	1
2992	9.53	5.380704746	4.149295254	65	0.063835312	60	0.5399	1
2993	9.53	5.440707752	4.089292248	65	0.062912188	60	0.5953	1
2994	9.53	5.449257785	4.080742215	65	0.062780649	60	0.6032	1
2995	9.53	5.47836771	4.05163229	65	0.062332804	60	0.63	1
2996	9.53	5.302086934	4.227913066	65	0.065044816	60	0.4673	1
2997	9.53	5.315217524	4.214782476	65	0.064842807	60	0.4794	1
2998	9.53	5.354236138	4.175763862	65	0.064242521	60	0.5154	1
2999	9.53	5.368712231	4.161287769	65	0.064019812	60	0.5288	1
3000	9.53	5.449575114	4.080424886	65	0.062775767	60	0.6035	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
3981	9.53	5.577565872	3.952434128	65	0.060806679	60	0.7216	1
3982	9.53	5.448079179	4.081920821	65	0.062798782	60	0.6021	1
3983	9.53	5.382489364	4.147510636	65	0.063807856	60	0.5415	1
3984	9.53	5.473702974	4.056297026	65	0.06240457	60	0.6257	1
3985	9.53	5.677155312	3.852844688	65	0.059274534	60	0.8135	1
3986	9.53	5.343149427	4.186850573	65	0.064413086	60	0.5052	1
3987	9.53	5.471488009	4.058511991	65	0.062438646	60	0.6237	1
3988	9.53	5.352716821	4.177283179	65	0.064265895	60	0.514	1
3989	9.53	5.471024829	4.058975171	65	0.062445772	60	0.6233	1
3990	9.53	5.456434548	4.073565452	65	0.062670238	60	0.6098	1
3991	9.53	5.457546805	4.072453195	65	0.062653126	60	0.6108	1
3992	9.53	5.536781833	3.993218167	65	0.061434126	60	0.684	1
3993	9.53	5.551222072	3.978777928	65	0.061211968	60	0.6973	1
3994	9.53	5.518874659	4.011125341	65	0.061709621	60	0.6674	1
3995	9.53	5.282365036	4.247634964	65	0.06534823	60	0.4491	1
3996	9.53	5.477594118	4.052405882	65	0.062344706	60	0.6293	1
3997	9.53	5.37474293	4.15525707	65	0.063927032	60	0.5344	1
3998	9.53	5.395943615	4.134056385	65	0.063600867	60	0.5539	1
3999	9.53	5.239198258	4.290801742	65	0.066012334	60	0.4093	1
4000	9.53	5.436815048	4.093184952	65	0.062972076	60	0.5917	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
4981	9.53	5.32377886	4.20622114	65	0.064711094	60	0.4873	1
4982	9.53	5.428882037	4.101117963	65	0.063094123	60	0.5844	1
4983	9.53	5.447145901	4.082854099	65	0.06281314	60	0.6012	1
4984	9.53	5.475803362	4.054196638	65	0.062372256	60	0.6277	1
4985	9.53	5.353181755	4.176818245	65	0.064258742	60	0.5145	1
4986	9.53	5.42411578	4.10588422	65	0.06316745	60	0.58	1
4987	9.53	5.397708455	4.132291545	65	0.063573716	60	0.5556	1
4988	9.53	5.401858762	4.128141238	65	0.063509865	60	0.5594	1
4989	9.53	5.404030079	4.125969921	65	0.06347646	60	0.5614	1
4990	9.53	5.441561138	4.088438862	65	0.062899059	60	0.5961	1
4991	9.53	5.503021885	4.026978115	65	0.061953509	60	0.6528	1
4992	9.53	5.472233541	4.057766459	65	0.062427176	60	0.6244	1
4993	9.53	5.31740365	4.21259635	65	0.064809175	60	0.4814	1
4994	9.53	5.349873532	4.180126468	65	0.064309638	60	0.5114	1
4995	9.53	5.31219175	4.21780825	65	0.064889358	60	0.4766	1
4996	9.53	5.492212653	4.037787347	65	0.062119805	60	0.6428	1
4997	9.53	5.378850952	4.151149048	65	0.063863832	60	0.5382	1
4998	9.53	5.369055378	4.160944622	65	0.064014533	60	0.5291	1
4999	9.53	5.401537439	4.128462561	65	0.063514809	60	0.5591	1
5000	9.53	5.319425315	4.210574685	65	0.064778072	60	0.4833	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
5981	9.53	5.548736058	3.981263942	65	0.061250214	60	0.695	1
5982	9.53	5.455898198	4.074101802	65	0.062678489	60	0.6093	1
5983	9.53	5.501750429	4.028249571	65	0.06197307	60	0.6516	1
5984	9.53	5.381893095	4.148106905	65	0.063817029	60	0.541	1
5985	9.53	5.318017067	4.211982933	65	0.064799737	60	0.482	1
5986	9.53	5.447123005	4.082876995	65	0.062813492	60	0.6012	1
5987	9.53	5.423196434	4.106803566	65	0.063181593	60	0.5791	1
5988	9.53	5.303410029	4.226589971	65	0.065024461	60	0.4685	1
5989	9.53	5.296856328	4.233143672	65	0.065125287	60	0.4625	1
5990	9.53	5.374866178	4.155133822	65	0.063925136	60	0.5345	1
5991	9.53	5.456076787	4.073923213	65	0.062675742	60	0.6095	1
5992	9.53	5.304953314	4.225046686	65	0.065000718	60	0.47	1
5993	9.53	5.305304255	4.224695745	65	0.064995319	60	0.4703	1
5994	9.53	5.378871218	4.151128782	65	0.06386352	60	0.5382	1
5995	9.53	5.528128914	4.001871086	65	0.061567247	60	0.676	1
5996	9.53	5.378891483	4.151108517	65	0.063863208	60	0.5382	1
5997	9.53	5.30196086	4.22803914	65	0.065046756	60	0.4672	1
5998	9.53	5.295449444	4.234550556	65	0.065146932	60	0.4612	1
5999	9.53	5.403222972	4.126777028	65	0.063488877	60	0.5607	1
6000	9.53	5.34249431	4.18750569	65	0.064423164	60	0.5046	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
6981	9.53	5.389005165	4.140994835	65	0.063707613	60	0.5475	1
6982	9.53	5.372059913	4.157940087	65	0.063968309	60	0.5319	1
6983	9.53	5.422612051	4.107387949	65	0.063190584	60	0.5786	1
6984	9.53	5.443057072	4.086942928	65	0.062876045	60	0.5974	1
6985	9.53	5.331043212	4.198956788	65	0.064599335	60	0.494	1
6986	9.53	5.379188643	4.150811357	65	0.063858636	60	0.5385	1
6987	9.53	5.468270299	4.061729701	65	0.062488149	60	0.6207	1
6988	9.53	5.42647153	4.10352847	65	0.063131207	60	0.5821	1
6989	9.53	5.254965488	4.275034512	65	0.065769762	60	0.4238	1
6990	9.53	5.494382606	4.035617394	65	0.062086421	60	0.6448	1
6991	9.53	5.225513683	4.304486317	65	0.066222866	60	0.3966	1
6992	9.53	5.409654301	4.120345699	65	0.063389934	60	0.5666	1
6993	9.53	5.593705673	3.936294327	65	0.060558374	60	0.7365	1
6994	9.53	5.304344573	4.225655427	65	0.065010083	60	0.4694	1
6995	9.53	5.334195645	4.195804355	65	0.064550836	60	0.4969	1
6996	9.53	5.267605228	4.262394772	65	0.065575304	60	0.4355	1
6997	9.53	5.446324277	4.083675723	65	0.06282578	60	0.6005	1
6998	9.53	5.360528338	4.169471662	65	0.064145718	60	0.5213	1
6999	9.53	5.326011947	4.203988053	65	0.064676739	60	0.4894	1
7000	9.53	5.470554634	4.059445366	65	0.062453006	60	0.6228	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
7981	9.53	5.453702427	4.076297573	65	0.06271227	60	0.6073	1
7982	9.53	5.327803872	4.202196128	65	0.064649171	60	0.491	1
7983	9.53	5.29189677	4.23810323	65	0.065201588	60	0.4579	1
7984	9.53	5.307962525	4.222037475	65	0.064954423	60	0.4727	1
7985	9.53	5.363766509	4.166233491	65	0.0640959	60	0.5242	1
7986	9.53	5.434968562	4.095031438	65	0.063000484	60	0.59	1
7987	9.53	5.572254009	3.957745991	65	0.0608884	60	0.7167	1
7988	9.53	5.432087958	4.097912042	65	0.063044801	60	0.5873	1
7989	9.53	5.475474342	4.054525658	65	0.062377318	60	0.6274	1
7990	9.53	5.315941816	4.214058184	65	0.064831664	60	0.4801	1
7991	9.53	5.687531177	3.842468823	65	0.059114905	60	0.8231	1
7992	9.53	5.168204802	4.361795198	65	0.067104542	60	0.3437	1
7993	9.53	5.371499303	4.158500697	65	0.063976934	60	0.5314	1
7994	9.53	5.505467174	4.024532826	65	0.06191589	60	0.655	1
7995	9.53	5.446871636	4.083128364	65	0.062817359	60	0.601	1
7996	9.53	5.508408964	4.021591036	65	0.061870631	60	0.6578	1
7997	9.53	5.414229206	4.115770794	65	0.063319551	60	0.5708	1
7998	9.53	5.499106189	4.030893811	65	0.062013751	60	0.6492	1
7999	9.53	5.381356453	4.148643547	65	0.063825285	60	0.5405	1
8000	9.53	5.430001795	4.099998205	65	0.063076895	60	0.5854	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
8981	9.53	5.451549232	4.078450768	65	0.062745396	60	0.6053	1
8982	9.53	5.40605944	4.12394056	65	0.063445239	60	0.5633	1
8983	9.53	5.371076264	4.158923736	65	0.063983442	60	0.531	1
8984	9.53	5.299185285	4.230814715	65	0.065089457	60	0.4646	1
8985	9.53	5.406322403	4.123677597	65	0.0634441194	60	0.5635	1
8986	9.53	5.371672435	4.158327565	65	0.06397427	60	0.5315	1
