



TESIS-TI142307

**ANALISIS EVALUASI LOKASI PENEMPATAN
GARDU INDUK YANG OPTIMAL DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN ATRIBUT DAN INTERAKSI
SPASIAL DI JAWA TIMUR**

WAHYU SURYA PUTRA PRADANA

2512 205 004

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ir. I Ketut Gunarta, M.T.

Prof. Iwan Vanany S.T., M.T., Ph.D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN REKAYASA

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TESIS-TI142307

**EVALUATION ANALYSIS OF OPTIMUM
SUBSTATION SITTING CONSIDER ATTRIBUTES
AND SPATIAL INTERACTION IN EAST JAVA**

**WAHYU SURYA PUTRA PRADANA
2512 205 004**

SUPERVISORS:

Dr. Ir. I Ketut Gunarta, M.T.

Prof. Iwan Vanany S.T., M.T., Ph.D

MAGISTER PROGRAM

FIELD OF STUDY ENGINEERING MANAGEMENT

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS EVALUASI LOKASI PENEMPATAN GARDU INDUK
YANG OPTIMAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
ATRIBUT DAN INTERAKSI SPASIAL DI JAWA TIMUR**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

WAHYU SURYA PUTRA PRADANA

NRP. 2512 205 004

Tanggal Ujian : 09 Januari 2017

Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh :

1. Dr. Ir. I Ketut Gunarta, MT

NIP. 19680218 199303 1 002



(Pembimbing I)

2. Prof. Iwan Vanany ST., MT., Ph.D

NIP. 19710927 199903 1 002



(Pembimbing II)

3. Prof. Ir. Moses L Singgih, M.Sc, Ph.D

NIP. 19590817 198703 1 002



(Penguji I)

4. Putu Dana Karningsih, ST, M.Eng.Sc, Ph.D

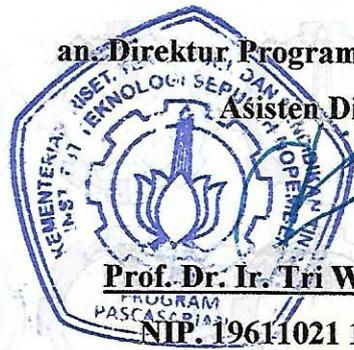
NIP. 19740508 199903 2 001



(Penguji II)

an. Direktur Program Pascasarjana

Asisten Direktur



Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.

NIP. 19611021 198603 1 001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahyu Surya Putra Pradana

NRP : 2512 205 004

Program Studi : Magister Teknik Industri ITS Surabaya

Menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya yang berjudul:

**Analisis Evaluasi Lokasi Penempatan Gardu Induk yang Optimal dengan
Mempertimbangkan Atribut dan Interaksi Spasial di Jawa Timur**

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan materi-materi yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya pribadi.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah penulis cantumkan secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2016

Yang membuat pernyataan,

Wahyu Surya Putra Pradana

NRP. 2512 205 004

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS EVALUASI LOKASI PENEMPATAN GARDU INDUK YANG OPTIMAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ATRIBUT DAN INTERAKSI SPASIAL DI JAWA TIMUR

Nama : Wahyu Surya Putra Pradana
NRP : 2512 205 004
Pembimbing : Dr. Ir. I Ketut Gunarta, MT.
Co-Pembimbing : Prof. Iwan Vanany ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Pemilihan lokasi Gardu Induk (GI) pada umumnya ditempatkan jauh dari pusat beban dengan alasan untuk mencari harga tanah yang relatif lebih murah di luar perkotaan. Hal ini berdampak pada kerugian finansial yang meliputi tingginya biaya O&M serta rugi-rugi jaringan tegangan menengah yang meningkat. Pertimbangan utama yang seharusnya diperhatikan adalah lokasi GI sedapatnya dekat dengan pusat beban. Penentuan lokasi penempatan gardu induk seharusnya mempertimbangkan beberapa kriteria keruangan meliputi luas area yang dibutuhkan serta kemiringan lahan. Dalam penelitian ini, 9 kriteria yang berhubungan dengan lingkungan dan ekonomi dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi GI. Metode yang digunakan adalah *Spatial Multi-Criteria Decision Analysis* dengan memanfaatkan software ArcGIS 10.1 (*Geographical Information System*) menggunakan AHP (*Analytical Hierarchy Process*) sebagai alat analisisnya. Hasil dari penelitian ini didapatkan dari 13 lokasi yang masuk kedalam kategori alternatif lokasi yang sesuai, terdapat 5 lokasi meliputi Kabupaten Sidoarjo, Lamongan dan Bojonegoro yang menjadi paling sesuai dengan komposisi area meliputi: kedekatan GI dengan Pusat beban memiliki radius < 9 km, luas area >20.000m², kedekatan jarak GI dengan sungai berada pada radius 7-8 km (paling sesuai), lokasi berada di area yang memiliki persentase kemiringan lahan antara 0 – 4%, dan nilai kerapatan gempa yang berada di kisaran range 0 – 0,99 SR untuk kelima Kabupaten.

Kata Kunci: lokasi gardu induk, *spatial multicriteria decision analysis*, AHP

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**EVALUATION ANALYSIS OF OPTIMUM SUBSTATION SITTING
CONSIDER ATTRIBUTES AND SPATIAL INTERACTION IN EAST
JAVA**

Name : Wahyu Surya Putra Pradana
Student Number : 2512 205 004
Supervisor : Dr. Ir. I Ketut Gunarta, MT.
Co-Supervisor : Prof. Iwan Vanany ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Substation site selection generally placed far from load center area searching for land prices are relatively cheaper outside cities. Major consideration is substation site should be close to load centers. In this research, 9 criteria related to the environment and economy that considered in substation site selection. A method used is Spatial Multi-criteria Decision Analysis by utilizing ArcGIS 10.1 software (Geographical Information System) using AHP (Analytic Hierarchy Process) as a tool of analysis. Result of this research were obtained from five districts in the category of alternative suitable location, there are five location namely Sidoarjo, Bojonegoro and Lamongan be best suited to the composition of area, include: substation proximity with a load center has a radius <9 km, the area reached over 20.000m², substation proximity to river are in radius of 7-8 km (most suitable), these locations are in areas that have a percentage of slope between 0-4%, and earthquake density value is in the range of 0 to 0.99 SR for both districts.

Keywords : substation sites, spatial multicriteria decision analysis, AHP

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan berkah dan limpahan rahmat serta hidayahNya, sehingga tesis yang berjudul **“ANALISIS EVALUASI LOKASI PENEMPATAN GARDU INDUK YANG OPTIMAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ATRIBUT DAN INTERAKSI SPASIAL DI JAWA TIMUR”** ini dapat penulis selesaikan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan suatu karya ilmiah tidaklah mudah, oleh karena itu tidak tertutup kemungkinan dalam penyusunan tesis ini terdapat kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritikan yang bersifat membangun guna kesempurnaan tesis ini.

Proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, pengumpulan data sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril.

Oleh karena itu, dalam kesempatan ini izinkanlah penulis mengucapkan *Jazakumullahu Khairan Katsira* kepada yang terhormat:

1. Kedua orang tuaku, ayahanda Balok Suhariyono dan ibunda Supriyati yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang, cucuran keringat dan air mata, untaian doa serta pengorbanan tiada henti, yang hingga kapanpun penulis takkan bisa membalasnya. Maafkan jika ananda sering menyusahkan, merepotkan, serta melukai perasaan ibunda dan ayahanda. Keselamatan dunia akhirat semoga selalu untukmu.
2. Istriku tercinta Risca Yuniawati, yang senantiasa memberikan motivasi dan doa kepada penulis untuk menyelesaikan studi ini. Curahan kasih sayang, dorongan moril yang selalu menemani penulis dalam duka, canda dan tawa. Semoga kita selalu menjadi keluarga yang saling mendukung satu sama lain.

3. Bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Pasca Sarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. I Ketut Gunarta, M.T.selaku dosen pembimbing I tesis, dan juga mentor dalam berbagai hal bagi penulis, yang telah mendorong, membantu, dan mengarahkan penulis sehingga penyelesaian tesis ini.
5. Bapak Prof. Iwan Vanany S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing II tesis, dan juga mentor yang telah mendorong, membantu, dan mengarahkan penulis sehingga penyelesaian tesis ini.
6. Seluruh staf pengajar, baik dosen maupun asistennya, staf pegawai di lingkup Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya.
7. Teman – teman S2 tahun angkatan 2012 yang selalu memberi nasehat dan motivasi. Tawa, canda, cerita dan keluh kesah kalian menjadi warna tersendiri dalam catatan hidup penulis.
8. Teman – teman PT. PJB UP Muara Tawar Div. Instrumen & Kontrol yang selalu memberi semangat. Serta beribu terima kasih atas dukungan Supervisor I&C Blok 1-2 UP MTW Mas Danan Tri Yulianto atas ijin-ijinnya untuk bisa menuntaskan tesis. Terima kasih banyak TEAM.
9. Untuk Mbak Emiel dan Nindy, akhirnya kita LULUUUSS bareng. Terima kasih sebanyak-banyaknya.

Selain itu, penulis juga mengucapkan permohonan maaf yang sedalam-dalamnya jika penulis telah banyak melakukan kesalahan dan kekhilafan, baik dalam bentuk ucapan maupun tingkah laku.

Akhirnya, penulis berharap bahwa apa yang disajikan dalam tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga kesemuanya ini dapat bernilai ibadah di sisi-Nya, Amin..Sekian dan terimakasih.

Penulis

Wahyu Surya Putra Pradana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xixxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	13
1.3 Tujuan dan Kontribusi Penelitian.....	13
1.4 Ruang Lingkup	13
1.5 Sistematika Penulisan.....	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 Kebutuhan Energi Listrik Nasional	15
2.1.1 Rasio Elektrifikasi	15
2.1.2 Kebijakan Penyediaan Tenaga Listrik.....	18
2.2 Konsep Analisis Spasial	19
2.3 Konsep GIS (<i>Geographical Information System</i>)	33
2.3.1 Subsistem pada GIS.....	34
2.3.2 <i>GIS & Decision Support</i>	39
2.4 <i>Spatial Multi Criteria Decision Analysis</i>	40
2.4.1 <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	48

2.4.2 <i>Weighted Overlay</i>	49
2.5 Jaringan Distribusi dan Konsep Penempatan Gardu Induk	50
2.5.1 Jaringan Tegangan Menengah	52
2.5.2 Analisis Penentuan Lokasi Gardu Induk dengan Pertimbangan Unsur Finansial.....	54
2.5.3 Analisis Penentuan Lokasi Gardu Induk dengan Menggunakan Metode <i>Spatial MCDA</i>	56
2.5.3.1 <i>Proximity Analysis</i>	56
2.5.3.2 <i>Density Analysis</i>	61
2.5.3.3 <i>Model Builder</i>	64
2.6 Gap dan Posisi Penelitian	65
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	67
3.1 Kerangka Penelitian.....	67
3.2 Tahapan Penelitian.....	68
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	73
4.1 Lokasi Objek Amatan	73
4.2 Kriteria Keputusan.....	73
4.2.1 Jenis Gardu Induk	74
4.2.2 Jarak GI dengan Pusat Beban	75
4.2.3 Peta Tingkat Kemiringan Lahan (<i>% Slope</i>)	77
4.2.4 Peta Rencana Tata Ruang & Wilayah.....	79
4.2.4.1 Peta Rencana Tata RUang & Wilayah Jawa Timur.....	79
4.2.4.2 Peta Lahan Kritis	81
4.2.5 Peta Titik Gempa	82

4.2.6	Peta Kedekatan dengan Jalan	83
4.2.7	Peta Kedekatan dengan Danau	83
4.2.8	Peta Kedekatan dengan Sungai	84
4.3	Penentuan Alternatif Lokasi Gardu Induk.....	86
4.3.1	Analisis Alternatif Lokasi Gardu Induk (<i>Environment</i>).....	87
4.3.1.1	Pengolahan Data Layer Kriteria	88
4.3.1.1.1	<i>Density</i> Gempa	88
4.3.1.1.2	<i>Persentase Slope</i>	89
4.3.1.1.3	Jarak Gardu Induk Dengan Danau	90
4.3.1.1.4	Jarak Gardu Induk Dengan Sungai.....	90
4.3.1.2	Pembobotan Kriteria melalui <i>AHP</i> dan <i>Weighted Overlay</i>	91
4.3.2	Analisis Alternatif Lokasi Gardu Induk (<i>Economy</i>).....	94
4.3.2.1	Pengolahan Data Layer Kriteria	94
4.3.2.1.1	Jarak Gardu Induk Dengan Pusat Beban	95
4.3.2.1.2	Jarak Gardu Induk Dengan Akses Jalan.....	95
4.3.2.2	Pembobotan Kriteria melalui <i>AHP</i> dan <i>Weighted Overlay</i>	96
4.3.2.3	Identifikasi Alternatif Lokasi Terpilih.....	98
 BAB V ANALISA DAN INTERPRETASI DATA		109
5.1	Analisa Kriteria Keputusan	109
5.2	<i>Spatial Multicriteria Decision Analysis Model</i>	112
 BAB VI KESIMPULAN		117
6.1	Kesimpulan.....	117
6.2	Saran.....	118
 DAFTAR PUSTAKA		117

LAMPIRAN 1	123
LAMPIRAN 2	127
LAMPIRAN 3	129
LAMPIRAN 4	135
LAMPIRAN 5	149
LAMPIRAN 6	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Poyeksi Kebutuhan Listrik Nasional.....	1
Gambar 1. 2 Sebaran Pembangkit dan Jaringan Transmisi Nasional	2
Gambar 1. 3 Objek Amatan Jawa Timur	12
Gambar 2. 1 Bentuk data raster.....	20
Gambar 2. 2 Susunan sel pada data raster.....	21
Gambar 2. 3 (a) Foto hasil citra satelit, (b) Jenis resolusi sel	21
Gambar 2. 4 Nilai piksel yang ditampilkan dalam tabel atribut	23
Gambar 2. 5 Geometri dan Topologi data vektor	24
Gambar 2. 6 Hubungan Topologi antar Obyek Spasial	26
Gambar 2. 7 Fungsi maksimum data raster.....	28
Gambar 2. 8 Fungsi minimum data raster.....	28
Gambar 2. 9 Fungsi <i>mean</i> data raster.....	29
Gambar 2. 10 Fungsi <i>median</i> data raster.....	29
Gambar 2. 11 Fungsi <i>majority</i> data raster.....	30
Gambar 2. 12 Fungsi <i>range</i> data raster	30
Gambar 2. 13 Fungsi standar deviasi pada data raster.....	31
Gambar 2. 14 Fungsi <i>variety</i> pada data raster.....	31
Gambar 2. 15 Fungsi <i>Equal to Frequency</i>	32
Gambar 2. 16 Fungsi <i>Greather than Frequency</i>	32
Gambar 2. 17 Fungsi <i>Highest Position</i> pada data raster	33
Gambar 2. 18 Bentuk format data raster dan vektor	37
Gambar 2. 19 <i>Framework</i> uraian sub-sistem GIS.....	38
Gambar 2. 20 Tiga tahap proses pembuatan keputusan.....	40
Gambar 2. 21 Kerangka kerja untuk <i>Multicriteria Decision Analysis</i>	42
Gambar 2. 22 <i>Framework</i> untuk <i>Spatial Multicriteria Decision Analysis</i>	45
Gambar 2. 23 Sistem tenaga listrik	51
Gambar 2. 24 Alur pendistribusian tenaga listrik sampai ke konsumen.....	53
Gambar 2. 25 Ilustrasi analisis <i>buffer</i>	57
Gambar 2. 26 Ilustrasi <i>buffer</i> (jarak bidang garis).....	58

Gambar 2. 27 Ilustrasi Thiessen Polygons	58
Gambar 2. 28 Ilustrasi <i>Multiple Ring Buffer</i>	59
Gambar 2. 29 Ilustrasi analisis <i>Near</i>	60
Gambar 2. 30 Ilustrasi <i>Point Distance</i>	60
Gambar 2. 31 Contoh ilustrasi permukaan kepadatan populasi	61
Gambar 2. 32 Ilustrasi <i>Line Density</i>	63
Gambar 2. 33 Ilustrasi <i>Kernel Density</i>	64
Gambar 2. 34 Ilustrasi <i>Model Builder</i>	65
Gambar 3. 1 Alur kerangka penelitian	68
Gambar 3. 2 Alur tahapan penelitian.....	69
Gambar 3. 3 Konsep spasial yang digunakan.....	71
Gambar 3. 4 Ilustrasi penempatan Gardu Induk.....	72
Gambar 4. 1 Tipe Gardu Induk.....	74
Gambar 4. 2 Pembebanan SKTM dengan tegangan jatuh 5%	77
Gambar 4. 3 Peta Kemiringan Lahan Provinsi Jawa Timur	78
Gambar 4. 4 Peta <i>Digital Elevation Modelling</i> Prov. Jawa Timur.....	78
Gambar 4. 5 Peta Rencana Pola Ruang Jawa Timur Th. 2011-2031	80
Gambar 4. 6 Peta Lahan kategori Sangat Kritis di Jawa Timur	82
Gambar 4. 7 Peta Historis Pusat Gempa	82
Gambar 4. 8 Peta Ruas Jalan Prov. Jawa Timur.....	83
Gambar 4. 9 Peta Area Danau di Prov. Jawa Timur	84
Gambar 4. 10 Peta DAS Bengawan Solo	86
Gambar 4. 11 Skema Hierarki Penelitian	87
Gambar 4. 12 Alur Proses <i>Spatial MCDA</i>	87
Gambar 4. 13 Output <i>Point Density</i> Gempa.....	89
Gambar 4. 14 Model Builder untuk proses <i>reclassify</i>	89
Gambar 4. 15 Model Builder untuk proses <i>Reclassify Slope</i>	90
Gambar 4. 16 Model <i>Buffer</i> pada <i>Model Builder</i>	90
Gambar 4. 17 Output <i>Reclassify</i> jarak GI ke sungai	91
Gambar 4. 18 Model analisis <i>Spatial MCDA</i> menggunakan metode WO	92
Gambar 4. 19 Peta Kedekatan Jarak GI dengan Pusat Beban	95
Gambar 4. 20 Model analisis <i>Spatial MCDA</i> menggunakan metode WO	97

Gambar 4. 21 Alternatif Lokasi GI yang terpilih (faktor lingkungan).....	98
Gambar 4. 22 Alternatif Lokasi GI yang terpilih (faktor Ekonomi)	98
Gambar 4. 23 Model analisis menggunakan metode <i>Weighted Overlay</i>	99
Gambar 4. 24 Output hasil akhir peta kesesuaian lokasi GI	99
Gambar 4. 25 Peta area Konstrain	100
Gambar 5. 1 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Kriteria <i>Slope</i>	110
Gambar 5. 2 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Kriteria Gempa.....	111
Gambar 5. 3 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Kriteria Sungai	111
Gambar 5. 4 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Kriteria Danau.....	111
Gambar 5. 5 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Kriteria Pusat Beban	112
Gambar 5. 6 Alur Analisis <i>Reclassify</i> pada Akses Jalan.....	112
Gambar 5. 7 Penggabungan Kriteria-Kriteria Konstrain	113
Gambar 5. 8 Model Analisis Keputusan Spasial Multi Kriteria	114

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Proyek PT. PLN yang sedang berlangsung (PLN)	3
Tabel 1. 2 Proyek Pengadaan PT. PLN.....	4
Tabel 1. 3 Proyek pengadaan pembangkit yang akan dibuka (pelelangan) PT PLN....	5
Tabel 1. 4 Proyek pengadaan pembangkit yang akan dibuka (pelelangan) Swasta.....	6
Tabel 1. 5 Perhitungan NPV Opsi Pemilihan Lokasi Gardu Induk	11
Tabel 2. 1 Rasio Elektrifikasi Nasional 2014	16
Tabel 4. 1 Konstanta JTM.....	76
Tabel 4. 2 Penggunaan Lahan Eksisting Provinsi Jawa Timur	79
Tabel 4. 3 Luas dan Penyebaran Lahan Kritis	81
Tabel 4. 4 Data Historis Bencana Banjir Jatim 2016.....	85
Tabel 4. 5 Hasil Pembobotan Kriteria (<i>environment</i>).....	92
Tabel 4. 6 Penilaian Kriteria Keputusan	93
Tabel 4. 7 Hasil Pembobotan Kriteria (Ekonomi)	96
Tabel 4. 8 Penilaian Kriteria Keputusan	97
Tabel 4. 9 Alternatif Lokasi Terpilih	101
Tabel 4. 10 Pembobotan Kriteria Prioritas.....	104
Tabel 4. 11 Pembobotan Kriteria Prioritas (<i>Final</i>)	106

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

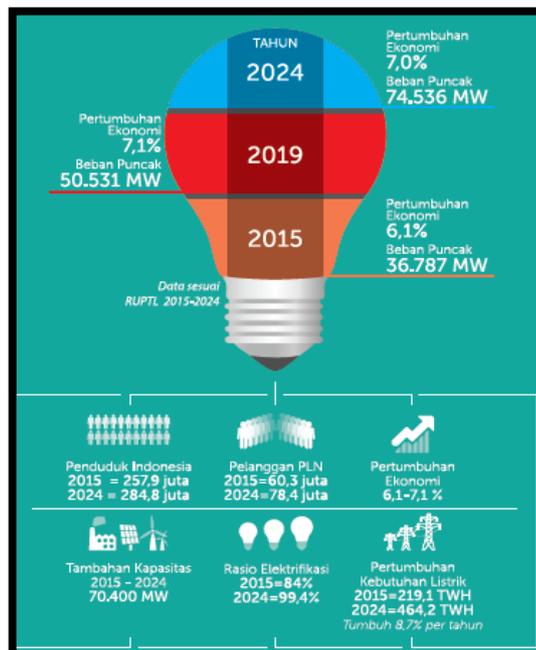
BAB 1

PENDAHULUAN

Pokok bahasan yang terdapat pada Bab I ini mencakup beberapa poin yang terdiri dari latar belakang, permasalahan, tujuan dan kontribusi penelitian, serta ruang lingkup. Pada poin terakhir disajikan pula sistematika penulisan dari tesis yang dikerjakan.

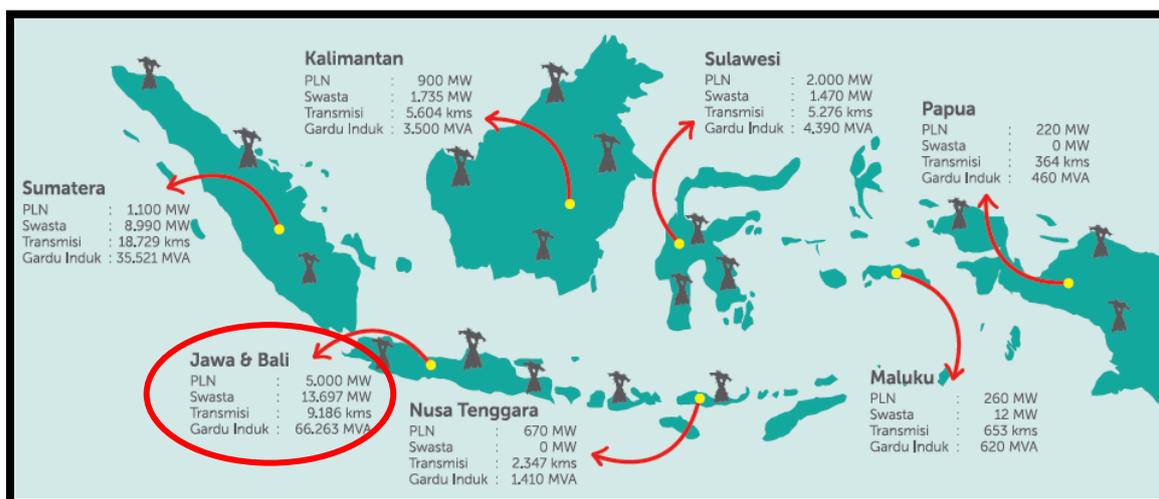
1.1 Latar Belakang

Cadangan listrik yang terbatas adalah cermin dari ketidakmampuan pasokan dalam mengimbangi pertumbuhan kebutuhan. Salah satu faktor penyebabnya adalah tertinggalnya pembangunan pembangkit sebesar 6,5% dibanding pertumbuhan permintaan listrik sebesar 8,5% dalam beberapa tahun terakhir yang disebabkan oleh permasalahan pembebasan lahan, pendanaan, regulasi dan perizinan serta harga jual listrik antara pihak swasta dengan PLN. Oleh karena itu, hampir di beberapa daerah terjadi pemadaman dikarenakan kurangnya pasokan listrik.



Gambar 1.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik Nasional

Data yang didapatkan dari PLN (DESDM, 2015), proyeksi kebutuhan listrik di Indonesia untuk tahun 2019 adalah 50.531 MW dengan pertumbuhan ekonomi mencapai 7,1% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Sedangkan realisasi tercapai beban puncak di tahun 2015 sebesar 36.787 MW dengan pertumbuhan ekonomi 6,1%. Untuk kapasitas terpasang di Indonesia saat ini yang telah dibangun oleh PLN dan IPP (swasta) adalah 50.000 MW. Dengan adanya potensi pertumbuhan ekonomi 7% dan pertumbuhan kebutuhan listrik mencapai 8,7% per tahun, akan dibutuhkan tambahan daya sebesar 35.000MW dalam 5 tahun ke depan. Hal tersebut dilakukan sebagai langkah untuk memenuhi target rasio elektrifikasi tahun 2024 di angka 99,4%. Sejalan dengan kebutuhan tersebut, pemerintah mencanangkan program “35.000MW” dengan merinci sebaran pembangkit dan jaringan transmisi seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Sebaran Pembangkit dan Jaringan Transmisi Nasional

Dari data sebaran pembangkit dan jaringan transmisi Nasional dapat dilihat bahwa target penambahan daya terbesar berada di Pulau Jawa dengan target daya total terpasang sebesar 18.697MW dengan rincian 5.000MW dibangun dan dikelola oleh PLN dan 13.697MW dibangun oleh IPP (*Independent Power Producer*).

Sesuai dengan Kepmen 0074.K/21/MEM/2015 telah ditentukan daftar pengadaan pembangkit 35.000 MW berdasarkan rencana usaha penyediaan tenaga

listrik 2015-2024. Komposisi pelaksanaan proyek dibagi menjadi dua yaitu proyek pengadaan pembangkit oleh pengembang listrik swasta dan proyek pengadaan pembangkit oleh PT PLN (Persero). Berikut merupakan daftar proyek yang dikerjakan oleh PT PLN (Persero) seperti yang ditampilkan pada tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1 Proyek pengadaan pembangkit yang sudah berlangsung (PLN)

Proyek yang Pengadaannya Sudah Berlangsung (PT PLN) 10.681 MW				
No.	Proyek Pembangkit	Lokasi	Kapasitas (MW)	Metode Pengadaan
1.	PLTU Lontar Ekspansi	Banten	1 x 315	Pelelangan
2.	PLTG/MG Peaker Gorontalo	Gorontalo	100	Pelelangan
3.	PLTA Upper Cisokan PS	Jabar	1.040	Pelelangan
4.	PLTMG Karimun Jawa	Jateng	4	Pelelangan
5.	PLTGU Grati Peaker	Jatim	450	Pelelangan
6.	PLTGU Lombok Peaker	NTB	150	Pelelangan
7.	PLTA Asahan	Sumut	2 x 87	Pelelangan
8.	PLTD Tersebar u/ daerah perbatasan	Tersebar	68	Pelelangan

Sedangkan untuk proyek yang dikerjakan oleh pihak pengembang swasta ditunjukkan pada tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Proyek pengadaan pembangkit yang sudah berlangsung (Swasta)

Proyek yang Pengadaannya Sudah Berlangsung (Swasta) 25.904 MW				
No.	Proyek Pembangkit	Lokasi	Kapasitas (MW)	Metode Pengadaan
1.	PLTU	Jawa-1(exp.Cirebon)/Jabar	1 x 1.000	Penunjukan langsung
2.	PLTA	Hasang(FTP2)/ Sumatera Utara	40	Penunjukan langsung
3.	PLTA	Malea/ Sulsel	90	Penunjukan langsung
4.	PLTU	Jeneponto-2 (exp.Jeneponto)/Sulsel	2 x 112,5	Penunjukan langsung
5.	PLTB	Samas/DIY	50	Penunjukan langsung
6.	PLTA	Meurebo/Aceh	56	Penunjukan langsung
7.	PLTA	Merangin/Jambi	350	Penunjukan langsung
8.	PLTU	Sumsel-6 (exp.Sp Belimbing/ Sumsel	2 x 300	Penunjukan langsung
9.	PLTA	Karangates & Kesamben/Jatim	137	Penunjukan langsung
10.	PLTU	Jawa-5(FTP2) /Banten	2 x 1.000	Pemilihan langsung
11.	PLTU	Kalbar-1/Kalbar	2 x 100	Pelelangan
12.	PLTU	Kendari 3/Sultra	2 x 50	Pelelangan

13.	PLTU	Sumsel 9/Sumsel	2 x 600	Pelelangan
14.	PLTU	Sumsel 10/ Sumsel	1 x 600	Pelelangan
15.	PLTU	Sumbagsel-1 MT/Sumsel	2 x 150	Pelelangan
16.	PLTU	Meulaboh 3&4/Aceh	2 x 200	Pelelangan
17.	PLTU	Bengkulu/Bengkulu	2 x 100	Pelelangan
18.	PLTU	Sulbagut 1/Sulut/gorontalo	2 x 50	Pelelangan
19.	PLTU	Sumsel-1 MT/ Sumsel	2 x 300	Pelelangan
20.	PLTG	Bangka Peaker/Babel	100	Pelelangan
21.	PLTU	Jawa-7 / Banten	2 x 1.000	Pelelangan

Secara khusus terdapat proyek pembangkit yang pengadaannya akan dibuka di wilayah Jawa yang nantinya akan dikerjakan oleh pihak PT PLN (Persero) seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.3 berikut.

Tabel 1.3 Proyek pengadaan pembangkit yang akan dibuka (pelelangan) PT PLN

No.	Proyek Pembangkit	Lokasi	Kapasitas (MW)	Metode Pengadaan
1.	PLTU Indramayu 4	Jabar	1.000	Pelelangan
2.	PLTGU Muara Karang peaker	Jakarta	500	Pelelangan
3.	PLTGU Jawa 2 (Tj. Priok)	Jakarta	800	Pelelangan
4.	PLTGU Grati Add On Blok 2	Jatim	150	Pelelangan

5.	PLTGU Muara Tawar Add On Unit 2,3,4	Jawa Barat	650	Pelelangan
6.	PLTG/PLTMG Mobile power Plant	Tersebar	1.565	Pelelangan
7.	PLTMG	Tersebar	665	Pelelangan
8.	PLTGU/MGU	Tersebar	450	Pelelangan
9.	PLTG/MG	Tersebar	250	Pelelangan
10.	PLTM	Tersebar	50	Pelelangan

Adapun proyek yang pengadaannya akan dibuka namun dikerjakan oleh pihak swasta dapat dilihat pada rincian tabel 1.4 di bawah ini.

Tabel 1.4 Proyek pengadaan pembangkit yang akan dibuka (pelelangan) Swasta

No.	Jenis	Lokasi	Kapasitas (MW)	Metode Pengadaan
1.	PLTU	Jawa-4 (exp. Tj.Jati 8)/Jateng	2 x 1.000	Penunjukan langsung
2.	PLTU	Jawa-8 (exp. Cilacap)/Jateng	1 x 1.000	Penunjukan langsung
3.	PLTU	Jawa-9 (exp.Banten)/Banten	1 x 600	Penunjukan langsung
4.	PLTGU	Jawa-1/Jabar	2 x 800	Pelelangan
5.	PLTGU/MGU	Peaker Jawa-bali 1/Jabar	400	Pelelangan
6.	PLTGU/MGU	Peaker Jawa-bali 2/Jatim	500	Pelelangan

7.	PLTGU/MGU	Peaker Jawa-bali 3/Banten	500	Pelelangan
8.	PLTGU/MGU	Peaker Jawa-bali 4/Jabar	450	Pelelangan
9.	PLTGU	Jawa-3/Jatim	1 x 800	Pelelangan
10.	PLTGU	Jawa-10/Jateng	1 x 660	Pelelangan

Dari data tabel diatas, jika kapasitas dayanya ditotal maka akan didapatkan daya total yang akan terpasang di Pulau Jawa memiliki rincian yaitu Jawa Timur sebesar 2.037 MW, Jawa Barat sebesar 6.140 MW dan Jawa Tengah sebesar 1.714 MW.

Secara umum berikut merupakan rincian total rencana pembangunan Pembangkit dan Gardu Induk di Jawa & Bali untuk program “35.000MW” dalam lima tahun ke depan:

- PLN : 5.000 MW
- Swasta : 13.697 MW
- Transmisi : 9.186 MW
- Gardu Induk : 66.263 MVA

Dapat dilihat dari data diatas, dibutuhkan kapasitas pembangkit tambahan sebesar 5.000MW dan gardu induk dengan total terpasang 66.263 MVA yang secara otomatis akan membuat PLN sebagai pemegang kendali kelistrikan Indonesia dan pemerintah diharuskan membangun beberapa Pembangkit dan Gardu Induk baru untuk beberapa titik lokasi di Pulau Jawa. Penelitian ini akan berfokus pada objek amatan di Jawa Timur dikarenakan :

1. Berdasarkan RUKN (Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional) 2015-2034, rasio elektrifikasi Jawa Timur memiliki nilai terendah diantara provinsi lain di Pulau Jawa. Berikut merupakan rincian rasio elektrifikasi di Pulau Jawa:

- RE Jawa Timur : 83,48%
- RE Jawa Barat : 85,5%

- RE Jawa Tengah : 87,93%
- RE DKI Jakarta : 99,6%
- RE Banten : 92,59%

Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah rumah tangga yang dapat menikmati listrik masih belum merata atau dapat dikatakan masih banyak jumlah rumah tangga yang belum teraliri listrik. Sehingga dibutuhkan perhatian khusus untuk area Jawa Timur agar dapat meningkatkan rasio elektrifikasi dengan salah satu langkahnya adalah menambah kapasitas pembangkit dan GI di Jawa Timur.

2. PLN Distribusi Jatim berencana bangun 30 Gardu Induk baru hingga tahun 2029 untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dan membidik beberapa kawasan industri baru di Jatim.
3. PLN saat ini sedang membangun empat pembangkit listrik baru dengan kapasitas besar yang akan dijadwalkan beroperasi pada tahun 2018 mendatang (Pasuruan: 450MW; Tuban: 350MW; Perak: 500MW; Gresik: 800MW). Total tambahan daya mencapai 2.100 MW. Setelah empat pembangkit tersebut beroperasi, distribusi listrik mulai dapat dilakukan melalui gardu induk yang dibangun.
4. Pembangunan Gardu Induk yang diharuskan sudah jadi di tahun 2017 dengan berfokus pada kawasan industri JIPE Gresik berkapasitas 150MW, kawasan industri Banyuwangi kapasitas 100MW, kawasan industri Tuban 60 MW serta kawasan industri Ngoro Jombang dan PIER Pasuruan.

Untuk dapat membangun pembangkit atau gardu induk baru terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan seperti :

1. Jawa Timur memiliki luas area 47.963 km² dan jumlah penduduk sebanyak 38.847.561 jiwa di tahun 2015 (jatim.bps.go.id). Jawa Timur memiliki jumlah penduduk terpadat di Pulau Jawa. Dengan jumlah penduduk yang padat dan terbatasnya ruang, terdapat beberapa regulasi yang harus dipenuhi terkait dengan RTRW jika ingin

merencanakan lokasi penempatan pembangkit atau gardu induk baru (BPPN, 2015).

2. Pembangkit listrik maupun Gardu Induk memiliki kriteria luas area tersendiri yang harus dipenuhi sesuai dengan aturan dari PLN (LPLN, 2004).
3. Posisi gardu induk harus dekat dengan pusat beban untuk menghindari rugi-rugi tegangan pada jaringan yang diakibatkan oleh panjangnya jalur jaringan transmisi (LPLN, 2004).
4. Gardu induk diharuskan memiliki jarak aman dari DAS (daerah aliran sungai) untuk menghindari dampak banjir dari meluapnya volume air DAS di Jawa Timur.
5. Pembangunan pembangkit maupun gardu induk baru harus memperhatikan persyaratan kelayakan lahan untuk pemukiman/industri sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 62 tahun 2010.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan untuk penentuan lokasi pembangkit atau gardu induk baru tersebut dapat dimasukkan ke dalam beberapa kategori meliputi sektor ekonomi, lingkungan dan sosial (Perpina et al, 2013). Untuk sektor ekonomi berfokus pada pertumbuhan permintaan listrik, biaya transportasi, akses menuju jalan raya, perkembangan ekonomi dan kemiringan lahan. Pada sektor sosial lebih menekankan unsur pengaruh pertumbuhan populasi. Sedangkan untuk sektor lingkungan mengacu pada unsur geomorfologi dan rencana tata ruang. Ketiga sektor tersebut sudah dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan lokasi yang layak untuk pembangkit maupun gardu induk baru.

Pemilihan lokasi merupakan langkah kunci dalam proses penempatan pembangkit atau gardu induk yang secara signifikan akan berpengaruh pada keamanan dan biaya fasilitas itu sendiri. Pemilihan lokasi pembangkit merupakan salah satu bentuk permasalahan multi-kriteria yang kompleks serta banyak faktor yang akan mempengaruhi prosesnya. Identifikasi konstrain dan faktor yang berkaitan dengan keamanan, lingkungan dan sosial-ekonomi menjadi bahan pertimbangan penting dalam proses menentukan lokasi pembangkit. Kolaborasi metode *Weighted Linier Combination (WLC)* dan *Analytic Hierarchy Process*

(AHP) yang kemudian diolah pada Software ArcGIS 10.1 dapat digunakan untuk menentukan area pembangkit tenaga nuklir yang cocok dan layak (Abudeif et al, 2015).

Pemilihan lokasi potensial yang layak untuk pembangkit atau gardu induk juga dapat diidentifikasi dengan mempertimbangkan beberapa faktor yang berbeda seperti jalur transportasi, jaringan listrik yang tersedia dan penggunaan lahan. Metode tersebut bisa dilakukan untuk objek PLTU dengan sumber bahan bakar batu bara. Lokasi alternatif kemudian di ranking dan lokasi yang paling cocok akan dipilih (Jiuping et al, 2015). Pemrograman *fuzzy* juga digunakan untuk menyelesaikan model yang kompleks untuk pemilihan lokasi pembangkit yang paling layak. Adapun faktor-faktor tertentu seperti pertumbuhan penduduk, ketersediaan sumber air, indikator lingkungan serta bahaya tektonik dan geologi juga dapat memberikan analisis mendalam dalam pemilihan lokasi pembangkit atau gardu induk (Olufemi et al, 2012).

Dengan banyaknya pembangunan pembangkit maupun gardu induk baru untuk mewujudkan program pemerintah “35.000MW” seperti yang telah diuraikan pada penjelasan sebelumnya, dibutuhkan perencanaan pemilihan lokasi pembangkit atau gardu induk yang benar benar terukur dan efisien untuk menghindari kerugian operasional maupun finansial. Penelitian ini akan difokuskan pada pemilihan lokasi gardu induk yang optimal dikarenakan pemilihan lokasi gardu induk pada umumnya jauh dari pusat beban di perkotaan dengan alasan harga tanah di luar kota yang relatif lebih murah. Hal tersebut menyebabkan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menjadi panjang yang menimbulkan adanya dugaan tegangan pelayanan menjadi buruk, rugi-rugi JTM menjadi tinggi, biaya investasi pembangunan dan biaya O&M JTM menjadi tinggi (LPLN,2004). Perlu diketahui bahwa biaya investasi pembangunan sebuah GI terdiri sebagai berikut:

1. GI Konvensional:

- Harga tanah 20.000m² @Rp 500.000,- = Rp. 10.000.000.000,-
- Bangunan sipil (asumsi 0,25 dari GIS) = Rp. 2.115.053.000,-
- Peralatan instalasi = Rp. 21.366.699.960,-

2. GI tipe GIS:

- Harga tanah 3.000m² @ Rp 10.000.000,- = Rp. 30.000.000.000,-
- Bangunan sipil = Rp. 8.460.212.000,-
- Peralatan instalasi = Rp. 33.749.948.934,-

Sedangkan jika terjadi pemilihan lokasi gardu induk yang kurang tepat (jarak GI jauh dengan pusat beban) maka akan terjadi kerugian biaya yang sangat besar seperti pada data Kajian Finansial Pemilihan Lokasi Gardu Induk yang telah dikaji oleh PLN Litbang (LPLN, 2004) seperti pada tabel 1.5 berikut ini:

Tabel 1.5 Perhitungan NPV Opsi Pemilihan Lokasi Gardu Induk

Perhitungan NPV Opsi Lokasi GI							
Rasio	GI tipe GIS (dekat pusat beban)			GI konvensional (dekat pusat beban)		GI konvensional (jauh dari pusat beban)	DR (diskon rate)
	SKTT=2x10 kms	SUTT SP	SUTT TL	SUTT SP	SUTT TL	SUTT TL	
Basis 500 rb	Rp358.859.055	Rp120.139.094	Rp125.522.689	Rp252.933.922	Rp270.993.659	Rp343.517.187	12,50%
20x	Rp344.087.572	Rp112.676.882	Rp118.267.306	Rp242.902.814	Rp260.575.864	Rp288.221.504	15,00%
	Rp331.930.521	Rp106.914.151	Rp112.610.332	Rp234.589.916	Rp251.891.047	Rp248.905.340	17,50%

Melihat dari tabel diatas maka lokasi GI yang dekat dengan pusat beban akan lebih ekonomis/fisibel dibandingkan dengan lokasi GI yang jauh dari pusat beban. Perhitungan pada penelitian diatas dengan mempertimbangkan biaya investasi, biaya O&M dan biaya rugi-rugi jaringan (LPLN, 2004).

