



TUGAS AKHIR - KI141502

**OPTIMASI PENEMPATAN GARDU INDUK
MENGUNAKAN METODE *DELAUNAY TRIANGULATION*
ALGORITHM DAN *VORONOI DIAGRAM* PADA STUDI
KASUS JAWA TIMUR**

**PRADIPTA GHUSTI
NRP 5112100137**

**Dosen Pembimbing I
Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D**

**Dosen Pembimbing II
Dr.tech. Ir. R.V.Hari Ginardi, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



UNDERGRADUATE THESES - KI141502

SUBSTATION PLACEMENT OPTIMIZATION METHOD USING DELAUNAY TRIANGULATION ALGORITHM AND VORONOI DIAGRAM IN EAST JAVA CASE STUDY

**PRADIPTA GHUSTI
NRP 5112100137**

**Supervisor I
Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D**

**Supervisor II
Dr.tech. Ir. R.V.Hari Ginardi, M.Sc**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PENEMPATAN GARDU INDUK MENGUNAKAN METODE DELAUNAY TRIANGULATION ALGORITHM DAN VORONOI DIAGRAM PADA STUDI KASUS JAWA TIMUR

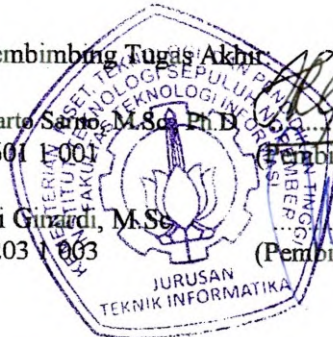
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Rumpun Mata Kuliah Manajemen Informasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
PRADIPTA GHUSTI
NRP : 5112 100 137

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Drs.Ec. Ir. Rivanarto Sarno, M.Sc., Ph.D.
NIP: 19590803 198601 1 001 (Pembimbing 1)
2. Dr.tech. Ir. R.V. Hari Gunardi, M.Sc.
NIP: 19650518 199203 1 003 (Pembimbing 2)



SURABAYA
JUNI, 2016

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

OPTIMASI PENEMPATAN GARDU INDUK MENGUNAKAN METODE DELAUNAY TRIANGULATION ALGORITHM DAN VORONOI DIAGRAM PADA STUDI KASUS JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : PRADIPTA GHUSTI
NRP : 5112100137
Jurusan : Teknik Informatika FTIF-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno,
M.Sc., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Dr.tech. Ir. R.V.Hari Ginardi, M.Sc

Abstrak

Untuk memenuhi dan mengantisipasi pertumbuhan permintaan listrik di wilayah tersebut, diperlukan penambahan gardu dan gardu pengembangan baru yang telah terjadi sebelumnya. Perusahaan Listrik Negara (PLN) mengembangkan rencana untuk menentukan jumlah, kapasitas, dan lokasi gardu untuk memenuhi kebutuhan arus listrik dengan kebutuhan listrik di masa depan. Rencana ini membutuhkan identifikasi beban listrik di setiap daerah serta pengembangan kapasitas gardu gardu yang ada.

Tugas akhir ini ditunjukkan dengan menerapkan beberapa resolusi dengan menggunakan metode Delaunay Triangulation Algorithm dan Voronoi Diagram untuk membantu mencari dan menentukan lokasi gardu induk baru yang optimal. Rencana yang optimal ini, akan memenuhi kebutuhan listrik, pelayanan yang merata, dan menyesuaikan dengan kondisi masyarakat sekitar.

Hasil dari studi ini mendapatkan lokasi baru sebagai tempat untuk membangun gardu induk baru sebanyak 106 titik berdasarkan implementasi dari kedua metode tersebut.

Kata kunci: Optimasi, voronoi diagram, delaunay triangulation algorithm, gardu induk, lokasi baru.

**SUBSTATION PLACEMENT OPTIMIZATION
METHOD USING DELAUNAY TRIANGULATION
ALGORITHM AND VORONOI DIAGRAM IN EAST
JAVA CASE STUDY**

Student's Name : PRADIPTA GHUSTI
Student's ID : 5112100137
Department : Teknik Informatika FTIF-ITS
First Advisor : Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno,
M.Sc., Ph.D
Second Advisor : Dr.tech. Ir. R.V.Hari Ginardi, M.Sc

Abstract

To meet and anticipate growth in electricity demand in the region, required the addition of a new substation and substation development that has gone before. State Electricity Company (PLN) develop a plan to determine the number, capacity and location of substations in order to reconcile the needs of electric current with future electricity needs. This plan requires the identification of the electrical load in each area as well as capacity development of substation-existing substations.

The final task is demonstrated by applying several resolutions by using Delaunay Trinagulation Algorithm and Voronoi Diagram to help locate and determine the location of new substations optimal.The optimal plan, will meet the electricity needs, equitable services and adjust to the conditions surrounding communities.