8987	9.53	5.532589631	3.997410369	65	0.061498621	60	0.6801	1
8988	9.53	5.410994835	4.119005165	65	0.06336931	60	0.5678	1
8989	9.53	5.39619966	4.13380034	65	0.063596928	60	0.5542	1
8990	9.53	5.451541243	4.078458757	65	0.062745519	60	0.6053	1
8991	9.53	5.370040002	4.159959998	65	0.063999385	60	0.53	1
8992	9.53	5.378235392	4.151764608	65	0.063873302	60	0.5376	1
8993	9.53	5.467498656	4.062501344	65	0.062500021	60	0.62	1
8994	9.53	5.429778779	4.100221221	65	0.063080326	60	0.5852	1
8995	9.53	5.29088701	4.23911299	65	0.065217123	60	0.457	1
8996	9.53	5.245662908	4.284337092	65	0.065912878	60	0.4152	1
8997	9.53	5.414827814	4.115172186	65	0.063310341	60	0.5714	1
8998	9.53	5.394308551	4.135691449	65	0.063626022	60	0.5524	1
8999	9.53	5.332501344	4.197498656	65	0.064576902	60	0.4954	1
9000	9.53	5.334195645	4.195804355	65	0.064550836	60	0.4969	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
9981	9.53	5.329159703	4.200840297	65	0.064628312	60	0.4923	1
9982	9.53	5.320620971	4.209379029	65	0.064759677	60	0.4844	1
9983	9.53	5.390761236	4.139238764	65	0.063680596	60	0.5492	1
9984	9.53	5.50422027	4.02577973	65	0.061935073	60	0.6539	1
9985	9.53	5.440876597	4.089123403	65	0.062909591	60	0.5954	1
9986	9.53	5.482951578	4.047048422	65	0.062262283	60	0.6343	1
9987	9.53	5.498228543	4.031771457	65	0.062027253	60	0.6484	1
9988	9.53	5.395982977	4.134017023	65	0.063600262	60	0.554	1
9989	9.53	5.370242071	4.159757929	65	0.063996276	60	0.5302	1
9990	9.53	5.383972828	4.146027172	65	0.063785033	60	0.5429	1
9991	9.53	5.306928797	4.223071203	65	0.064970326	60	0.4718	1
9992	9.53	5.450040925	4.079959075	65	0.062768601	60	0.6039	1
9993	9.53	5.275766322	4.254233678	65	0.065449749	60	0.443	1
9994	9.53	5.387476397	4.142523603	65	0.063731132	60	0.5461	1
9995	9.53	5.375235534	4.154764466	65	0.063919453	60	0.5348	1
9996	9.53	5.512190987	4.017809013	65	0.061812446	60	0.6613	1
9997	9.53	5.354062129	4.175937871	65	0.064245198	60	0.5153	1
9998	9.53	5.46567224	4.06432776	65	0.062528119	60	0.6183	1
9999	9.53	5.37312248	4.15687752	65	0.063951962	60	0.5329	1
10000	9.53	5.51228374	4.01771626	65	0.061811019	60	0.6613	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
10981	9.53	5.572701406	3.957298594	65	0.060881517	60	0.7171	1
10982	9.53	5.167172827	4.362827173	65	0.067120418	60	0.3428	1
10983	9.53	5.537870707	3.992129293	65	0.061417374	60	0.685	1
10984	9.53	5.352028188	4.177971812	65	0.064276489	60	0.5134	1
10985	9.53	5.416000477	4.113999523	65	0.0632923	60	0.5725	1
10986	9.53	5.477278446	4.052721554	65	0.062349562	60	0.629	1
10987	9.53	5.322336707	4.207663293	65	0.064733281	60	0.486	1
10988	9.53	5.298076926	4.231923074	65	0.065106509	60	0.4636	1
10989	9.53	5.465689973	4.064310027	65	0.062527847	60	0.6183	1
10990	9.53	5.329904455	4.200095545	65	0.064616855	60	0.493	1
10991	9.53	5.461019781	4.068980219	65	0.062599696	60	0.614	1
10992	9.53	5.488408806	4.041591194	65	0.062178326	60	0.6393	1
10993	9.53	5.205870313	4.324129687	65	0.066525072	60	0.3785	1
10994	9.53	5.446688956	4.083311044	65	0.06282017	60	0.6008	1
10995	9.53	5.327757106	4.202242894	65	0.064649891	60	0.491	1
10996	9.53	5.287886177	4.242113823	65	0.06526329	60	0.4542	1
10997	9.53	5.391585101	4.138414899	65	0.063667922	60	0.5499	1
10998	9.53	5.323535091	4.206464909	65	0.064714845	60	0.4871	1
10999	9.53	5.292676597	4.237323403	65	0.065189591	60	0.4586	1
11000	9.53	5.502029662	4.027970338	65	0.061968774	60	0.6519	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
11981	9.53	5.318831773	4.211168227	65	0.064787203	60	0.4828	1
11982	9.53	5.254135388	4.275864612	65	0.065782532	60	0.423	1
11983	9.53	5.398121557	4.131878443	65	0.063567361	60	0.556	1
11984	9.53	5.252084689	4.277915311	65	0.065814082	60	0.4212	1
11985	9.53	5.548471049	3.981528951	65	0.061254292	60	0.6947	1
11986	9.53	5.347923478	4.182076522	65	0.064339639	60	0.5096	1
11987	9.53	5.364353425	4.165646575	65	0.06408687	60	0.5248	1
11988	9.53	5.248088906	4.281911094	65	0.065875555	60	0.4175	1
11989	9.53	5.567046591	3.962953409	65	0.060968514	60	0.7119	1
11990	9.53	5.368087707	4.161912293	65	0.06402942	60	0.5282	1
11991	9.53	5.347219939	4.182780061	65	0.064350462	60	0.509	1
11992	9.53	5.605868007	3.924131993	65	0.060371261	60	0.7477	1
11993	9.53	5.239045488	4.290954512	65	0.066014685	60	0.4091	1
11994	9.53	5.586991603	3.943008397	65	0.060661668	60	0.7303	1
11995	9.53	5.363773621	4.166226379	65	0.06409579	60	0.5243	1
11996	9.53	5.489747879	4.040252121	65	0.062157725	60	0.6405	1
11997	9.53	5.387648652	4.142351348	65	0.063728482	60	0.5463	1
11998	9.53	5.333736946	4.196263054	65	0.064557893	60	0.4965	1
11999	9.53	5.489861482	4.040138518	65	0.062155977	60	0.6406	1
12000	9.53	5.455226811	4.074773189	65	0.062688818	60	0.6087	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
12981	9.53	5.42942394	4.10057606	65	0.063085786	60	0.5849	1
12982	9.53	5.352319308	4.177680692	65	0.064272011	60	0.5137	1
12983	9.53	5.404528918	4.125471082	65	0.063468786	60	0.5619	1
12984	9.53	5.440407084	4.089592916	65	0.062916814	60	0.595	1
12985	9.53	5.471024829	4.058975171	65	0.062445772	60	0.6233	1
12986	9.53	5.437030855	4.092969145	65	0.062968756	60	0.5919	1
12987	9.53	5.508423578	4.021576422	65	0.061870406	60	0.6578	1
12988	9.53	5.447718982	4.082281018	65	0.062804323	60	0.6017	1
12989	9.53	5.316523081	4.213476919	65	0.064822722	60	0.4806	1
12990	9.53	5.376538266	4.153461734	65	0.063899411	60	0.536	1
12991	9.53	5.424873879	4.105126121	65	0.063155786	60	0.5807	1
12992	9.53	5.452384399	4.077615601	65	0.062732548	60	0.606	1
12993	9.53	5.269622411	4.260377589	65	0.065544271	60	0.4373	1
12994	9.53	5.387933439	4.142066561	65	0.063724101	60	0.5466	1
12995	9.53	5.373170611	4.156829389	65	0.063951221	60	0.5329	1
12996	9.53	5.323798346	4.206201654	65	0.064710795	60	0.4874	1
12997	9.53	5.538471652	3.991528348	65	0.061408128	60	0.6855	1
12998	9.53	5.410215301	4.119784699	65	0.063381303	60	0.5671	1
12999	9.53	5.344450112	4.185549888	65	0.064393075	60	0.5064	1
13000	9.53	5.427601616	4.102398384	65	0.063113821	60	0.5832	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
13981	9.53	5.394485971	4.135514029	65	0.063623293	60	0.5526	1
13982	9.53	5.274189132	4.255810868	65	0.065474013	60	0.4416	1
13983	9.53	5.261721258	4.268278742	65	0.065665827	60	0.4301	1
13984	9.53	5.286985343	4.243014657	65	0.065277149	60	0.4534	1
13985	9.53	5.42146014	4.10853986	65	0.063208306	60	0.5775	1
13986	9.53	5.53516606	3.99483394	65	0.061458984	60	0.6825	1
13987	9.53	5.426100421	4.103899579	65	0.063136917	60	0.5818	1
13988	9.53	5.29189677	4.23810323	65	0.065201588	60	0.4579	1
13989	9.53	5.441590561	4.088409439	65	0.062898607	60	0.5961	1
13990	9.53	5.420838345	4.109161655	65	0.063217872	60	0.5769	1
13991	9.53	5.294700405	4.235299595	65	0.065158455	60	0.4605	1
13992	9.53	5.442833958	4.087166042	65	0.062879478	60	0.5972	1
13993	9.53	5.405461515	4.124538485	65	0.063454438	60	0.5627	1
13994	9.53	5.536805216	3.993194784	65	0.061433766	60	0.684	1
13995	9.53	5.38780756	4.14219244	65	0.063726038	60	0.5464	1
13996	9.53	5.424880699	4.105119301	65	0.063155682	60	0.5807	1
13997	9.53	5.469274408	4.060725592	65	0.062472701	60	0.6216	1
13998	9.53	5.428113025	4.101886975	65	0.063105953	60	0.5836	1
13999	9.53	5.332116302	4.197883698	65	0.064582826	60	0.495	1
14000	9.53	5.264170639	4.265829361	65	0.065628144	60	0.4323	1