Penentuan lokasi gardu induk akan lebih optimal jika melibatkan faktor lingkungan seperti kemiringan lahan dan potensi titik gempa. Pada penelitian ini akan melibatkan faktor lingkungan dan ekonomi sebagai kriteria utama dan diikuti beberapa sub-kriteria di dalamnya. Peneliti mengacu pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemilihan lokasi gardu induk untuk memprioritaskan faktor lingkungan (persentase pembobotan paling besar) dan kemudian faktor ekonomi (pembobotan urutan kedua setelah lingkungan) meliputi akses GI ke jalan dan jarak GI ke pusat beban (Perpina et al, 2013).

kriteria-kriteria lainnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka perumusan masalah yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah: Bagaimana menganalisis alternatif lokasi gardu induk melalui analisis atribut dan interaksi spasial sesuai dengan kriteria Ekonomi dan Lingkungan daerah Jawa Timur?

1.3 Tujuan dan Kontribusi Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini berupaya untuk memberikan pandangan pengaruh kondisi nyata dari model yang dikembangkan dan bertujuan untuk: Memberikan analisis evaluasi lokasi penempatan gardu induk yang optimal melalui metode *spatial multicriteria decision analysis* dengan melibatkan unsur spasial geografis.

Adapun untuk kontribusi dari penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar analisis pemilihan lokasi GI dengan metode spasial MCDA untuk stakeholder yang berkepentingan seperti PLN dll.
2. Memberikan analisis lokasi gardu induk yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.

1.4 Ruang Lingkup

Untuk ruang lingkup dari penelitian ini akan diberikan batasan permasalahan berupa:

1. Daerah *sample* adalah wilayah Jawa Timur.
2. Variabel interaksi spasial yang dipertimbangkan meliputi kriteria kedekatan GI dengan pusat beban.
3. Kriteria yang berhubungan dengan faktor lingkungan meliputi persentase kemiringan lahan (% *slope*).
4. Kriteria konstrain yang digunakan adalah peta lahan kritis dan peta RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Jatim.
5. Gardu induk yang menjadi objek amatan adalah gardu induk pada sistem Jaringan Tegangan Menengah.

1.5 Sistematika Penulisan

Berikut ini akan dijelaskan sistematika penulisan laporan penelitian yang akan dilakukan, yaitu meliputi:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada Bab ini dibahas mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, perumusan masalah, tujuan dan kontribusi penelitian, ruang lingkup, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian kepustakaan ataupun teori-teori mengenai materi terkait serta beberapa penelitian yang berhubungan dengan topik penelitian yang dilakukan untuk mendukung pemodelan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas langkah-langkah penelitian yang telah disusun secara sistematis sehingga dapat menjadi petunjuk pelaksanaan penelitian secara runtut yang telah disesuaikan berdasarkan tujuan awal penelitian.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini memberikan penjelasan mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data pada penelitian yang dilakukan.

BAB V : ANALISA DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini akan memberikan penjelasan analisis secara lengkap dan mendalam dari hasil analisa dan interpretasi data yang telah diolah.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab terakhir ini diberikan kesimpulan yang diambil dari hasil akhir pemodelan, analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan. Ditampilkan pula saran-saran yang mendukung untuk dapat terciptanya penelitian yang lebih baik selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Energi Listrik Nasional

Konsumsi tenaga listrik Nasional di tahun 2015 mencapai 228 TWh dengan komposisi besaran kwh per kapita mencapai 910 kWh. Untuk kapasitas terpasang pembangkit sudah mencapai 55.528 MW dengan rincian pembangkit dari PLN : 38.310MW , IPP : 12.477MW, PPU : 2.349 MW dan IO non BBM : 2.392 MW (Gatrik, 2016). Data panjang jaringan transmisi yang tersebar di seluruh Indonesia mencapai 49.325 kms, sedangkan untuk panjang jaringan distribusi menyentuh angka 925.312 kms. Dalam 5 (lima) tahun ke depan, kebutuhan listrik di Indonesia akan tumbuh rata-rata 8,7% per tahun untuk mendorong pertumbuhan ekonomi nasional yang mencapai angka 7-8% pada tahun 2019. Kapasitas terpasang pembangkit di tahun 2019 diharapkan mencapai 98,4 GW sehingga mampu mencapai rasio elektrifikasi sebesar 97,35% dibandingkan dengan rasio elektrifikasi tahun 2015 yang hanya tercapai 88,3%. Kondisi eksisting kapasitas pembangkit terpasang baru dapat memenuhi kebutuhan listrik sekitar 88,30% rumah tangga, nilai ini masih lebih rendah dari Singapore yang sudah dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakatnya 100%, kemudian Brunei 99,7%, Thailand 99,3%, Malaysia 99,0% dan Vietnam 98%. Oleh karena itu untuk memenuhi pertumbuhan kebutuhan listrik sebagai pendorong kebutuhan ekonomi nasional dan mencapai rasio elektrifikasi, diperlukan tambahan kapasitas terpasang sekitar 35.000 MW pada tahun 2015-2019. Sesuai dengan Kepmen 0074.K/21/MEM/2015 terdapat daftar pengadaan pembangkit 35.000MW berdasarkan rencana usaha penyediaan tenaga listrik 2015-2024 (PLN, 2015).

2.1.1 Rasio Elektrifikasi

Rasio elektrifikasi diartikan sebagai perbandingan antara jumlah rumah tangga yang sudah menikmati tenaga listrik dengan jumlah rumah tangga secara keseluruhan pada suatu wilayah (RUKN, 2015). Rasio elektrifikasi atau jumlah rumah tangga di seluruh Indonesia yang sudah menikmati tenaga listrik untuk mendukung kehidupan bermasyarakat baru mencapai sekitar 84,35% dari seluruh

jumlah rumah tangga yang berjumlah sekitar 64,8 juta rumah tangga. Hal ini berarti masih ada sekitar 16% jumlah rumah tangga atau sekitar 39 juta penduduk di Indonesia yang belum dapat menikmati tenaga listrik. Berikut merupakan rasio elektrifikasi Nasional Tahun 2014 per provinsi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Rasio Elektrifikasi Nasional 2014

No.	Provinsi	Jumlah Rumah Tangga	Jumlah Rumah Tangga Berlistrik PLN	Jumlah Rumah Tangga Berlistrik Non PLN	RE PLN (%)	RE Non PLN (%)	RE (%)
1.	Aceh	1.164.192	1.067.703	7.013	91,71	0,60	92,31
2.	Sumatera Utara	3.220.894	2.863.592	68.405	88,91	2,12	91,03
3.	Sumatera Barat	1.220.138	969.556	8.251	79,46	0,68	80,14
4.	Riau	1.484.372	992.413	262.454	66,86	17,68	84,54
5.	Kepulauan Riau	504.425	360.038	13.544	71,38	2,69	74,06
6.	Bengkulu	465.493	381.459	7.086	81,95	1,52	83,47
7.	Jambi	833.434	617.794	54.828	74,13	6,58	80,7
8.	Sumatera Selatan	1.932.970	1.421.373	54.959	73,53	2,84	76,38
9.	Kepulauan Bangka Belitung	341.818	314.399	12.137	91,98	3,55	95,53
10.	Lampung	2.040.656	1.564.817	93.687	76,68	4,59	81,27
11.	Banten	2.817.240	2.608.406	9.759	92,59	0,35	92,93
12.	DKI Jakarta	2.849.610	2.838.282	84	99,60	0,00	99,61
13.	Jawa Barat	12.110.023	10.354.332	64.956	85,80	0,54	86,04
14.	Jawa Tengah	9.009.925	7.922.096	10.602	87,93	0,12	88,04

15.	D.I.Yogyakarta	1.091.763	897.001	1.130	82,16	0,10	82,26
16.	Jawa Timur	10.693.388	8.927.359	6.558	83,48	0,06	83,55
17.	Bali	1.084.748	920.211	3.688	84,83	0,34	85,17
18.	Kalimantan Barat	1.097.494	789.986	85.522	71,98	7,79	79,77
19.	Kalimantan Tengah	631.775	378.845	45.886	59,97	7,26	67,23
20.	Kalimantan Selatan	1.054.814	875.617	7.826	83,01	0,74	83,75
21.	Kalimantan Timur & Utara	828.166	677.898	81.611	81,86	9,85	91,71
22.	Kallimantan Utara	144.836	90.682	10.186	62,61	7,03	69,64
23.	Sulawesi Utara	611.599	514.290	8.786	84,09	1,44	85,53
24.	Gorontalo	261.666	182.057	13.274	69,58	5,07	74,65
25.	Sulteng	666.622	454.543	49.285	68,19	7,39	75,58
26.	Sulbar	280.764	152.029	56.058	54,15	19,97	74,11
27.	Sulsel	1.939.218	1.574.085	75.181	81,17	3,88	85,05
28.	Sultra	550.507	330.262	37.376	59,99	6,79	66,78
29.	NTB	1.328.666	889.927	14.275	66,98	1,07	68,05
30.	NTT	1.090.316	572.296	69.957	52,49	6,42	58,91
31.	Maluku	342.177	248.236	33.301	72,55	9,73	82,28
32.	Maluku Utara	235.085	158.407	54.391	67,38	23,14	90,52
33.	Papua	718.459	266.333	45.898	37,07	6,39	43,46
34.	Papua Barat	187.837	133.000	13.158	70,81	7,01	77,81
	NASIONAL	64.835.092	53.309.324	1.381.107	82,22	2,13	84,35

Rasio elektrifikasi nasional meningkat dari sekitar 65,79% pada akhir tahun 2009 menjadi sekitar 84,39% pada akhir 2014. Kenaikan rasio elektrifikasi tersebut merupakan hasil penambahan rumah tangga berlistrik rata-rata sekitar 3,3 juta rumah tangga per tahun yang sebagian besar terdiri dari penyambungan listrik PLN.

2.1.2 Kebijakan Peenyediaan Tenaga Listrik

Penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara yang penyelenggaraannya dilakukan oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah. Untuk penyelenggaraan penyediaan tenaga listrik, Pemerintah dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya menetapkan kebijakan, pengaturan, pengawasan, dan melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik (RUKN, 2015).

Pelaksanaan usaha penyediaan tenaga listrik oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah dilakukan oleh badan usaha milik negara dan badan usaha milik daerah. Namun demikian, badan usaha swasta, koperasi dan swadaya masyarakat dapat berpartisipasi dalam usaha penyediaan tenaga listrik. Dalam penyediaan tenaga listrik tersebut, Pemerintah dan Pemerintah Daerah menyediakan dana untuk kelompok masyarakat tidak mampu, pembangunan sarana penyediaan tenaga listrik di daerah yang belum berkembang, pembangunan tenaga listrik di daerah terpencil dan perbatasan, dan pembangunan listrik pedesaan. Selain itu, Pemerintah dan Pemerintah Daerah memberikan perhatian lebih untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik di pulau-pulau terluar melalui implementasi nyata sehingga seluruh lapisan masyarakat mendapat akses listrik.

Usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum meliputi jenis usaha pembangkitan tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, distribusi tenaga listrik dan/atau penjualan tenaga listrik. Disamping itu, usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum dapat dilakukan secara terintegrasi. Usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum dilakukan oleh satu badan usaha dalam suatu wilayah usaha. Pembatasan wilayah usaha juga diberlakukan untuk usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum yang hanya meliputi distribusi tenaga listrik dan/atau penjualan tenaga listrik.

Pemegang izin operasi yang mempunyai kelebihan tenaga listrik (*excess power*) dari pembangkit listrik yang dimilikinya dapat menjual kelebihan tenaga

listriknnya kepada Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik atau masyarakat, apabila wilayah tersebut belum terjangkau oleh Pemegang Izin usaha Penyediaan Tenaga Listrik (PIUPTL) berdasarkan izin yang dikeluarkan oleh Menteri atau Gubernur, sesuai dengan kewenangannya.

Dalam rangka melakukan efisiensi penyediaan tenaga listrik, perencanaan lokasi pembangunan pembangkit tenaga listrik diupayakan sedekat mungkin dengan lokasi beban dengan tetap mempertimbangkan lokasi potensi sumber energi primer setempat. Dengan lokasi pembangkit yang dekat dengan pusat beban, diharapkan dapat mengatasi kendala keterbatasan kapasitas dan keterlambatan penyelesaian pembangunan jaringan transmisi. Dalam pengembangan pembangkit tenaga listrik dipilih jenis pembangkit yang memprioritaskan ketersediaan sumber energi primer setempat.

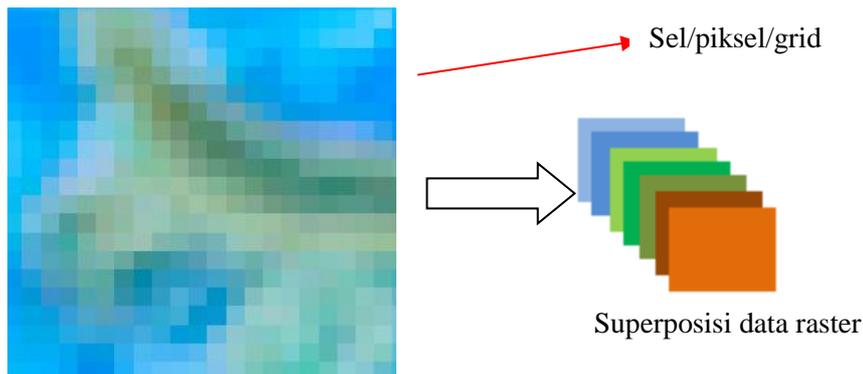
Pada kenyataannya ada keterbatasan lahan untuk membangun pembangkit dekat dengan beban dan tidak tersedianya sumber energi primer setempat. Oleh karena itu, perlu dioptimalkan pembelian tenaga listrik dari pemegang izin operasi melalui skema *excess power* dan dalam perencanaan pengembangan pembangkit menggunakan prinsip biaya terendah (*least cost*). Adapun untuk daerah terpencil dan wilayah perbatasan serta pulau-pulau terluar dapat dikembangkan sistem tenaga listrik skala kecil.

2.2 Konsep Analisis Spasial

Analisis spasial merupakan suatu proses analisis yang melibatkan sejumlah hitungan dan evaluasi logika (matematis) yang dilakukan dalam rangka mencari atau menemukan pola atau potensi hubungan yang mungkin terdapat pada unsur-unsur geografis (Prahasta,2009). Secara garis besar, analisis spasial digunakan untuk menganalisis data spasial dan outputnya bergantung pada lokasi objek yang bersangkutan serta memerlukan akses yang cukup terhadap lokasi objek amatan. Analisis spasial ini merupakan representasi dari model yang merupakan penyederhanaan fenomena kompleks yang terjadi di dunia nyata. Sehingga dengan dilakukannya penyederhanaan realitas melalui unsur spasial yang ada, akan membantu analisis untuk memahami, mendeskripsikan atau memprediksi bagaimana fenomena tersebut bekerja pada dunia nyata. Adapun untuk pengolahan analisis

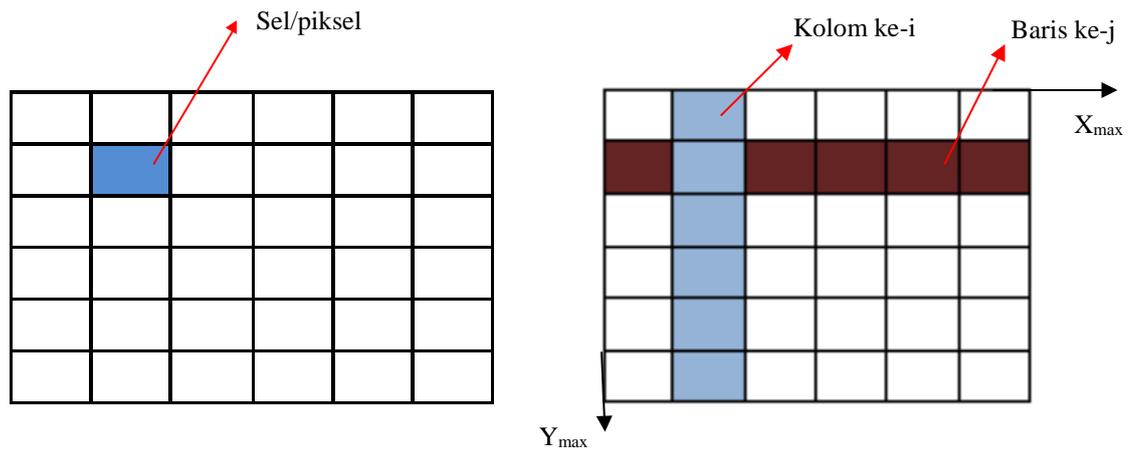
spasial hanya dapat dilakukan pada data yang berformat layer data raster maupun layer data vektor.

Layer data raster memiliki struktur matriks atau susunan piksel-piksel yang membentuk suatu grid (segi empat) yang berguna untuk menampilkan, menempatkan dan menyimpan konten data spasial (Gambar 2.1).



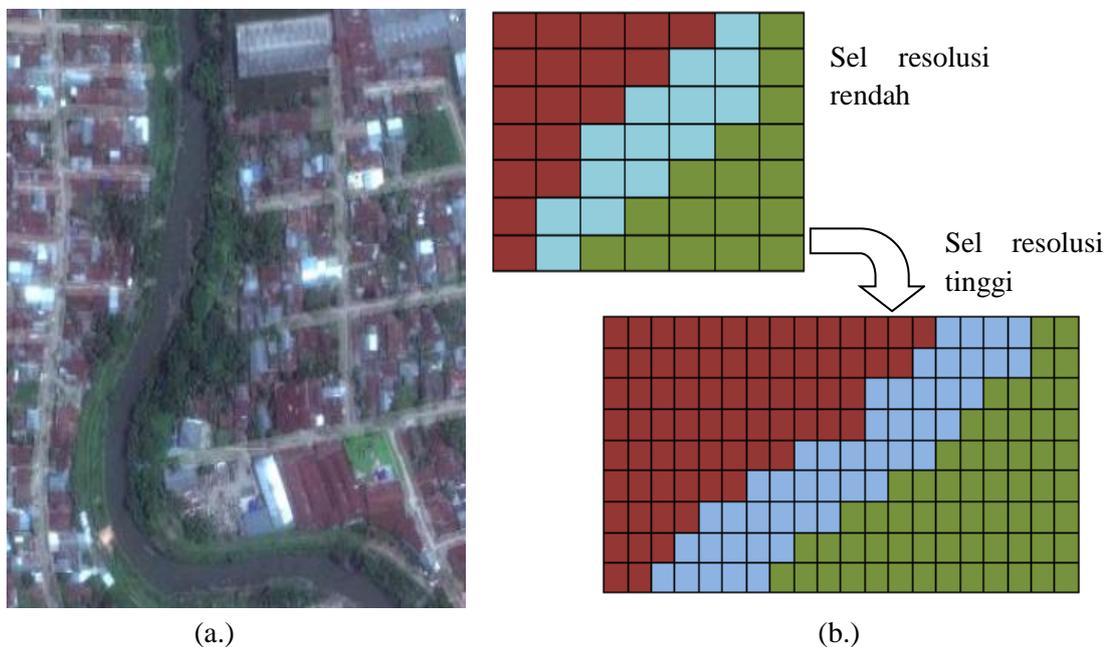
Gambar 2. 1 Bentuk data raster

Dengan kata lain, model data raster dapat memberikan informasi spasial mengenai dunia nyata melalui sel-sel grid yang homogen. Susunan piksel di dalam layer tersebut mendeskripsikan banyak atribut (keterangan) pada tiap lokasi piksel. Piksel disusun dalam baris dan kolom dalam suatu matriks kartesian seperti pada Gambar 2.2 (Faisol & Indarto, 2012). Baris menyatakan sumbu X dan kolom menyatakan sumbu Y. Setiap sel yang terdapat pada setiap layer data raster memiliki nilai yang menggambarkan kelas, kategori atau kelompok seperti jalan, jenis pemukiman, peruntukan lahan (*land usage*), kualifikasi area, dll. Data raster dikenal pula sebagai data hasil pencitraan satelit maupun data grid. Data hasil citra satelit seperti foto udara (Gambar 2.3) memiliki struktur piksel bervariasi yang dapat digunakan untuk analisis. Sedangkan data grid adalah data hasil pengukuran di lapangan dan biasanya merupakan data konversi dari data lain.



Gambar 2. 2 Susunan sel pada data raster

Data jenis grid ini lebih sering muncul dan digunakan dalam analisis spasial. Semakin kecil ukuran grid/sel/piksel yang *ter-record* maka semakin tinggi resolusinya dan gambar yang dihasilkan akan semakin detail pula, sehingga informasi yang akan digali akan menjadi lebih akurat. Namun dengan semakin kecil ukuran grid, maka memori penyimpanan data akan membutuhkan *space* yang besar serta waktu pengolahan data akan lebih lama.



Gambar 2. 3 (a) Foto hasil citra satelit, (b) Jenis resolusi sel

Faisal& Indarto (2012) menyatakan bahwa ada beberapa faktor yang harus menjadi poin penting ketika mengkaji sebuah data dengan menggunakan data raster yaitu mempertimbangkan ukuran objek yang akan diproses, waktu pengolahan data yang dibutuhkan, spesifikasi database yang digunakan dan besarnya media penyimpanan, serta aplikasi dan analisis yang akan dilakukan. Dengan memperhatikan beberapa faktor tersebut, diharapkan peneliti/*user* dapat menggunakan data raster dalam usaha analisis spasialnya sesuai dengan kebutuhan. Selain itu perlu diketahui pula terlebih dahulu karakteristik dari layer data raster untuk lebih memahami bagaimana data raster itu bekerja. Prahasta, (2009) memberikan penjelasan mengenai karakteristik layer data raster sebagai berikut:

a. Resolusi

Resolusi merupakan komponen yang melekat pada data raster. Resolusi dapat diartikan sebagai dimensi linier minimum dari satuan terkecil *geographic space* yang dapat direkam. Resolusi mengarah pada konversi permukaan bumi yang dapat dinyatakan oleh tiap piksel yang ada. Semakin kecil area permukaan bumi yang dapat dikonversi oleh tiap-tiap pikselnya, akan semakin tinggi resolusi spasial yang dihasilkan sehingga akan memberikan informasi yang lebih akurat.

b. Zona

Zona layer pada data raster merupakan kumpulan lokasi-lokasi yang memperlihatkan nilai-nilai. Beberapa piksel dengan nilai yang sama dapat membentuk suatu zona. Zona sendiri dapat terdiri dari sel-sel yang terhubung, terpisah atau kedua-duanya. Contoh dari zona tersebut berupa batas-batas administrasi kota, pulau, pemukiman, danau, jalan dll.

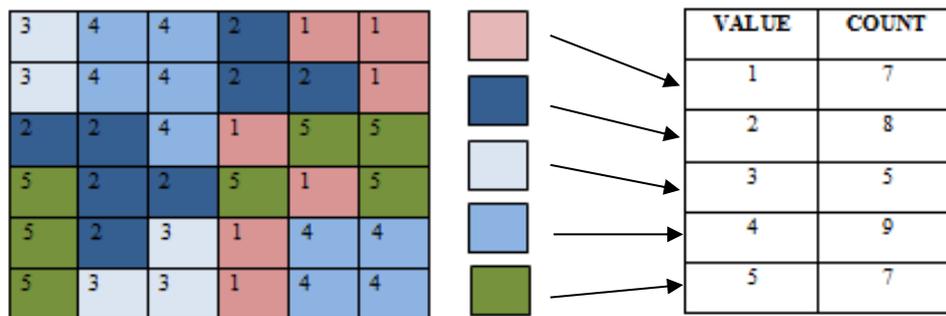
c. Domain Nilai Piksel

Nilai piksel merupakan item informasi yang disimpan di dalam sebuah layer untuk setiap pikselnya. Piksel di dalam zona atau area yang sejenis memiliki nilai yang sama.

d. Koordinat Piksel

Lokasi yang direpresentasikan oleh data raster dapat diidentifikasi dengan menggunakan pasangan koordinat lokal pada grid yang ada; seperti kolom dan baris (x,y).

Faisol & Indarto (2012) memberikan penjelasan pula mengenai contoh analisis atribut (keterangan) pada data raster. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa susunan piksel pada setiap layer dapat merepresentasikan banyak atribut pada tiap lokasinya. Atribut data raster dapat berupa tabel yang memberikan penjelasan mengenai informasi yang ada di dalam data raster. Nilai-nilai yang mewakili setiap piksel dapat ditampilkan pada tabel nilai atribut seperti pada Gambar 2.4.

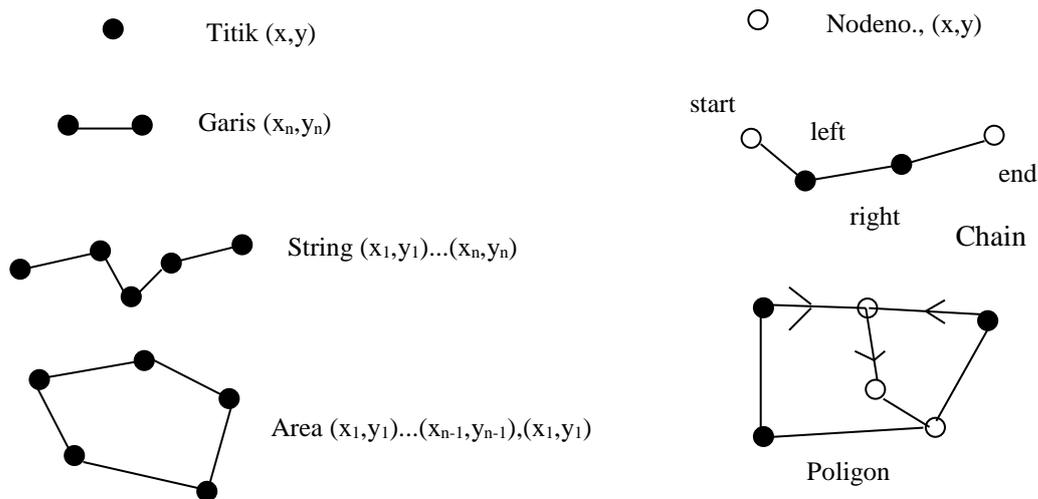


Gambar 2. 4 Nilai piksel yang ditampilkan dalam tabel atribut

Selain data raster seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat format data lain yang digunakan dalam analisis spasial yang tidak kalah penting yaitu data vektor. Berbeda dengan data raster yang dinyatakan dalam bentuk grid/piksel/sel, data vektor merupakan data yang dominan terdiri dari titik-titik (*point*), garis (*polyline*), kurva atau *polygon* disertai dengan atribut-atribut yang melekat pada unsur tersebut. Cara untuk merepresentasikan fenomena nyata di lapangan menjadi bentuk titik (*point*), garis (*polyline*), dan *polygon* disebut dengan model data vektor. Contoh data titik dalam analisis spasial ini seperti saat *user*/peneliti akan merepresentasikan lokasi objek layaknya lokasi rumah, kantor pos, lokasi pelanggan dll dalam sebuah model analisis. Sedangkan untuk data *polyline* dapat berupa data dari konversi objek seperti jalan raya, jalur kereta api,

jalur sungai dll. Dengan semakin luas dan detailnya cakupan objek amatan seperti area pemukiman penduduk, luasan area hutan, area danau, luasan lahan pertambangan, dll, maka data polygon dapat digunakan untuk analisis spasial.

Lokasi suatu titik, garis, serta poligon dapat diketahui melalui identifikasi koordinat. Perlu diketahui sebelumnya bahwa titik merupakan obyek yang hanya mengandung sebuah koordinat dalam bidang dua dimensi (x,y) maupun tiga dimensi (x,y,z). Garis merupakan sekumpulan koordinat yang merepresentasikan suatu bentuk. Koordinat awal dari garis tidak akan pernah bertemu dengan koordinat akhirnya. Sedangkan poligon merupakan sekumpulan garis yang membentuk suatu luasan tertutup. Berbeda dengan garis, poligon memiliki koordinat awal dan koordinat akhir yang saling bertemu pada suatu titik. Ada yang disebut *string*, yaitu sekumpulan garis yang koordinat awal dan akhirnya tidak bertemu seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Geometri dan Topologi data vektor

Dalam analisis data vektor dibutuhkan identifikasi topologi yang merupakan gambaran hubungan antarobyek spasial (titik, garis dan poligon), dikarenakan penggambaran obyek hanya dengan posisi (koordinat), bentuk, serta identifikasi yang berfokus pada objek tunggal belum mewakili realita/kondisi nyata secara menyeluruh. Sehingga dibutuhkan identifikasi hubungan pada setiap

entitasnya. Gambar 2.6 akan dijelaskan contoh bagaimana menyatakan hubungan antarobyek spasial.

1. Hubungan *Point - Point*

“is within” : dalam suatu range jarak tertentu

“is nearest to” : dekat terhadap titik tertentu

2. Hubungan *Point – Line*

“on line” : titik pada suatu garis

“is nearest to” : titik ke garis terdekat

3. Hubungan *Point – Area*

“is contained in” : suatu titik di dalam luasan

“on boarder of area” : suatu titik pada batas poligon

4. Hubungan *Line – Line*

“intersect” : pertemuan dua garis

“crosses” : dua garis yang saling melintas tapi tidak bertemu

“flow into” : aliran air ke sungai

5. Hubungan *Line – Area*

“intersect” : garis memotong luasan

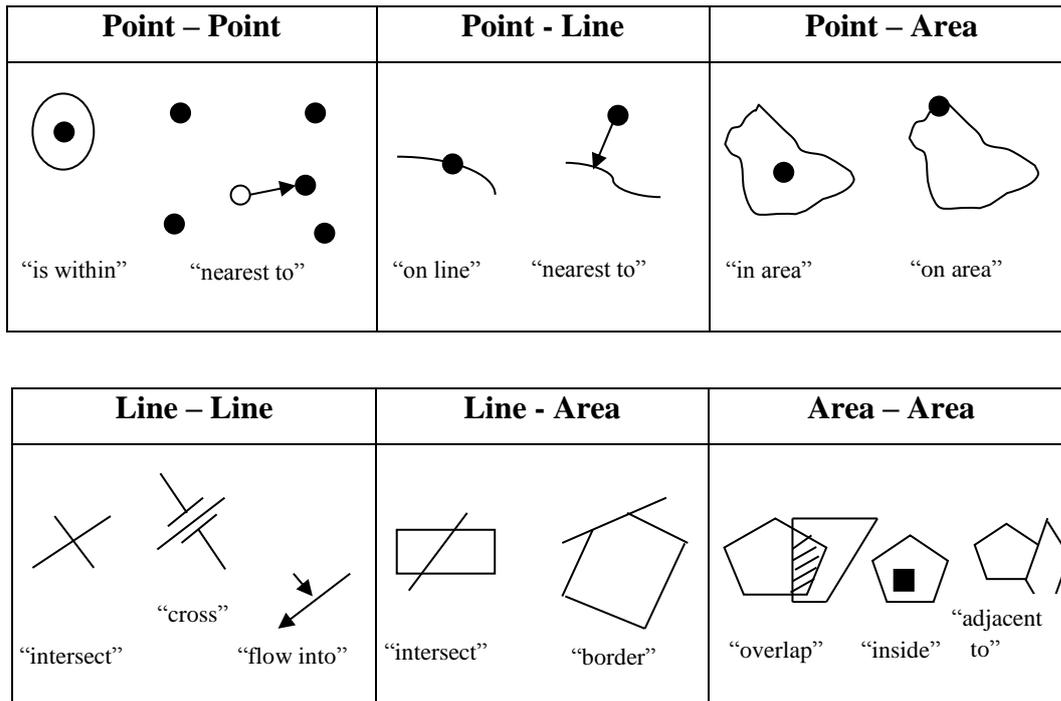
“borders” : suatu garis merupakan perbatasan dari poligon

6. Hubungan *Area – Area*

“overlaps” : dua luasan saling overlap

“is within” : poligon di dalam suatu overlap

“is adjacent to” : dua poligon mempunyai perbatasan yang sama



Gambar 2. 6 Hubungan Topologi antar Obyek Spasial

Terdapat dua jenis model dalam melakukan analisis spasial yaitu *representation model* dan *process model* (McCoy & Johnston, 2001). *Representation model* merupakan model yang bertujuan menggambarkan objek-objek yang ada di permukaan bumi dengan mengolah layer data melalui *tool GIS* (*Geographical Information System*). Model representasi memberikan fungsi untuk menangkap dan menyatakan hubungan spasial antara satu objek (contoh: gedung bertingkat) dengan objek lain (contoh: lokasi persebaran gedung) pada permukaan bumi. Sedangkan model proses berfungsi untuk memberikan gambaran interaksi antar obyek yang dimodelkan pada model representatif. Model proses dapat pula digunakan untuk memprediksi apa yang akan terjadi akibat dari sebuah fenomena tertentu. Terdapat banyak macam model proses yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai problem dunia nyata seperti

- **Optimalisasi**
Model spasial dapat digunakan untuk mencari lokasi optimal dari sebuah tujuan tertentu, sebagaimana kasus pencarian lokasi paling optimal untuk

membangun kompleks perumahan, perkantoran, fasilitas umum, tempat rekreasi dll yang notabene harus memiliki kriteria tertentu.

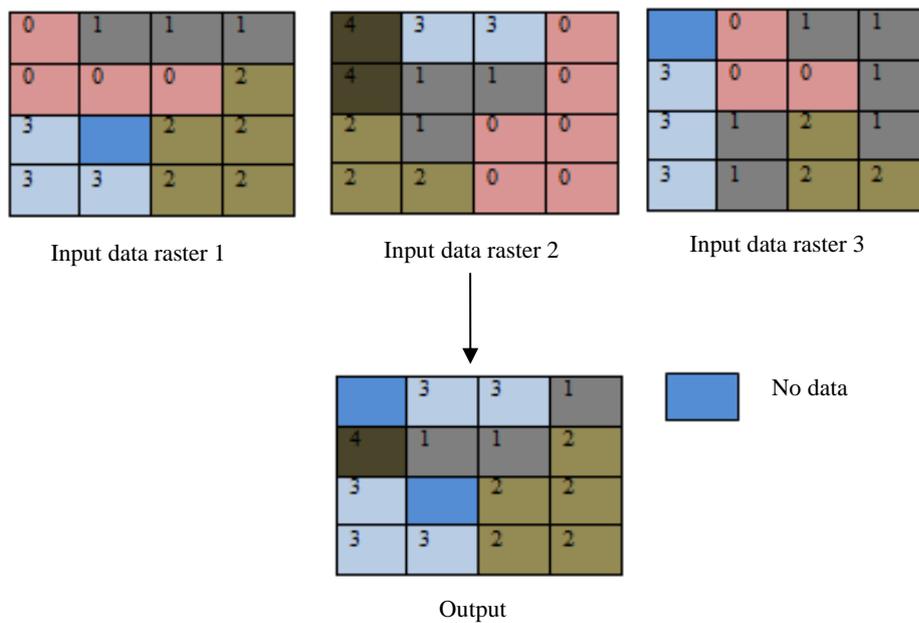
- **Pemodelan jarak**
Menentukan jarak tempuh paling efisien dari suatu titik ke titik tujuan lain.
- **Pemodelan hidrologi**
Mengidentifikasi arah aliran air serta bahan-bahan polusi yang larut dalam aliran sungai.
- **Pemodelan permukaan**
Salah satu aplikasinya adalah untuk mengidentifikasi tingkat polusi udara pada suatu wilayah tertentu.

Berikut juga dibahas salah satu bentuk analisis spasial yang dapat digunakan dalam analisis permasalahan keruangan.

Statistik Spasial Berbasis Raster

Operasi matematika memiliki hubungan yang erat dengan analisis spasial. Penerapan operasi matematika pada analisis data raster penelitian ini merupakan fungsi matematis penjumlahan yang berlaku pada dua seri data raster. Faisol & Indarto (2012) menjelaskan bahwa pada prinsipnya analisis spasial juga membutuhkan prosedur operasi yang lebih kompleks dan perhitungan yang tidak hanya terisolasi pada sel pada lokasi yang sama. Untuk itu dapat digunakan fungsi statistik berbasis sel raster untuk menganalisisnya. Analisis statistik ini biasa digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana kondisi hasil panen dalam kurun waktu 5 tahun pada suatu area tertentu, identifikasi kesesuaian lahan untuk kurun waktu 10 tahun, identifikasi intensitas curah hujan dalam kurun waktu 5 tahun, serta analisis statistik lainnya. Berikut merupakan beberapa fungsi statistik yang dapat digunakan pada analisis statistik spasial berbasis data raster yang terdapat pada menu software ArcGIS.

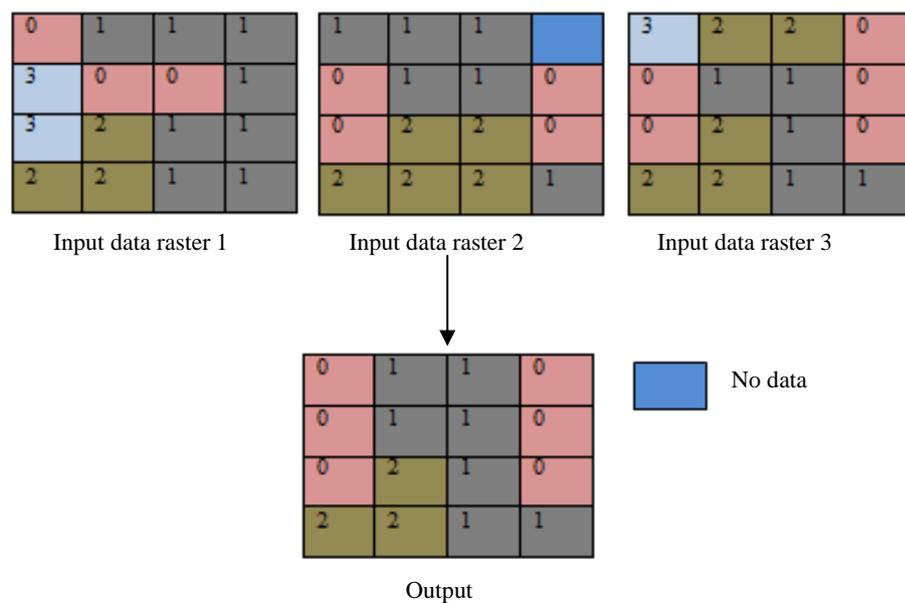
- **Maksimum**
Maksimum adalah fungsi yang digunakan untuk mencari nilai tertinggi suatu sel dari beberapa seri data raster (Gambar 2.7).



Gambar 2. 7 Fungsi maksimum data raster

- Minimum

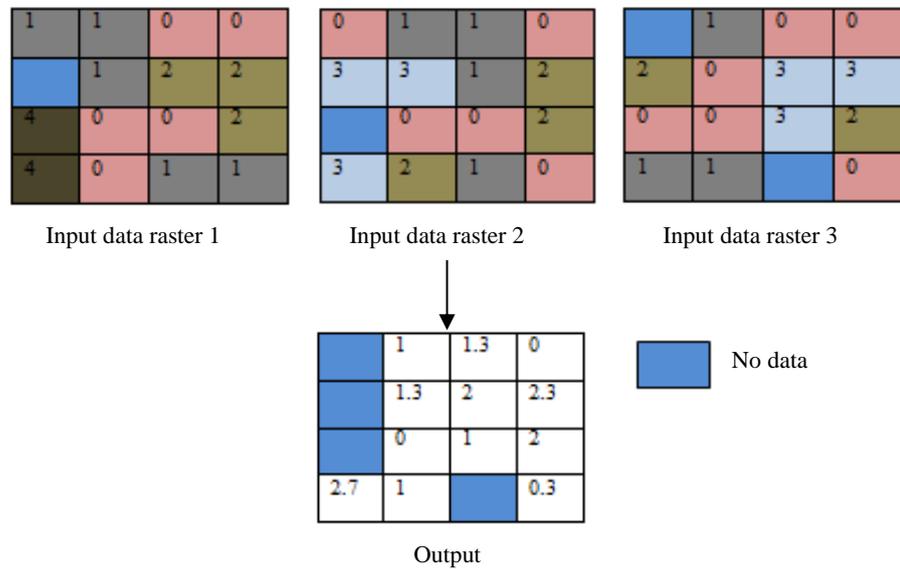
Minimum merupakan fungsi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi nilai paling rendah pada setiap sel dari beberapa input data raster (Gambar 2.8).