TP-3								
No.	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Delta Tebal (mm)	Selisih Tahun	Cr (mm/tahun)	Tahun Prediksi	g(x)	Sukses/Gagal
14981	9.53	5.450134165	4.079865835	65	0.062767167	60	0.604	1
14982	9.53	5.284790059	4.245209941	65	0.065310922	60	0.4513	1
14983	9.53	5.429834508	4.100165492	65	0.063079469	60	0.5852	1
14984	9.53	5.445220399	4.084779601	65	0.062842763	60	0.5994	1
14985	9.53	5.509973683	4.020026317	65	0.061846559	60	0.6592	1
14986	9.53	5.286356727	4.243643273	65	0.06528682	60	0.4528	1
14987	9.53	5.452677078	4.077322922	65	0.062728045	60	0.6063	1
14988	9.53	5.52146804	4.00853196	65	0.061669722	60	0.6698	1
14989	9.53	5.350641667	4.179358333	65	0.064297821	60	0.5121	1
14990	9.53	5.308936821	4.221063179	65	0.064939434	60	0.4736	1
14991	9.53	5.608172023	3.921827977	65	0.060335815	60	0.7499	1
14992	9.53	5.491606836	4.038393164	65	0.062129126	60	0.6423	1
14993	9.53	5.378363999	4.151636001	65	0.063871323	60	0.5377	1
14994	9.53	5.458255118	4.071744882	65	0.062642229	60	0.6115	1
14995	9.53	5.276862211	4.253137789	65	0.065432889	60	0.444	1
14996	9.53	5.403760978	4.126239022	65	0.0634806	60	0.5612	1
14997	9.53	5.475939179	4.054060821	65	0.062370166	60	0.6278	1
14998	9.53	5.580530071	3.949469929	65	0.060761076	60	0.7243	1
14999	9.53	5.264078276	4.265921724	65	0.065629565	60	0.4322	1
15000	9.53	5.364196174	4.165803826	65	0.06408929	60	0.5246	1

Jumlah percobaan	Jumlah sukses	Jumlah gagal	PoF	PoS
0	0	0	0	0
1000	1000	0	0	1
2000	2000	0	0	1
3000	3000	0	0	1
4000	4000	0	0	1
5000	5000	0	0	1
6000	6000	0	0	1
7000	7000	0	0	1
8000	8000	0	0	1
9000	9000	0	0	1
10000	10000	0	0	1
11000	11000	0	0	1
12000	12000	0	0	1
13000	13000	0	0	1
14000	14000	0	0	1
15000	15000	0	0	1
Average			0	1

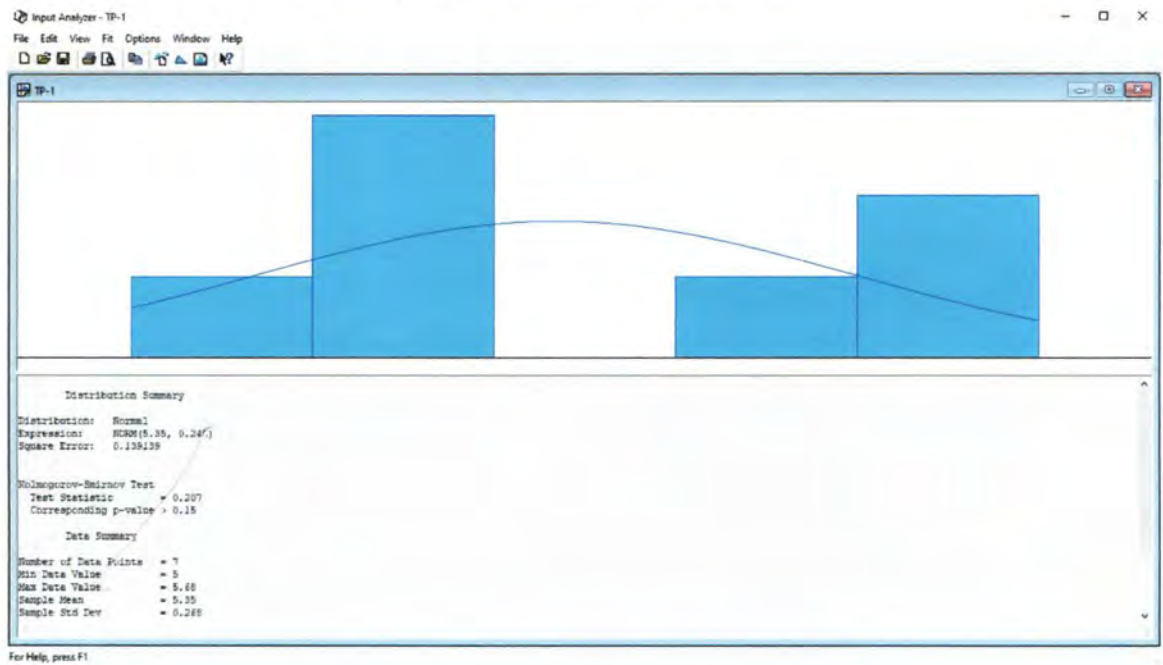
Jumlah Sampel	15000	
Sukses	15000	1
Gagal	0	0