Gambar 2. 8 Fungsi minimum data raster

- Mean

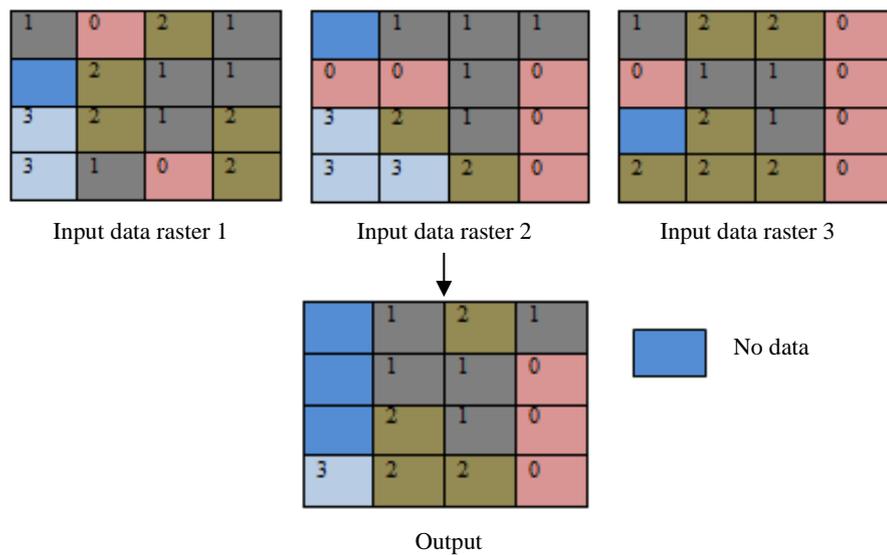
Mean merupakan fungsi untuk menghitung nilai rata-rata pada setiap sel dari beberapa input data raster (Gambar 2.9).



Gambar 2. 9 Fungsi *mean* data raster

- Median

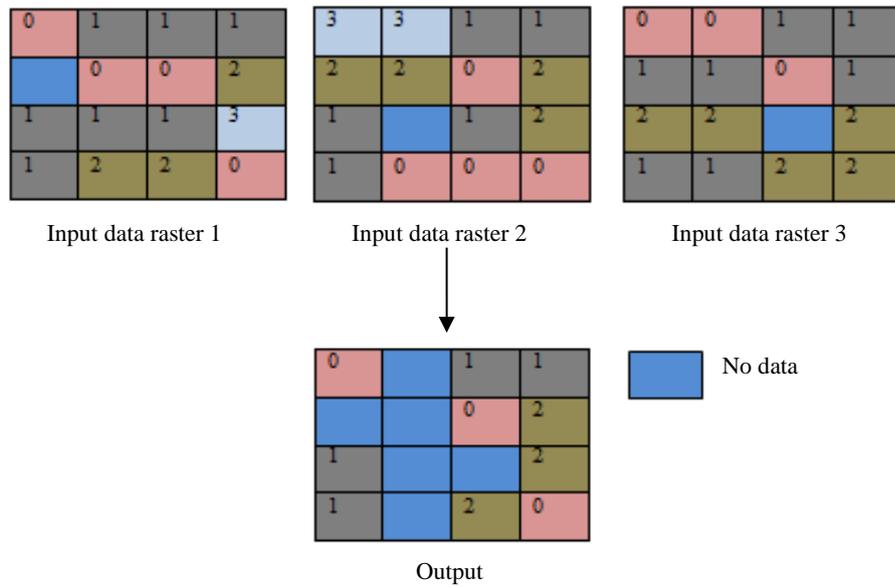
Median merupakan fungsi untuk mengidentifikasi nilai tengah sel (Gambar 2.10).



Gambar 2. 10 Fungsi *median* data raster

- *Majority*

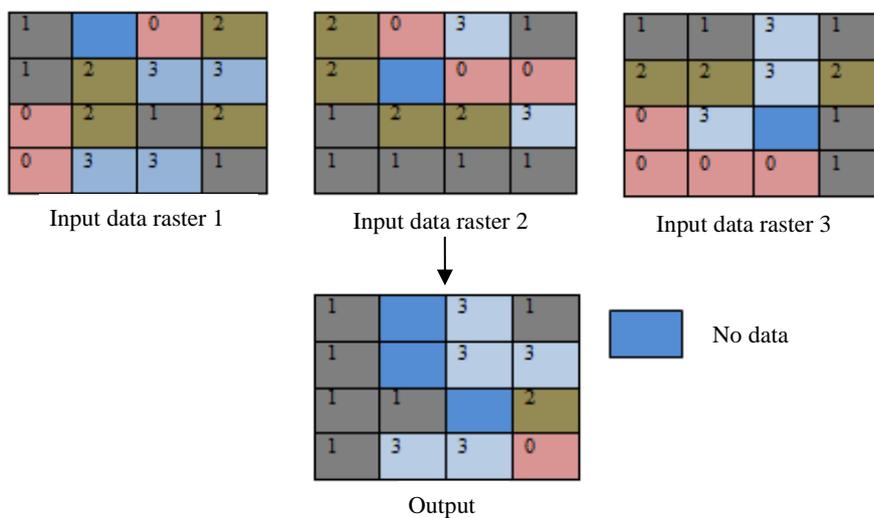
Majority merupakan fungsi untuk mengidentifikasi nilai yang sering muncul pada tiap sel, dan jika tidak ada nilai sel yang mendominasi maka output sel dinyatakan *no data* (Gambar 2.11).



Gambar 2. 11 Fungsi *majority* data raster

- *Range*

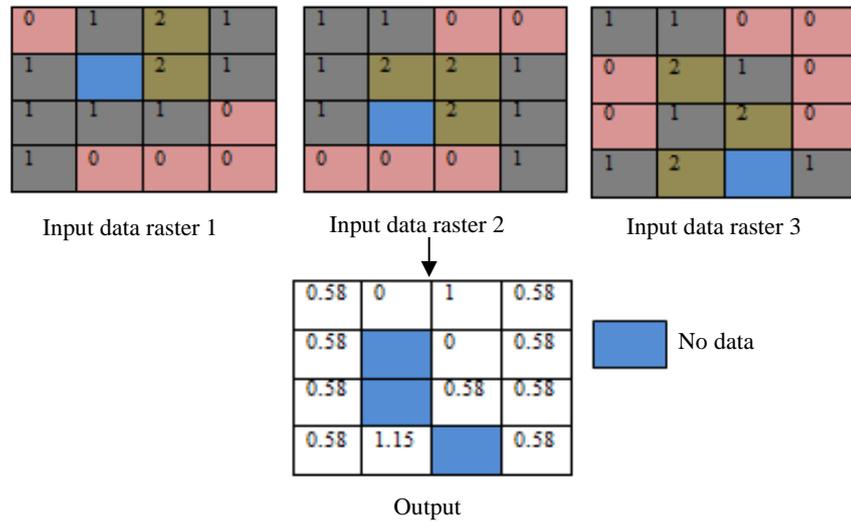
Range merupakan fungsi untuk menghitung jarak atau interval setiap sel pada beberapa data raster (Gambar 2.12).



Gambar 2. 12 Fungsi *range* data raster

- Standar Deviasi

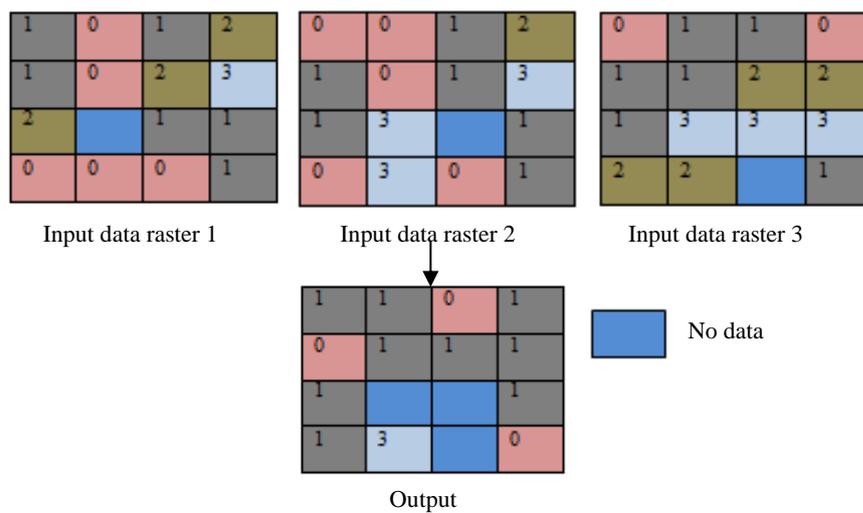
Standar deviasi merupakan fungsi untuk nilai penyimpangan setiap sel pada beberapa data raster (Gambar 2.13).



Gambar 2. 13 Fungsi standar deviasi pada data raster

- Variety

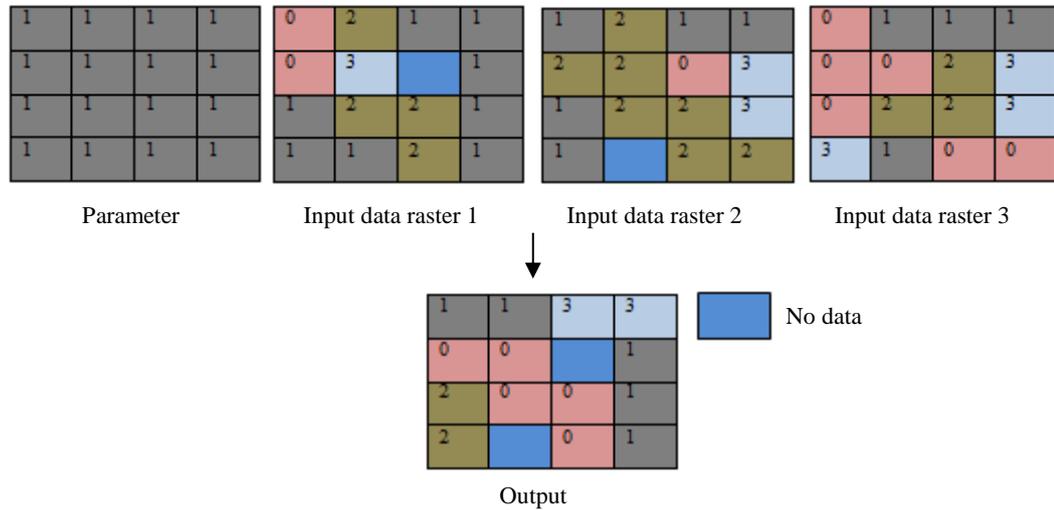
Variety merupakan fungsi untuk menghitung banyaknya nilai yang berbeda pada setiap sel dari beberapa data raster (Gambar 2.14).



Gambar 2. 14 Fungsi variety pada data raster

- *Equal to Frequency*

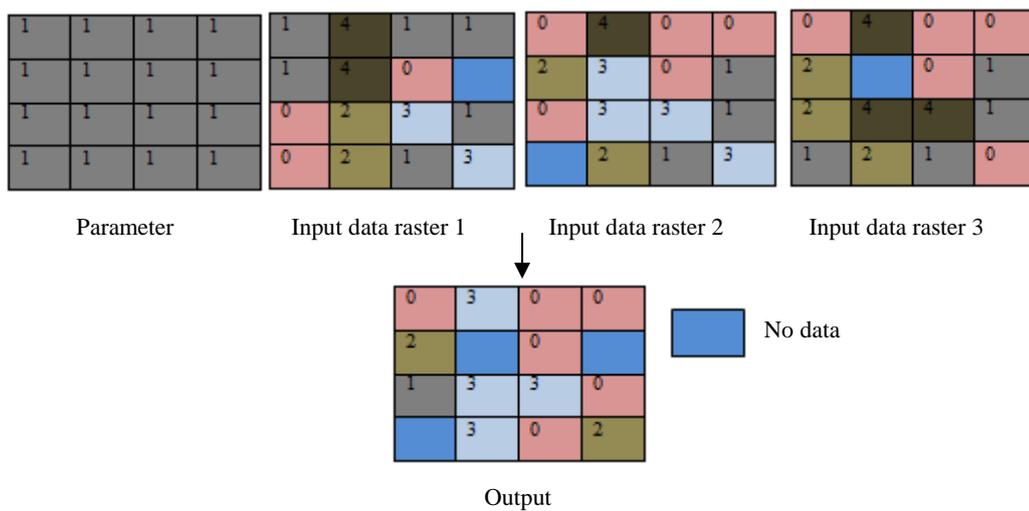
Fungsi ini untuk mengetahui banyaknya (jumlah) sel data raster yang memiliki nilai yang sama dengan nilai parameter yang telah ditentukan (Gambar 2.15).



Gambar 2. 15 Fungsi *Equal to Frequency*

- *Greather than Frequency*

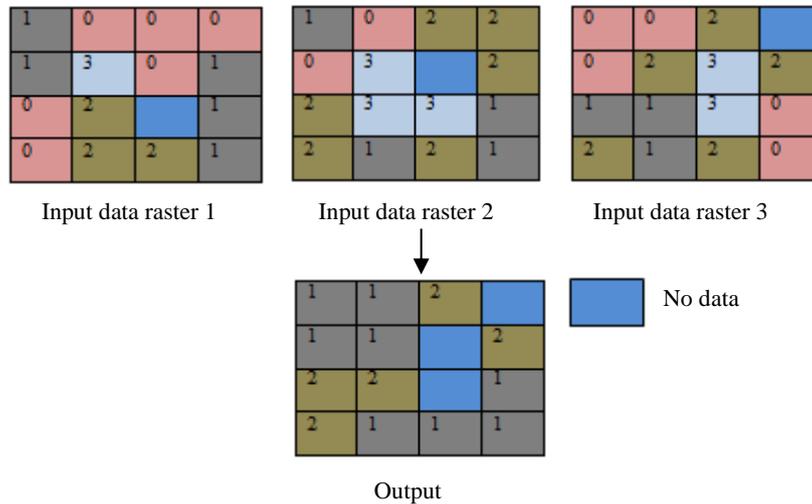
Fungsi ini untuk mengetahui jumlah sel yang memiliki nilai lebih besar dari nilai parameter yang ditentukan (Gsmbsr 2.16).



Gambar 2.16 Fungsi *Greather than Frequency*

- *Highest Position*

Fungsi ini untuk mengetahui posisi data raster yang memiliki nilai sel tertinggi (Gambar 2.17).



Gambar 2.17 Fungsi *Highest Position* pada data raster

2.3 Konsep GIS (*Geographical Information System*)

Terdapat sejumlah cara untuk mendefinisikan makna GIS. Sebagian besar definisi GIS difokuskan pada dua aspek sistem: teknologi dan sebagai *problem solving*. Pendekatan teknologi mendefinisikan GIS sebagai sebuah *tool* atau *input* untuk penyimpanan dan pengambilan data, manipulasi dan analisis output data spasial. Cowen (1998) menyebutkan bahwa GIS merupakan sebuah sistem pendukung keputusan (*decision support system*) yang melibatkan integrasi data yang direferensikan secara spasial sebagai lingkup *problem solving*. Dalam GIS, realitas direpresentasikan sebagai serangkaian fitur geografis yang didefinisikan menurut dua elemen data. Elemen data geografis (disebut juga unsur lokasi) digunakan untuk menyediakan referensi bagi elemen data atribut (juga disebut statistik atau non-lokasi). Misalnya, batas administrasi, jaringan sungai dan titik lokasi suatu objek adalah fitur atribut geografis. Dalam GIS, unsur geografis dipandang sebagai lebih penting daripada unsur elemen atribut dan hal itu adalah salah satu fitur kunci yang membedakan GIS dari sistem informasi lainnya

(Maguire & Goodchild, 1991). Istilah “ruang” dan “geografis” sering digunakan secara bergantian untuk menggambarkan fitur geografis. Spasial merujuk pada jenis informasi tentang lokasi dan dapat mencakup hal-hal teknik, penginderaan jarak jauh serta informasi kartografi.

Dapat diartikan bahwa GIS (*Geographical Information System*) merupakan sistem yang memiliki kemampuan dalam menjawab baik pertanyaan spasial maupun pertanyaan non-spasial beserta kombinasinya (*queries*) dalam rangka memberikan solusi-solusi atas permasalahan keruangan. Sehingga sistem ini memang sengaja dirancang untuk mendukung berbagai analisis terhadap informasi geografis (Prahasta, 2009). Dalam hal ini, pertanyaan spasial merupakan pertanyaan yang ditujukan dengan melibatkan koordinat geografis meliputi koordinat bujur dan lintang. Sedangkan pertanyaan non-spasial merupakan pertanyaan yang timbul dengan mempertimbangkan atribut (keterangan) yang melekat pada unsur geografis yang diteliti meliputi kode pos, vegetasi, populasi, dll. GIS mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa, dan akhirnya memetakan hasilnya. GIS tidak hanya dapat digunakan untuk memproduksi dan mengolah peta secara otomatis, tetapi memiliki kapasitas unik dalam mengintegrasikan dan menganalisis kumpulan multi-data sumber spasial seperti data penduduk, topografi, hidrologi, iklim, vegetasi, jaringan transportasi dan sarana umum (Martin, 1991). Data yang diolah pada GIS adalah data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi GIS dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti lokasi, kondisi, tren, pola dan pemodelan.

2.3.1 Subsistem pada GIS

Geographical Information System (GIS) menjadi *tool* efektif yang dapat mengungkapkan hubungan dan pola dari sejumlah besar data yang beragam dalam bentuk peta dan laporan (Tomlinson, 2011). GIS dapat diuraikan menjadi beberapa sub-sistem sebagaimana berikut ini:

a. Data Input

Komponen ini bertugas untuk mengumpulkan, mempersiapkan, mengidentifikasi, akuisisi, reformatting, georeferencing dan menyimpan data spasial dan atributnya dari berbagai sumber. Komponen data input ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversikan atau mentransformasikan format-format data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh perangkat GIS yang digunakan. Data yang dibutuhkan biasanya tersedia dalam berbagai bentuk yang meliputi peta analog, foto udara, citra satelit, survei dan sumber-sumber lain dalam format digital. Keuntungan yang diperoleh dari GIS adalah efisiensi mengintegrasikan berbagai data dan sumber informasi ke dalam format yang kompatibel.

b. Data Output

Komponen *data output* ini bertugas untuk menampilkan cara untuk melihat data atau informasi dan menghasilkan keluaran pengolahan data GIS (termasuk mengekspornya ke format yang dikehendaki), seluruh atau sebagian basis data (spasial) serta analisisnya dalam bentuk tabel, grafik, report, peta dll. Fungsi output ditentukan oleh kebutuhan pengguna sehingga keterlibatan pengguna sangat penting dalam menentukan persyaratan output. Secara umum, jenis output dapat diklasifikasikan dalam empat kategori:

- *Text output*: tabel, daftar, angka atau teks dalam menanggapi query; hasilnya mungkin dapat berupa daftar atau tabel objek yang terpilih disertai dengan atributnya; query tersebut mungkin mengakibatkan hasilnya menjadi numerik (misal: total, jarak, wilayah, jumlah, dll).
- *Graphic output*: peta, diagram, grafik, plot perspektif dan sebagainya; perangkat grafis yang interaktif memungkinkan pengguna untuk menunjuk ke obyek dan mengidentifikasinya dalam konteks spasial yang benar.
- *Digital data*: disimpan dalam memori atau dikirimkan melalui jaringan.
- *Other*, yang belum umum digunakan, seperti data sound yang dihasilkan komputer dan klip video.

c. *Data Storage & Management*

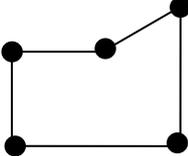
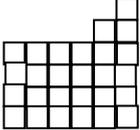
Komponen ini mengorganisasikan baik data spasial maupun tabel-tabel atribut terkait ke dalam sebuah sistem basis data sedemikian rupa hingga mudah dipanggil kembali atau di-retrieve, di-update, dan di-edit. Komponen *Data Storage & Management* suatu GIS meliputi fungsi-fungsi yang diperlukan untuk menyimpan dan mengambil data dari database. Metode yang digunakan untuk melaksanakan fungsi-fungsi ini mempengaruhi seberapa efisien sistem melakukan operasi data. Kebanyakan sistem GIS adalah berorientasi pada database. Database dapat didefinisikan sebagai kumpulan data dalam komputer yang terorganisir sehingga dapat dikembangkan, diperbaharui, diambil, dan digunakan dalam berbagai penggunaan. Database GIS dapat dianggap sebagai representasi atau model sistem geografis dunia nyata. Contohnya, entitas geografis seperti kota, jalan raya dan negara yang direpresentasikan dalam database GIS dalam bentuk titik, garis, area obyek (poligon).

Analisis keputusan berbasis GIS membutuhkan representasi dari sistem geografis dunia nyata dalam format digital. Permasalahannya adalah bahwa sistem geografis dunia nyata memiliki tingkat kerumitan yang tinggi bahkan untuk sistem informasi yang paling canggih, sehingga dibutuhkan sebuah penyederhanaan (Malczewski, 1999). Penyederhanaan tersebut biasa dikenal dengan *data model*.

Managing spatial data

Data spasial direpresentasikan dalam format raster dan vektor dalam *tool* GIS. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa data dalam format raster disimpan dalam matriks dua dimensi sel grid yang seragam (piksel), biasanya persegi. Sedangkan data dalam format vektor adalah entitas yang direpresentasikan oleh string koordinat. Titik (*point*) merupakan salah satu representasi objek. Titik (*point*) dapat saling dihubungkan menjadi bentuk garis (*line*) atau rantai (*chain*). Sehingga garis dapat direpresentasikan sebagai angka koordinat yang

berbaris-baris. Rantai (*chain*) dapat dihubungkan kembali ke titik awal untuk membentuk sebuah poligon atau area. Poligon direpresentasikan sebagai sebuah kumpulan koordinat pada setiap pojok-pojoknya seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.18.

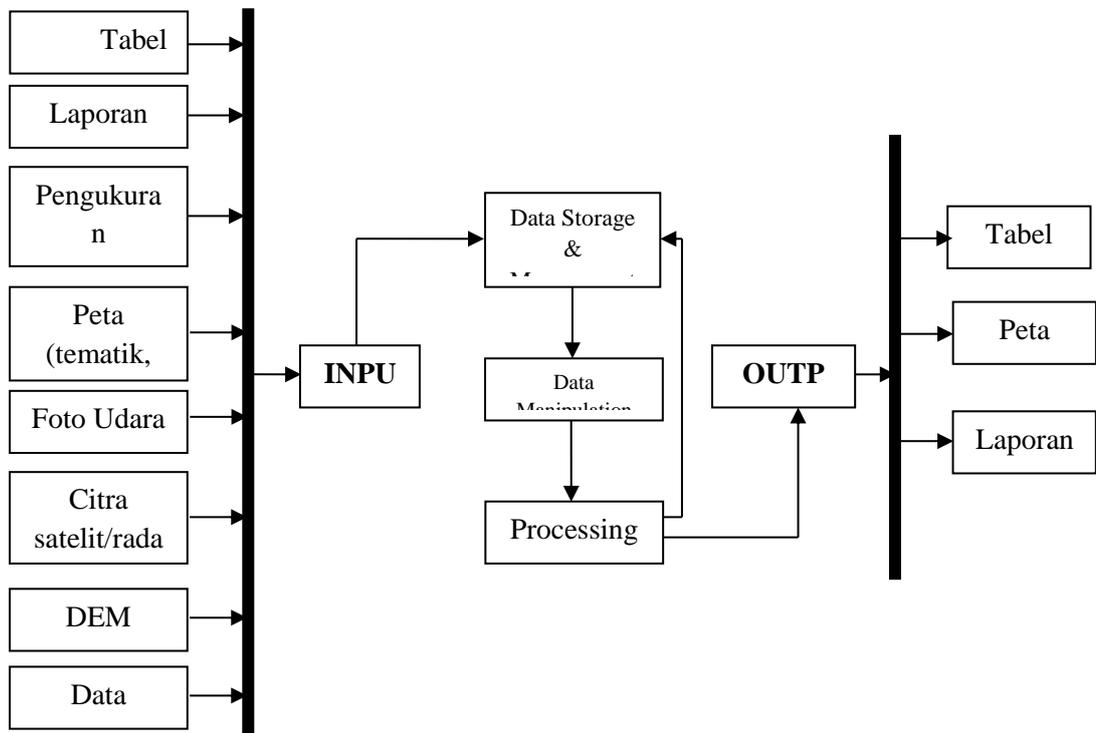
	Spatial Data Structure	
	Raster	Vektor
Point		
Line		
Polygon		

Gambar 2. 18 Bentuk format data raster dan vektor

d. *Data Manipulation & Analysis*

Sub-sistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh GIS. Selain itu sub-sistem ini juga melakukan manipulasi (evaluasi dan penggunaan fungsi-fungsi dan operator matematis & logika) dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan. Fitur yang membedakan dari sistem GIS yang dimiliki adalah kemampuan melakukan analisis terpadu spasial dan data atribut. Data dimanipulasi dan dianalisis untuk memperoleh informasi yang berguna untuk tujuan tertentu.

Berikut merupakan gambaran dari sub-sistem yang dijelaskan diatas seperti pada Gambar 2.19:



Gambar 2. 19 *Framework* uraian sub-sistem GIS

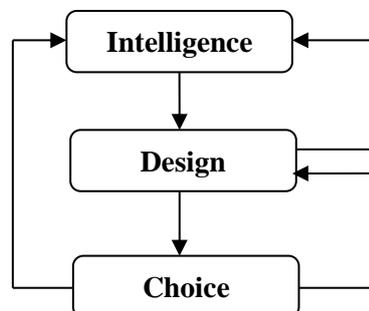
Basis data spasial dalam analisis yang digunakan akan mendeskripsikan sekumpulan entitas baik yang memiliki lokasi atau posisi yang tetap maupun tidak tetap (memiliki kecenderungan untuk berubah, bergerak, atau berkembang). Tipe-tipe spasial ini memiliki topografi dasar yang memiliki lokasi, dimensi, dan bentuk. Dalam hal ini, basis data spasial dapat meliputi kondisi tekstur tanah, ketinggian, kemiringan lereng, jenis tanah serta penyebaran pemukiman. Dimana atribut-atributnya disimpan sebagai database relasional yang bisa diimpor ke model tata ruang (Prahasta, 2001).

Untuk penggunaan data dalam GIS dapat berupa data grafis/spasial dan data atribut/non-spasial. Data grafis/spasial dalam keperluan ini adalah data yang merepresentasikan fenomena nyata keruangan di permukaan bumi dengan mencantumkan koordinat lokasi. Adapun yang termasuk dalam data grafis ini adalah seperti pemetaan lokasi manual, data hasil interpretasi foto citra satelit dan foto udara. Data

atribut/non-spasial merupakan data yang menyajikan poin-poin deskriptif dari fenomena yang diamati dan dianalisis seperti data hasil pencatatan survei lapangan, data kepadatan penduduk, data pendapatan per kapita dll.

2.3.2 GIS & Decision Support

Seerti yang telah disinggung sebelumnya bahwa tujuan utama GIS adalah memberikan suatu analisis dukungan untuk membuat keputusan spasial (*spatial decision making*). Kemampuan GIS dalam usahanya mendukung keputusan spasial dapat dianalisis pada konteks proses pengambilan keputusan. Terdapat beberapa kerangka kerja untuk analisis proses pengambilan keputusan. Salah satunya adalah proses pembuatan keputusan yang dapat disusun dari tiga fase utama yaitu *intelligence* (adakah permasalahan atau peluang untuk berubah?), *design* (apa pilihan lainnya?), dan *choice* (apa alternatif terbaiknya?). Malczewski, J. (1999) memberikan penjelasan dari salah satu isi buku “The new science of management decision” oleh Simon (1960), bahwa tiga tahap pengambilan keputusan tersebut (seperti pada Gambar 2.20) tidak harus mengikuti tahap-tahap yang sudah ditentukan. Jadi terdapat kemungkinan pada setiap titik dalam pengambilan keputusan perlu untuk *looping* kembali ke fase sebelumnya. Malczewski (1999) memberikan contoh seperti seseorang dapat mengembangkan beberapa rencana alternatif pada tahap *design*, namun mungkin tidak yakin apakah rencana yang spesifik tersebut memenuhi persyaratan untuk pengambilan keputusan. Sehingga membutuhkan kerja dari *intelligence* tambahan. Dengan demikian prosesnya dapat berjalan



Gambar 2. 20 Tiga tahap proses pembuatan keputusan

mundur disesuaikan dengan kebutuhan analisis pengambilan keputusan. Masing-masing tahapan dari proses pembuatan keputusan membutuhkan jenis informasi yang berbeda.

2.4 Spatial Multi Criteria Decision Analysis

Permasalahan MCDM melibatkan kumpulan alternatif yang dievaluasi berdasarkan kriteria yang saling bertentangan dan tidak sepadan. Kriteria dianggap sebagai istilah umum yang meliputi konsep atribut dan obyektif. Dalam analisis ini, MCDM dapat dibedakan menjadi MADM (Multi Attribute Decision Making) dan MODM (Multi Objective Decision Making). Permasalahan MADM dan MODM lebih mengategorikan problem pengambilan keputusan tunggal dan problem pengambilan keputusan kelompok. Dua kategori tersebut, ternyata masih dibagi lagi menjadi keputusan deterministik, probabilistik dan *fuzzy*. Permasalahan keputusan deterministik mengasumsikan bahwa data dan informasi yang dibutuhkan diketahui secara pasti dan bahwa ada hubungan deterministik yang diketahui antara keputusan dan konsekuensi keputusannya. Analisis probabilistik berkaitan dengan situasi dengan ketidakpastian mengenai kondisi lingkup permasalahan dan tentang hubungan antara keputusan dan konsekuensinya. Dan analisis probabilistik memberlakukan ketidakpastian mengenai keacakan (*randomness*). Analisis probabilistik juga dinilai cocok untuk mempertimbangkan ketidakakuratan informasi yang terlibat dalam hal pengambilan keputusan dan kebanyakan menggunakan *fuzzy decision analysis* dalam identifikasi dan analisisnya. Perlu diketahui bahwa teknik MCDM konvensional sebagian besar telah masuk ke ranah spasial dalam arti bahwa teknik tersebut menganggap homogenitas spasial sebagai wilayah studi (Malczewski, 1999). Akibatnya, terdapat kebutuhan untuk representasi eksplisit dari dimensi geografis pada analisis MCDM.

Secara umum, permasalahan MCDM melibatkan enam komponen. Pertama, sebuah tujuan atau serangkaian tujuan pembuat keputusan yang dilibatkan dalam proses pembuatan serta dengan preferensinya yang berkaitan dengan kriteria evaluasi/penilaian. Kedua, pengambil keputusan atau kelompok pembuat keputusan yang terlibat dalam pengambilan keputusan bersama dengan preferensi

mereka sehubungan dengan kriteria evaluasi/penilaian. Ketiga, sejumlah kriteria evaluasi/penilaian (tujuan dan/atau atribut) yang didasarkan pada evaluasi alternatif tindakan para pengambil keputusan. Keempat, himpunan alternatif keputusan, yaitu keputusan atau variabel tindakan. Kelima, himpunan variabel yang tidak terkendali. Keenam, himpunan hasil atau konsekuensi yang terkait dengan setiap pasang alternatif atribut. Untuk hubungan antara unsur-unsur yang terdapat pada MCDM dapat ditunjukkan pada Gambar 2.21. Elemen sentral dari struktur ini adalah sebuah matriks keputusan (*decision matrix*) yang terdiri dari himpunan baris dan kolom. Matriks ini merupakan hasil keputusan untuk sekumpulan alternatif dan kriteria penilaian. Struktur kolom terdiri dari level yang mewakili pembuat keputusan, preferensi mereka, dan kriteria evaluasi/penilaian. Elemen ini diatur dalam struktur hierarki. Tingkat yang paling umum adalah *goal*/tujuan. Pada tingkat ini keadaan akhir yang ingin dihasilkan dari kegiatan pengambilan keputusan ditentukan terlebih dahulu. Untuk permasalahan keputusan yang kompleks biasanya melibatkan sejumlah pengambil keputusan (kelompok kepentingan)

Seorang pengambil keputusan dapat terdiri dari orang/pelaku tunggal atau sekelompok orang, seperti organisasi perusahaan. Sebuah keputusan memerlukan analisis nilai pengaruh dampak keputusan yang sering dicirikan oleh preferensi unik sehubungan dengan kepentingan relatif kriteria berdasarkan keputusan alternatif yang akan dievaluasi. Preferensi biasanya dinyatakan dalam pembobotan yang ditetapkan untuk kriteria evaluasi. Kriteria adalah standar penilaian atau aturan untuk menguji keputusan alternatif yang diinginkan. Masalah keputusan kriteria ganda melibatkan sekumpulan tujuan, sekumpulan atribut, maupun keduanya. Suatu *objective* adalah pernyataan mengenai keadaan yang diinginkan dari sistem spasial.

Spatial Multicriteria Decision Analysis

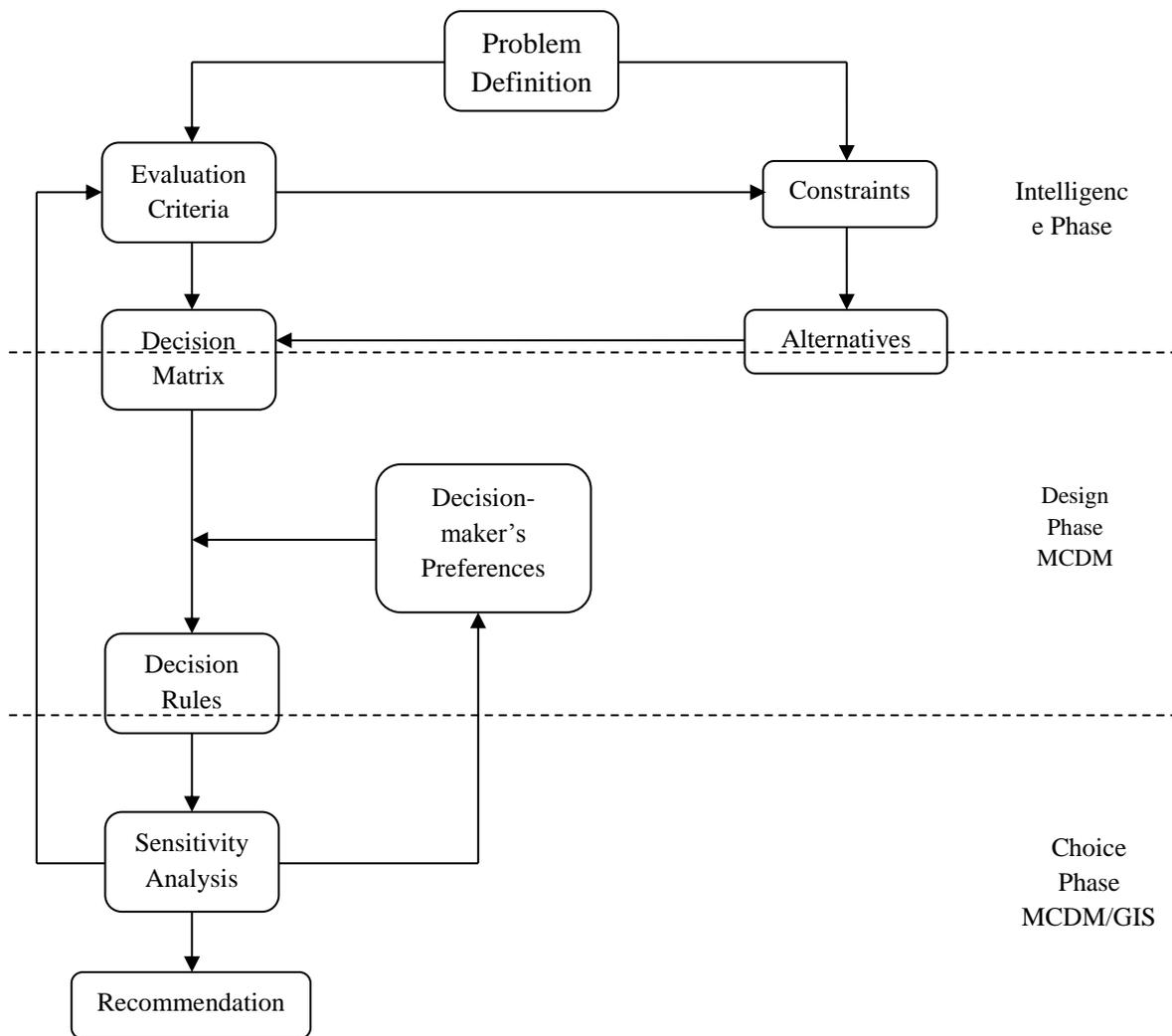
Pada dasarnya permasalahan keputusan multi kriteria spasial (*spatial multicriteria decision problem*) melibatkan sekumpulan alternatif yang ditentukan secara geografis (dari sebuah kejadian nyata) yang merupakan pilihan dari satu atau lebih alternatif yang dibuat (sesuai dengan tujuan yang diinginkan) yang berkaitan dengan kumpulan/himpunan kriteria evaluasi/penilaian. Alternatif didefinisikan

secara geografis dalam artian bahwa hasil analisis (keputusan) bergantung pada pengaturan spasial objek yang diamati. Dalam terminologi GIS, alternatif adalah kumpulan titik (*point*), garis (*polyline*), dan objek area (*polygon*) yang digunakan sebagai nilai-nilai kriteria. Teknik MCDM konvensional menasumsikan homogenitas spasial dalam wilayah studi yang dilakukan. Asumsi ini jelas tidak realistis dalam banyak situasi keputusan karena kriteria evaluasi bervariasi di seluruh ruang/spasial (Malczewski, 1999). Analisis multikriteria spasial (*spatial multicriteria analysis*) merupakan awal yang signifikan dari teknik MCDM konvensional karena keterlibatan komponen geografis yang dapat diolah lebih lanjut. Berbeda dengan MCDM konvensional, analisis multi kriteria spasial membutuhkan data nilai kriteria alternatif dan lokasi geografisnya. Data diproses dengan menggunakan GIS dan teknik MCDM untuk mendapatkan informasi untuk membuat sebuah keputusan. Sehingga dibutuhkan integrasi antara kedua teknik spasial dan MCDM.

Analisis keputusan multikriteria spasial dapat dianggap sebagai proses yang menggabungkan dan mengubah data geografis (input) menjadi suatu keputusan yang dihasilkan (output). Prosedur MCDM menentukan hubungan antara input pemetaan dan output pemetaan. Prosedur yang dilakukan lebih melibatkan pemanfaatan data geografis, preferensi pembuat keputusan, serta manipulasi data dan preferensi sesuai dengan aturan-aturan (*rules*) keputusan yang telah ditentukan. Teknik ini menggabungkan informasi dan data geografis multidimensi ke dalam nilai-nilai keputusan alternatif yang unidimensional. Aspek penting dari analisis multikriteria spasial adalah bahwa analisis tersebut melibatkan evaluasi peristiwa geografis berdasarkan nilai-nilai kriteria dan preferensi pengambil keputusan yang berhubungan dengan sejumlah kriteria evaluasi. Hal ini berarti bahwa analisis tidak hanya bergantung pada distribusi geografis dari peristiwa/objek yang diamati (atribut) tetapi juga pada pertimbangan nilai yang terlibat dalam proses pengambilan keputusan. Dengan demikian, terdapat dua pertimbangan yang sangat penting untuk analisis multikriteria spasial yaitu: (1) kemampuan GIS dalam memperoleh data, penyimpanan, pencarian, manipulasi/merekayasa, dan menganalisis data, (2) kemampuan MCDM untuk menggabungkan data geografis dan preferensi pengambil keputusan ke dalam nilai-nilai unidimensional keputusan

alternatif (*output*). Banyaknya faktor yang diperlukan untuk mengidentifikasi dan mempertimbangkan pengambilan keputusan spasial serta sejauh mana keterkaitan antara faktor-faktor yang terlibat menyebabkan kesulitan tersendiri dalam pengambilan keputusan. Kesulitannya adalah dalam upaya untuk memperoleh data dan memproses data untuk memperoleh informasi untuk membuat sebuah keputusan, kompleksitas masalahnya mungkin membutuhkan pemrosesan pada tingkat yang melebihi kemampuan kognitif seorang pembuat keputusan. Kombinasi dari kemampuan GIS dengan teknik MCDM menyediakan dukungan dalam semua tahap pengambilan keputusan, seperti intelijensi analisis, desain dan fase proses pengambilan keputusan.

Pengambilan keputusan adalah sebuah proses. Hal ini melibatkan urutan aktivitas yang dimulai dengan pengenalan masalah keputusan dan berakhir dengan rekomendasi. Kualitas dari pengambilan keputusan tergantung pada urutan di mana aktivitas tersebut dilakukan. Terdapat sejumlah cara alternatif untuk mengatur urutan kegiatan dalam proses pengambilan keputusan, Malczewski (1999) memberikan *framework* untuk analisis keputusan multikriteria spasial salah satunya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Framework untuk *Spatial Multicriteria Decision Analysis*

Problem Definition

Setiap proses pengambilan keputusan dimulai dari mengenali dan mendefinisikan permasalahan keputusan yang akan difokuskan. Secara garis besar, *decision problem* adalah perbedaan yang diterima antara tujuan yang diinginkan dan kondisi eksisting yang dilihat oleh pengambil keputusan. Pendefinisian masalah memberikan suatu pandangan fase awal dalam hal pengambilan keputusan. Pada fase awal ini melibatkan penentuan ruang lingkup keputusan ketika menghadapi persoalan yang membutuhkan analisis pengambilan keputusan seperti pengolahan data dasar yang

dibutuhkan, pemrosesan, dan diidentifikasi petunjuk yang dapat mengidentifikasi peluang atau permasalahan. Kemampuan GIS dalam hal penyimpanan data, pengelolaan, manipulasi/rekayasa serta analisis, menawarkan dukungan besar dalam tahap pendefinisian masalah.

Evaluation Criteria

Saat persoalan keputusan diidentifikasi, analisis multikriteria spasial berfokus pada serangkaian kriteria evaluasi (tujuan dan atribut). Secara lebih spesifik, langkah ini melibatkan penentuan, (1) serangkaian tujuan yang mencerminkan semua perhatian yang relevan dengan permasalahan keputusan, dan (2) ukuran-ukuran untuk mencapai tujuan tersebut. Ukuran tersebut dikenal sebagai atribut. Skala pengukuran harus ditetapkan untuk setiap atribut. Pencapaian sejauh mana tujuan terpenuhi dapat diukur dengan atribut. Pengukuran atribut yang dilakukan akan menjadi dasar untuk membandingkan alternatif yang digunakan. Kriteria evaluasi terkait dengan entitas geografis dan hubungan antara entitas dan karena itu dapat direpresentasikan dalam bentuk peta. Pemrosesan data GIS dan kemampuan menganalisis digunakan dalam menghasilkan masukan untuk analisis keputusan multikriteria spasial (*spatial multicriteria decision analysis*).

Alternatif

Proses menghasilkan alternatif harus didasarkan pada nilai yang berhubungan dengan serangkaian kriteria evaluasi. Untuk setiap alternatif yang ada diberikan sebuah variabel keputusan. Variabel yang digunakan oleh para pengambil keputusan digunakan untuk mengukur kinerja alternatif keputusan. Serangkaian variabel keputusan mendefinisikan ruang keputusan. Tergantung pada situasi masalah, variabel keputusan mungkin deterministik, probabilistik, atau linguistik. Dalam situasi dunia nyata, sangat sedikit masalah keputusan spasial yang dipertimbangkan tanpa kendala (*constraint*). Kendala merupakan pembatasan yang diberlakukan pada *scope* keputusan. Kendala ini akan menentukan set alternatif yang layak. Dalam konteks GIS, kendala digunakan untuk mengeliminasi titik

(*point*), garis (*line*), poligon atau raster yang ditandai dengan atribut tertentu atau nilai-nilai tertentu dari atribut berdasarkan pertimbangan.

Criterion Weights

Pada tahap ini, preferensi pengambil keputusan sehubungan dengan kriteria evaluasi dimasukkan ke dalam model keputusan. Preferensi biasanya dinyatakan dalam bobot kepentingan relatif yang ditetapkan untuk kriteria evaluasi yang dipertimbangkan. Secara umum, tujuan dari kriteria (obyektif atau atribut) adalah bobot untuk menyatakan betapa pentingnya setiap kriteria relatif terhadap kriteria lainnya. Derivasi dari bobot adalah langkah utama dalam memunculkan preferensi pembuat keputusan.

Decision Rules

Langkah ini menyatukan hasil tiga langkah sebelumnya. Pada akhirnya, pengukuran unidimensional (layer data geografis) dan penilaian (preferensi) harus terintegrasi untuk memberikan penilaian alternatif secara keseluruhan. Hal ini dilakukan dengan aturan/*rule* keputusan yang tepat. *Rule* tersebut merupakan aturan keputusan yang memutuskan alternatif mana yang lebih disukai/prioritas daripada alternatif yang lain. Aturan pengambilan keputusan akan melihat hubungan antara alternatif keputusan. Hasilnya akan memberikan konsekuensi pasti dan tidak pasti. Konsekuensi adalah hasil dari keputusan yang diambil oleh pengambil keputusan. Dan terkadang konsekuensi ini disebut sebagai hasil keputusan atau hasil kriteria. Dikarenakan aturan keputusan memberikan urutan alternatif yang sesuai dengan proses pilihan prioritas, permasalahan keputusan bergantung pada pemilihan hasil terbaik yang dipengaruhi pula oleh identifikasi alternatif keputusan.

Sensitivity Analysis

Setelah mendapatkan peringkat alternatif, analisis sensitivitas harus dilakukan untuk menentukan kehandalan. Analisis sensitivitas didefinisikan sebagai prosedur untuk menentukan bagaimana cara yang direkomendasikan untuk mengidentifikasi dampak perubahan input (data

geografis dan preferensi pembuat keputusan) pada output (rangking alternatif). Analisis sensitivitas dapat dianggap sebagai proses eksplorasi dimana para pengambil keputusan mencapai pemahaman yang lebih mendalam mengenai struktur masalah. Hal ini membantu untuk mempelajari bagaimana berbagai elemen keputusan berinteraksi untuk menentukan alternatif yang paling cocok dan disukai.

Rekomendasi

Hasil akhir dari proses pembuatan/pengambilan keputusan adalah rekomendasi untuk tindakan/langkah yang harus ditempuh untuk kedepannya. Rekomendasi didasarkan pada rangking alternatif dan analisis sensitivitas. Rekomendasi juga dapat meliputi deskripsi alternatif terbaik atau sekelompok calon alternatif yang dipertimbangkan untuk implementasi. Solusi untuk masalah keputusan multikriteria spasial harus disampaikan dalam lingkup keputusan (geografis) dan lingkup hasil pengambilan keputusan multi kriteria.

2.4.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Proses analisis pada metode AHP ini menggunakan sistem pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan persepsi, intuisi dan pengalaman. Preferensi atau penilaian pribadi menjadi salah satu syarat yang melekat pada AHP. Aplikasi dari metode AHP ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan multikriteria. Permasalahan multikriteria tersebut dibentuk menjadi sebuah hierarki yang dapat memudahkan pemahaman dan berfungsi untuk menguraikan masalah yang kompleks menjadi kelompok-kelompok sehingga terlihat sistematis dan terstruktur. AHP mempunyai landasan aksiomatik yang terdiri dari:

1. *Reciprocal Comparison* : mengandung arti si pengambil keputusan harus dapat membuat perbandingan dan menyatakan preferensinya. Preferensinya itu sendiri harus memenuhi syarat resiprokal yaitu kalau A lebih disukai dari B dengan skala x , maka B lebih disukai dari A dengan skala $1:x$.

2. *Homogeneity* : preferensi seseorang harus dapat dinyatakan dalam skala terbatas atau dengan kata lain elemen-elemennya dapat dibandingkan satu sama lain.
3. *Independence* : yang berarti preferensi dinyatakan dengan mengasumsikan bahwa kriteria tidak dipengaruhi oleh alternatif – alternatif yang ada melainkan oleh objektif secara keseluruhan.
4. *Expectations*: struktur hierarki diasumsikan lengkap. Apabila asumsi tersebut tidak dipenuhi maka pengambil keputusan tidak menggunakan seluruh kriteria yang diperlukan sehingga keputusan yang diambil tidak lengkap.

Penggunaan teknik *AHP* dalam penelitian difasilitasi oleh *tool Expert Choice 2000*. *Expert choice* merupakan sebuah perangkat lunak yang mendukung *collaborative decision* dan sistem perangkat keras yang memfasilitasi grup pembuatan keputusan yang lebih efisien, analitis dan yang dapat dibenarkan. Selain itu, *Expert Choice* menyediakan struktur untuk seluruh proses pengambilan keputusan, memfasilitasi kerjasama antara beberapa pihak yang berkepentingan, menganalisis pengambilan keputusan, sebuah konsensus keputusan dan keputusan akhir yang lebih baik dan dapat dibenarkan.

2.4.2 *Weighted Overlay*

Teknik pembobotan dengan menggunakan metode *weighted overlay* secara umum dapat digunakan dalam skala nilai pengukuran bermacam-macam dan input berbeda-beda untuk menghasilkan analisis yang terintegrasi seperti yang telah dijelaskan dalam *ESRI ArcGIS*. Metode pembobotan ini menekankan kepentingan relatif satu kriteria terhadap kriteria yang lain dan seringkali ditentukan oleh seorang ahli di bidang penelitian yang berkaitan, para pemangku kepentingan atau sekelompok grup berpengaruh dalam pengambilan keputusan. Secara umum, prosedur ini mengevaluasi banyak kriteria menggunakan metode *weighted linier combination* atau kombinasi linier terbobot yang dibutuhkan untuk menormalisasi bobot-bobot multikriteria, perangkaan menggunakan nilai 1 hingga 10.

Kriteria yang memenuhi tujuan akan ditunjukkan oleh *suitable index*. *Suitable index* yang digunakan dalam metode ini menggunakan metode *simple*

additive weighting (SAW). Metode ini digunakan secara luas untuk melakukan perhitungan nilai-nilai akhir dalam permasalahan *multiple criteria*. Rumus matematik dari metode ini seperti pada persamaan 2.1 berikut:

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j v_{ij} \quad (2.1)$$

Dimana untuk sebuah area i : V_i adalah *suitable index*, W_j adalah bobot kriteria yang relatif penting j ; v_{ij} adalah *grading values* dari area i di bawah criterion j ; n adalah jumlah total kriteria.

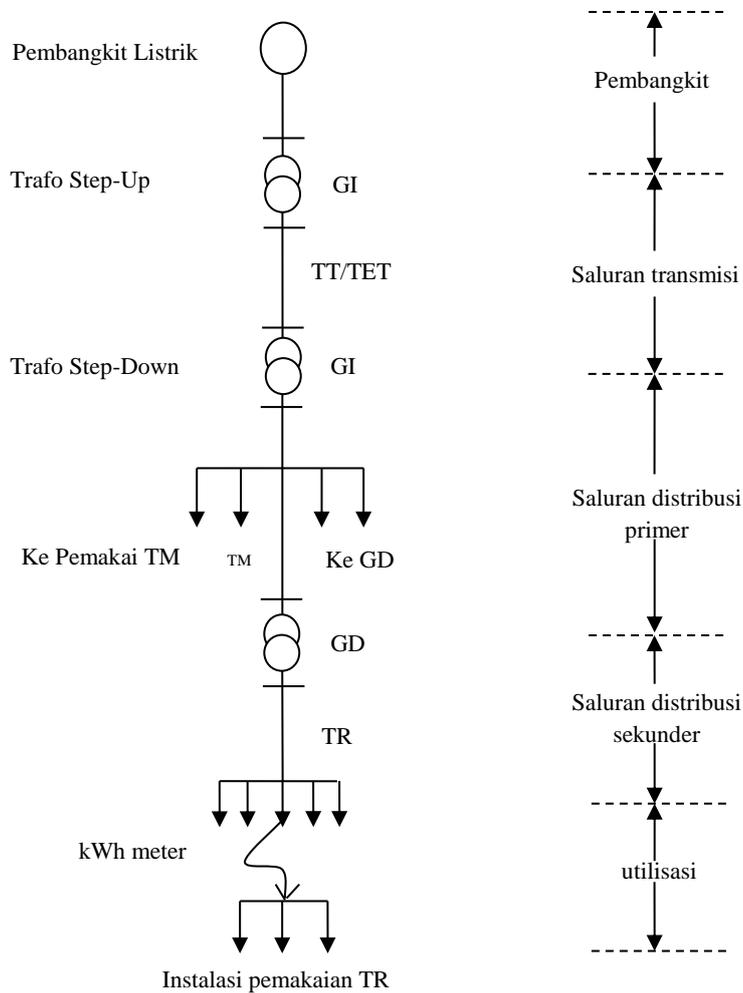
2.5 Jaringan Distribusi dan Konsep Penempatan Gardu Induk

Jaringan sistem distribusi merupakan bagian dari keseluruhan sistem tenaga listrik (Gambar 2.23) yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari saluran transmisi menuju ke saluran tegangan rendah atau konsumen. Pada sisten distribusi ini terdapat beberapa bagian yang memiliki fungsi penting seperti Gardu Induk (GI) yang didalamnya terdapat trafo *step-down*, saluran tegangan menengah (TM) yang masuk dalam *scope* distribusi primer, gardu distribusi (GD) serta saluran tegangan rendah yang termasuk area distribusi sekunder. Proses penyaluran tenaga listrik pada sistem distribusi dimulai dari saluran transmisi dan menyalurkannya ke saluran distribusi primer menuju gardu distribusi. Setelah melewati gardu distribusi maka tegangan diturunkan rating tegangannya untuk dapat disalurkan menuju konsumen.

Saluran distribusi primer memiliki fungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk menuju pusat-pusat beban atau pelanggan yang dapat saling terintegrasi. Saluran distribusi primer memiliki rating tegangan sebesar 20 KV dan termasuk dalam jaringan tegangan menengah. Komponen yang menjadi penyusun sistem ini berupa *main feeder* (penyulang utama) dan *lateral* (penyulang percabangan). Sedangkan Saluran distribusi sekunder termasuk pada jaringan tegangan rendah yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik dari trafo distribusi ke konsumen. Rating tegangan pada saluran ini berkisar antara 220/380 volt.

Dengan peranan tersebut, gardu induk memiliki fungsi yang vital dalam usahanya untuk mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen. Sehingga dibutuhkan

sebuah evaluasi perencanaan lokasi penempatan gardu induk yang akan membuat proses penyaluran tenaga listrik menjadi efisien, handal dan aman.



Gambar 2. 23 Sistem tenaga listrik

Sebagai wacana, terdapat beberapa faktor yang menjadi bahan pertimbangan untuk pembangunan gardu induk, yaitu:

- meningkatnya kebutuhan beban/*demand* listrik sehingga melebihi batas kemampuan GI eksisting,
- terdapat perluasan wilayah/daerah yang baru sebagai pusat aktivitas masyarakat, perluasan infrastruktur industri dan bisnis yang membutuhkan pasokan daya listrik yang baru dan besar.

- terdapatnya ekspansi pembangkit listrik baru sehingga membutuhkan pembangunan gardu-gardu induk baru pula.

Dari beberapa faktor tersebut, dapat diketahui hal-hal apa saja yang perlu diperhatikan dalam usaha evaluasi penempatan lokasi gardu induk seperti kedekatan lokasi/jarak antara gardu induk distribusi dengan pusat beban, gardu induk distribusi dengan gardu induk transmisi. Dikarenakan pemilihan lokasi GI yang jauh dari pusat beban telah mengakibatkan meningkatnya biaya investasi yang berhubungan dengan jaringan tegangan menengah yang panjang (membutuhkan kabel jaringan yang panjang), menyebabkan pula rugi-rugi daya akibatnya panjangnya jaringan yang ditempuh sehingga tegangan pelayanan akan semakin memburuk (LPLN, 2004).

2.5.1 Jaringan Tegangan Menengah

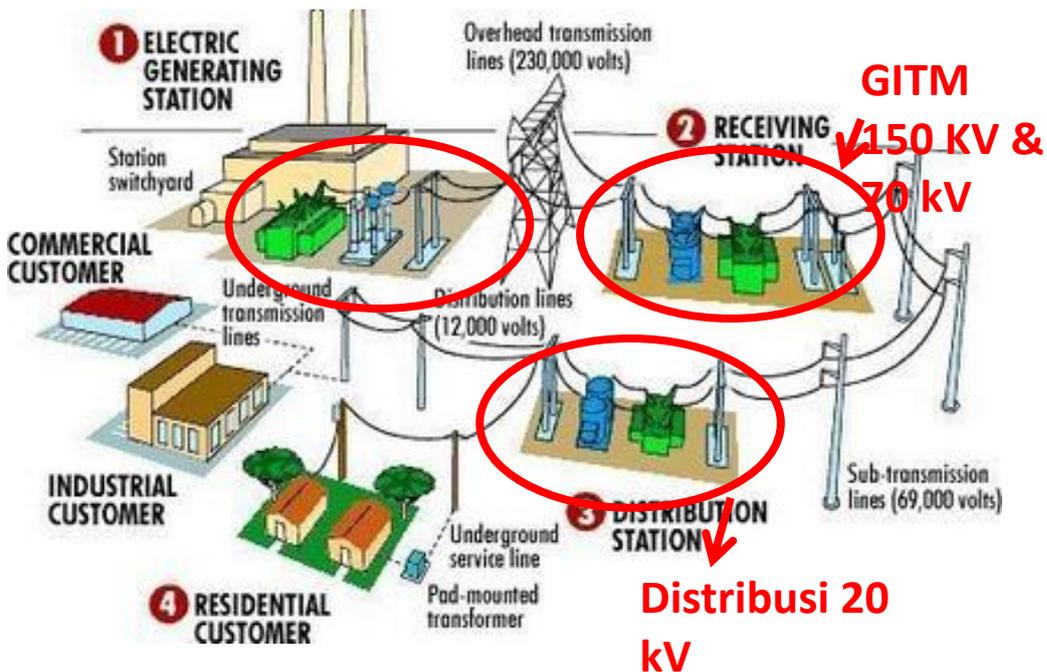
Jaringan tegangan menengah berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit atau gardu induk ke gardu distribusi. Jaringan ini dikenal dengan feeder atau penyulang.

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pembangkit listrik kemudian dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformer) yang ada di pembangkit listrik dan disalurkan melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi dan saluran transmisi tegangan tinggi. saluran transmisi tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi di PLN mempunyai tegangan 500 kV dan 150 kV.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah (20 kV). Kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 220/380 volt, lalu disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PT PLN (Persero) melalui Sambungan Rumah (SR) serta alat pembatas daya dan kWh meter yang sekaligus merupakan titik akhir kepemilikan PT PLN (Persero). Alur pendistribusian tenaga listrik mulai dari pembangkit sampai ke konsumen ditunjukkan pada Gambar 2.24. Penelitian ini akan berfokus pada Gardu Induk yang berada pada sistem Jaringan

Tegangan Menengah dengan spesifikasi GI 1 bay kopel 150 kV dan penyulang keluar 20 kV.

Pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar tidak dapat disambung melalui jaringan tegangan rendah melainkan disambungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula yang disambung pada jaringan transmisi tegangan tinggi, tergantung besarnya daya tersambung.



Gambar 2.24 Alur pendistribusian tenaga listrik sampai ke konsumen

2.5.2 Analisis Penentuan Lokasi Gardu Induk dengan Pertimbangan Unsur Finansial

Kajian finansial dimaksudkan untuk menganalisis biaya total dari penyediaan GI dan JTM dengan mempertimbangkan bukan hanya biaya pengadaan tanah namun juga biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) dan biaya yang ditimbulkan oleh rugi-rugi jaringan (LPLN, 2004). Selanjutnya biaya total antara opsi lokasi GI yang dekat dengan pusat beban dan yang jauh dari pusat beban akan diperbandingkan. Pada umumnya cara penentuan lokasi GI dengan mempertimbangkan unsur finansial ini merupakan langkah yang sering digunakan

hingga saat ini. Metode dengan melibatkan unsur finansial akan membuktikan bahwa pemilihan lokasi GI yang jauh dari pusat beban adalah benar mengakibatkan biaya total menjadi lebih mahal, dimana biaya total dimaksud terdiri dari biaya investasi, biaya O&M dan biaya rugi-rugi jaringan. Pada metode ini diawali dengan pengumpulan data mengenai harga satuan pembangunan JTM, GI, JTT dsb; biaya operasi & pemeliharaan JTM, JTT dan GI; serta harga satuan material seperti konduktor dan isolator.

Beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap lokasi GI adalah besarnya tegangan jatuh pelayanan. Sistem distribusi diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik ke pelanggan dengan mutu yang baik, antara lain tegangan jatuh pada ujung JTM adalah maksimum 5%. Tegangan jatuh pada JTM dapat dihitung dengan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$d = \frac{\Delta U}{U} = 100 \frac{PL}{U^2} (r + xt g \phi) \quad (2.2)$$

Dimana :

d = tegangan jatuh dalam %

P = beban dalam MW

U = tegangan sistem (kV)

L = jarak antara lokasi GI dengan pusat beban (km)

r = nilai resistansi penghantar Ohm/km

x = nilai reaktansi penghantar Ohm/km

ϕ = sudut daya

Faktor selanjutnya yang mempengaruhi lokasi GI adalah rugi-rugi teknis JTM (LPLN, 2004). Rugi-rugi di dalam JTM disebabkan oleh arus beban yang mengalir didalam konduktor yang mempunyai parameter rangkaian resistansi (R) dan reaktif (X) yang akan menimbulkan rugi-rugi aktif I^2R (*Watt*) dan rugi-rugi reaktif I^2X (*VAR*). Sedangkan beban selalu berfluktuasi sepanjang hari (selama 24 jam) yang dapat digambarkan dalam sebuah kurva yang disebut kurva beban harian, sehingga arus bebanpun juga akan ikut berfluktuasi mengikuti kurva beban harian,

sehingga rugi-rugi energi aktif (*losses kWh*) dapat ditulis sebagai persamaan 2.3 berikut:

$$rugi - rugi = \int_0^t i^2 \cdot R \cdot dt \quad (2.3)$$

Dan rugi-rugi energi reaktif secara teoritis tidak merupakan energi sehingga tidak perlu diperhatikan.

Rugi-rugi JTM berbanding terbalik kaudratis dengan arus dan pada faktor daya (*fd*) mendekati 1 sedangkan tegangan 1 per unit (20kV), maka arus berbanding lurus dengan daya (kW). Untuk menghitung rugi-rugi JTM secara praktis diperkenalkan satu istilah *load loss factor* (LLF) yaitu rasio loss rata-rata terhadap loss pada beban puncak. LLF sama dengan rata-rata kuadrat dibagi beban puncak kuadrat sehingga sebanding LF² atau dapat ditulis seperti persamaan 2.4 di bawah ini:

$$LLF = \frac{(\text{Beban rata-rata})^2}{(\text{Beban puncak})^2} \propto (\text{Load Factor})^2 \quad (2.4)$$

Tipikal LLF dapat didekati dengan formula 2.5 sebagai berikut:

$$LLF = a \cdot LF + (1 - a) \cdot LF^2 \quad (2.5)$$

Untuk menentukan diterima atau tidaknya suatu usulan proyek pembangunan atau menentukan pilihan antara berbagai macam usulan proyek dapat menggunakan analisa Net Present Value (NPV). Berdasarkan uraian tersebut maka semua unsur biaya investasi, biaya O&M dan rugi-rugi JTM masing-masing opsi dihitung NPV dengan menggunakan persamaan 2.6 di bawah ini:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_T}{(1+i)^T} \quad (2.6)$$

CF_t = cash flow pada tahun t

i = tingkat bunga (interest)

2.5.3 Analisis Penentuan Lokasi Gardu Induk dengan Menggunakan Metode Spatial MCDA

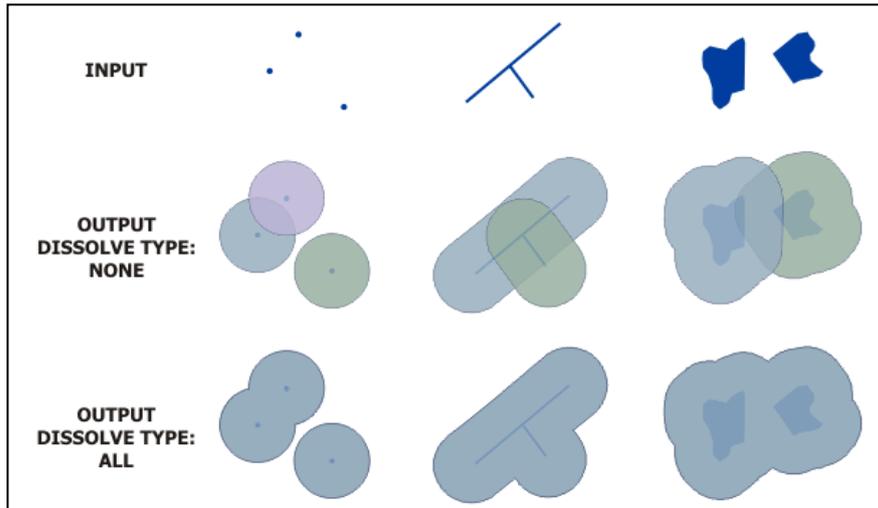
Secara umum, dalam kasus penentuan lokasi yang cocok dengan menggunakan metode spatial MCDA terdapat beberapa alat analisis yang dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan masalah tersebut. Referensi jurnal/penelitian terdahulu menyebutkan bahwa untuk menganalisis kedekatan pembangkit dengan pusat beban dapat menggunakan *tool* analisis “*Proximity*” dan “*Density*” di dalam ArcGIS (Abudeif et al, 2015). Terdapat beberapa alat analisis di dalam ArcGIS yang mampu mendukung solusi untuk permasalahan pemilihan lokasi terutama untuk penentuan lokasi gardu induk yang optimal, seperti pada penjelasan berikut ini.

2.5.3.1 Proximity Analysis

Analisis kedekatan atau yang populer disebut dengan *Proximity Analysis* merupakan analisis yang digunakan untuk menentukan kedekatan fitur dengan satu atau lebih kelas fitur atau antara dua kelas fitur. Analisis ini dapat mengidentifikasi fitur paling dekat dari fitur yang lain atau menghitung jarak diantara atau di sekeliling fitur tersebut. Analisis proximity dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti: berapa jarak antara dua lokasi yang berdekatan?; rute jaringan jalan mana yang paling terpendek dari satu lokasi ke lokasi yang lain?; seberapa dekat jarak lokasi kita menuju lokasi tujuan? dll. Terdapat beberapa analisis yang menjadi bagian dari *proximity analysis* yaitu:

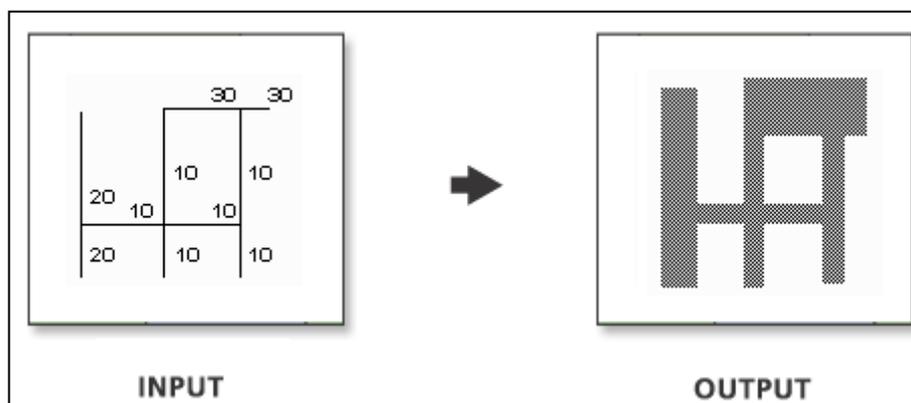
- *Buffer Analysis*

Analisis buffer akan menciptakan masing-masing simpul fitur masukan dan menghasilkan kompensasi *buffer*. Analisis *buffer* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Ilustrasi analisis *buffer*

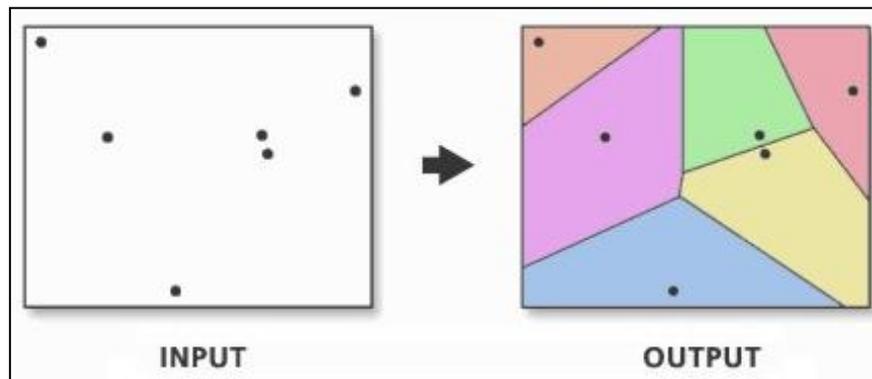
Parameter jarak *buffer* dapat dimasukkan sebagai nilai tetap atau sebagai bidang yang mengandung nilai-nilai numerik. Misalkan *buffer* dari sebuah kelas fitur garis menggunakan bidang numerik dengan nilai jarak 10, 20 dan 30 dengan satuan tertentu. Gambar 2.26 berikut akan menunjukkan ilustrasi *buffer* yang dimaksud.



Gambar 2.26 Ilustrasi *buffer* (jarak bidang garis)

- *Thiessen Polygons*

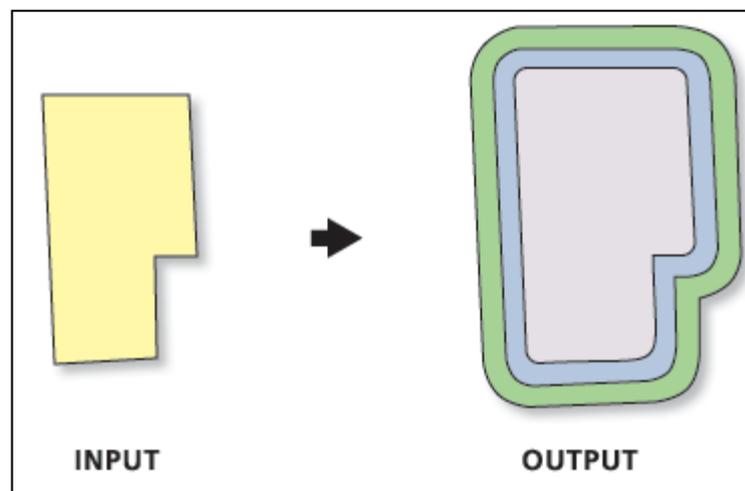
Setiap poligon Thiessen berisi hanya fitur titik input tunggal. Setiap lokasi dalam poligon Thiessen semakin dekat ke titik yang terkait daripada setiap fitur titik masukan lainnya. Gambar 2.27 berikut akan menunjukkan ilustrasi *Thiessen Polygon*.



Gambar 2.27 Ilustrasi *Thiessen Polygons*

- *Multiple Ring Buffer*

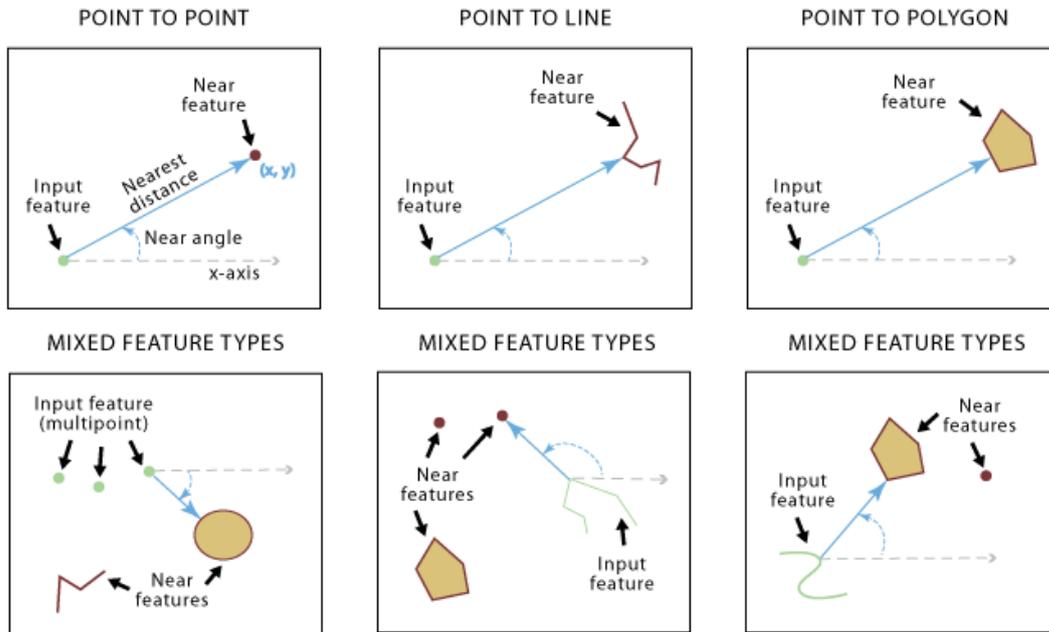
Analisis ini menciptakan beberapa *buffer* pada jarak tertentu di sekitar fitur input. *Buffer* ini secara opsional dapat digabungkan menggunakan nilai jarak penyangga untuk membuat *buffer* tidak tumpang tindih. Gambar 2.28 berikut akan menunjukkan ilustrasi dari *multiple ring buffer*.



Gambar 2.28 Ilustrasi *Multiple Ring Buffer*

- *Near*

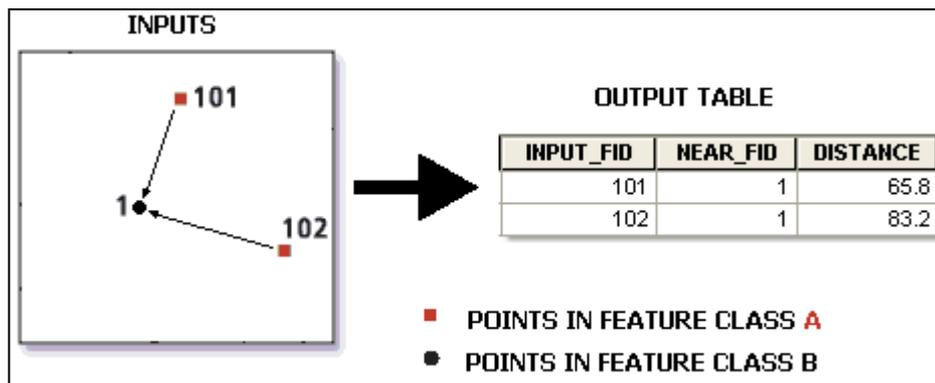
Analisis ini akan menentukan jarak dari setiap fitur pada fitur input untuk fitur paling dekat dalam radius pencarian. Gambar 2.29 berikut akan menunjukkan ilustrasi analisis *Near*.



Gambar 2.29 Ilustrasi analisis *Near*

- *Point Distance*

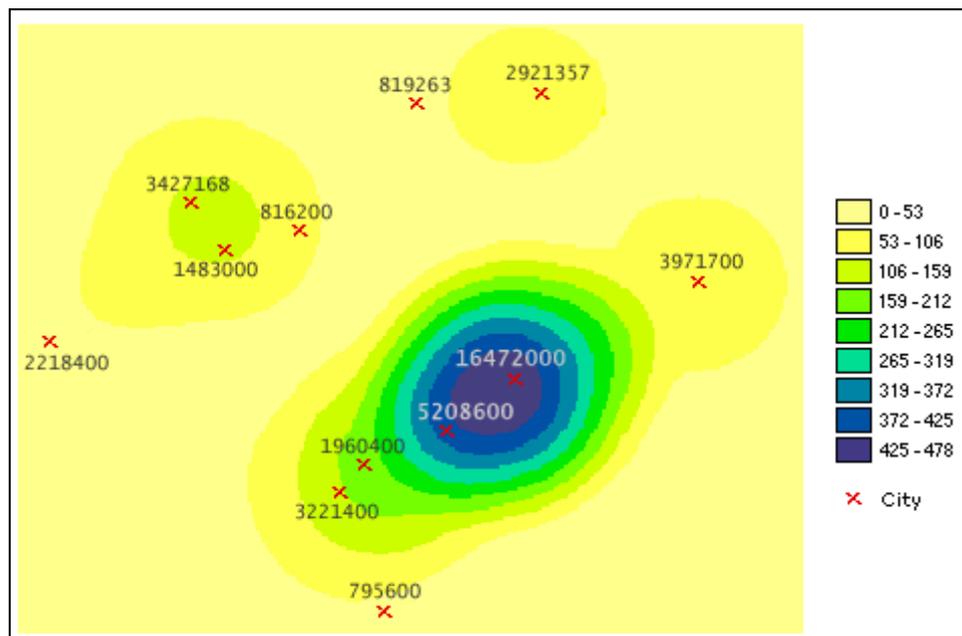
Analisis ini akan menentukan jarak dari input fitur *point* (titik) ke semua *point* (titik) dalam fitur dekat dengan radius pencarian tertentu. Gambar 2.30 berikut akan menunjukkan ilustrasi *Point Distance*.



Gambar 2.30 Ilustrasi Point Distance

2.5.3.2 Density Analysis

Analisis kepadatan (*Density Analysis*) merupakan analisis yang mengambil jumlah yang diketahui dari beberapa fenomena dan menyebarkannya di lanskap berdasarkan kuantitas yang diukur pada setiap lokasi dan hubungan spasial dari lokasi yang diukur kepadatannya. Kepadatan permukaan menunjukkan dimana titik atau fitur garis terkonsentrasi. Misalnya adalah ketika peneliti memiliki nilai poin untuk setiap kota mewakili jumlah orang di kota, tetapi peneliti ingin mempelajari lebih lanjut tentang penyebaran penduduk di kawasan ini. Karena semua orang di setiap kota tidak hidup pada titik populasi, dengan menghitung kepadatan, peneliti dapat membuat permukaan yang menunjukkan distribusi prediksi penduduk di seluruh lanskap. Gambar 2.31 berikut akan menunjukkan contoh permukaan kepadatan populasi pada suatu daerah.



Gambar 2.31 Contoh ilustrasi permukaan kepadatan populasi

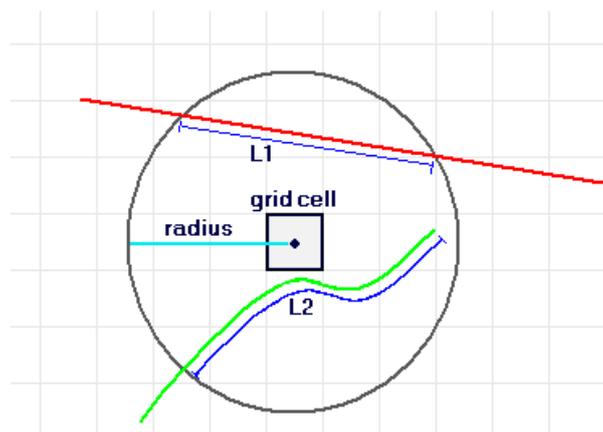
Analisis kepadatan (*density analysis*) memiliki beberapa sub pembahasan yaitu meliputi point density, line density dan kernel density. Berikut merupakan penjelasan rinci mengenai sub-sub analisis kepadatan.

- *Point Density*

Point density merupakan analisis yang menghitung kepadatan fitur titik di setiap output sel raster. Secara konseptual, lingkungan didefinisikan di seputar pusat sel raster, dan jumlah *point* (titik) yang berada di dalam lingkungan sekitar tersebut dijumlah dan dibagi dengan luas dari lingkungan. Sebagai contoh, peta satuan meter, sehingga unit default kepadatan titik (*point*) per meter persegi di lingkungan tersebut. Hal ini dikehendaki untuk menghitung kepadatan dalam poin per hektar (10.000 meter persegi), menggunakan faktor skala 100 (100 dengan 100 meter adalah satu hektar).

- *Line Density*

Line density merupakan analisis untuk menghitung kepadatan fitur linier di lingkungan masing-masing output sel raster. Densitas dihitung dalam satuan panjang per unit area. Secara konseptual, lingkaran digambar di seputar pusat sel raster menggunakan radius pencarian. Panjang porsi setiap garis yang jatuh dalam lingkaran dikalikan dengan nilai populasi field nya. Angka-angka ini dijumlahkan, dan total dibagi dengan daerah lingkaran. Gambar 2.32 berikut akan menunjukkan ilustrasi dari *line density*.



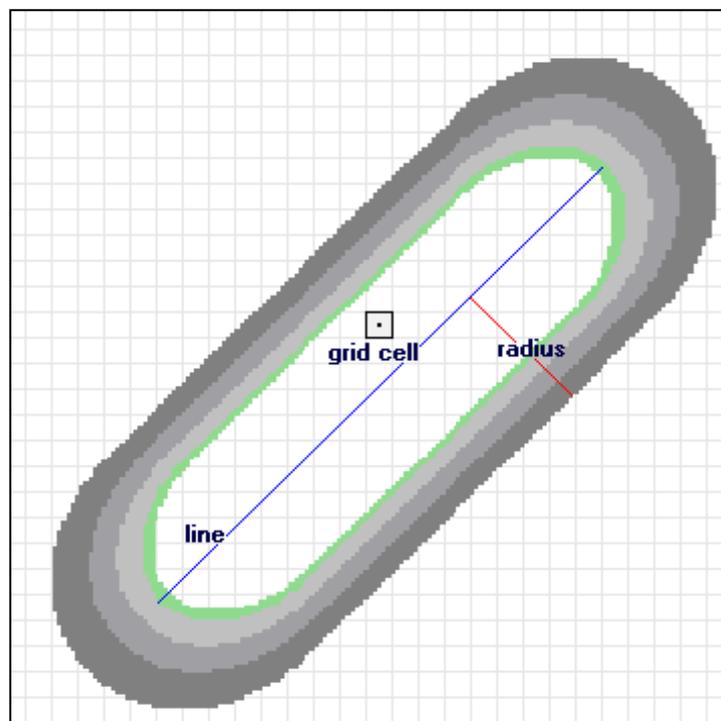
Gambar 2.32 Ilustrasi *line density*

Dalam ilustrasi diatas, sel raster ditunjukkan dengan lingkungan melingkar. Garis L1 dan L2 mewakili panjang porsi setiap garis yang jatuh di dalam lingkaran. Populasi nilai bidang yang sesuai adalah V1 dan V2, sehingga dapat ditunjukkan seperti pada persamaan 2.7 berikut ini.

$$density = ((L1 \times V1) + (L2 \times V2)) / (area_of_circle) \quad (2.7)$$

- *Kernel Density*

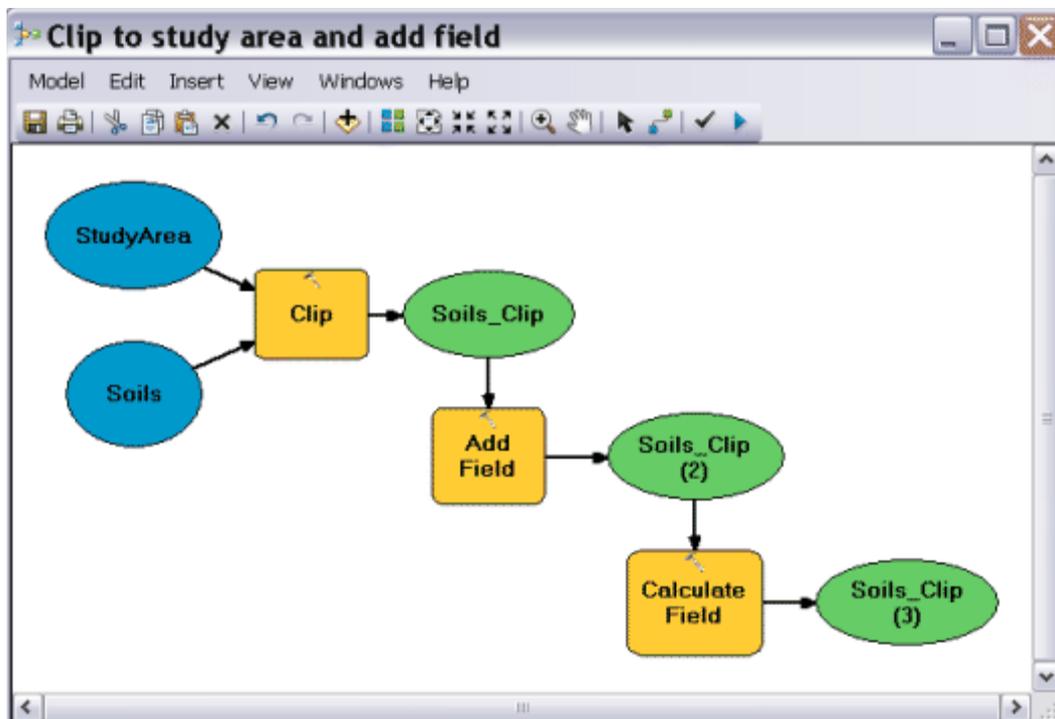
Kernel density merupakan analisis yang digunakan untuk menghitung kepadatan fitur di lingkungan sekitar fitur tersebut. Hal itu dapat diperhitungkan untuk kedua fitur titik dan garis. Kernel density menghitung kepadatan fitur titik di setiap output sel raster. Secara konseptual, permukaan kurva melengkung dipasang melewati setiap titik. Nilai permukaan tertinggi pada lokasi titik berada dan berkurang dengan meningkatnya jarak dari titik tersebut. Gambar 2.33 akan menunjukkan ilustrasi dari *kernel density*.