Distribusi Data

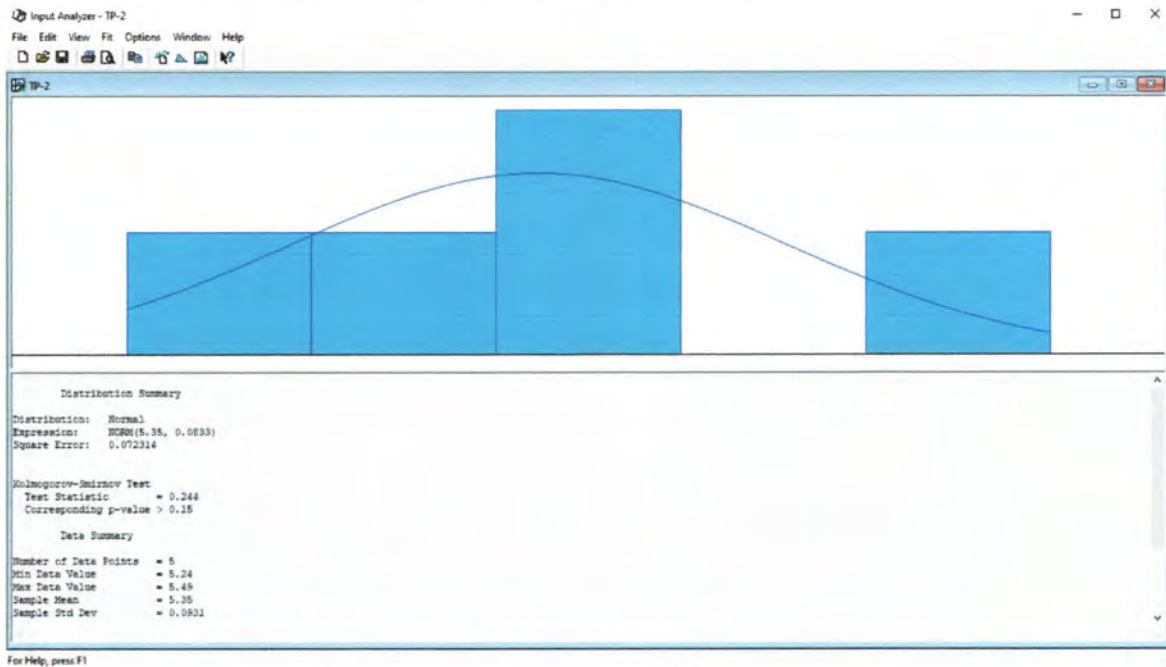
Lokasi	Distribusi Data	Mean (mm)	Standard Deviasi (mm)
TP-1	Distribusi Normal	5.35	0.0833
TP-2	Distribusi Normal	5.35	0.248
TP-3	Distribusi Normal	5.4	0.0857