Gambar 2.33 Ilustrasi *Kernel density*

2.5.3.3 Model Builder

Model builder merupakan sebuah aplikasi yang digunakan untuk membuat, mengedit, dan mengelola model. *Model builder* juga dapat dianggap sebagai bahasa pemrograman visual untuk membangun alur kerja. Selain sangat berguna untuk membangun dan mengerjakan alur kerja yang sederhana, *model builder* juga menyediakan metode canggih untuk memperluas fungsi ArcGIS. Pada penelitian ini menggunakan *tool model builder* sebagai alat analisa model yang telah dirancang. Gambar 2.34 berikut akan menunjukkan ilustrasi dari bentuk *model builder*.



Gambar 2.34 Ilustrasi *Model Builder*

Di dalam model builder sudah tersedia berbagai *tool* untuk *spatial analysis*, *geocoding tool*, *conversion tool*, *data mangement tool*, *geostatistical analyst tool* dll yang dapat digunakan untuk membantu analisis spasial multi kriteria.

2.6 Gap dan Posisi Penelitian

Berikut merupakan gap penelitian sebagai penunjang referensi dari penelitian yang akan dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Nama Peneliti	Tahun	Lokasi penelitian	Description	Aspek Pembahasan Analisis					
				Type of Object	Method	Spatial interaction	Spatial attribute	Power Plant	Substation
Merrouni A. Et al	2014	Morocco	CSP Sites suitability analysis in the Eastern region of Morocco	Renewable Energy	GIS (hemispherical viewshed algorithm)		✓	✓	
Kabir G. Et al	2014	Bangladesh	Power Substation location selection	Medium Voltage Network	Fuzzy AHP & PROMETHEE	✓	✓		✓
Xu J. Et al	2015	China	GIS-modelling based coal fire power plant site selection	Fossil Energy	GIS, fuzzy programming, NSGA-II	✓	✓	✓	
Tahri M. Et al	2015	Southern Morocco	Evaluation of Solar Farm Location	Renewable Energy	GIS & MCDM	✓	✓	✓	
Abudeif et al.	2015	Egypt	Multicriteria based on AHP for sitting nuclear power plant	Renewable Energy	MCDM & WLC	✓	✓	✓	
Fitria Sawitri	2016	Kupang, NTT	Suitability Location for Solar Farm Power Plant	Renewable Energy	MCDM & GIS	✓	✓	✓	
Penelitian ini	2016	Jawa Timur	Evaluation substation sitting considering attribute & interaction spatial	Medium Voltage Network	Spatial multicriteria decision analysis & GIS	✓	✓		✓

Tabel 2. 3 Gap dan posisi penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

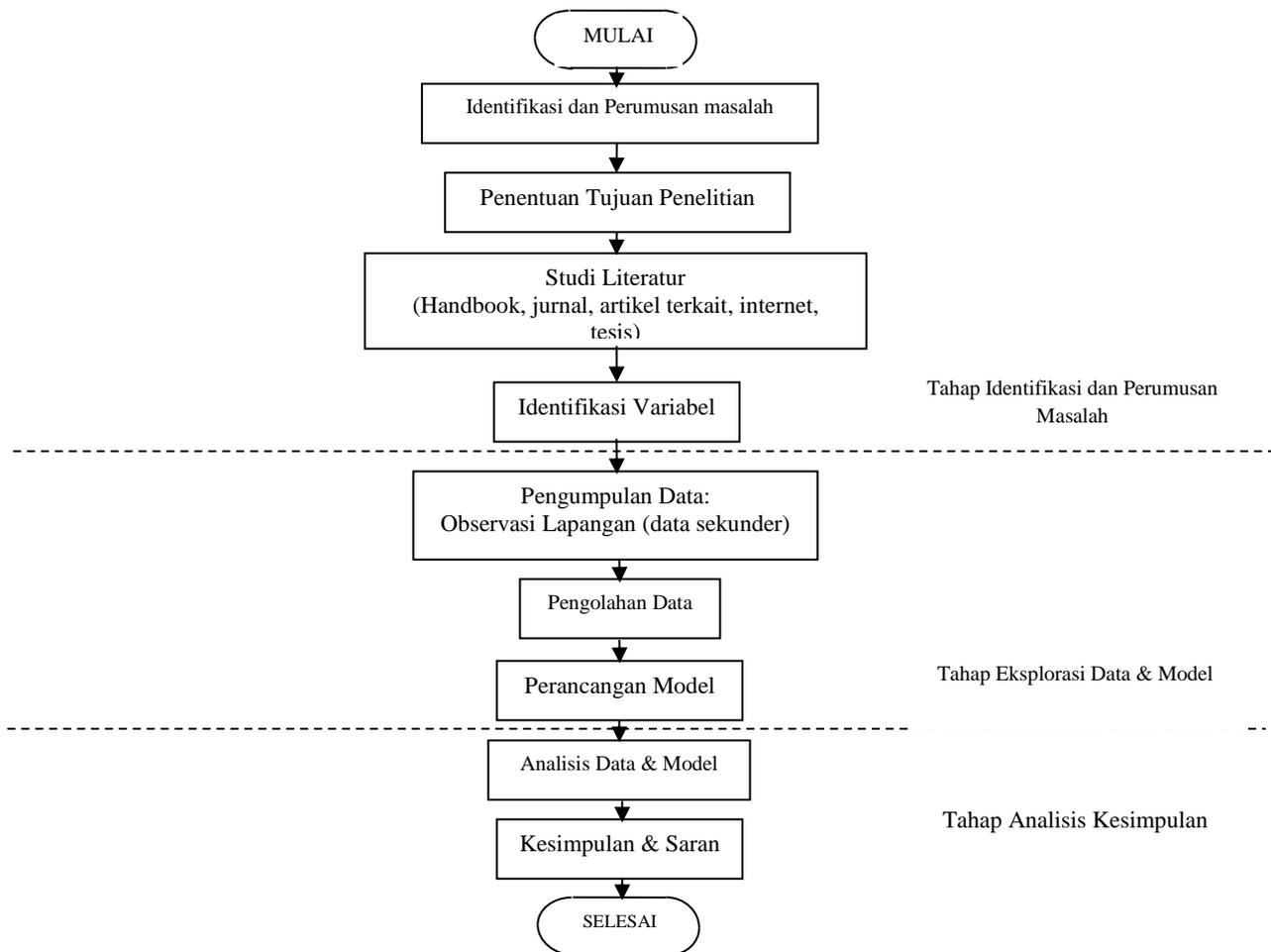
METODOLOGI PENELITIAN

Pada pembahasan metodologi penelitian ini akan diberikan suatu gambaran kerangka dan tahapan penelitian yang tersusun secara sistematis disertai detail proses yang terdiri dari langkah-langkah penelitian yang berhubungan mulai awal hingga akhir.

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini dibuat untuk memberikan penjelasan mengenai alur pola pikir sistematis yang berusaha mengintegrasikan konsep dan ide penelitian baru. Berikut merupakan gambaran kerangka penelitian yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

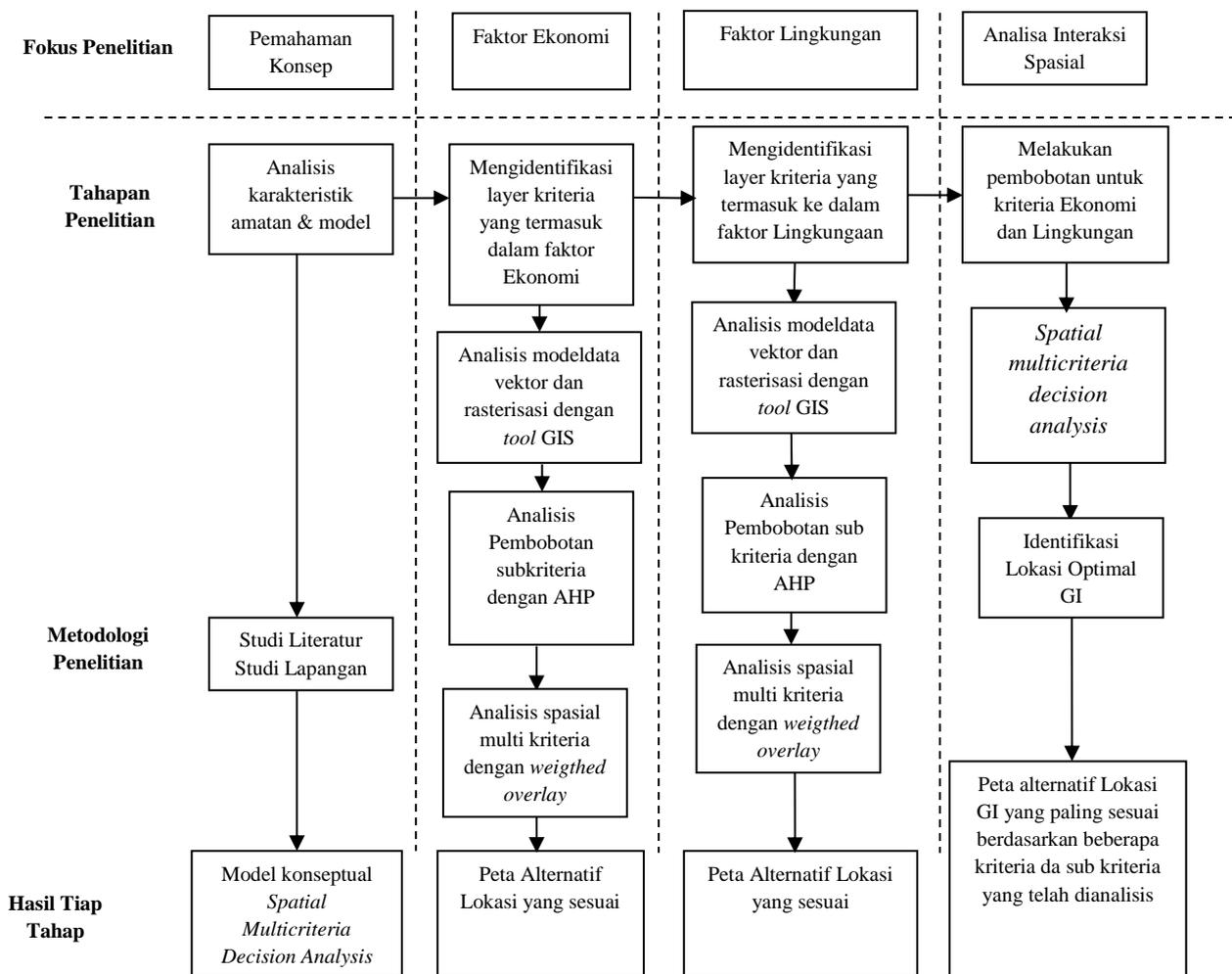
Kerangka penelitian dimulai dari tahap identifikasi dan perumusan masalah sebagai langkah awal. Tahap awal ini disajikan lebih rinci pada Bab Latar Belakang. Selanjutnya untuk pengumpulan data, pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari referensi jurnal dan internet. Adapun dalam pengambilan data yang berkaitan dengan pengisian pembobotan nilainya didapat dari pengisian kuisioner dan metode *FGD (Forum Group Discussion)*. Pengolahan data dan perancangan model dilakukan sepenuhnya di software ArcGIS. Analisis data dan model dilakukan dengan menerapkan metode verifikasi dan *face validation*.



Gambar 3. 1 Alur kerangka penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini secara langsung mengarah pada proses & fokus pembahasan serta cara analisis yang digunakan. Penelitian yang dikerjakan terdiri dari beberapa tahapan yaitu (1) Pemahaman Konsep, (2) Pengolahan Layer Kriteria, (3) Pembobotan menggunakan *AHP & weighed Overlay*, (4) Menganalisis alternatif lokasi yang optimal untuk gardu induk. Beberapa tahapan tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Alur tahapan penelitian

Pengambilan data yang dibutuhkan akan berfokus pada kriteria-kriteria yang berhubungan dengan sesuai atau tidak lokasi GI ditempatkan di daerah Jawa Timur mengingat kondisi penduduk Jawa Timur yang padat dan dinamis disertai dengan terdapatnya berbagai industri manufaktur yang tersebar hampir di setiap kota di Jawa Timur.

Langkah analisis seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.2 digunakan sebagai representasi pemahaman sistem nyata di lapangan. Sistem realita tersebut dapat dipahami melalui sebuah studi lapangan dan didukung oleh studi literatur atau pustaka. Setelah kondisi realita dipahami secara menyeluruh, diperlukan analisis

data vektor dan raster untuk mengolah layer kriteria yang didapatkan. Setelah itu dilakukan analisis interaksi spasial berupa evaluasi penempatan gardu induk.

Keluaran dari penelitian ini adalah berupa informasi peta yang menunjukkan alternatif lokasi optimal untuk penempatan Gardu Induk sehingga dapat digunakan untuk perencanaan jaringan distribusi selanjutnya. Berikut akan dijelaskan secara sederhana ide serta fokus penelitian yang akan dilakukan.

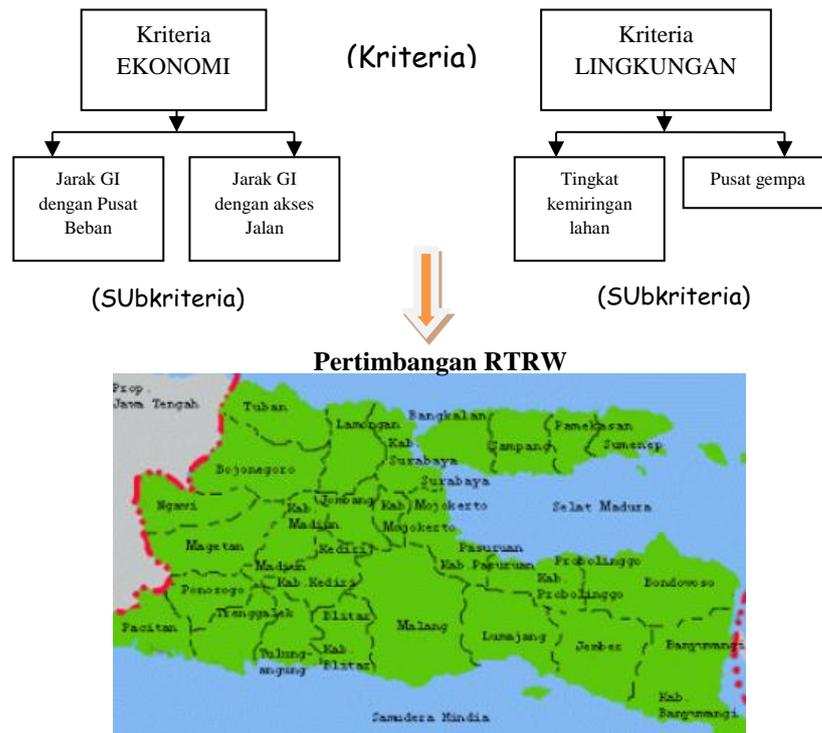
Fokus Penelitian :

1. Analisis Layer Kriteria Ekonomi dan Lingkungan di Jawa Timur

Identifikasi kriteria-kriteria yang berpengaruh pada kesesuaian lokasi GI menjadi faktor kunci dalam penelitian ini. Kriteria yang diambil dalam penelitian ini adalah sub kriteria yang berhubungan dengan kriteria Ekonomi dan Lingkungan. Sub kriteria yang berhubungan dengan kriteria Ekonomi seperti akses jalan dan lokasi pusat beban. Sedangkan sub kriteria yang berhubungan dengan kriteria lingkungan adalah tingkat kemiringan lahan dan potensi gempa. Layer –layer kriteria tersebut dianalisis menggunakan software ArcGIS 10.1 dengan menggunakan fasilitas ArcToolbox di dalamnya. Selain kriteria Ekonomi dan Lingkungan, harus dipertimbangkan pula untuk menentukan kriteria yang menjadi konstrain dalam penelitian ini seperti kriteria RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) di Jawa Timur.

2. Pembobotan Kriteria menggunakan metode *AHP*

Pembobotan kriteria-kriteria dapat dilakukan secara terpisah diluar dari proses analisis layer kriteria. Pembobotan ini disesuaikan dengan preferensi para ahli dan studi pustaka yang digunakan. Hasil dari pembobotan ini diusahakan tidak melebihi nilai inkonsistensi sebesar 10% (0,1). Pembobotan tersebut akan mempengaruhi hasil akhir dari penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini, pembobotan dilakukan terlebih dahulu pada sub-sub kriteria yang telah ditentukan, kemudian beralih ke pembobotan kriterianya. Gambar 3.3 berikut akan menjelaskan konsep spasial yang digunakan.



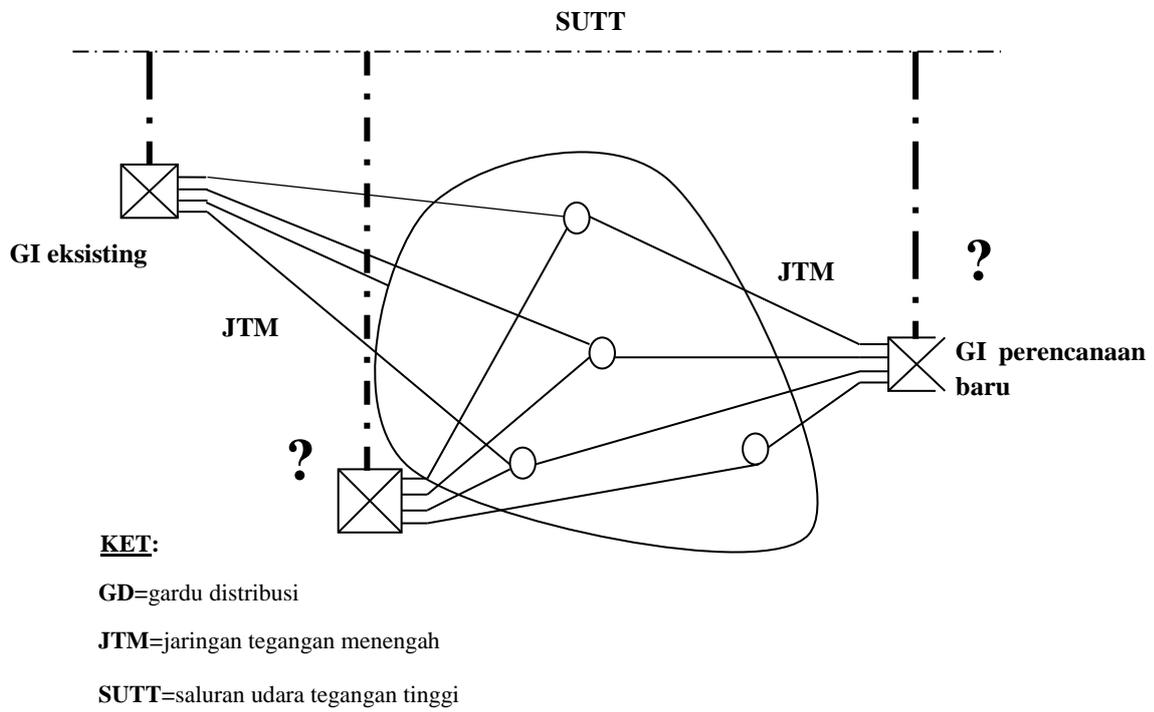
Gambar 3. 3 Konsep spasial yang digunakan

3. Analisis Interaksi Spasial

Penempatan GI yang tepat ini akan memberikan keuntungan dana investasi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang rendah, tegangan pelayanan yang baik, serta rugi-rugi daya yang dapat diperkecil. Adapun pertimbangan penempatan lokasi GI berdasarkan faktor berikut:

- jarak GI dengan pusat beban,
- luas lokasi GI serta peruntukan lahan lokasi GI,
- interaksi spasial dengan lingkungan, serta,
- kriteria konstrain seperti lahan kritis dan RTRW.

Gambar 3.4 berikut merupakan gambaran penempatan lokasi gardu induk:



Gambar 3. 4 Ilustrasi penempatan Gardu Induk

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan menyampaikan secara spesifik langkah-langkah pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menemukan solusi penyelesaian dalam analisis penentuan lokasi optimal Gardu Induk. Langkah-langkah pengumpulan data terdiri dari profil lokasi objek amatan, penjelasan layer-layer kriteria penentu lokasi Gardu Induk, identifikasi kebutuhan 35.000MW untuk Indonesia. Dan untuk tahap pengolahan data terdiri dari penentuan alternatif lokasi Gardu Induk dan pemilihan lokasi optimal di area objek amatan Jawa Timur. Skala peta keseluruhan yang digunakan adalah 1:25.000.

4.1 Lokasi Objek Amatan

Lokasi yang dijadikan objek penelitian ini merupakan area Jawa Timur yang memiliki luas wilayah 47.922 km² dengan jumlah penduduk mencapai 38.847.561 jiwa (BPSJ, 2016). Jawa Timur memiliki wilayah terluas di antara 6 provinsi di Pulau Jawa dan memiliki jumlah penduduk terbanyak kedua di Indonesia setelah Jawa Barat. Jawa Timur dikenal sebagai pusat kawasan Timur Indonesia dan memiliki signnifikansi perekonomian yang berkontribusi sebesar 14,85% terhadap Produk Domestik Bruto Nasional.

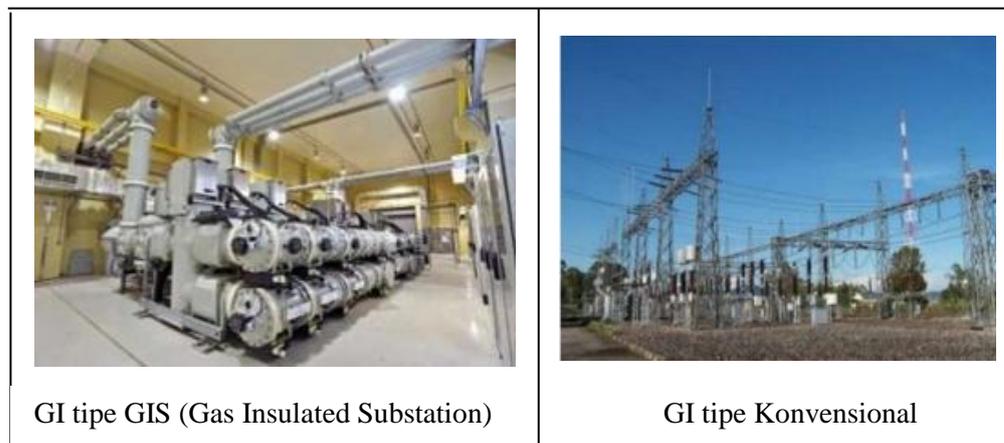
Koordinat lokasi objek penelitian ini berada di antara garis 111,0' BT hingga 114,4' BT dan Garis Lintang 7,12" LS dan 8,48 'LS. Lokasi penelitian meliputi area yang terdiri dari 38 kabupaten/kota.

4.2 Kriteria Keputusan

Kriteria keputusan merupakan standar penilaian atau aturan berdasarkan keputusan alternatif yang diperingkat sesuai preferensi (keinginan) individu (Jacek Malczewski, 1999). Pada bagian ini akan dibahas mengenai beberapa kriteria yang mempengaruhi alternatif lokasi Gardu Induk.

4.2.1 Jenis Gardu Induk

Penjelasan mengenai jenis gardu induk ini akan memberikan informasi berkaitan dengan luas lahan yang dibutuhkan. Terdapat 2 jenis Gardu Induk (GI) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 yang banyak digunakan di Indonesia yaitu GI tipe konvensional dan GI tipe GIS (PLN LITBANG, 2004). GI tipe konvensional memerlukan lahan seluas 20.000 s/d 25.000 m² karena setiap bay di serandang hubung membutuhkan lahan 14x85 m² sekitar 1.190 m². Sedangkan untuk GI tipe GIS membutuhkan lahan yang relatif tidak begitu luas yaitu 3.000 m² karena serandang hubungnya hanya membutuhkan luas lahan sekitar 20x40 m².



Gambar 4.1 Tipe Gardu Induk

Gardu induk dapat mentransformasikan daya listrik :

- Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500KV/150KV)
- Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150KV/70KV)
- Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150KV/20KV, 70KV/20KV)
- Dengan frekuensi konstan (50 Hz) untuk frekuensi kerja listrik di Indonesia.

Untuk penelitian ini akan berfokus pada pengoptimalan lokasi GI tegangan tinggi ke tegangan menengah (150KV/20KV, 70KV/20KV).

4.2.2 Jarak GI dengan Pusat Beban

Jarak antara GI dengan pusat beban berhubungan erat dengan tegangan jatuh pelayanan. Sistem distribusi diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik ke pelanggan dengan mutu yang baik, yaitu tegangan jatuh pada ujung JTM adalah maksimum 5%.

Tegangan jatuh pada JTM (Jaringan Tegangan Menengah) dapat dihitung dengan persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$d = \frac{\Delta U}{U} = 100 \frac{PL}{U^2} (r + xtg\phi) \quad (4.1)$$

Dimana :

d = tegangan jatuh dalam %

P = beban dalam MW

U = tegangan sistem (kV)

L = jarak antara lokasi GI dengan pusat beban (km)

r = nilai resistansi penghantar Ohm/km

x = nilai reaktansi penghantar Ohm/km

ϕ = sudut daya

Rincian perhitungan menggunakan rumus di atas adalah sebagai berikut:

$$d = \frac{\Delta U}{U} = 100 \frac{PL}{U^2} (r + xtg\phi)$$

Dalam kasus ini, nilai dari tegangan jatuh (d) sudah diketahui sebesar 5%. Kemudian nilai P (beban) juga dapat diketahui dari grafik sebesar 10 MW. Nilai beban ini adalah nilai beban yang berada pada masing-masing penyulang dengan tegangan sistem (U) 20 kV. Nilai dari reaktansi dengan penampang SKTM 240mm² adalah 0,1 Ohm/km dan nilai hambatan yang melekat adalah 0,140Ohm/km, sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

$$d = \frac{\Delta U}{U} = 100 \frac{PL}{U^2} (r + xtg\phi)$$

$$5\% = 100 \frac{10MW.L}{(20kV)^2} (0,140 + 0,1tg\theta)$$

$$2000 = 1000. (0,22). L$$

$$L = 9km$$

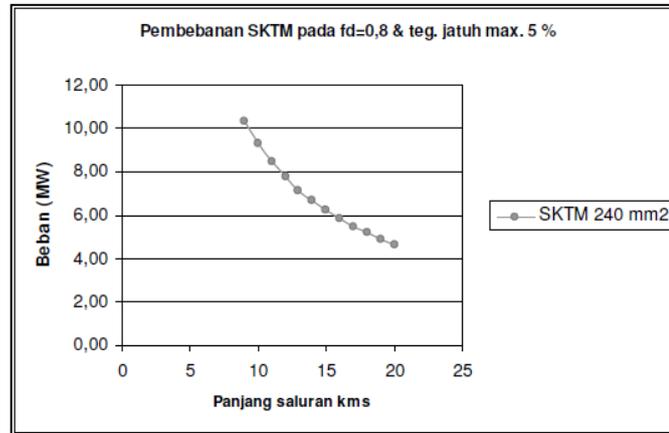
Dari perhitungan diatas didapatkan jarak prioritas gardu induk ke pusat beban dengan mempertimbangkan tegangan jatuh 5% adalah 9 km dari pusat beban.

Tabel 4.1 : Konstanta JTM

Konstanta JTM				
JTM	Penampang mm ²	r (30 ⁰ C) Ohm/km	R (50 ⁰ C) Ohm/km	x Ohm/km
SKTM (aluminium)	240	-	0,140	0,1
	150	-	0,231	0,1
	95	-	0,359	0,1
SUTM (aluminium alloy)	228	0,150	-	0,35
	150	0,234	-	0,35
	70	0,519	-	0,36
	35	1,003	-	0,36

Tabel 4.1 diatas merupakan data SKTM XLPE tipe NA2XSEYBY dan SUTM dengan penampang AAAC 228 & 10 mm² untuk saluran utama, dan 70 & 35 mm² untuk saluran percabangan.

Dengan batasan tegangan jatuh pada ujung JTM maksimum 5%, maka pembebanan maksimum yang diijinkan dapat dihitung dengan persamaan diatas dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.2.



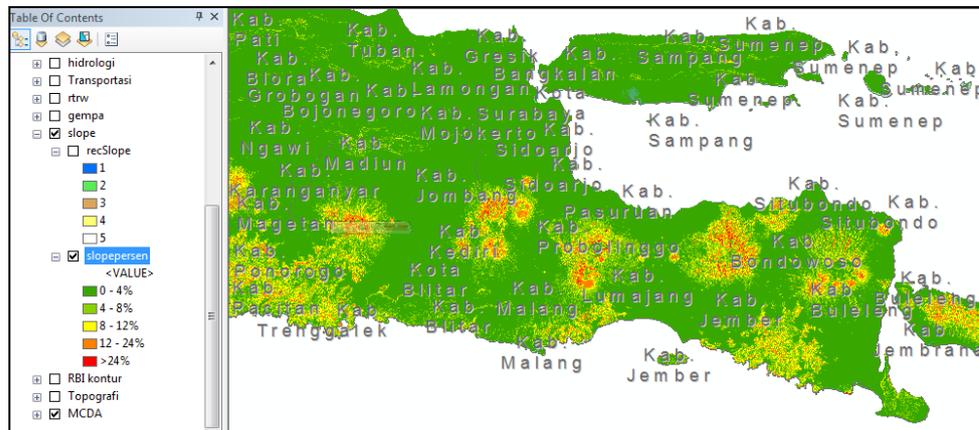
Gambar 4.2. Pembelian SKTM dengan tegangan jatuh 5%

4.2.3 Peta Tingkat Kemiringan Lahan (% Slope)

Data peta dasar mengenai tingkat kemiringan lahan diperoleh dari Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal). Sebagian wilayah Jawa Timur mempunyai kemiringan lereng 0-15% hampir di seluruh dataran rendah Provinsi Jawa Timur, sedangkan untuk kemiringan lereng 15-40% berada pada daerah perbukitan dan pegunungan, kemiringan lereng >40% berada pada daerah pegunungan (LPPD Jatim, 2015). Berdasarkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 62 tahun 2010 (PGJ, 2010) tentang Kriteria Kerusakan Lahan Penambangan Sistem Tambang Terbuka di Jawa Timur, persyaratan kelayakan lahan untuk pemukiman/industri adalah tidak lebih dari 8% sehingga untuk peruntukan tersebut kemiringan dasar galian dibatasi maksimum 8%. Gambar 4.3 akan menunjukkan peta kemiringan lahan Prov. Jatim.

Berikut merupakan rumus kemiringan lahan seperti pada persamaan 4.2:

$$\text{Kemiringan lereng} = \text{beda tinggi/jarak} \times 100\% \quad (4.2)$$



Gambar 4.3 Peta Kemiringan Lahan Provinsi Jawa Timur

Pada penelitian ini tingkatan persentase kemiringan lahan dibagi menjadi 5 kelas seperti pada Gambar 4.3. Berikut merupakan klasifikasi kelas tersebut:

- | | |
|----------|------------------|
| 0 – 4% | : daratan datar |
| 4 – 8% | : daratan landai |
| 8 – 12% | : agak curam |
| 12 – 24% | : curam |
| >24% | : sangat curam |

Pembagian kelas kemiringan lahan tersebut juga didasarkan pada referensi Buku Laporan Penyelenggaraan Pemerintah Daerah Prov Jawa Timur Tahun 2015. Penampakan peta kemiringan lahan sebelumnya didapatkan dari pengolahan Peta *Digital Elevation Modelling (DEM)* seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Peta Digital Elevation Modelling Prov. Jawa Timur

4.2.4 Peta Rencana Tata Ruang & Wilayah

Salah satu langkah analisis untuk melihat apakah lokasi penempatan Gardu Induk menjadi layak atau tidak adalah dengan mempertimbangkan Rencana Tata Ruang dan Wilayah sesuai lokasi penelitian. Lokasi penelitian ini meliputi wilayah Jawa Timur.

4.2.4.1 Peta Rencana Tata Ruang & Wilayah Jawa Timur

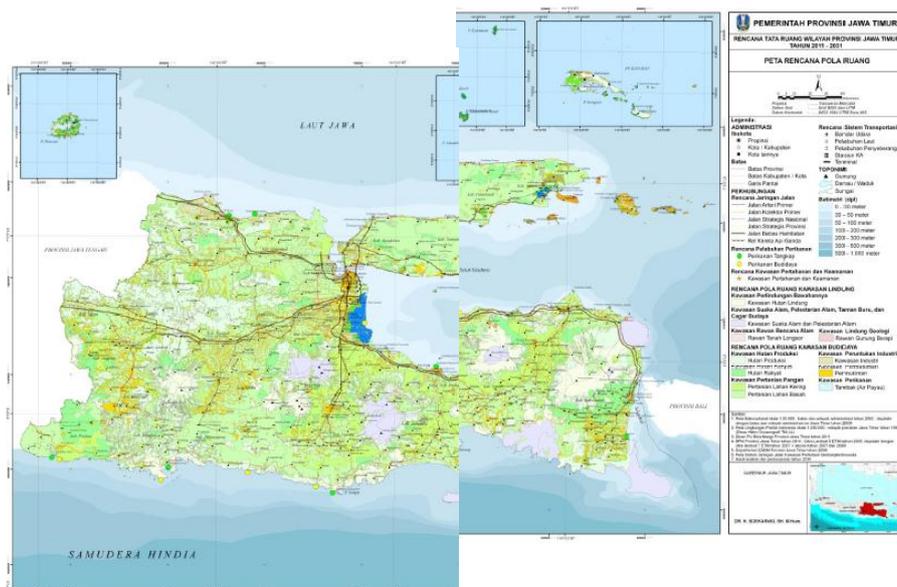
Pertimbangan Rencana Tata Ruang & Wilayah daerah Jawa Timur menjadi penting dalam analisis ini dikarenakan sebagai langkah analisis kesesuaian lahan untuk pemilihan lokasi Gardu Induk. Berikut pada tabel 4.2 disajikan gambaran penggunaan lahan eksisting berdasarkan buku Profil Tata Ruang Jawa Timur 2015 (BPPN, 2015).

Tabel 4.2. Penggunaan Lahan Eksisting Provinsi Jawa Timur

No.	Penggunaan Lahan	Eksisting (Ha)	Persentase
A.	KAWASAN LINDUNG		
1.	Hutan Lindung	314.720	6,58
2.	Rawa/Danau/Waduk	10.447	0,22
3.	Kawasan Suaka Alam, Pelestarian Alam		
	1.) Suaka Margasatwa	18.009	0,38
	2.) Cagar Alam	10.958	0,23
	3.) Taman Nasional	176.696	3,70
	4.) Taman Hutan Raya	27.868	0,58
	5.) Taman Wisata Alam	297	0,01
B.	KAWASAN BUDIDAYA		
1.	Kawasan Hutan Produksi	815.851	17,07
2.	Kawasan Hutan Rakyat	361.570	7,56
3.	Kawasan Pertanian		

	1.) Pertanian Lahan Basah	911.863	19,08
	2.) Pertanian Lahan Kering/Tegalan/Kebun Campur	1.108.628	23,19
4.	Kawasan Perkebunan	359.481	7,52
5.	Kawasan Pertanian	60.928	1,27
6.	Kawasan Industri	7.404	0,15
7.	Kawasan Permukiman	595.255	12,45
	TOTAL	4.779.9755	100

Berdasarkan Peta Rencana Pola Ruang Jawa Timur yang sudah mengalokasikan beberapa areanya untuk kawasan Hutan Lindung, Hutan Produksi, Hutan Rakyat, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Basah serta Tambak dan toponimi Gunung, Danau serta sungai, maka wilayah-wilayah tersebut menjadi yang harus dihindari atau wilayah konstrain untuk lokasi Gardu Induk. Identifikasi pola ruang di provinsi Jawa Timur ditunjukkan pada Gambar 4.5 yang merupakan Peta Rencana Pola Ruang Jawa Timur tahun 2011 – 2031.



Gambar 4.5 Peta Rencana Pola Ruang Jawa Timur Th. 2011-2031

4.2.4.2 Peta Lahan Kritis

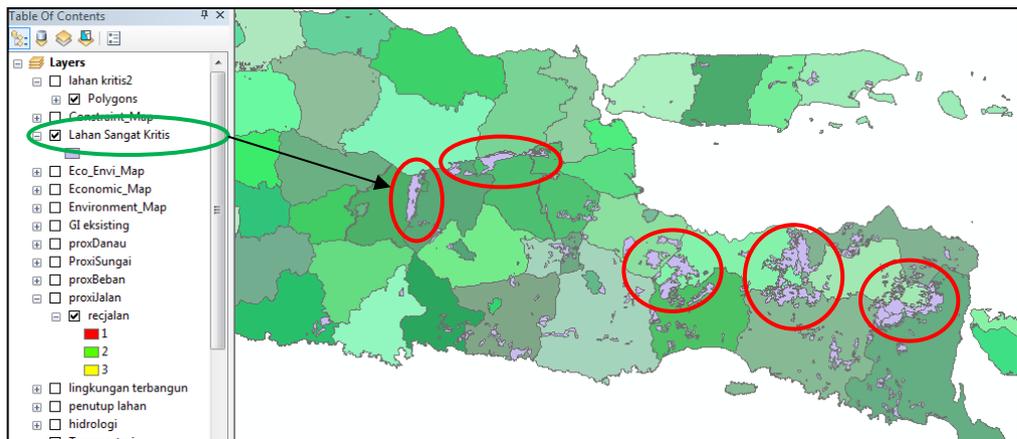
Lahan kritis merupakan kondisi suatu lahan yang telah mengalami degradasi sehingga lahan tersebut tidak bisa menjalankan fungsinya. Jika lahan kritis dibiarkan dan tidak ada perlakuan perbaikan, maka keadaan itu akan membahayakan kehidupan manusia, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Maka dari itu, pemerintah Indonesia mengambil kebijakan, yaitu melakukan rehabilitasi dan konversi lahan-lahan kritis di Indonesia. Lahan kritis di Jawa Timur merupakan salah satu konstrain yang harus dihindari saat melakukan pemilihan lokasi Gardu Induk.

Tabel 4.3 berikut memberikan gambaran data luas dan penyebaran lahan kritis yang dirilis pada Buku Statistik Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup Tahun 2015.

Tabel 4.3. Luas dan Penyebaran Lahan Kritis

No.	Provinsi	Luas Lahan Kritis Hasil Inventarisasi					
		Tahun 2011			Tahun 2013		
		Tingkat Kekritisan Lahan		Jumlah	Tingkat Kekritisan Lahan		Jumlah
		Kritis	Sangat kritis		Kritis	Sangat kritis	
		(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
1	Jawa Timur	506.336	102.557	608.913	485.042	736.877	1.221.919
2	Jawa Barat	415.806	68.139	483.944	302.014	40.962	342.966
3	Jawa Tengah	149.976	9.877	159.853	105.633	5.210	110.843
4	Banten	56.753	10.750	67.503	33.239	3.716	36.955
5	D.I Yogyakarta	33.088	471	33.559	25.272	845	26.117

Dari data di atas, lahan yang tergolong “**Sangat Kritis**” mengalami peningkatan luas area. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan mengambil peta lahan yang termasuk ke dalam golongan “**Sangat Kritis**” menjadi peta dasar (*basemap*) untuk dimasukkan ke kategori “*Constraint*”. Peta dasar lahan kritis akan ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.