Analisa Uji Distribusi Menggunakan Software Arena

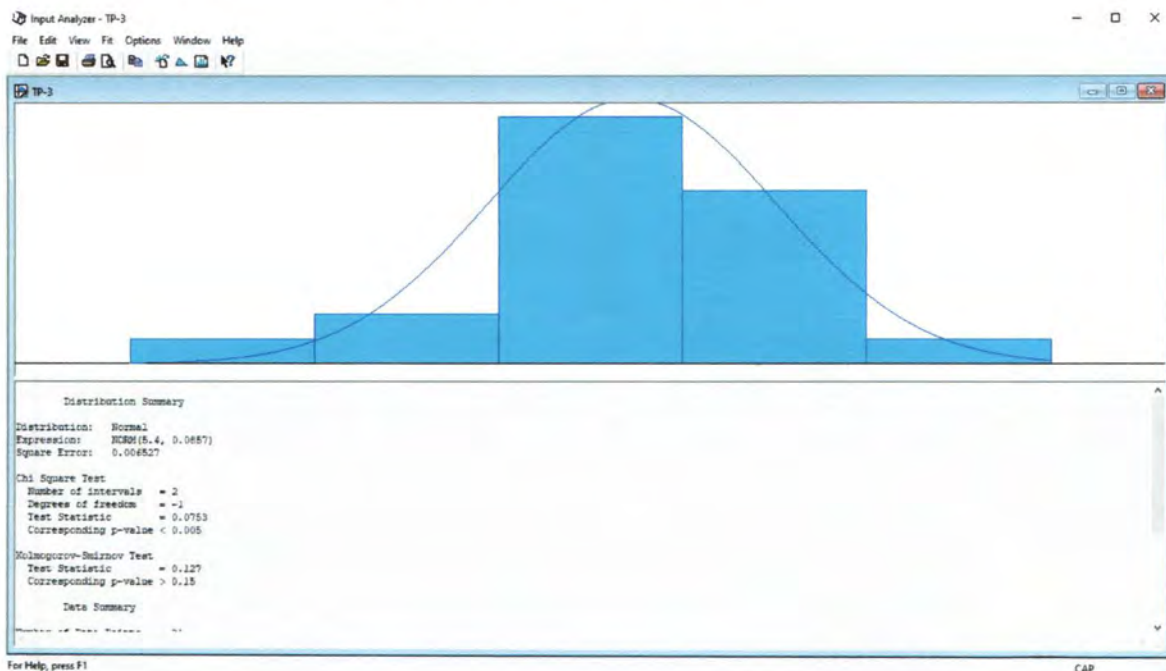
a. Data inspeksi ketebalan pipa di lokasi TP-1 tahun 2018



b. Data inspeksi ketebalan pipa di lokasi TP-2 tahun 2018



c. Data inspeksi ketebalan pipa di lokasi TP-3 tahun 2018



LAMPIRAN C TABEL API 581
UNTUK ANALISA RISIKO

Table 4.1 – List of Representative Fluids Available for Level 1 Consequence Analysis

Representative Fluid	Fluid TYPE (see Section 4.1.5)	Examples of Applicable Materials
C ₁ – C ₂	TYPE 0	Methane, Ethane, Ethylene, LNG, Fuel Gas
C ₃ – C ₄	TYPE 0	Propane, Butane, Isobutane, LPG
C ₅	TYPE 0	Pentane
C ₆ – C ₈	TYPE 0	Gasoline, Naphtha, Light Straight Run, Heptane
C ₉ – C ₁₂	TYPE 0	Diesel, Kerosene
C ₁₃ – C ₁₆	TYPE 0	Jet Fuel, Kerosene, Atmospheric Gas Oil
C ₁₇ – C ₂₂	TYPE 0	Gas Oil, Typical Crude
C ₂₂₊	TYPE 0	Residuum, Heavy Crude, Lube Oil, Seal Oil
H ₂	TYPE 0	Hydrogen
H ₂ S	TYPE 0	Hydrogen Sulfide
HF	TYPE 0	Hydrogen Fluoride
water	TYPE 0	Water
steam	TYPE 0	Steam
Acid	TYPE 0	Acid, Caustic
Aromatics	TYPE 1	Benzene, Toluene, Xylene, Cumene
AlCl ₃	TYPE 0	Aluminium Chloride
Pyrophoric	TYPE 0	Pyrophoric Materials
Ammonia	TYPE 0	Ammonia
Chlorine	TYPE 0	Chlorine
CO	TYPE 1	Carbon Monoxide
DEE	TYPE 1 (see Note 2)	Diethyl Ether
HCL	TYPE 0 (see Note 1)	Hydrogen Chloride
Nitric Acid	TYPE 0 (see Note 1)	Nitric Acid
NO ₂	TYPE 0 (see Note 1)	Nitrogen Dioxide
Phosgene	TYPE 0	Phosgene
TDI	TYPE 0 (see Note 1)	Toluene Diisocyanate
Methanol	TYPE 1	Methanol
PO	TYPE 1	Propylene Oxide
Styrene	TYPE 1	Styrene
EEA	TYPE 1	Ethylene Glycol Monoethyl Ether Acetate
EE	TYPE 1	Ethylene Glycol Monoethyl Ether
EG	TYPE 1	Ethylene Glycol
EO	TYPE 1	Ethylene Oxide
Notes:		
1. HCL, Nitric Acid, NO ₂ and TDI are TYPE 1 toxic fluids		
2. DEE is a TYPE 0 toxic fluid		

Table 4.2 – Properties of the Representative Fluids Used in Level 1 Consequence Analysis