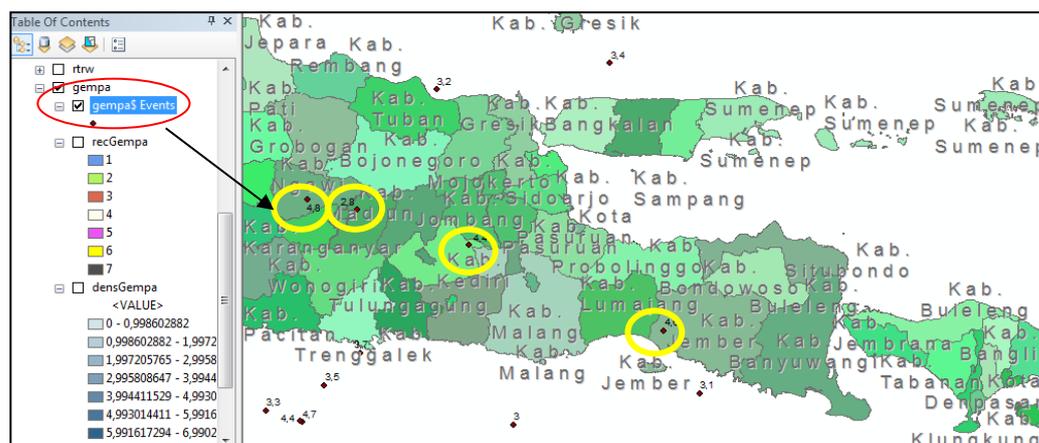


Gambar 4.6 Peta Lahan kategori Sangat Kritis di Jawa Timur

4.2.5 Peta Titik Gempa

Resiko seismik⁷ yang rendah menjadi salah satu kriteria yang dapat diterima untuk pemilihan lokasi Gardu Induk. Efek dari gempa bumi⁸ dapat menyebabkan beberapa dampak kerugian meliputi: 1.) Potensi kerusakan selama gempa bumi, dengan termasuk kerugian modal, kerusakan lingkungan dan 2.) Keandalan gardu induk. Daerah yang memiliki histori terkena dampak dengan intensitas gempa yang cukup tinggi menjadi pilihan terakhir untuk dimasukkan dalam kriteria lokasi optimal bagi Gardu Induk. Data historis titik gempa didapatkan dari data BMKG. Data selengkapnya akan dijelaskan secara lengkap pada lampiran.

Peta pusat gempa ditunjukkan pada Gambar 4.7 di bawah ini.



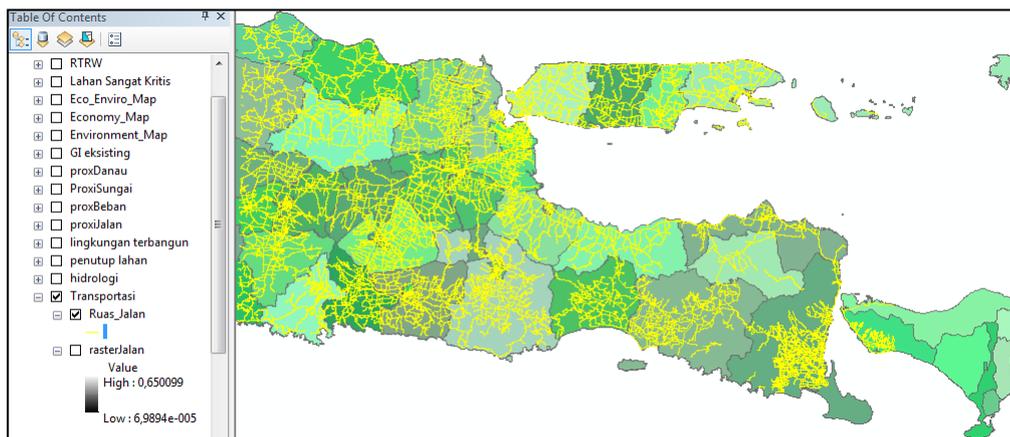
Gambar 4.7 Peta Historis Pusat Gempa

4.2.6 Peta Kedekatan dengan Jalan

Ketersediaan atau kedekatan dengan rute transportasi seperti Jalan merupakan kriteria yang dapat diterima karena digunakan untuk fasilitas pergerakan peralatan dan suku cadang selama proses konstruksi berlangsung. Pertimbangan jarak kedekatan dengan jalan didasarkan pada sumber jurnal⁹ dan ahli (Engineering Division PT PJB UP Muara Tawar). Berikut merupakan tingkatan jangkauan jarak Gardu Induk ke jalan utama.

Jarak GI ke akses jalan utama/tol	: < 3 km	= Good Access
	: 3 – 5 km	= Medium Access
	: 5 – 10 km	= Poor Access

Peta dasar berupa akses ruas Jalan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Peta Ruas Jalan Prov. Jawa Timur

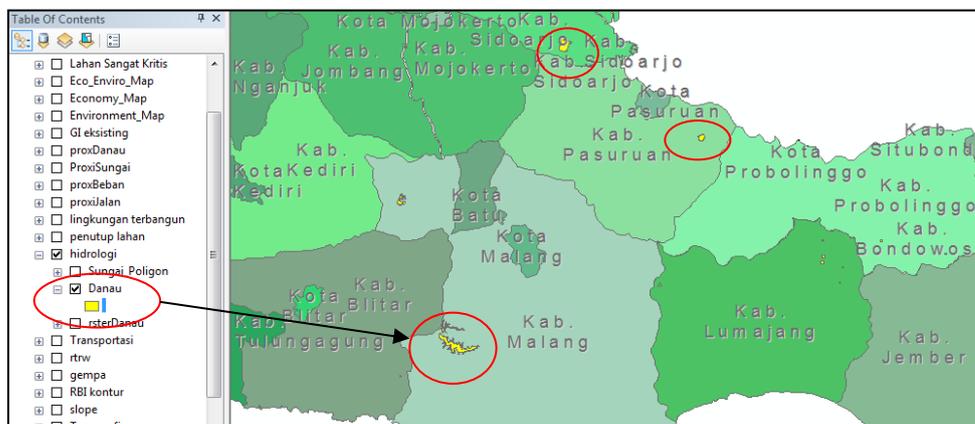
4.2.7 Peta Kedekatan dengan Danau

Danau merupakan salah satu sumber daya alam akuatik yang terbentuk dari kumpulan air yang dikelilingi daratan. Danau memiliki manfaat yang sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia baik sebagai pasokan air untuk keperluan kota, saran rekreasi maupun untuk kepentingan satwa liar disekitar. Dalam rangka meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan melindungi ekosistem danau serta fungsinya, menentukan jarak aman minimum dari area danau menjadi konsentrasi penelitian ini. Pada kasus penelitian ini, peneliti mengambil jangkauan

kedekatan jarak GI dengan danau berdasarkan pada data jurnal¹⁰ serta kesepakatan para ahli, dikarenakan pada “Buku 5 PLN: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah” belum ada aturan yang mengatur hal tersebut. Berikut merupakan tingkatan jangkauan jarak Gardu Induk ke Danau.

- Jarak GI ke Danau : 200 - 1000 meter = Tidak sesuai
- : 1000 - 2000 meter = kurang sesuai
- : > 2000 meter = sangat sesuai

Berikut merupakan peta area danau di Provinsi Jawa Timur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Peta Area Danau di Prov. Jawa Timur

4.2.8 Peta Kedekatan dengan Sungai

Jarak antara sungai dengan Gardu Induk menjadi salah satu faktor penting untuk menghindari banjir yang berasal dari luapan sungai. Data jangkauan jarak aman GI dengan sungai didapat dari data historis BPBD Jatim. Perda RTRW Provinsi Jatim juga mengatur tentang kawasan sempadan sungai meliputi daratan sepanjang tepian sungai besar tidak bertanggung di luar kawasan permukiman dengan lebar minimal 100 meter dari tepi sungai. Berikut merupakan *sampling* data historis kejadian bencana banjir di Jawa Timur yang ditampilkan pada tabel 4.4.

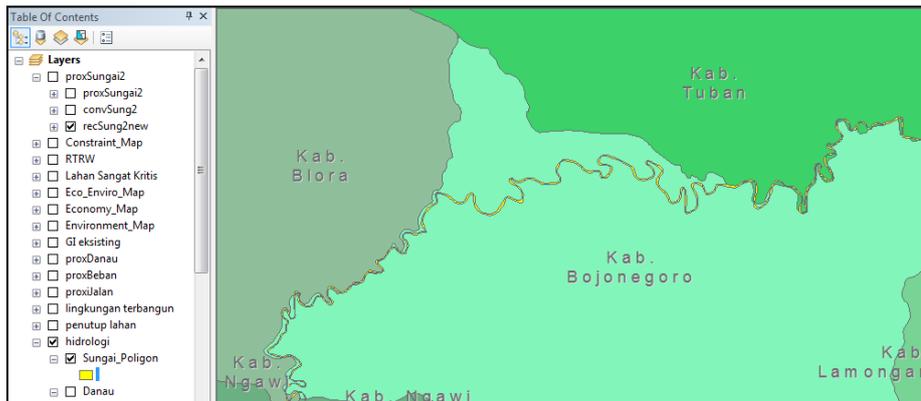
Tabel 4.4. Data Historis Bencana Banjir Jatim 2016

No.	Daerah Terdampak	DAS	Radius Luapan Banjir	Kerugian
1.	Banjir Bojonegoro (20 September 2016) (okezone.com)	Bengawan Solo	5 km	- 5.086 ha tanaman padi terendam - 9.414 KK terdampak
2.	Banjir Malang (15 September 2016) (beritajatim.com)	Brantas	2 km	- 42 KK - Tebing longsor di 5 titik
3.	Banjir Trenggalek (24 Maret 2016) (jawapos.com)	Sungai Gede	3 km	- longsor

Berikut merupakan tingkatan jangkauan jarak GI dengan akses sungai:

Jarak GI ke sungai (km)	: 1 – 4	= Bad area
	: 4 – 5	= Medium area
	: >5	= Good Area

Peta dasar DAS Bengawan Solo dan DAS Brantas dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.

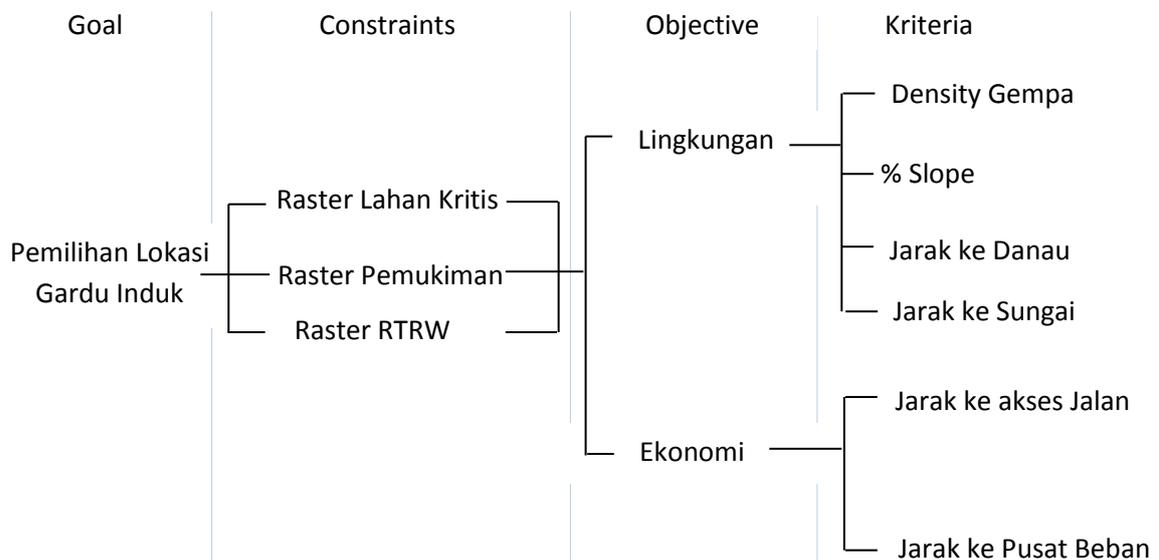


Gambar 4.10 Peta DAS Bengawan Solo

4.3 Penentuan Alternatif Lokasi Gardu Induk

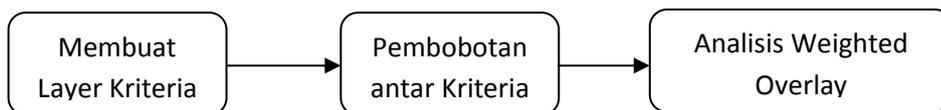
Dalam proses penentuan alternatif lokasi Gardu Induk, dibutuhkan peranan dari beberapa atribut spasial seperti yang telah diuraikan pada sub bab diatas. Atribut spasial yang berbeda tersebut melekat pada setiap lokasi. Atribut itulah yang disebut dengan kriteria. Dalam kasus ini, atribut-atribut yang telah diidentifikasi diolah menjadi layer kriteria melalui bantuan tool ArcGIS 10.1 dengan menggunakan metode *Spatial Multicriteria Decision Analysis*. Dalam proses pemilihan alternatif lokasi Gardu Induk, peneliti dalam kasus ini menggunakan analisa *Weighted Overlay* untuk memberi bobot setiap layer kriteria sesuai dengan preferensi ahli. Pemberian bobot pada proses analisa *weighted overlay* menggunakan skala 0 – 9. Kriteria yang diberi bobot tersebut dikelompokkan menjadi 2 kategori *Objective* yaitu Lingkungan dan Ekonomi. Berikut merupakan skema hierarki yang dibangun dari 2 kategori *Objective* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Kriteria-kriteria yang telah dibangun diolah melalui proses *digitation* menjadi bentuk vektor (*point, polyline* dan *polygon*) dan kemudian diolah ke dalam bentuk raster sehingga nantinya mampu dianalisis melalui *ArcToolbox* menjadi model sistem informasi geografis. Sebelumnya data-data kriteria yang telah ada di proyeksikan ke koordinat sistem *WGS_1984 Universal Transverse Mercator UTM Zone 49 S* dikarenakan sistem koordinat tersebut merupakan koordinat area Jawa Timur.



Gambar 4.11 Skema Hierarki Penelitian

Proses dalam membuat model *Spatial Multicriteria Decision Analysis* untuk menentukan lokasi GI adalah seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Alur Proses *Spatial MCDA*

4.3.1 Analisis Alternatif Lokasi Gardu Induk (*Environment*)

Proses pengolahan layer kriteria dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.1 yang dapat diintegrasikan dengan metode *spatial MCDA*. Proses pengolahan melalui software ArcGIS 10.1 akan merepresentasikan kondisi geografis aktual yang meliputi fenomena lingkungan, kontur daratan dan interaksi spasial objek penelitian.

4.3.1.1 Pengolahan Data Layer Kriteria

Pengolahan layer dalam kasus ini memiliki format dasar berupa *shapefile*, yaitu bentuk vektor yang telah dibuat mewakili masing-masing kriteria pengambilan keputusan. Layer-layer kriteria dibagi menjadi 2 bagian, yaitu layer konstrain dan layer faktor. Layer konstrain berupa nilai biner 0 dan 1. Pada kasus ini layer pembatas adalah data raster lahan kritis, pemukiman dan RTRW. Sedangkan untuk layer-layer faktor pada *objective* Lingkungan adalah :

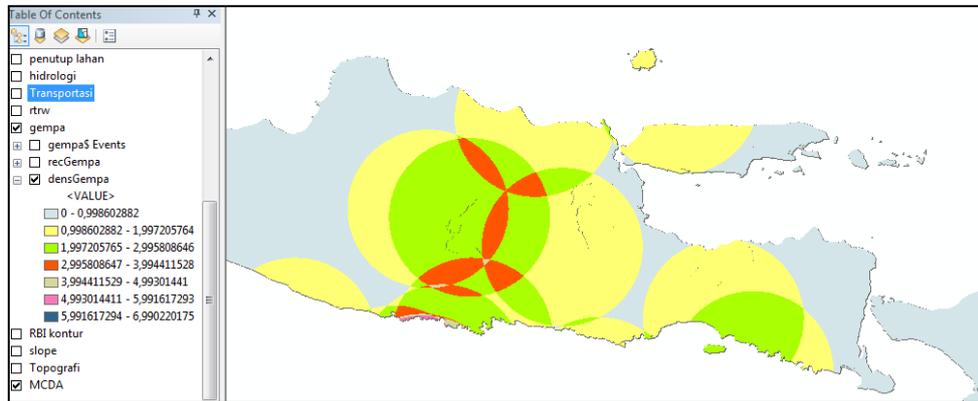
- a. Density Gempa
- b. Persentase Slope
- c. Jarak GI ke danau
- d. Jarak GI ke sungai

4.3.1.1.1 DENSITY GEMPA

Layer density gempa diproses melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Penentuan koordinat *point* untuk layer gempa.
2. Penentuan tingkat kerapatan (*density*) gempa.

Data historis kejadian gempa di Jawa Timur akan ditampilkan lengkap di lampiran. Proses penentuan kerapatan (*density*) gempa akan menghasilkan sebuah tampilan layer yang memberi info besarnya potensi gempa dalam satuan Skala Richter. Output dari proses *density point* seperti pada Gambar 4.13 berupa data raster yang nantinya akan diolah pada proses *weighted overlay* bersama dengan kriteria-kriteria yang lainnya.



Gambar 4.13 *Output Point Density Gempa*

Sebelum diolah pada proses pembobotan (*weighted overlay*), output *point density* di *reclassify* terlebih dahulu. Proses *reclassify* adalah proses pengelompokkan atau pembagian kelas yang berupa output dataset raster. Berikut merupakan skema *model builder* pada proses *reclassify* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 *Model Builder* untuk proses *reclassify*

4.3.1.1.2 PERSENTASE *SLOPE*

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.2.3, nilai atribut dari persentase slope (kemiringan lahan) dibagi menjadi 5 kelas yaitu:

0 – 4%	: daratan datar
4 – 8%	: daratan landai
8 – 12%	: agak curam
12 – 24%	: curam
>24%	: sangat curam

Setelah mendapatkan output raster *slope* (kemiringan lahan), dataset raster tersebut diolah menjadi data *reclassify* (raster). Data *reclassify* ini memiliki nilai yang mewakili karakteristik *slope* yang diinginkan. Berikut merupakan skema *model builder* proses *reclassify Slope* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 *Model Builder* untuk proses *Reclassify Slope*

4.3.1.1.3 JARAK GARDU INDUK DENGAN DANAU

Layer danau di proses melalui analisis *multiple ring buffer* dengan membaginya ke dalam beberapa lapis radius yaitu radius 200 – 1000 meter pertama merupakan radius lokasi yang tidak diinginkan karena berada dekat dengan area danau yang dikhawatirkan akan mengganggu ekosistem danau. Sedangkan untuk jarak kedua dan seterusnya merupakan radius lokasi yang memiliki nilai yang semakin besar dan menjauhi area danau. Lokasi yang memiliki radius jarak terjauh menjadi lokasi yang paling sesuai untuk penempatan GI dilihat dari sisi kedekatan dengan danau. Berikut merupakan model proses *buffer* pada *Model Builder* seperti pada Gambar 4.16.

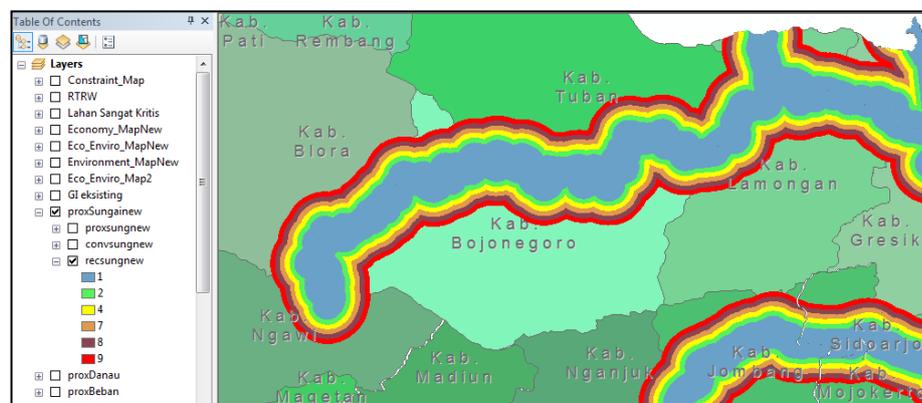


Gambar 4.16 *Model Buffer* pada *Model Builder*

4.3.1.1.4 JARAK GARDU INDUK DENGAN SUNGAI

Layer jarak GI ke sungai diolah dalam beberapa tahap yaitu melalui proses *Multiple Ring Buffer*, *Conversion Feature to Raster* dan *Reclassify*.

Saat proses *Multiple Ring Buffer* dilakukan, jarak GI ke sungai disesuaikan berdasarkan nilai kesesuaian terhadap jarak aman GI dari sungai. Untuk menghindari luapan banjir dari DAS Bengawan Solo dan DAS Brantas, maka lokasi di jarak terdekat yaitu <3 km menjadi lokasi yang harus dihindari. Pada jarak >5 km menjadi lokasi yang sesuai untuk penempatan GI dikarenakan histori luapan banjir dari DAS Bengawan Solo tidak lebih dari 5 km. Berikut merupakan peta *output reclassify* untuk Jarak GI ke sungai seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 *Output Reclassify* jarak GI ke sungai

4.3.1.2 Pembobotan Kriteria melalui *AHP* dan *Weighted Overlay*

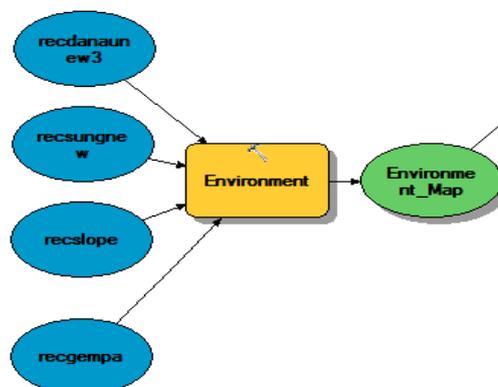
Kriteria-kriteria yang digunakan pada penelitian ini didapatkan melalui studi pustaka jurnal beserta penelitian-penelitian terdahulu. Kriteria keputusan yang digunakan pada *objective Environment* ini dibangun untuk menunjukkan kelayakan lokasi berdasarkan pandangan faktor lingkungan yang berpengaruh pada proses pemilihan lokasi Gardu Induk. Untuk mendukung analisis pemilihan lokasi GI, diikutsertakan variabel interaksi spasial seperti kriteria Jarak GI terhadap Sungai dan Jarak GI terhadap Danau. Kriteria-kriteria tersebut kemudian akan dinilai (dibobot) sesuai dengan preferensi para ahli. Dalam penelitian ini melibatkan para ahli kelistrikan dari PT PJB UP Muara Tawar, Bekasi untuk proses pembobotannya. Untuk langkah pengerjaan *AHP* secara lengkapnya di tampilkan dalam lampiran. Pada tahap ini ditentukan bobot dari masing-masing kriteria. Proses pembobotan dibantu oleh *software Expert Choice*. Output yang didapatkan adalah

ranking/urutan kriteria dengan tingkat bobot tertentu sesuai preferensi. Berikut ditunjukkan hasil pembobotan kriteria yang berhubungan dengan Lingkungan seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pembobotan Kriteria (*environment*)

No.	Kriteria	Hasil Pembobotan
1.	Density Gempa	50,1%
2.	Persentase Slope	27,8%
3.	Jarak GI dengan Danau	7,2%
4.	Jarak GI dengan Sungai	14,9%

Nilai inkonsistensi rasio dari proses pembobotan diatas adalah 0,00 yang menunjukkan bahwa konsistensi untuk penentuan bobot masing-masing kriteria masih terjaga dibawah standarnya yaitu dibawah 10% (0,1). Sehingga pembobotan kriteria tersebut menjadi valid dan dapat digunakan untuk analisis lanjutan. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *weighted overlay*. Hasil pembobotan kriteria dari AHP kemudian menjadi nilai input dalam analisis *overlay*. Untuk dapat melakukan analisis *overlay* diperlukan fasilitas *ArcToolbox* pada software ArcGIS 10.1. Dalam analisis ini, faktor penilaian dari para ahli dan sumber pustaka lainnya menjadi sangat berpengaruh pada *output overlay* yang dihasilkan. Berikut gambaran model *weighted overlay* yang dibuat melalui fasilitas *model builder* seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Model analisis *Spatial MCDA* menggunakan metode *Weighted Overlay*

Data berupa penilaian kriteria yang diambil dari preferensi para ahli dan studi pustaka menjadi nilai input pada metode *weighted overlay*. Data tersebut menjadi aturan pengambilan keputusan yang bisa disajikan dalam bentuk tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Penilaian Kriteria Keputusan

Aturan Keputusan				
No.	Kriteria Keputusan	Rentang atribut	Skala verbal	Skor
1.	Density gempa (50,1%)	0 – 0,99	Paling sesuai	9
		0,99 – 1,99	Kurang sesuai	4
		1,99 – 2,99	Kurang Sesuai	3
		2,99 – 3,99	Sangat kurang sesuai	1
		3,99 – 4,99	Tidak sesuai	0
		4,99 – 5,99	Tidak sesuai	0
		5,99 – 6,99	Tidak sesuai	0
2.	% Slope (27,8%)	0 – 4%	Paling sesuai	9
		4 – 8%	Sangat kurang sesuai	2
		8 – 12%	Tidak sesuai	0
		12 – 24%	Tidak sesuai	0
		>24%	Tidak sesuai	0
3.	Jarak GI dengan danau (meter) (7,2%)	200 – 1000	Sangat kurang sesuai	1
		1000 – 2000	Sangat kurang sesuai	2
		2000 – 3000	Kurang sesuai	4
		3000 – 4000	Sesuai	7

		4000 - 10000	Sangat sesuai	8
		10000-20000	Paling sesuai	9
4.	Jarak GI dengan sungai (km) (14,9%)	0 - 3	Sangat kurang sesuai	1
		3 - 4	Sangat kurang sesuai	2
		4 - 5	Kurang sesuai	4
		5 - 6	Sesuai	7
		6 - 7	Sangat sesuai	8
		7 - 8	Paling sesuai	9

Data tabel diatas merupakan penilaian kriteria keputusan yang telah dibobotkan sesuai preferensi para ahli dan sumber dari studi pustaka. Pembobotan diberi rentang skor 1 – 9. Pembobotan (*weighted overlay*) tersebut dilakukan saat membangun skema *model builder* di ArcGIS 10.1. Tampilan pembobotan secara lengkap akan disajikan di lampiran.

4.3.2 Analisis Alternatif Lokasi Gardu Induk (*Economy*)

Lokasi gardu induk dengan pertimbangan faktor ekonomi memiliki 2 (dua) kriteria yang berkaitan dengan interaksi spasial yaitu Jarak GI dengan akses jalan dan Jarak GI dengan pusat beban. Interaksi spasial dalam penelitian ini merupakan hubungan timbal balik yang saling mempengaruhi antara GI dengan pusat beban maupun antara GI dengan atribut akses jalan.

Proses pengolahan layer kriteria dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.1 yang dapat diintegrasikan dengan metode *spatial MCDA*.

4.3.2.1 Pengolahan Data Layer Kriteria

Layer kriteria yang berkaitan dengan faktor ekonomi diolah menggunakan metode AHP, kemudian hasil pembobotan dari 2 kriteria (Jarak GI dengan pusat beban dan Jarak GI dengan akses jalan) dianalisis dengan model pendekatan *weighted overlay* melalui tool *Model Builder* di dalam software ArcGIS 10.1.

akses jalan dibagi menjadi 3 kelas radius jarak. Radius pertama berada pada jangkauan <3 km merupakan radius yang paling sesuai. Untuk radius kedua dan selanjutnya berada pada jangkauan 3 – 5 km dan 5 – 10 km. Semakin jauh radius jarak Jalan dari GI maka semakin menurun kualitas kesesuaiannya.

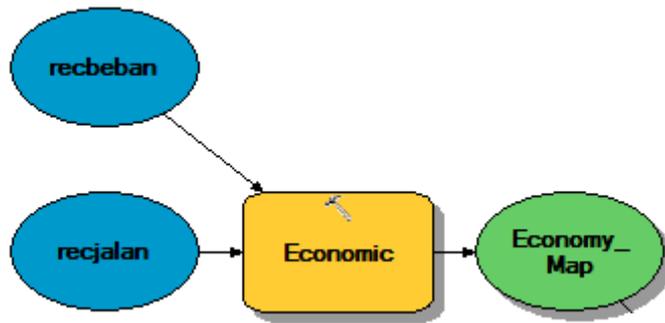
4.3.2.2 Pembobotan Kriteria melalui AHP dan Weighted Overlay

Kriteria-kriteria yang digunakan pada faktor ekonomi ini juga didapatkan melalui studi pustaka jurnal beserta penelitian-penelitian terdahulu. Untuk mendukung analisis pemilihan lokasi GI, diikutsertakan variabel interaksi spasial seperti kriteria Jarak GI terhadap pusat beban dan Jarak GI terhadap kedekatan akses jalan. Kriteria-kriteria tersebut kemudian akan dinilai (dibobot) sesuai dengan preferensi para ahli. Berikut ditunjukkan hasil pembobotan kriteria yang berhubungan dengan faktor Ekonomi seperti pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pembobotan Kriteria (Ekonomi)

NO.	Kriteria	Hasil Pembobotan
1.	Jarak GI dengan pusat beban	75%
2.	Jarak GI dengan akses jalan	25%

Nilai inkonsistensi rasio dari proses pembobotan diatas adalah 0,00 yang menunjukkan bahwa konsistensi untuk penentuan bobot masing-masing kriteria masih terjaga dibawah standarnya yaitu dibawah 10% (0,1). Sehingga pembobotan kriteria tersebut menjadi valid dan dapat digunakan untuk analisis lanjutan. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *weighted overlay*. Hasil pembobotan kriteria dari AHP kemudian menjadi nilai input dalam analisis *overlay*. Untuk dapat melakukan analisis *overlay* diperlukan fasilitas *ArcToolbox* pada software ArcGIS 10.1. Dalam analisis ini, faktor penilaian dari para ahli dan sumber pustaka lainnya menjadi sangat berpengaruh pada *output overlay* yang dihasilkan. Berikut gambaran model *weighted overlay* yang dibuat melalui fasilitas *model builder* seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Model analisis *Spatial MCDA* menggunakan metode *Weighted Overlay*

Data berupa penilaian kriteria yang diambil dari preferensi para ahli dan studi pustaka menjadi nilai input pada metode *weighted overlay*. Data tersebut menjadi aturan pengambilan keputusan yang bisa disajikan dalam bentuk tabel 4.8 berikut.

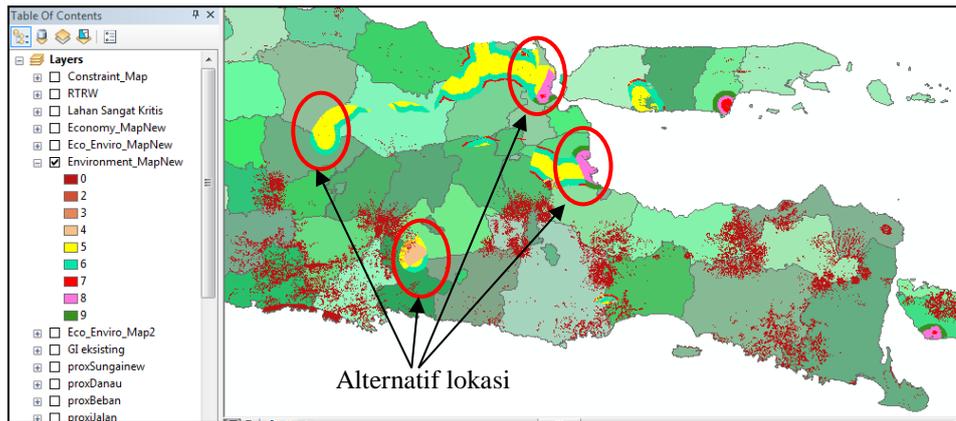
Tabel 4.8 Penilaian Kriteria Keputusan

Aturan Keputusan				
No.	Kriteria Keputusan	Rentang atribut	Skala Verbal	Skor
1.	Jarak GI dengan pusat beban (km) (75%)	0 – 9	Paling sesuai	9
		9 – 10	Sesuai	5
		>10	Sangat kurang sesuai	2
2.	Jarak GI dengan akses jalan (km) (25%)	<3	Paling sesuai	9
		3 – 5	Sesuai	7
		5 - 10	Kurang sesuai	4

Data tabel diatas merupakan penilaian kriteria keputusan yang telah dibobotkan sesuai preferensi para ahli dan sumber dari studi pustaka. Pembobotan diberi rentang skor 1 – 9. Pembobotan (*weighted overlay*) tersebut dilakukan saat membangun skema *model builder* di ArcGIS 10.1. Tampilan pembobotan secara lengkap akan disajikan di lampiran.

4.3.2.3 Identifikasi Alternatif Lokasi Terpilih

Setelah proses pembobotan selesai dilakukan, maka model analisis dapat dijalankan (*running*) sehingga menghasilkan peta kesesuaian lokasi GI berdasarkan faktor lingkungan seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Alternatif Lokasi GI yang terpilih (faktor Lingkungan)

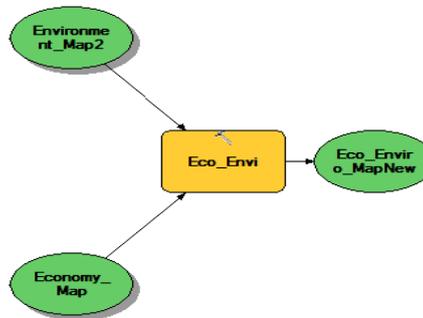
Sedangkan untuk faktor ekonomi dihasilkan peta kesesuaian lokasi GI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Alternatif Lokasi GI yang terpilih (faktor Ekonomi)

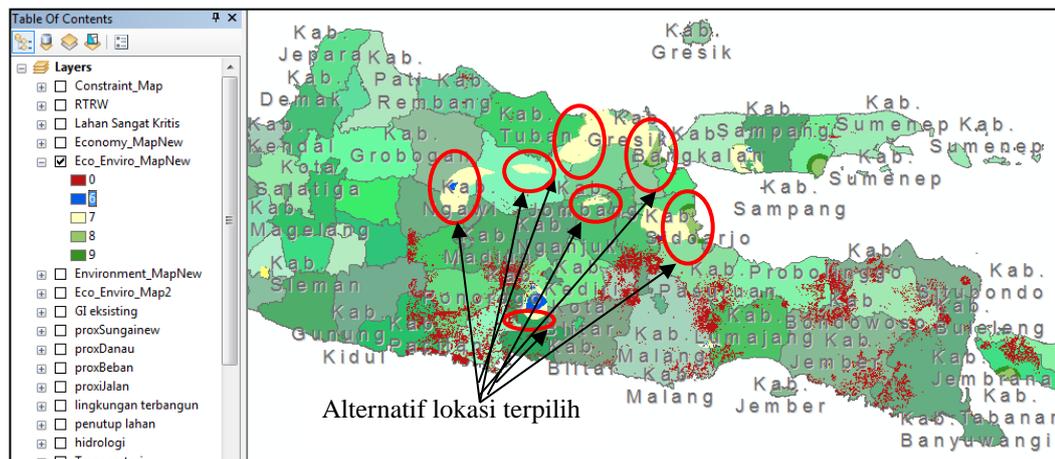
Alternatif lokasi GI yang telah terpilih dari kedua faktor tersebut kemudian diolah menggunakan *model builder* dengan metode *weighted overlay*. Berikut

merupakan metode *overlay* yang digunakan pada *model builder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Model analisis menggunakan metode *Weighted Overlay*

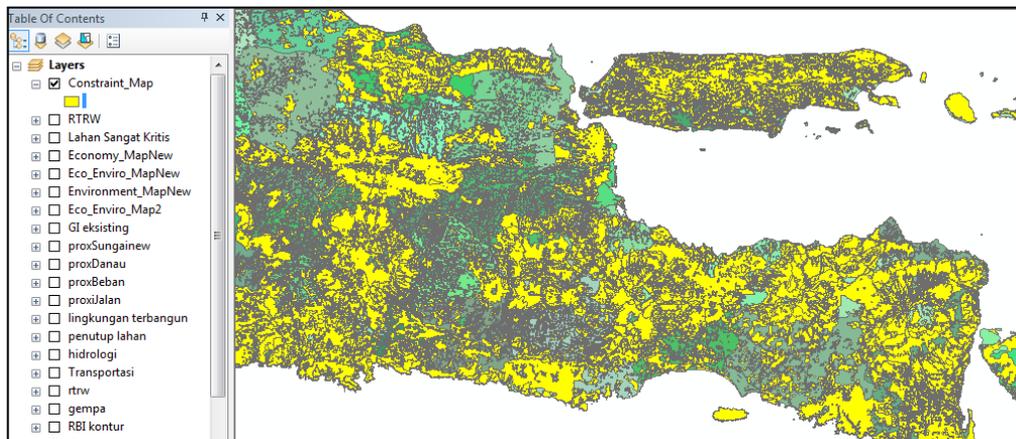
Peta kesesuaian lahan dari faktor ekonomi dan lingkungan masih harus dilakukan pembobotan sekali lagi untuk menghasilkan peta gabungan dari faktor ekonomi dan faktor lingkungan. Peta yang merupakan hasil akhir gabungan dengan mempertimbangkan output peta dari faktor ekonomi dan lingkungan dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. Output hasil akhir peta kesesuaian lokasi GI

Setelah didapatkan peta kesesuaian lokasi GI kemudian dilakukan identifikasi untuk mengetahui posisi spesifik dari lokasi tersebut. Identifikasi posisi harus sudah memasukkan unsur peta yang termasuk kedalam kategori konstrain

seperti peta RTRW, peta pemukiman dan peta lahan kritis. Peta-peta yang termasuk ke dalam golongan konstrain merupakan peta yang harus dihindari. Pada Gambar 4.25 berikut merupakan gambaran peta yang tergolong ke dalam area konstrain.



Gambar 4.25 Peta area Konstrain

Identifikasi lokasi alternatif yang sesuai lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.9. Alternatif lokasi dipilih berdasarkan kesesuaian lokasi dengan kriteria yang telah ditentukan. Luas lahan yang tersedia juga menjadi faktor penentu apakah alternatif tersebut bisa diterima atau tidak dengan spesifikasi kebutuhan lahan GI yaitu 3.000 m² atau 20.000m². Untuk pembobotan kriteria prioritas ditunjukkan pada Tabel 4.10. Sedangkan untuk hasil pembobotan kriteria prioritas akhir yang menjadi alternatif lokasi optimal untuk penempatan GI di Jawa Timur ditunjukkan pada Tabel 4.11. Pembobotan kriteria prioritas dapat dicari dengan menggunakan formula seperti pada rumus 4.3 berikut.

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j v_{ij} \quad (4.3)$$

Tabel 4.9 Alternatif Lokasi Terpilih

No.	Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih									
		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	Lokasi 6	Lokasi 7	Lokasi 8	Lokasi 9	Lokasi 10
1.	Density Gempa (SR/km ²)	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR	0,99 – 1,99 SR	0,99 – 1,99 SR	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR	0 – 0,99 SR
2.	% Slope	0 - 4 %	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%	0 – 4%
3.	Jarak GI ke danau (m)	2.000 – 3.000	10.000 – 20.000	10.000 – 20.000	10.000 – 20.000	10.000 – 20.000	3.000 – 4.000	2.000 – 3.000	10.000 – 20.000	4.000 – 10.000	4.000 – 10.000
4.	Jarak GI ke sungai (km)	7 - 8 km	7 – 8 km	6 – 7 km	7- 8 km	< 3km	5 – 6 km	7 – 8 km	7 – 8 km	6 – 7 km	0 – 3 km
5.	Jarak GI dengan pusat beban (km)	< 9 km	< 9 km	< 9 km	< 9 km	<9 km	< 9 km	< 9km	< 9km	< 9 km	< 9 km

6.	Jarak GI dengan akses jalan (km)	<3 km	< 3km	< 3km	< 3km	<3km	< 3km	<3 km	< 3km	< 3km	< 3km
7.	Luas Lahan (m2)	6.563.582	7.611.869	2.614.588	3.050.801	3.604.610	1.429.192	1.098.985	706.235	843.468	56.087.565
8.	Koordinat lokasi	Gresik (7°11'31,2"LS;112°34'40,8"BT)	Sidoarjo (7°25'12"LS;112°48'46,8"BT)	Pasuruan (7°35'42"L S;112°49'4,8"BT)	Lamongan (7°4'1,2"L S;112°24'43,2"BT)	Mojokerto (7°29'9,6"L S;112°32'16,8"BT)	Gresik (7°9'36"LS;112°32'60"BT)	Gresik (7°10'37,2"LS;112°32',31,2"BT)	Sidoarjo (7°25'37,2"LS;112°45'50,4"BT)	Pamekasan (7°7'51,6"L S;113°31'19,2"BT)	Sidoarjo & Pasuruan (7°32'9,6"L S;112°48'57,6"BT)

NO.	Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih		
		Lokasi 11	Lokasi 12	Lokasi 13
1.	Density Gempa (SR/km ²)	0 – 0,99 SR	0,99 – 1,99	0,99 – 1,99
2.	% Slope	0 – 4 %	0 – 4 %	0 – 4%
3.	Jarak GI ke danau (m)	4.000 – 10.000	10.000 – 20.000	10.000 – 20.000
4.	Jarak GI ke sungai (km)	0 -3 km	7 – 8 km	7 – 8 km
5.	Jarak GI dengan pusat beban (km)	0 -9 km	0 – 9 km	0 – 9 km
6.	Jarak GI dengan akses jalan (km)	< 3 km	< 3km	< 3km
7.	Luas Lahan (m ²)	68.595.041	5.965.793	3.185.210
8.	Koordinat lokasi	Gresik (7°5'45,6"LS; 112°36'3,6"BT)	Lamongan (7°4'30"LS; 112°17'56,4"BT)	Bojonegoro (7°9'50,4"LS; 112°4'55,8"BT)

Tabel 4.10 Pembobotan Kriteria Prioritas

No.	Bobot Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih									
		Bobot Lokasi 1	Bobot Lokasi 2	Bobot Lokasi 3	Bobot Lokasi 4	Bobot Lokasi 5	Bobot Lokasi 6	Bobot Lokasi 7	Bobot Lokasi 8	Bobot Lokasi 9	Bobot Lokasi 10
1.	Gempa (50,1%)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
2.	Slope (27,8%)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
3.	Danau (7,2%)	4	9	9	9	9	7	4	9	8	8
4.	Sungai (14,9%)	9	9	8	9	1	7	9	9	8	1
Total Bobot		8,64	9	8,851	9	7,808	8,558	8,851	9	8,779	7,736
5.	Beban (75%)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
6.	Jalan (25%)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Total Bobot		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

No.	Bobot Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih		
		Lokasi 11	Lokasi 12	Lokasi 13
1.	Gempa (50,1%)	9	9	9
2.	Slope (27,8%)	9	9	9
3.	Danau (7,2%)	8	9	9
4.	Sungai (14,9%)	1	9	9
Total Bobot		7,736	9	9
5.	Beban (75%)	9	9	9
6.	Jalan (25%)	9	9	9
Total Bobot		9	9	9

Tabel 4.11 Pembobotan Kriteria Prioritas (*Final*)

No.	Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih									
		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	Lokasi 6	Lokasi 7	Lokasi 8	Lokasi 9	Lokasi 10
1.	Lingkungan (58,3%)	8,64	9	8,851	9	7,808	8,558	8,851	9	8,779	7,736
2.	Ekonomi (41,7)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Total Bobot		8,79	9	8,913	9	8,305	8,742	8,,913	9	8,871	8,263

No.	Kriteria	Alternatif Lokasi Terpilih		
		Lokasi 11	Lokasi 12	Lokasi 13
1.	Lingkungan (58,3%)	7,736	9	9
2.	Ekonomi (41,7%)	9	9	9
Total Bobot		8,263	9	9

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan penjelasan dari data yang telah diolah pada bab sebelumnya.

5.1 Analisa Kriteria Keputusan

Pada penelitian ini telah ditentukan beberapa kriteria yang memiliki hubungan dengan proses pemilihan lokasi Gardu Induk yang dapat dikelompokkan kedalam beberapa faktor yaitu faktor Ekonomi dan faktor Lingkungan. Faktor ekonomi memiliki 2 kriteria yang mempengaruhi sedangkan untuk faktor lingkungan mempunyai 4 kriteria. Faktor lingkungan berhubungan dengan kelayakan lokasi dilihat dari pengaruh lingkungan terhadap posisi GI, sedangkan faktor ekonomis berkaitan dengan besarnya biaya operasional ataupun kerugian GI.

Kriteria keputusan yang berkaitan dengan faktor ekonomi meliputi jarak GI menuju pusat beban dan jarak GI menuju akses jalan. Dalam penelitian ini berusaha untuk menganalisa variabel interaksi spasial yang terjadi sehingga tidak hanya menganalisis atribut spasial saja. Seperti halnya lokasi GI yang tidak boleh terlalu jauh dengan pusat beban dikarenakan akan menyebabkan rugi-rugi daya (*power losses*) yang besar seiring dengan panjangnya saluran kabel Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang dibutuhkan. Selain pusat beban, terdapat kriteria keputusan lain yang akan mempengaruhi biaya operasional Gardu Induk yaitu jarak GI menuju ke akses jalan. Hal ini berkaitan erat dengan biaya yang muncul dari jarak tempuh dan proses angkut dari suku cadang serta alat berat saat konstruksi pembangunan GI dilakukan. Semakin jauh posisi lokasi GI dari akses jalan maka akan membuat penggunaan biaya operasional semakin tinggi.

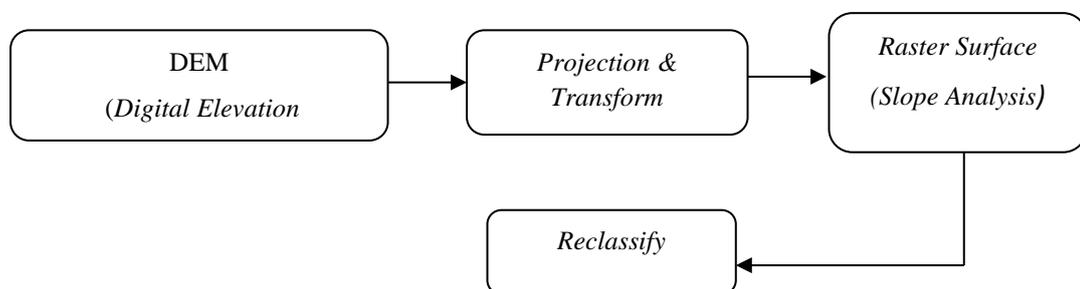
Sedangkan untuk Kriteria keputusan yang berhubungan dengan lingkungan berupa besarnya persentase kemiringan lahan pada lokasi kandidat GI, besarnya kerapatan gempa berdasarkan data historis yang didapatkan dari informasi BMKG, interaksi spasial yang melibatkan kedekatan jarak antara GI dengan sungai serta kedekatan jarak antara GI dengan danau. Kriteria kemiringan lahan menjadi

salah satu kriteria yang tidak bisa dihindari. Lokasi GI diharapkan berada di area datar dengan persentase slope (kemiringan lahan) sebesar 0 – 4%. Ketentuan tersebut didasarkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 62 tahun 2010 tentang Kriteria Kerusakan Lahan Penambangan Sistem Tambang Terbuka di Jawa Timur, persyaratan kelayakan lahan untuk pemukiman/industri adalah tidak lebih dari 8% sehingga untuk peruntukan tersebut kemiringan dasar galian dibatasi maksimum 8%. Kriteria selanjutnya adalah kerapatan gempa. Kekuatan pondasi Gardu Induk tidak dirancang untuk mengantisipasi getaran yang diakibatkan oleh gempa dengan skala tinggi. Hal ini akan membahayakan jaringan koneksi kabel serta peralatan instrumen di *control room* GI yang peka terhadap getaran. Jika peralatan sistem kontrolnya rusak maka akan mengganggu performa dari GI dan bahkan bisa menyebabkan *black out* jaringan. Sehingga dalam aplikasinya lokasi GI harus terhindar dari pusat gempa. Dalam penelitian ini, besarnya kerapatan gempa menjadi kriteria yang dipertimbangkan. Lokasi yang memiliki kerapatan Gempa dengan berkekuatan 0 – 0,99 SR menjadi lokasi yang paling sesuai menjadi pilihan alternatif lokasi optimal. Semakin rendah nilai kerapatan gempa menjadi solusi terbaik lokasi GI.

Berikut merupakan proses pembuatan peta yang bersumber dari masing-masing kriteria keputusan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian:

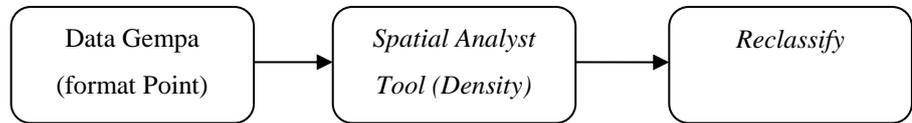
➤ Faktor Lingkungan

1. Proses pembuatan peta untuk kriteria % Slope ditunjukkan pada Gambar 5.1.



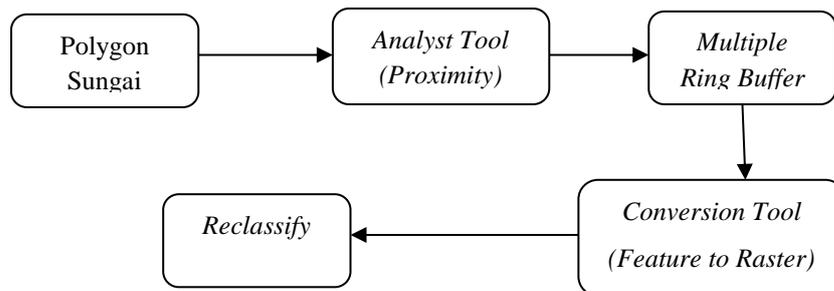
Gambar 5.1 Alur Analisis *Reclassify* pada Kriteria *Slope*

2. Proses pembuatan peta untuk kriteria Kerapatan Gempa ditunjukkan pada Gambar 5.2.



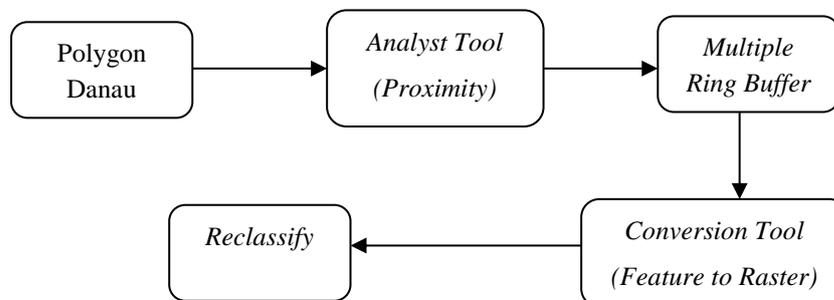
Gambar 5.2 Alur Analisis *Reclassify* pada Kriteria Gempa

3. Proses pembuatan peta untuk kriteria Kedekatan GI dengan Sungai ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Alur Analisis *Reclassify* pada kriteria Sungai

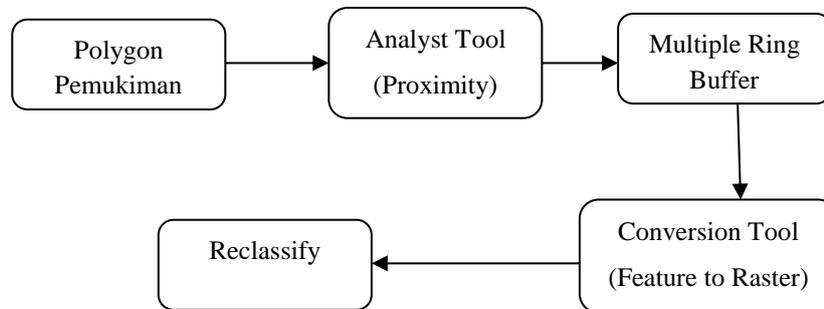
4. Proses pembuatan peta untuk kriteria Kedekatan GI dengan Danau ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Alur Analisis *Reclassify* pada kriteria Danau

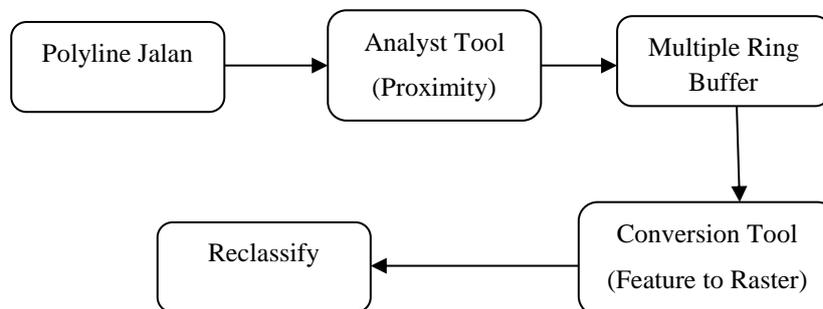
➤ Faktor Ekonomi

1. Proses pembuatan peta untuk kriteria Kedekatan GI dengan Pusat Beban ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Alur Analisis *Reclassify* pada kriteria Pusat Beban

2. Proses pembuatan peta untuk kriteria Kedekatan GI dengan Akses Jalan ditunjukkan pada Gambar 5.6.

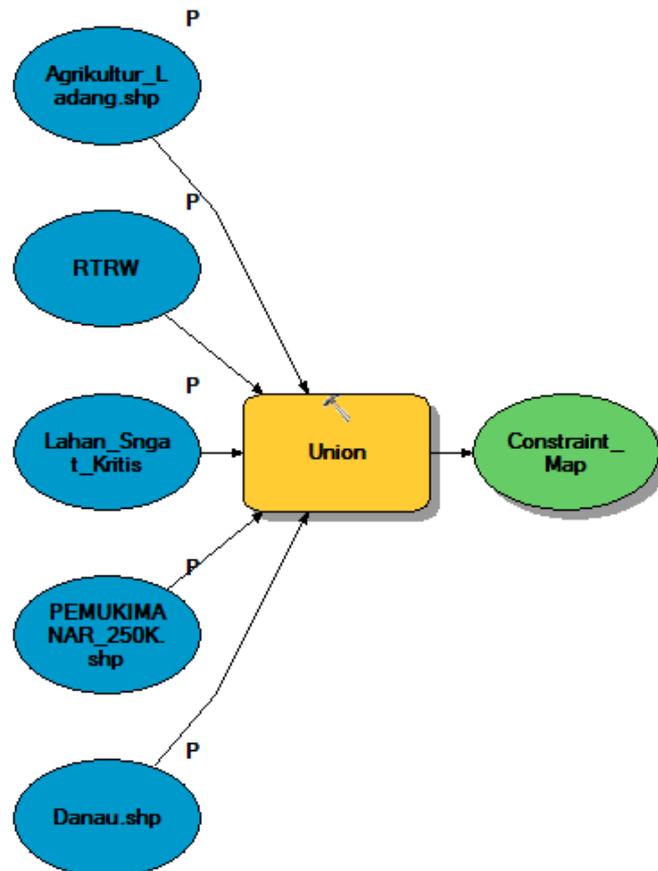


Gambar 5.6 Alur Analisis *Reclassify* pada kriteria Akses Jalan

5.2 Spatial Multicriteria Decision Analysis Model

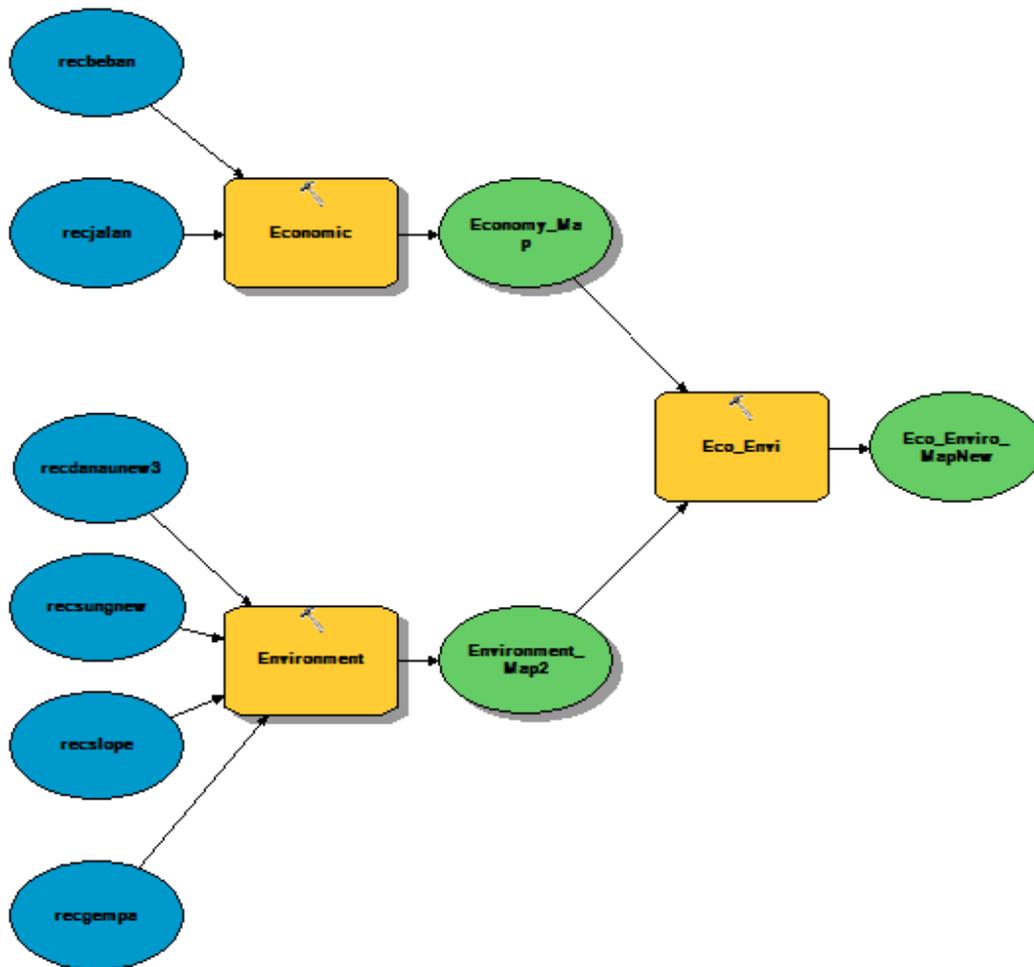
Analisis pengambilan keputusan spasial dengan beberapa kriteria merupakan langkah selanjutnya untuk mendapatkan peta alternatif lokasi GI yang sesuai. Dalam proses ini, diperlukan analisis pembobotan dengan melibatkan preferensi para ahli untuk dilekatkan nilainya pada setiap kriteria. Selain itu, preferensi dari pustaka jurnal juga diikutsertakan dalam menilai bobot kriteria yang digunakan. Langkah pembobotan dilakukan melalui software AHP. Proses

pembobotan dilakukan dalam dua tahap yaitu pembobotan pertama untuk kriteria yang termasuk ke dalam faktor Ekonomi dan kedua untuk kriteria yang menjadi anggota dari faktor Lingkungan. Metode analisis multi kriteria spasial menggunakan metode *weighed overlay*. Sehingga hasil sementara yang didapat adalah 2 (dua) output peta kesesuaian lokasi GI yang berasal dari faktor Ekonomi dan faktor Lingkungan. Setelah didapatkan 2 peta kesesuaian lokasi dilakukan analisis *overlay* kembali untuk mendapatkan lokasi yang paling sesuai bagi penempatan GI. Namun sebelum melangkah ke analisis akhir, perlu dipertimbangkan layer-layer yang menjadi kriteria konstrain seperti layer RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) meliputi layer hutan tanaman industri, hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering, hutan mangrove primer dan hutan mangrove sekunder. Kriteria konstrain tersebut akan menjadi layer penyaring atau layer halangan bagi alternatif lokasi optimal yang dihasilkan. Beberapa kriteria konstrain digabungkan menjadi satu layer kriteria seperti pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Penggabungan Kriteria-kriteria Konstrain

Output akhir dari analisis yang dilakukan diharapkan memberikan informasi berupa peta yang berisi kesesuaian lokasi yang optimal untuk penempatan Gardu Induk. Berikut merupakan metode analisis *Spatial MCDA* yang dituangkan ke dalam bentuk *model builder* seperti pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Model Analisis Keputusan Spasial Multi Kriteria

Dari model spasial MCDA yang telah dibuat dan dianalisis didapatkan beberapa titik lokasi sesuai untuk penempatan Gardu Induk. Alternatif lokasi GI yang sesuai juga didasarkan pada seberapa luas area dari lokasi yang cocok untuk didirikan GI di dalamnya. Sesuai dengan persyaratan yang telah disebutkan, GI tipe konvensional memerlukan lahan seluas 20.000 s/d 25.000 m² karena setiap bay di serandang hubung membutuhkan lahan 14x85 m² sekitar 1.190 m². Sedangkan

untuk GI tipe GIS membutuhkan lahan yang relatif tidak begitu luas yaitu 3.000 m² karena serandang hubungannya hanya membutuhkan luas lahan sekitar 20x40 m². Luas lokasi yang sesuai dihitung dengan menggunakan perhitungan geometri pada ArcGIS 10.1. Terdapat beberapa lokasi yang sudah dapat teridentifikasi seperti pada tabel 4.9 pada Bab IV. Kelima lokasi yang ditampilkan merupakan *sampling* dari 13 lokasi sesuai yang sudah teridentifikasi. Lima lokasi tersebut meliputi Kabupaten Gresik, Lamongan, Mojokerto, Sidoarjo dan Pasuruan. Sesuai dengan data tabel dapat dilihat bahwa dari 13 lokasi yang ada untuk syarat luas lahan/lokasi keseluruhan sudah terpenuhi. Sedangkan jika dilihat dari kedekatan jarak GI dengan sungai, Kabupaten Bojonegoro, Sidoarjo dan Lamongan menjadi yang paling sesuai dikarenakan memenuhi kriteria semakin jauh radius jarak GI dengan sungai untuk menghindari luapan banjir dari DAS Bengawan Solo maupun DAS Brantas. Untuk kriteria kedekatan GI dengan danau, Kabupaten Gresik memiliki tingkat kesesuaian lahan yang kurang sesuai dikarenakan jarak dari alternatif lokasi yang didapat berada pada radius 2.000 – 3.000 meter dari danau. Untuk dampak dari kriteria kerapatan gempa, Kabupaten Lamongan dan Mojokerto mendapat penilaian yang kurang sesuai. Selebihnya dari beberapa kabupaten tersebut sudah memenuhi kriteria untuk bertindak sebagai alternatif lokasi penempatan GI yang sesuai dan optimal. Sehingga dapat dipastikan dari kelima kabupaten yang ada, kabupaten Sidoarjo dan Pasuruan memberikan alternatif lokasi yang paling sesuai dengan kriteria kesesuaian lahan untuk Gardu Induk. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Lokasi 2, 4, 8, 12 dan 13 meliputi Kabupaten Bojonegoro, Sidoarjo dan Lamongan menjadi lokasi prioritas untuk penempatan GI yang optimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini akan diberikan kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Alternatif lokasi yang sesuai dengan kriteria lokasi optimal bagi penempatan GI berada di 5 (lima) lokasi meliputi Kabupaten Sidoarjo, Bojonegoro dan Lamongan dengan komposisi area meliputi: kedekatan GI dengan Pusat beban memiliki radius < 9 km, luas area $>3.000\text{m}^2$ yang cocok untuk GIS dan $>20.000\text{m}^2$ yang cocok untuk GI konvensional, kedekatan jarak GI dengan sungai berada pada radius 7-8 km, lokasi berada di area yang memiliki persentase kemiringan lahan antara 0 – 4%, dan nilai kerapatan gempu yang berada di kisaran range 0 – 0,99 SR untuk kelima lokasi.
2. Alternatif lokasi terpilih berupa area *Polygon* bukan titik (*Point*).
3. Koordinat Alternatif Lokasi terpilih untuk
 - Lokasi I : kabupaten Sidoarjo
koordinat : $7^{\circ}25'12''$ LS; $112^{\circ}48'46,8''$ BT
Luas area/lahan : $7.611.869 \text{ m}^2$
 - Lokasi II : kabupaten Sidoarjo
Koordinat : $7^{\circ}25'37,2''$ LS; $112^{\circ}45'50,4''$ BT
Luas area/lahan : 706.235 m^2
 - Lokasi III : Kabupaten Lamongan
Koordinat : $7^{\circ}4'1,2''$ LS; $112^{\circ}24'43,2''$ BT
Luas area/lahan : $3.050.801 \text{ m}^2$
 - Lokasi IV : Kabupaten Lamongan
Koordinat : $7^{\circ}4'30''$ LS; $112^{\circ}17'56,4''$ BT

- Luas area/lahan : 5.965.793 m²
- Lokasi V : Kabupaten Bojonegoro
- Koordinat : 7°9'50,4"LS; 112°4'55,8"BT.
- Luas area/lahan : 3.185.210 m²

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Pada penelitian ini, output yang didapatkan adalah peta kesesuaian lokasi, diharapkan pada penelitian selanjutnya dilengkapi dengan kajian finansial teknik dengan mempertimbangkan perhitungan teknik kelistrikan.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan data-data yang lebih akurat untuk masing-masing objek spasial yang ada (keakuratan skala peta).

DAFTAR PUSTAKA

- Faisol, A.& Indarto. (2012), *“Konsep Dasar Analisis Spasial”*, Penerbit Andi, Jember.
- King, S.G. (2012) *“Impact of Geographic Information Systems on Emergency Management Decision Making at The U.S. Department of Homeland Security”*, Robert Morris University.
- Prahasta, E. (2009), *“Sistem Informasi Geografis : Konsep-Konsep Dasar (Perspektif Geodesi & Geomatika)”*, Bandung.
- Tomlinson, R.F. (2011), *“Thinking about GIS : Geographic information system planning for managers (4th ed.)”*, Redlands, CA: ESRI Press.
- Prahasta, E. (2001), *“Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis”*, Penerbit Informatika, Bandung.
- McCoy, J. & Johnston, K.(2001), *“Using ArcGIS Spatial Analyst”*, ESRI Manual of ArcGIS.
- “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2010-2019”, (2010).
- Maguire, D.J. & Goodchild, M. (1991), *“An overview and definition of GIS”*, ldecc.cs.uns.edu.ar
- Cowen, D.J.(1988), *“GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?”* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54, 1551-4.
- Martin, D.(1991), *“Geographic information systems and their socioeconomic applications”*, London: Routledge.
- Malczewski, J.(1999), *“GIS and Multicriteria Decision Analysis”*, University of Western Ontario, Canada.

- Grandjean, A., Adnot, J., Binet,G.(2012), “*A review and an analysis of the residential electric load curve models*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 6539-6565.
- Bunn, DW. (2000), “*Forecasting loads and prices in competitive power markets*”, Proc IEEE 2000:88:163-9.
- Sperandio,M., Bernardon, D.P., Bordin,G., Oliveira, M.O., Bordignon, S. (2014), “*Probabilistic demand forecasting to minimize overtaking the transmission contract*”, Electric Power System Research 112, 27-36.
- LITBANG PLN. (2004), “*Kajian finansial pemilihan gardu induk*”, No.002.LIT.2004.
- Sultana A., Kumar A. (2012), “*Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system*”, Applied Energy 94, 192-201.
- Disperindag Provinsi Jawa Timur.(2011), *Pelaksanaan Kebijakan Pembangunan Industri Jawa Timur*, Forum Komunikasi Perencanaan Industri, Surabaya.
- Surabaya, B. P. ,(2016), *BPS Jatim* , Retrieved April 17 from jatim.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/12
- LPPD, (2015), *Laporan Penyelenggaraan Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Timur*, Surabaya.
- Gubernur, P., (2010), *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 62 Tahun 2010: Kriteria Kerusakan Lahan Penambangan Sistem Tambang Terbuka di Jawa Timur*, Surabaya.
- BPPN. (2015), *Profil Tata Ruang Provinsi Jawa Timur*. Jakarta.
- KLHK, (2015), *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2015*, Jakarta.

- Abudeif A.M., Moneim A., Farrag A.F. (2015), "*Multicriteria Decision Analysis Based On Analytic Hierarchy Process in GIS Environment for Sitting Nuclear Power Plant in Egypt*", *Annals of Nuclear Energy* 75, 682 – 692.
- Matthiesen R.B., Howard G., Smith C.B. (1973), "*Seismic Consideration in Sitting and Design of Power Plants*", *Nuclear Engineering and Design* 25, 3-15.
- Tahri M., Hakdaoui M., Maanan M. (2015), "*The Evaluation of Solar Farm Locations Applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision –Making Methods : Case Study in Southern Morocco*", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, 1354 – 1362.
- Liu Xiaohui (2014), "*Web-Based Multi-Criteria Evaluation of Spatial Trade-Offs Between Environmental and Economic Implication From Hydraulic Fracturing in A Shale Gas Region in Ohio*", Thesis, College of Bowling Green State University.
- Jiuping Xu (2015), "*GIS-Modelling Based Coal-Fired Power Plant Site Identification and Selection*", *Applied Energy* 159, 520 – 539.
- Olufemi A. et al (2012), "*Adapting a GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Evaluating New Power Generating Sites*", *Applied Energy* 96, 292 – 301.
- Perpina C., Martinez L., Navarro P. (2013), "*Multicriteria Assesment in GIS Environments for Sitting Biomass Plant*", *Land Use Policy* 31, 326 – 335.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1.

Meteorological Climatological and Geophysical Agency, BMKG
Earthquake Database

=====

File Created: Tue Nov 22 2016 16:42:01

WIB

Earthquake Events = 623 Events

Date Range: 2016-10-01 - 2016-11-29

Latitude: 6N - 11S

Longitude: 142E - 94E

Magnitude Range: 1 - 9.5 SR

Depth Range: 1 - 1000 Km

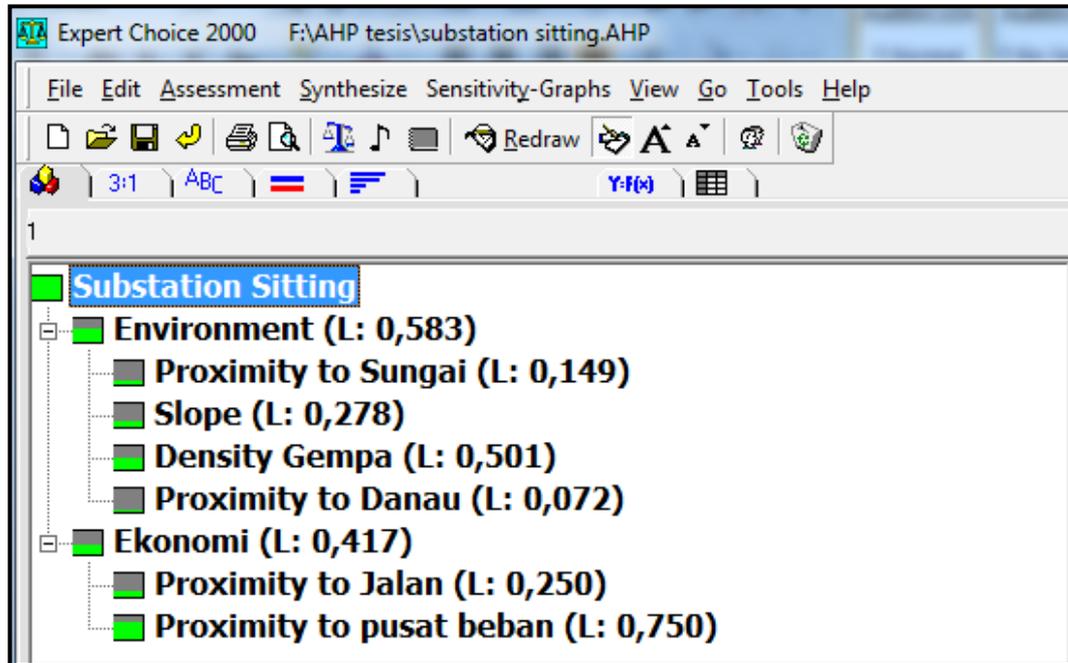
Date	Time	Depth	az	Latitude	cPhase	TypeMag	smaj	smin	Longitude	rms	Mag	Region
01/10/2016	16:49:34.1	53	213	-7.83	12	MLv	3.77	0.58	107.38	0.49	3.4	Java, Indonesia
01/10/2016	20:09:55.5	109	123	-8.4	42	MLv	19.66	0.41	111.64	0.733	3.7	Java, Indonesia
02/10/2016	02:51:44.9	25	176	-9.59	17	MLv	15.89	1.51	111.78	0.923	3.7	South of Java, Indonesia
03/10/2016	02:39:22.5	10	221	-8.2	9	MLv	3.24	1.17	107.91	0.383	3.6	Java, Indonesia
04/10/2016	16:56:06.1	156	166	-8.26	35	M	9.44	0.77	113.4	1.383	4.6	Java, Indonesia
06/10/2016	16:55:10.6	98	212	-8.82	12	MLv	2.42	0.66	112.53	0.499	3	Java, Indonesia
06/10/2016	19:22:45.9	16	162	-8.98	18	MLv	7.53	1.12	110.16	1.076	3.4	Java, Indonesia
06/10/2016	20:25:33.3	10	183	-8.63	21	MLv	3.23	0.39	113.61	0.683	3.1	Java, Indonesia
07/10/2016	14:50:24.8	51	225	-8.4	11	M	2.69	0.5	110.4	0.166	2.8	Java, Indonesia
08/10/2016	09:10:32.1	10	179	-9.67	25	MLv	6.73	1.53	111.6	0.51	4.3	South of Java, Indonesia
08/10/2016	17:36:16.1	10	228	-6.75	4	MLv	0.9	0.23	106.71	0.611	2.5	Java, Indonesia

11/10/2016	00:34:02.6	71	85	-8.81	64	mb	33.37	0.62	111.3	1.016	4.7	Java, Indonesia
11/10/2016	04:52:43.1	37	162	-8.8	25	MLv	6.41	0.61	111.29	0.6	4.4	Java, Indonesia
11/10/2016	12:17:26.1	19	94	-9.86	25	MLv	13.67	1.71	111.63	0.773	4.1	South of Java, Indonesia
11/10/2016	15:53:31.8	18	131	-7.6	17	MLv	5.27	0.86	105.93	0.675	3.9	Java, Indonesia
11/10/2016	20:15:52.9	13	294	-8.02	10	MLv	3.66	0.71	107.21	0.566	3.2	Java, Indonesia
13/10/2016	04:13:25.4	16	113	-9.2	24	MLv	13.41	1.18	113	0.825	4	South of Java, Indonesia
13/10/2016	11:37:22.2	17	147	-7.65	13	MLv	10.29	0.72	106.23	0.637	3.9	Java, Indonesia
13/10/2016	13:32:53.3	14	272	-7.65	9	MLv	1.56	0.7	106.27	0.653	3.4	Java, Indonesia
14/10/2016	15:41:15.2	10	140	-6.68	17	MLv	2.95	0.91	113.08	0.876	3.4	Java, Indonesia
14/10/2016	15:54:55.5	114	102	1.8	12	MLv	6.37	0.37	127.42	0.813	3.5	Halmahera, Indonesia
15/10/2016	12:52:43.4	10	136	-9.1	14	MLv	14.02	1.23	110.18	1.182	4	South of Java, Indonesia
16/10/2016	16:10:32.6	20	118	-9.01	22	MLv	13.71	0.94	112.07	0.919	3.9	South of Java, Indonesia
16/10/2016	17:45:25.6	164	85	-7.76	48	MLv	19.23	0.43	112.27	0.693	4.4	Java, Indonesia
18/10/2016	16:23:35.7	30	214	-8.74	12	MLv	3.04	0.55	111.09	0.538	3.3	Java, Indonesia
19/10/2016	00:26:00.3	614	26	-4.98	163	Mw	49.21	1.75	108.16	1.31	6.6	Java Sea
19/10/2016	10:05:55.1	10	119	-9.78	21	MLv	16.6	1.66	112.84	0.9	4.5	South of Java, Indonesia
22/10/2016	22:44:49.1	52	153	-8.24	46	MLv	23.75	0.8	107.42	1.386	5	Java, Indonesia
23/10/2016	05:45:43.6	19	172	-7.93	46	MLv	24.16	0.62	107.07	0.877	4.8	Java, Indonesia
27/10/2016	17:50:28.4	10	194	-8.59	17	MLv	5.4	0.46	111.43	0.457	3.5	Java, Indonesia
27/10/2016	19:35:27.4	17	222	-8.19	10	MLv	7.31	0.74	107.83	0.149	2.9	Java, Indonesia
28/10/2016	04:15:18.1	21	232	-8.05	9	MLv	3.83	0.67	107.32	0.52	3	Java, Indonesia
29/10/2016	02:14:05.7	40	202	-9	20	MLv	6.2	1.01	111.5	0.631	4.4	Java, Indonesia
30/10/2016	07:11:01.4	100	146	-7.12	8	MLv	0.77	0.26	106.96	0.162	2.5	Java, Indonesia
31/10/2016	12:10:01.8	22	119	-9.41	20	MLv	19.66	0.96	113.93	1.599	4.5	South of Java, Indonesia
04/11/2016	05:08:07.1	21	71	-7.49	40	MLv	64.5	0.18	111.33	0.666	4.8	Java, Indonesia
05/11/2016	00:53:32.8	18	283	-7.67	6	MLv	1.37	0.66	106.52	1.124	2.6	Java, Indonesia

05/11/2016	23:44:13.6	10	121	-7.3	17	MLv	6.65	0.2	107.54	1.307	4.1	Java, Indonesia
07/11/2016	19:58:43.6	10	218	-8.21	17	MLv	14.81	0.83	107.27	0.308	3.7	Java, Indonesia
08/11/2016	17:21:23.3	541	41	-5.78	42	MLv	15.1	1.34	110	1.053	4.3	Java Sea
09/11/2016	04:05:38.4	23	214	-7.39	20	MLv	5.05	0.56	106.14	1.003	4.4	Java, Indonesia
12/11/2016	15:19:27.5	234	93	-7.55	11	MLv	2.67	0.24	111.62	0.649	2.8	Java, Indonesia
13/11/2016	13:52:32.6	10	263	-8.06	11	MLv	2.12	0.67	107.33	0.565	3.1	Java, Indonesia
16/11/2016	15:10:12.4	102	39	-9.06	190	Mw	89.32	0.86	113.09	1.797	5.6	South of Java, Indonesia
16/11/2016	15:25:24.5	94	135	-9.21	35	MLv	18.84	0.99	113.12	1.094	4.1	South of Java, Indonesia
16/11/2016	18:09:33.2	10	130	-9.19	26	MLv	19.06	1.29	110.29	1.144	4.3	South of Java, Indonesia
16/11/2016	18:14:38.8	10	138	-9.31	33	MLv	18.65	1.41	110.28	1.354	4.7	South of Java, Indonesia
17/11/2016	06:44:01.1	11	128	-6.84	11	MLv	2.62	0.41	112.08	0.588	3.2	Java, Indonesia
18/11/2016	02:19:29.3	20	95	-8.91	68	mb	88.74	0.96	110.52	1.377	5	Java, Indonesia

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2. Pembobotan melalui metode AHP



Priorities with respect to:
Substation Sitting
>Environment



Priorities with respect to:
Substation Sitting
>Ekonomi

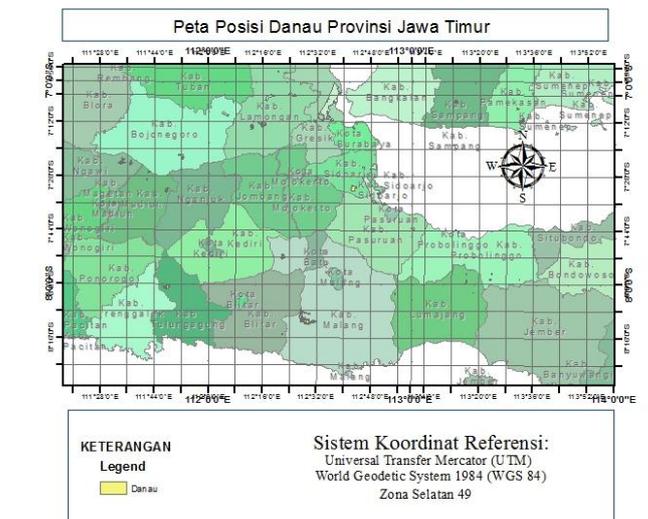
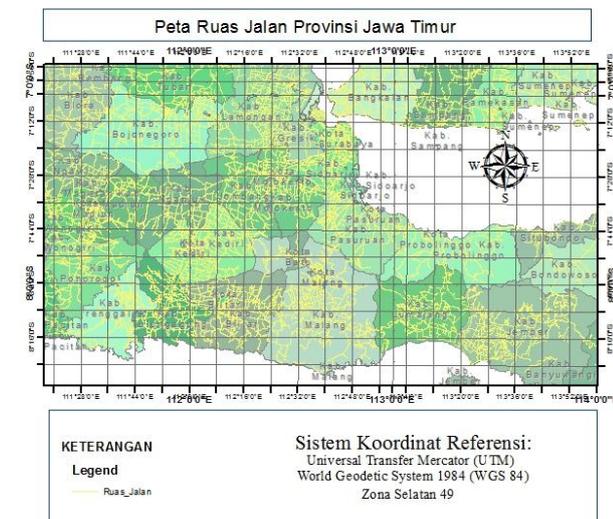
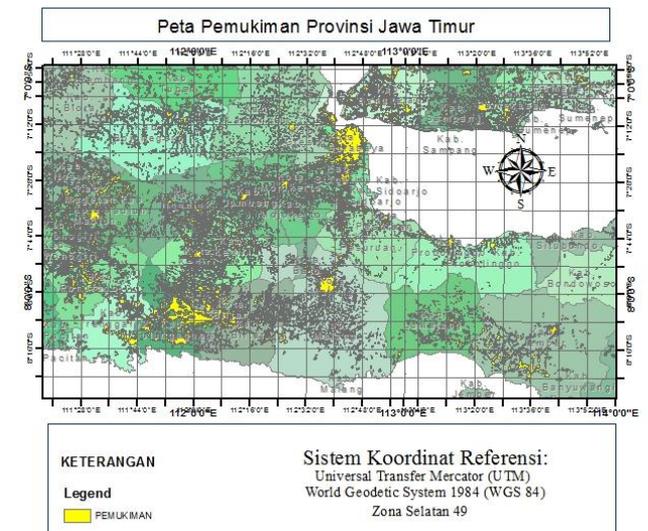
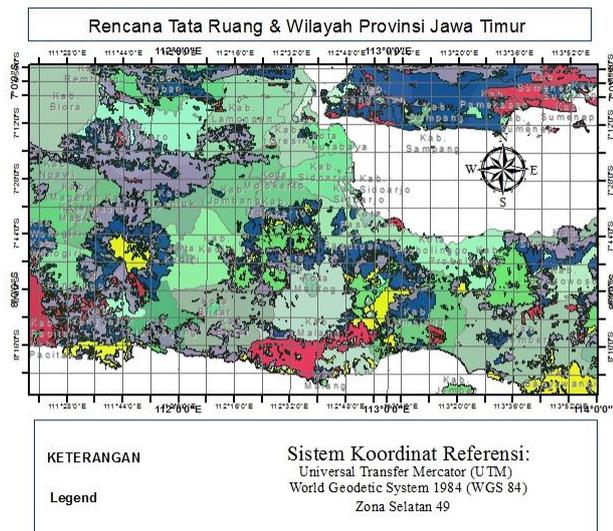
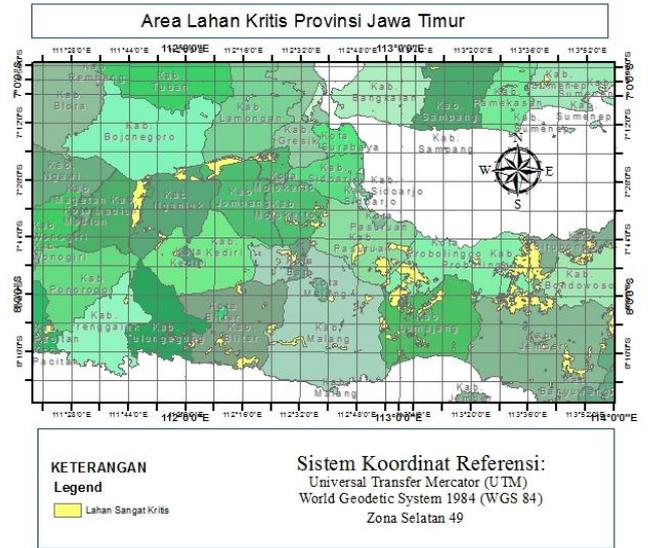
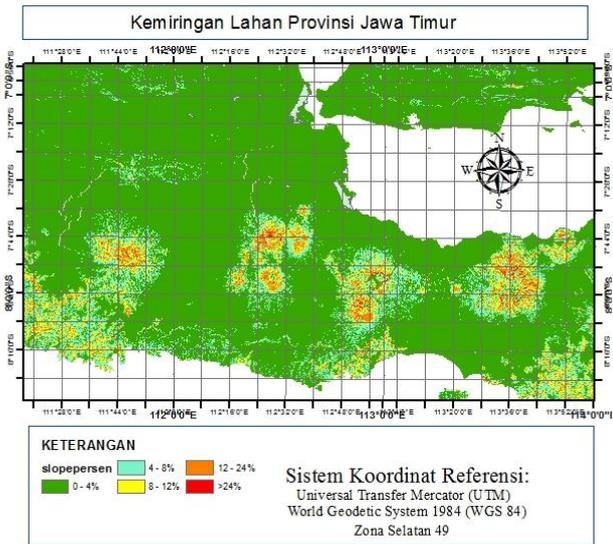