Fluid	MW	Liquid Density (lb/ft ³)	NBP (°F)	Ambient State	Ideal Gas Specific Heat Eq.	C _p					Auto-Ignition Temp. (°F)
						Ideal Gas Constant A	Ideal Gas Constant B	Ideal Gas Constant C	Ideal Gas Constant D	Ideal Gas Constant E	
C1-C2	23	15.639	-193	Gas	Note 1	12.3	1.190E-01	-2.87E-05	-1.30E-09	N/A	1036
C3-C4	51	33.61	-6.3	Gas	Note 1	2.632	0.3188	-1.347E-04	1.466E-08	N/A	696
C5	72	39.03	97	Liquid	Note 1	-3.626	0.4873	-2.6E-04	5.3E-08	N/A	544
C6-C8	100	42.702	210	Liquid	Note 1	-5.146	6.762E-01	-3.65E-04	7.659E-08	N/A	433
C9-C12	148	45.823	364	Liquid	Note 1	-8.6	1.01E+00	-5.56E-04	1.190E-07	N/A	406
C13-C16	206	47.728	502	Liquid	Note 1	-11.7	1.39E+00	-7.72E-04	1.670E-07	N/A	396
C17-C25	280	48.383	661	Liquid	Note 1	-22.4	1.94E+00	-1.12E-03	-2.53E-07	N/A	396
C25+	422	56.167	961	Liquid	Note 1	-22.4	1.94E+00	-1.12E-03	-2.53E-07	N/A	396
Water	18	62.3	212	Liquid	Note 3	2.76E+05	-2.09E+03	8.125	-1.41E-02	9.37E-06	N/A
Steam	18	62.3	212	Gas	Note 3	3.34E+04	2.68E+04	2.61E+03	8.90E+03	1.17E+03	N/A
Acid	18	62.3	212	Liquid	Note 3	2.76E+05	-2.09E+03	8.125	-1.41E-02	9.37E-06	N/A
H ₂	2	4.433	-423	Gas	Note 1	27.1	9.270E-03	-1.38E-05	7.650E-09	N/A	752
H ₂ S	34	61.993	-75	Gas	Note 1	31.9	1.440E-03	2.430E-05	-1.18E-08	N/A	500
HF	20	60.37	68	Gas	Note 1	29.1	6.610E-04	-2.03E-06	2.500E-09	N/A	32000
CO	28	50	-312	Gas	Note 2	2.91E+04	8.77E+03	3.09E+03	8.46E+03	1.54E+03	1128
DEE	74	45	95	Liquid	Note 2	8.62E+04	2.55E+05	1.54E+03	1.44E+05	-8.85E+02	320
HCL	36	74	-121	Gas	---	---	---	---	---	---	N/A
Nitric Acid	63	95	250	Liquid	---	---	---	---	---	---	N/A
AlCl ₃	133.5	152	382	Powder	Note 1	4.34E+04	3.97E+04	4.17E+02	2.40E+04	N/A	1036
NO ₂	90	58	278	Liquid	---	---	---	---	---	---	N/A
Phosgene	98	86	181	Liquid	---	---	---	---	---	---	N/A
TDI	174	76	484	Liquid	---	---	---	---	---	---	1148
Methanol	32	50	149	Liquid	Note 2	3.93E+04	8.79E+04	1.92E+03	5.37E+04	8.97E+02	867
PO	68	52	93	Liquid	Note 2	4.95E+04	1.74E+05	1.56E+03	1.15E+05	7.02E+02	840
Styrene (Aromatic)	104	42.7	293	Liquid	Note 2	8.93E+04	2.16E+05	7.72E+02	9.99E+04	2.44E+03	914

Table 4.4 – Release Hole Sizes and Areas Used in Level 1 and 2 Consequence Analyses

Release Hole Number	Release Hole Size	Range of Hole Diameters (inch)	Release Hole Diameter, d_i (inch)
1	Small	0 – ¼	$d_1 = 0.25$
2	Medium	> ¼ – 2	$d_2 = 1$
3	Large	> 2 – 6	$d_3 = 4$
4	Rupture	> 6	$d_4 = \min [D, 16]$

Table B-1—Inventory Category Ranges

Category	Range	Value Used In Calculations
A	100 to 1,000 lbs.	500
B	1,000 to 10,000 lbs.	5,000
C	10,000 to 100,000 lbs.	50,000
D	100,000 to 1,000,000 lbs.	500,000
E	1,000,000 to 10,000,000 lbs.	5,000,000

The user can select the category based on judgmental evaluation for each category as outlined in Table B-2:

Table B-2—Description of Inventory Categories

Category	Qualitative Description
A	The release will result in less than total deinventory of the equipment item being evaluated.
B	The release will result in total deinventory of the equipment item being evaluated.
C	The release will result in total deinventory of the equipment item being evaluated, plus one to ten other equipment items.
D	The release will result in total deinventory of the equipment item being evaluated, plus ten or more other equipment items.
E	The release will result in total deinventory of the unit.

Table 4.7 – Leak Durations Based on Detection and Isolation Systems

Detection System Rating	Isolation System Rating	Maximum Leak Duration, td_{max}
A	A	20 minutes for 1/4 inch leaks 10 minutes for 1 inch leaks 5 minutes for 4 inch leaks
A	B	30 minutes for 1/4 inch leaks 20 minutes for 1 inch leaks 10 minutes for 4 inch leaks
A	C	40 minutes for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
E	A or B	40 minutes for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
B	C	1 hour for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
C	A, B or C	1 hour for 1/4 inch leaks 40 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks

Table 7-10—Continuous Release Consequence Equations—Auto Ignition Likely^a

Material	Final Phase Gas		Final Phase Liquid	
	Area of Equipment Damage (ft ²)	Area of Fatalities (ft ²)	Area of Equipment Damage (ft ²)	Area of Fatalities (ft ²)
C ₁ -C ₂	$A = 280 x^{0.95}$	$A = 745 x^{0.92}$		
C ₃ -C ₄	$A = 315 x^{1.00}$	$A = 837 x^{0.92}$		
C ₅	$A = 304 x^{1.00}$	$A = 811 x^{1.00}$		
C ₆ -C ₈	$A = 313 x^{1.00}$	$A = 828 x^{1.00}$	$A = 525 x^{0.95}$	$A = 1315 x^{0.92}$
C ₉ -C ₁₂	$A = 391 x^{0.95}$	$A = 981 x^{0.92}$	$A = 560 x^{0.95}$	$A = 1401 x^{0.92}$
C ₁₃ -C ₁₆			$A = 1023 x^{0.92}$	$A = 2850 x^{0.90}$
C ₁₇ -C ₂₅			$A = 861 x^{0.92}$	$A = 2420 x^{0.90}$
C ₂₅₊			$A = 544 x^{0.90}$	$A = 1604 x^{0.90}$
H ₂	$A = 1146 x^{1.20}$	$A = 3072 x^{1.00}$		
H ₂ S	$A = 203 x^{0.80}$	$A = 375 x^{0.91}$		
HF				
Aromatics				
Styrene				

Shaded area represents cases in which equations are nonapplicable.
 x = total release rate, lb/sec.
 A = area, ft².

Table 7-11—Instantaneous Release Consequence Equations—Auto Ignition Likely^a

Material	Final Phase Gas		Final Phase Liquid	
	Area of Equipment Damage (ft ²)	Area of Fatalities (ft ²)	Area of Equipment Damage (ft ²)	Area of Fatalities (ft ²)
C ₁ -C ₂	$A = 1079 x^{0.62}$	$A = 3100 x^{0.63}$		
C ₃ -C ₄	$A = 523 x^{0.63}$	$A = 1768 x^{0.61}$		
C ₅	$A = 275 x^{0.61}$	$A = 959 x^{0.65}$		
C ₆ -C ₈	$A = 76 x^{0.61}$	$A = 962 x^{0.65}$		
C ₉ -C ₁₂	$A = 281 x^{0.61}$	$A = 988 x^{0.63}$	$A = 6.0 x^{0.53}$	$A = 20 x^{0.54}$
C ₁₃ -C ₁₆			$A = 9.2 x^{0.88}$	$A = 26 x^{0.88}$
C ₁₇ -C ₂₅			$A = 5.6 x^{0.91}$	$A = 16 x^{0.91}$
C ₂₅₊			$A = 1.4 x^{0.99}$	$A = 4.1 x^{0.99}$
H ₂	$A = 1430 x^{0.615}$	$A = 4193 x^{0.621}$		
H ₂ S	$A = 357 x^{0.61}$	$A = 1253 x^{0.61}$		
HF				
Aromatics				
Styrene				

Table 8.1 suggested generic equipment failure frequencies

Equipment Type	Data Source (References)	Leak Frequency (per year for four hole size)			
		0.25 in.	1 in.	4 in.	Rupture
Centrifugal Pump, single seal	1	6×10^{-2}	5×10^{-4}	1×10^{-4}	-
Centrifugal Pump, double seal	1	6×10^{-3}	5×10^{-4}	1×10^{-4}	-
Column	2	8×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-5}	6×10^{-6}
Compressor, Centrifugal	1	-	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-
Compressor, Reciprocating	6	-	6×10^{-3}	6×10^{-4}	-
Filter	1	9×10^{-4}	1×10^{-4}	5×10^{-5}	1×10^{-5}
Fin/Fan Coolers	3	2×10^{-3}	3×10^{-4}	5×10^{-8}	2×10^{-8}
Heat Exchanger, Shell	1	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Heat Exchanger, Tube Side	1	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Piping, 0.75 in. diameter, per ft	3	1×10^{-5}	-	-	3×10^{-7}
Piping, 1 in. diameter, per ft	3	5×10^{-6}	-	-	5×10^{-7}
Piping, 2 in. diameter, per ft	3	3×10^{-6}	-	-	6×10^{-7}
Piping, 4 in. diameter, per ft	3	9×10^{-7}	6×10^{-7}	-	7×10^{-8}
Piping, 6 in. diameter, per ft	3	4×10^{-7}	4×10^{-7}	-	8×10^{-8}
Piping, 8 in. diameter, per ft	3	3×10^{-7}	3×10^{-7}	8×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 10 in. diameter, per ft	3	2×10^{-7}	3×10^{-7}	8×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 12 in. diameter, per ft	3	1×10^{-7}	3×10^{-7}	3×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 16 in. diameter, per ft	3	1×10^{-7}	2×10^{-7}	2×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, > 16 in. diameter, per ft	3	6×10^{-8}	2×10^{-7}	2×10^{-8}	1×10^{-8}
Pressure Vessels	2	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Reactor	2	1×10^{-4}	3×10^{-4}	3×10^{-5}	2×10^{-3}
Reciprocating Pumps	7	0.7	0.01	0.001	0.001
Atmospheric Storage Tank	5	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	2×10^{-3}

Table 4.6 – Adjustments to Release Based on Detection and Isolation Systems

System Classifications		Release Magnitude Adjustment	Reduction Factor, f_{act}
Detection	Isolation		
A	A	Reduce release rate or mass by 25%	0.25
A	B	Reduce release rate or mass by 20%	0.20
A or B	C	Reduce release rate or mass by 10%	0.10
B	B	Reduce release rate or mass by 15%	0.15
C	C	No adjustment to release rate or mass	0.00

Tabel 8.2 Kategori peluang kegagalan (API 581)

Kategori	Peluang kegagalan
1	< 0,07
2	< 0,14
3	< 0,21
4	< 0,28
5	< 0,35

Table B-3—Consequence Area Categories

Consequence Category	Likelihood Weighted Average Area
A	< 10 ft ²
B	10 – 100 ft ²
C	100 – 1,000 ft ²
D	1,000 – 10,000 ft ²
E	> 10,000 ft ²

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Daris An-Nahdah, dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 14 September 1998, penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Futuhatul Ulum Gresik, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Manyar, dan melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Gresik. Setelah lulus pendidikan SMA pada tahun 2016, penulis mengikuti program mandiri/ pkm ITS dan diterima di Departemen Teknik Kelautan ITS. Kemudian penulis mengambil bidang studi manajemen terkait manajemen risiko. Selama perkuliahan penulis aktif dalam bidang akademis dan non-akademis serta berbagai kegiatan ORMAWA seperti himpunan jurusan, BEM FTK, dan UKM ITS. Dan juga beberapa seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Pada tahun 2017, penulis mengikuti ajang Pemilihan Duta Wisata Cak dan Yuk Gresik dan meraih juara 2 atau Wakil 1 Yuk Gresik. Di tahun berikutnya, penulis mengikuti ajang Pemilihan Miss Global Surabaya 2018 dan berhasil masuk dalam Top 7 Miss Global Surabaya 2018. Pada tahun 2019, penulis berkesempatan untuk melakukan kerja praktik selama satu bulan di PT. Pertamina Hulu Energi ONWJ Jakarta dan satu bulan berikutnya di PT. Chevron Pacific Indonesia Riau. Kemudian pada Januari 2020, penulis selesai mengerjakan dan ujian Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan pendidikan sarjana, dengan judul tugas akhir "*Risk Assessment pada Onshore Pipeline di Riau*". Jika pembaca berminat untuk memberik kritik dan saran, bisa hubungi email yang tertera di bawah ini.

Email: darisanahdah@gmail.com