Priorities with respect to:
Substation Sitting

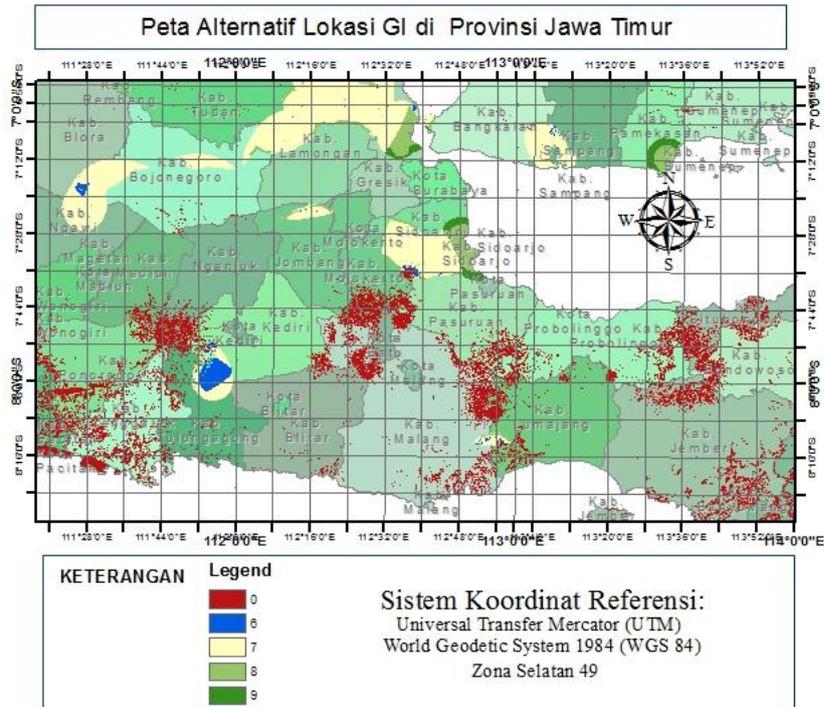


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

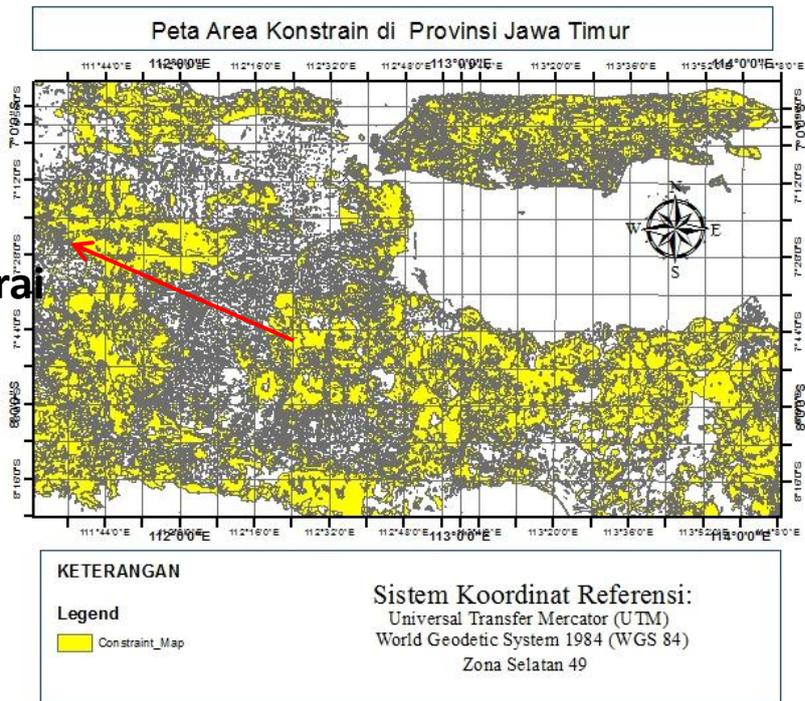
LAMPIRAN 3: Data Peta



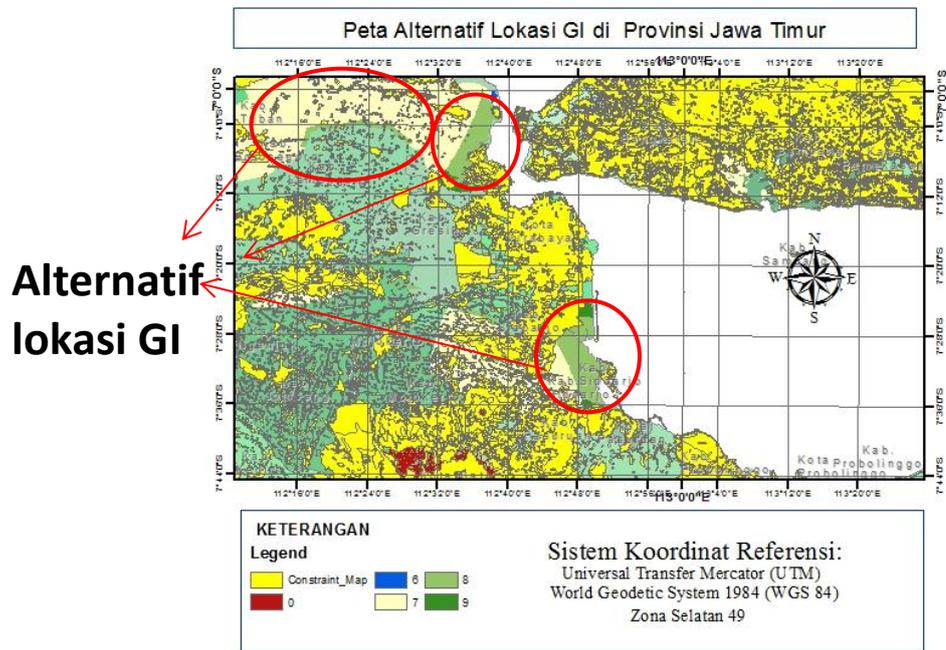
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**Area
Konstrain**



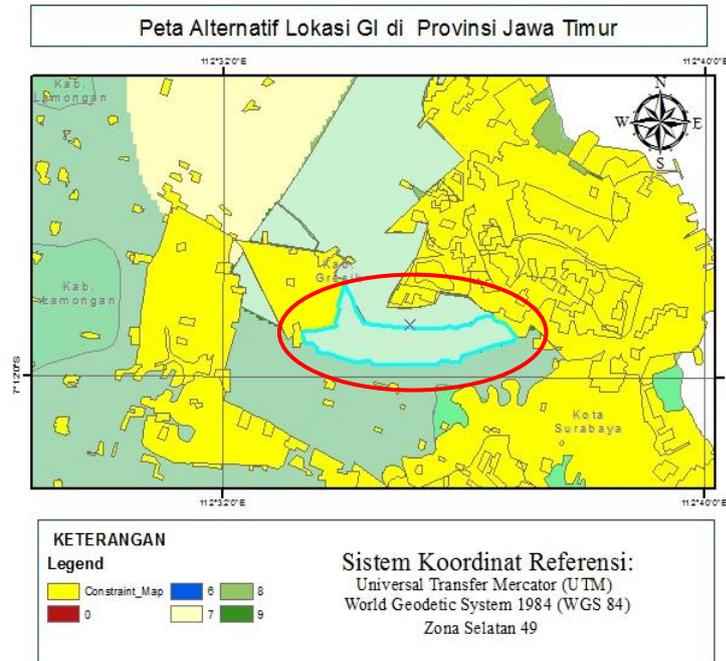
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



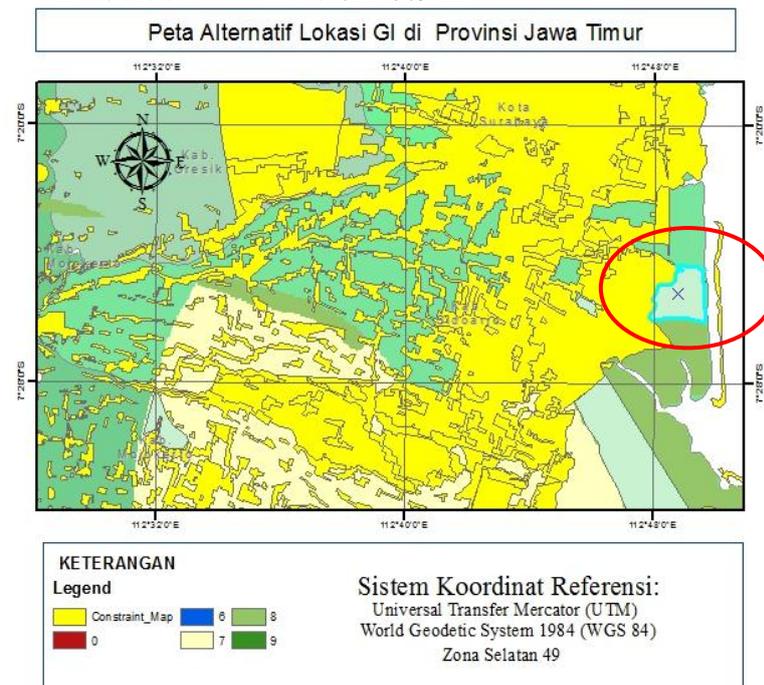
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 4

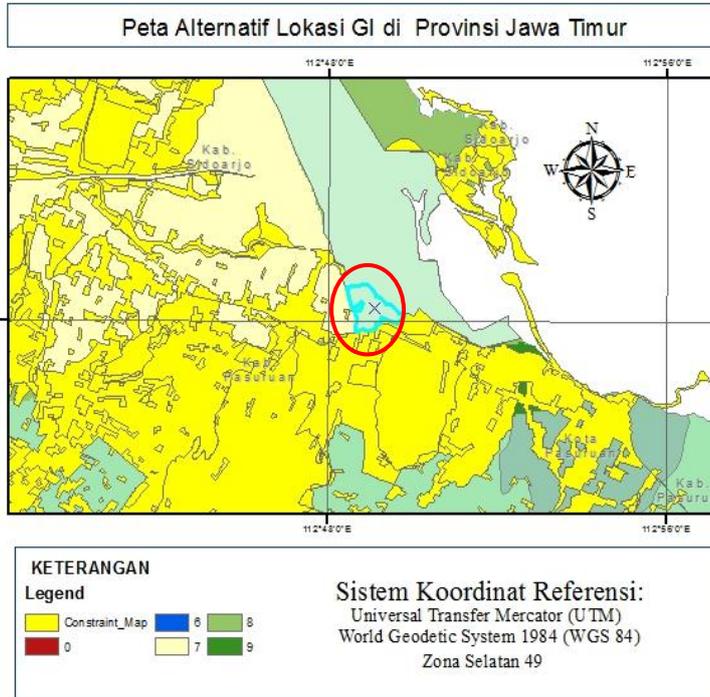
- Lokasi ke-1 : Kabupaten Gresik
- Koordinat : (7°11'31,2"LS;112°34'40,8"BT)
- Luas area : 6.563.582 m²



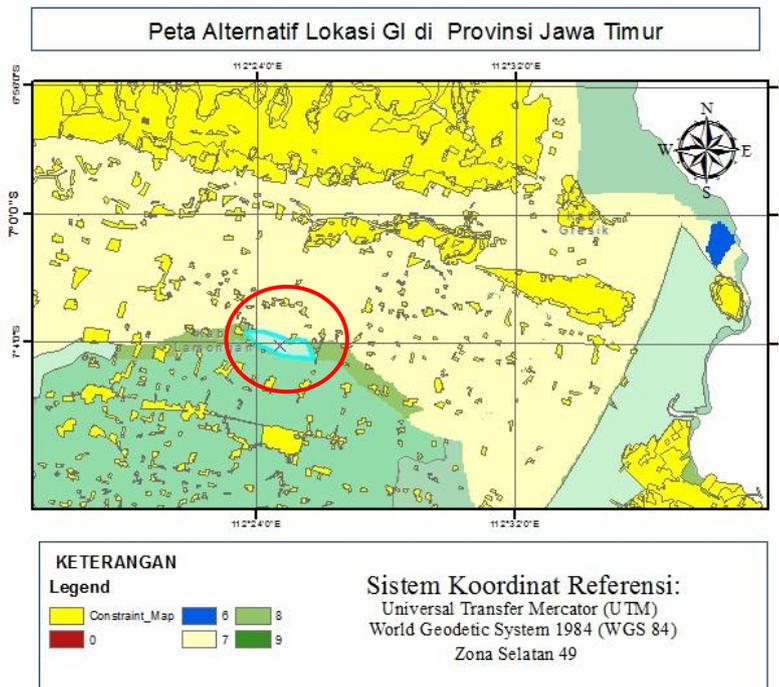
- Lokasi ke-2 : Kabupaten Sidoarjo
- Koordinat : (7°25'12" LS; 112°48'46,8"BT)
- Luas area : 7.611.869 m²



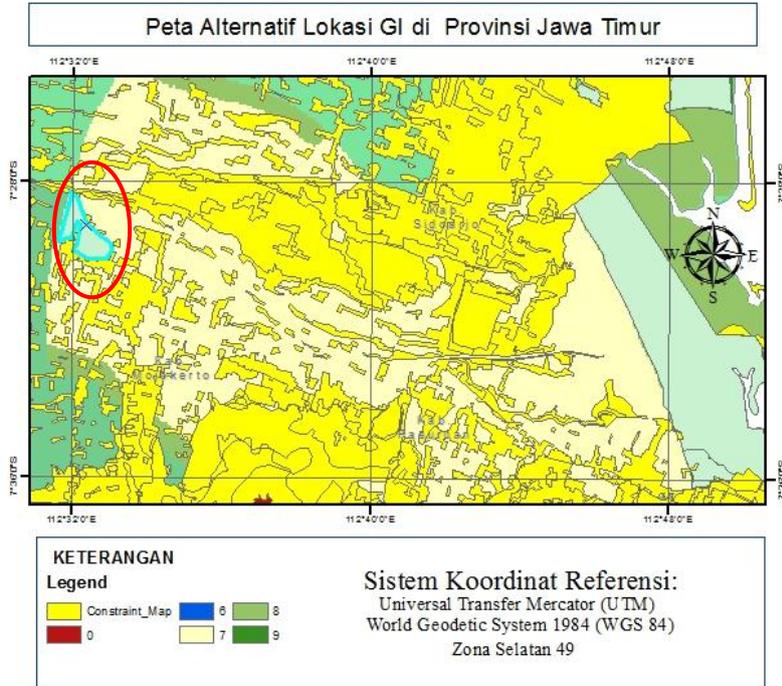
- Lokasi ke-3 : Kabupaten Pasuruan
- Koordinat : (7°35'42"LS; 112°49'4,8"BT)
- Luas area : 2.614.588



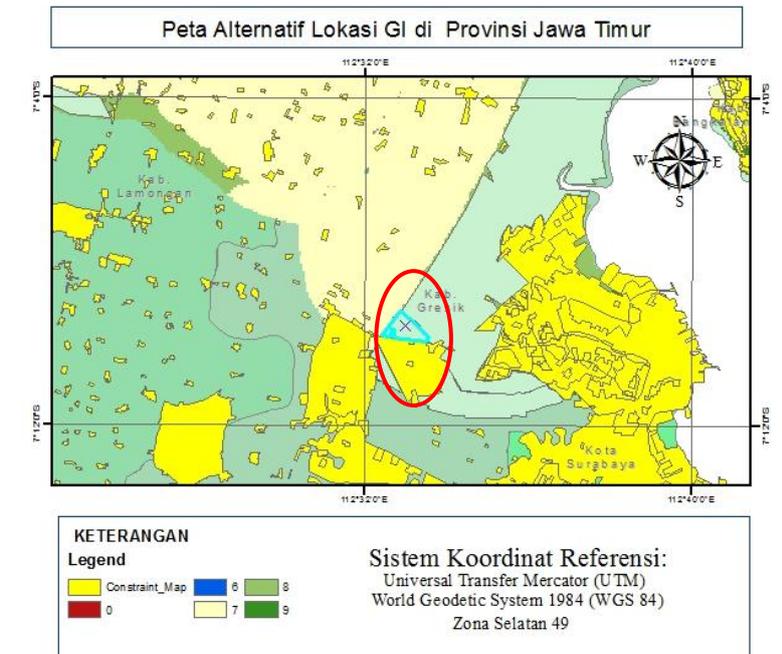
- Lokasi ke-4 : Kabupaten Lamongan
- Koordinat : (7°4'1,2"LS; 112°24'43,2"BT)
- Luas area : 3.050.801



- Lokasi ke-5 : Kabupaten Mojokerto
- Koordinat : (7°29'9,6"LS; 112°32'16,8"BT)
- Luas area : 3.604.610

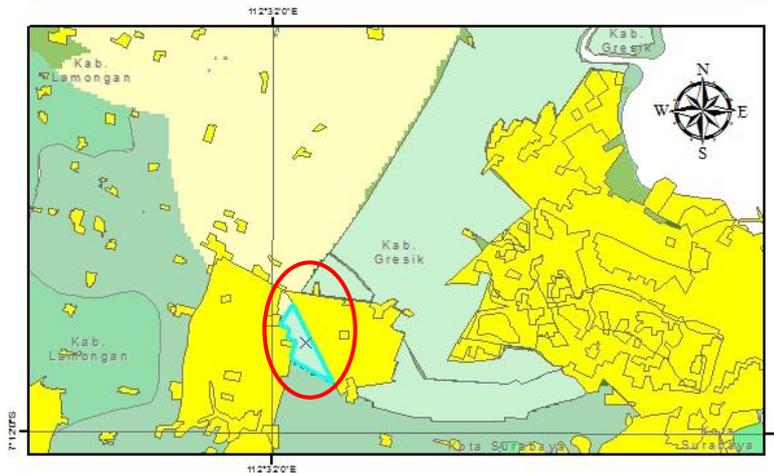


- Lokasi ke-6 : Kabupaten Gresik
- Koordinat : (7°9'36" LS; 112°32'60" BT)
- Luas area : 1.429.192



- Lokasi ke-7 : Kabupaten Gresik
- Koordinat : (7°10'37,2" LS; 112°32',31,2" BT)
- Luas area : 1.098.985

Peta Alternatif Lokasi GI di Provinsi Jawa Timur



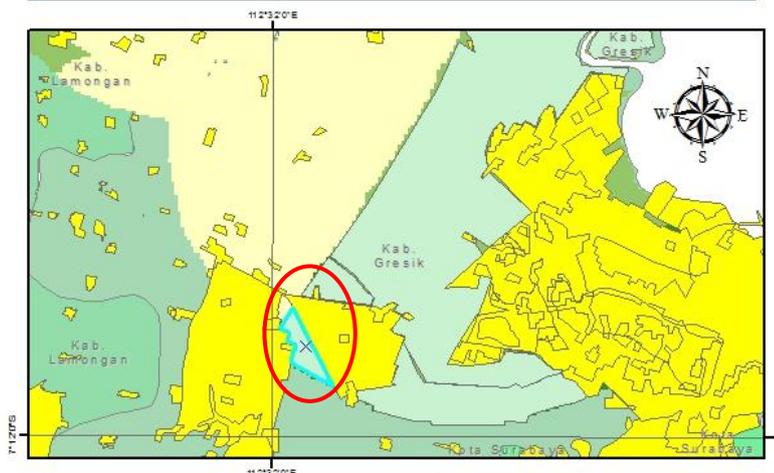
KETERANGAN
Legend

Constraint_Map	6	8
0	7	9

Sistem Koordinat Referensi:
 Universal Transfer Mercator (UTM)
 World Geodetic System 1984 (WGS 84)
 Zona Selatan 49

- Lokasi ke-8 : Kabupaten Sidoarjo
- Koordinat : (7°25'37,2" LS; 112°45'50,4"BT)
- Luas area : 706.235

Peta Alternatif Lokasi GI di Provinsi Jawa Timur



KETERANGAN
Legend

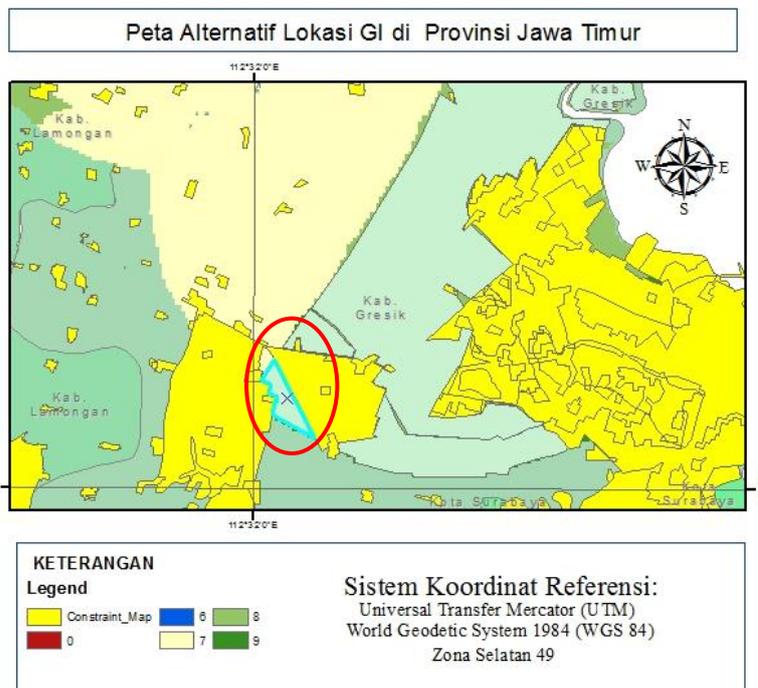
Constraint_Map	6	8
0	7	9

Sistem Koordinat Referensi:
 Universal Transfer Mercator (UTM)
 World Geodetic System 1984 (WGS 84)
 Zona Selatan 49

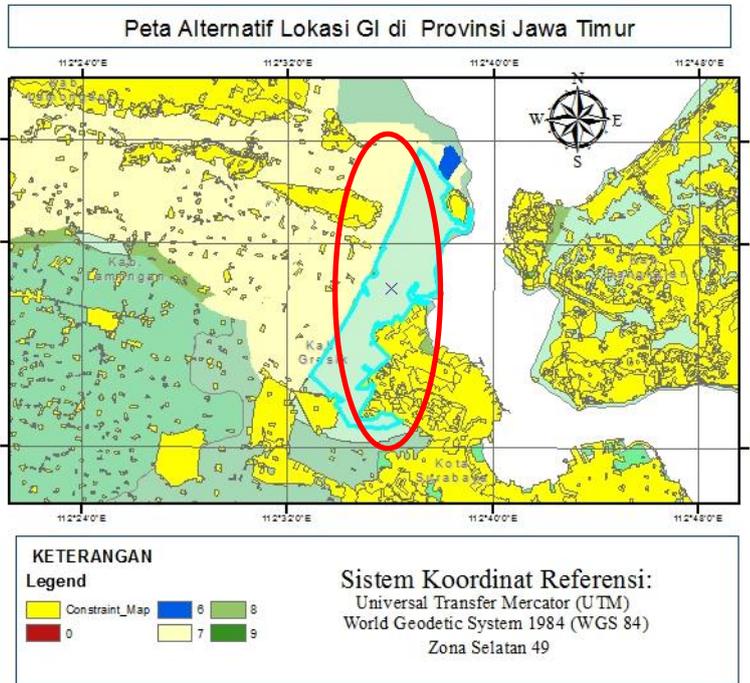
- Lokasi ke-9 : Kabupaten Pamekasan
- Koordinat : (7°7'51,6"LS; 113°31'19,2" BT)
- Luas area : 843.468



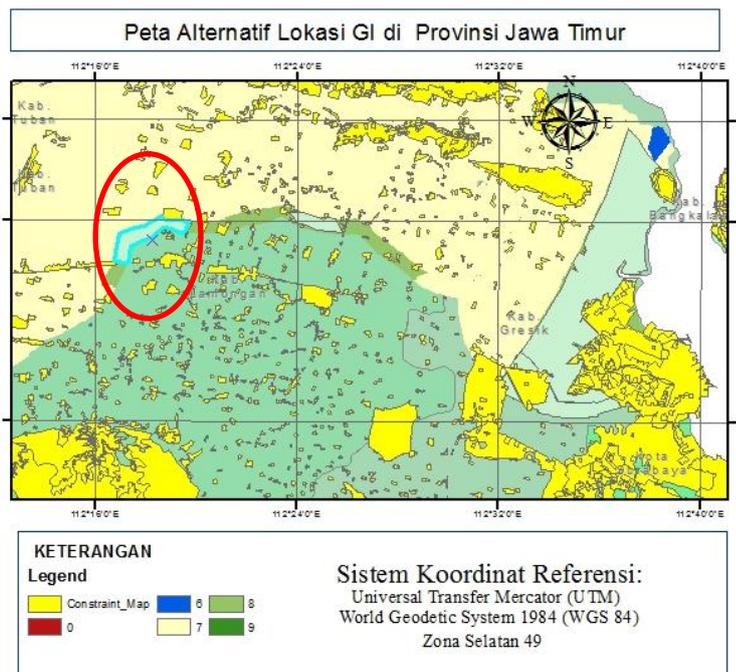
- Lokasi ke-10 : Kabupaten Sidoarjo & Pamekasan
- Koordinat : (7°32'9,6"LS; 112°48'57,6"BT)
- Luas area : 56.087.565



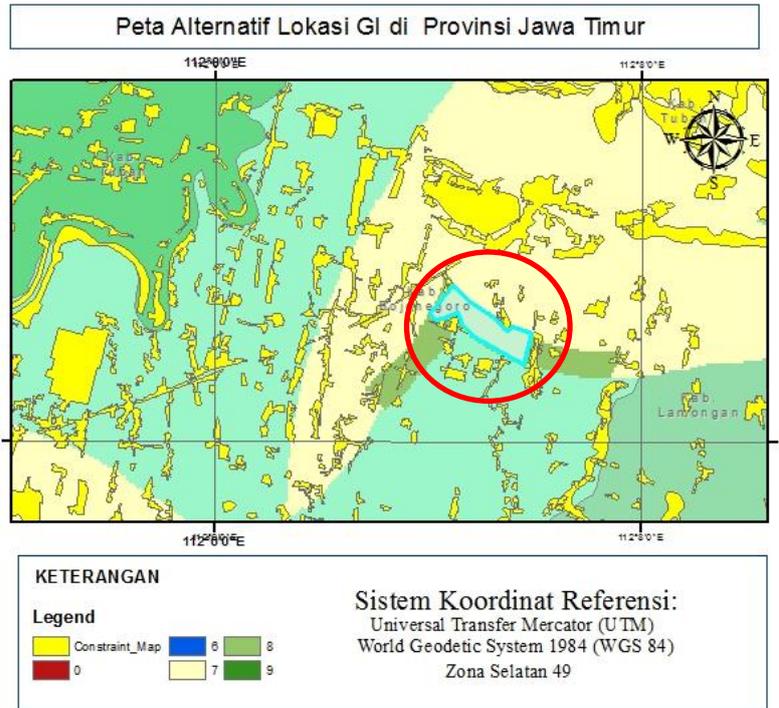
- Lokasi ke-11 : Kabupaten Gresik
- Koordinat : (7°5'45,6"LS; 112°36'3,6"BT)
- Luas area : 68.595.041



- Lokasi ke-12 : Kabupaten Lamongan
- Koordinat : (7°4'30"LS; 112°17'56,4"BT)
- Luas area : 5.965.793



- Lokasi ke-13 : Kabupaten Bojonegoro
- Koordinat : (7°9'50,4"LS; 112°4'55,8"BT)
- Luas area : 3.185.210



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 5



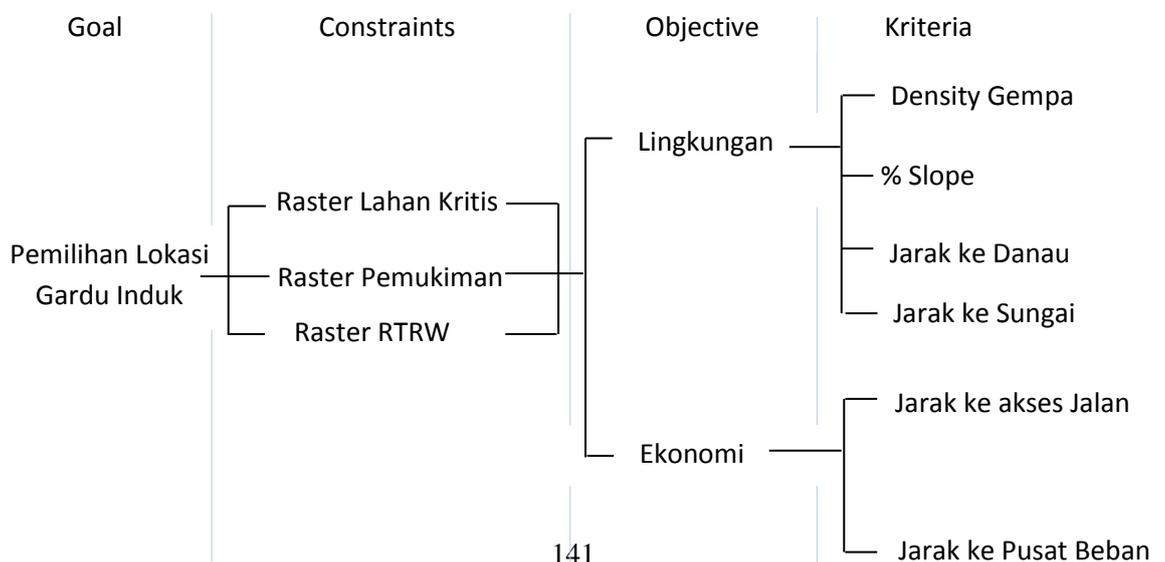
KUISIONER PEMBOBOTAN OBJEKTIF DAN KRITERIA PEMILIHAN LOKASI GARDU INDUK DI JAWA TIMUR

Kuisisioner ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis mengenai pembobotan atau nilai tingkat kepentingan dari objektif maupun kriteria yang digunakan untuk dapat menghasilkan pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur. Hasil kuisisioner akan diolah lebih lanjut dan digunakan untuk kepentingan akademik (penelitian tesis). Kuisisioner berikut terdiri atas dua bagian, bagian pertama adalah memberikan penilaian atau bobot untuk objektif pemilihan lokasi gardu induk yang telah tersedia dan bagian kedua adalah memberikan penilaian atau bobot untuk masing-masing kriteria pemilihan lokasi gardu induk yang telah tersedia pula. Mohon berkenan Bapak/Ibu mengikuti petunjuk pengisian pada tiap-tiap bagian.

Atas kerjasama dan kesediaan Bapak/Ibu dalam mengisi kuisisioner, kami ucapkan terima kasih.

Bagian I

Berikut merupakan skema hierarki penelitian



Petunjuk Pengisian: Isilah tabel di bawah ini!

Pada tabel daftar objektif pemilihan lokasi gardu induk di bawah ini, responden hanya perlu mengisikan besarnya nilai persentase tingkat kepentingan objektif pada kolom “Persentase Pembobotan”. Terdapat dua objektif yang nantinya ditampilkan dalam tabel. Nilai persentase pembobotan yang diisikan adalah berkisar antara nilai “0% sampai 100%” dimana nilai “0%” memiliki definisi “tidak berpengaruh atau tidak penting sama sekali terhadap pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur” sedangkan nilai “100%” memiliki definisi “paling berpengaruh atau paling penting terhadap pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur”. Total nilai pengisian persentase pembobotan antara kedua objektif diharuskan memiliki nilai total “100%”.

No.	Objektif	Persentase Pembobotan (dalam %)
1.	Lingkungan	
2.	Ekonomi	
Nilai Total Pembobotan		

Bagian II

Petunjuk Pengisian: Isilah tabel di bawah ini!

Pada tabel daftar kriteria pemilihan lokasi gardu induk di bawah ini, responden hanya perlu mengisi besarnya nilai persentase tingkat kepentingan objektif pada kolom “Persentase Pembobotan”. Terdapat enam objektif yang nantinya ditampilkan dalam tabel. Nilai persentase pembobotan yang diisikan adalah berkisar antara nilai “0% sampai 100%” dimana nilai “0%” memiliki definisi “tidak berpengaruh atau tidak penting sama sekali terhadap pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur” sedangkan nilai “100%” memiliki definisi “paling berpengaruh atau paling penting terhadap pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur”. Total nilai pengisian persentase pembobotan diharuskan memiliki nilai total “100%”. Pada objektif Lingkungan terdapat empat kriteria yang diharuskan memiliki nilai total pembobotan 100% dan pada objektif ekonomi terdapat dua kriteria yang diharuskan memiliki nilai total pembobotan 100%.

No.	Kriteria	Persentase Pembobotan (dalam %)
Objektif Lingkungan		
1.	Density Gempa	
2.	Persentase Slope	
3.	Jarak Gardu Induk dengan Danau	
4.	Jarak Gardu Induk dengan Sungai	
Nilai Total Pembobotan		
Objektif Ekonomi		
5.	Jarak Gardu Induk dengan Pusat Beban	
6.	Jarak Gardu Induk dengan Akses Jalan	
Nilai Total Pembobotan		

Bagian III

Pada bagian ini, responden dipersilahkan untuk memberikan nilai bobot atau tingkat kepentingan dari masing-masing kriteria (terdapat 6 kriteria) pada kolom “Skor”, dimana semakin besar nilai bobot atau skor yang diberikan akan mengindikasikan semakin penting atau semakin sesuai tingkat kriteria tersebut dalam mempengaruhi pemilihan lokasi gardu induk yang optimal di Jawa Timur. Untuk nilai atau skor pembobotan, responden dapat memberikan nilai atau skor bobot yang sesuai dengan keterangan di tabel berikut.

No.	Skor	Skala Verbal
1.	0	Tidak sesuai
2.	1	Sangat kurang sesuai
3.	2	Sangat kurang sesuai
4.	3	Kurang sesuai
5.	4	Kurang sesuai
6.	5	Sesuai
7.	6	Sesuai
8.	7	Sesuai
9.	8	Sangat sesuai
10.	9	Paling sesuai

Berikut merupakan tabel skor yang harus diisi oleh responden.

Aturan Keputusan			
No.	Kriteria Keputusan	Rentang Atribut	Skor
	Objektif Lingkungan		
1.	Density gempu (SR)	0 - 0,99 SR	
		0,99 – 1,99 SR	
		1,99 – 2,99 SR	

		2,99 – 3,99 SR	
		3,99 – 4,99 SR	
		4,99 – 5,99 SR	
		5,99 – 6,99 SR	
2.	% Slope (kemiringan lahan)	0 – 4%	
		4 – 8%	
		8 – 12%	
		12 – 24%	
3.	Jarak Gardu Induk dengan Danau (dalam satuan meter)	200 – 1000	
		1000 – 2000	
		2000 – 3000	
		3000 – 4000	
		4000 – 10000	
		10000 – 20000	
4.	Jarak Gardu Induk dengan Sungai (dalam satuan km)	0 – 3	
		3 – 4	
		4 – 5	
		5 – 6	
		6 – 7	
		7 - 8	
Objektif Ekonomi			
5.	Jarak Gardu Induk dengan Pusat Beban (dalam satuan km)	0 – 9	
		9 – 10	
		>10	
6.	Jarak Gardu Induk dengan Akses Jalan (dalam satuan km)	<3	
		3 – 5	
		5 - 10	

Bekasi,.....2016

Validator I

Validator II

(_____)

(_____)

Validator III

Validator IV

(_____)

(_____)

Validator V

Validator VI

(_____)

(_____)

LAMPIRAN 6

BIODATA RESPONDEN (EXPERT)

Validator I

Jabatan : Spv Senior System Owner

Lama Bekerja : 12 Tahun

Pendidikan : S1 Teknik Elektro

Bidang Keahlian : Instrumentasi & Kontrol

Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW

- Penormalan Waste Water Treatment Plant
- Pengadaan Chemical Emission Monitoring System Pembangkit

Validator II

Jabatan : Assistant Engineer System Owner

Lama Bekerja : 10 Tahun

Pendidikan : S1 Teknik Elektro

Bidang Keahlian : Electrical Engineering

Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW

- Assesment trafo eksitasi Steam Turbine 14
- Install sistem EWS Trafo SST 12/13

Validator III

Jabatan : Assistant Engineer System Owner
Lama Bekerja : 9 Tahun
Pendidikan : S1 Teknik Sipil
Bidang Keahlian : Civil Engineering
Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW
- Pembangunan infrastruktur pembangkit

Validator IV

Jabatan : Assistant Engineer System Owner
Lama Bekerja : 9 Tahun
Pendidikan : S1 Teknik Elektro
Bidang Keahlian : Management Outage
Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW
- Overhaul Type C Gas Turbine & Steam Turbine
- Turbine Blade Monitoring System

Validator V

Jabatan : Junior Engineer System Owner
Lama Bekerja : 8 Tahun
Pendidikan : D3 Teknik Elektro
Bidang Keahlian : Electrical Engineering

Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW

- Upgrade sistem kontrol SFC Gas Turbine
- Upgrade eksitasi Gas Turbine

Validator VI

Jabatan : Junior Engineer System Owner

Lama Bekerja : 8 Tahun

Pendidikan : D3 Teknik Mesin

Bidang Keahlian : Mechanical Engineering

Project : - Add On PLTGU Muara Tawar Unit 2,3 dan 4 (650 MW),
Project 35.000MW

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Wahyu Surya Putra Pradana yang akrab dipanggil Wahyu. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dan lahir tanggal 01 April 1989 di kota Lumajang, Jawa Timur. Penulis menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 2 Lumajang.

Penulis menempuh pendidikan D4 di program studi Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS selama 4 tahun (2007-2011). Penulis aktif bergabung di lembaga organisasi kampus dan menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Elektro Industri khususnya sebagai Wakil Kepala Departemen Luar Negeri selama periode jabatan dua tahun. Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di Scheider Electric Jakarta pada bagian sistem kontrol. Penulis lulus jenjang pendidikan D4 dengan melakukan penelitian di bidang sistem kendali cerdas. Setelah lulus D4, penulis sempat bekerja selama dua tahun di bidang jasa kontraktor PT Wijaya Karya. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S2 pada tahun ajaran 2012. Selama melakukan studi perkuliahan, penulis bekerja di PT PJB UP Muara Tawar, Bekasi pada tahun 2015 dan berkonstrasi di bidang instrument & kontrol.

Penulis memiliki ketertarikan pada ilmu manajemen teknik khususnya di bidang manajemen strategi. Saat melakukan penelitian tesis, peneliti mencoba menggabungkan unsur strategi dengan analisis spasial. Sehingga penulis mencoba untuk melakukan penelitian di bidang kelistrikan sesuai dengan wilayah kerja tentang “Analisis Evaluasi Penempatan Lokasi Gardu Induk yang Optimal dengan Mempertimbangkan Atribut dan Interaksi Spasial”. Kritik, saran dan pertanyaan, penulis dapat dihubungi melalui email wahyuspp@outlook.co.id.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)