The results of this study to get a new location as a place to build a new substation total of 106 points based implementation of both methods.

Keywords: Optimization, Voronoi Diagram, Delaunay Triangulation Algorithm, Substation, New Location.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

OPTIMASI PENEMPATAN GARDU INDUK MENGUNAKAN METODE DELAUNAY TRIANGULATION ALGORITHM DAN VORONOI DIAGRAM PADA STUDI KASUS JAWA TIMUR

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer di Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan semangat yang diberikan dan membantu penulis baik secara langsung ataupun tidak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada

1. Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunianya penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
2. Kedua orang tua, dan keluarga penulis, terima kasih atas doa dan bantuan moral dan material selama penulis belajar di Teknik Informatika ITS.
3. Bapak Dr. Darlis Herumurti, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika ITS
4. Bapak Radityo Anggoro, S.Kom., M.Sc. selaku Koordinator tugas akhir di Teknik Informatika ITS.
5. Bapak Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir yang telah

memberikan bimbingan dan dukungan selama penulis menyelesaikan tugas akhir.

6. Bapak Dr.tech. Ir. R.V.Hari Ginardi, M.Sc selaku pembimbing II tugas akhir yang telah memberikan banyak waktu untuk berdiskusi dan memberi semangat dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu selama penulis kuliah di Teknik Informatika
8. Seluruh staf dan karyawan Teknik Informatika yang telah memberikan bantuan selama penulis kuliah di Teknik Informatika.
9. Rekan-rekan di Teknik Informatika yang telah bersedia dan betah dengan adanya penulis di lab selama pengerjaan tugas akhir.

Penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Kritik dan saran penulis harapkan untuk perbaikan dan pembelajaran di kemudian hari. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang sebesar besarnya.

Surabaya, Juni 2016

Pradipta Ghusti

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
<i>Abstrak</i>	vii
<i>Abstract</i>	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR KODE SUMBER	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Metodologi	3
1.7 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Voronoi Diagram</i>	7
2.2 <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i>	9
2.3 Sistem Informasi Geografis.....	11
2.3.1 Jenis Data dalam SIG	13
2.3.2 Sistem Koordinat	15
2.4 Sistem Distribusi Listrik.....	17
2.4.1 Gardu Induk Konvensional.....	18
2.4.2 GIS (<i>Gas Insulated Substation</i>).....	18
2.4.3 Lokasi Gardu Induk, Kapasitas dan Area Pelayanan	19
2.4.4 Pusat Titik Beban	20
2.4.5 Pertimbangan Pembangunan Gardu Induk	21
2.5 ArcGIS.....	22
2.6 Python Toolbox	23
BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM	25
3.1 Data	25
3.1.1 Data Masukan.....	25

3.1.2	Data Pembelajaran	25
3.1.3	Data Keluaran	26
3.2	Analisis Permasalahan	26
3.2.1	Memodelkan <i>Voronoi Diagram</i> pada ArcMap 10.3	26
3.2.2	Memodelkan <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i> pada ArcMap 10.3	27
3.2.3	Mengimplementasi Area Pelayanan Jaringan Sesuai dengan Data dari PLN.	28
3.2.4	Mengimplementasi Dua Metode dengan Data yang Sudah Ada	28
3.2.5	Memodelkan Bukti Kemiripan dengan Data PLN.	29
3.3	Deskripsi Umum Sistem	30
3.4	Desain Umum Sistem	30
BAB IV	IMPLEMENTASI	33
4.1	Lingkungan Implementasi	33
4.2	Implementasi	33
4.2.1	Implementasi Area Pelayanan Jaringan (APJ)..	33
4.2.2	Implementasi Proyeksi Gardu Induk <i>Existence</i> di ArcMap	35
4.2.3	Implementasi Proyeksi Trafo dan Penyulang di ArcMap	36
4.2.4	Implementasi Metode <i>Voronoi Diagram</i>	39
4.2.5	Implementasi Metode <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i>	43
4.2.6	Implementasi Penerapan Dua Metode pada Data Gardu Induk, Trafo dan Penyulang	45
4.2.7	Implementasi Titik Baru Disesuaikan dengan Dua Parameter	46
BAB V	UJI COBA DAN EVALUASI	47
5.1	Lingkungan Uji Coba	47
5.2	Data Uji Coba	47
5.3	Pengujian	47
5.3.1	Pengujian Mendapatkan Lokasi Optimal	47

5.3.2 Pengujian Membandingkan Hasil dari PLN dengan Implementasi.....	49
5.4 Skenario <i>Forecasting</i>	55
5.4.1 Uji Coba APJ SBU (Surabaya Utara).....	58
5.4.2 Uji Coba APJ MJK (Mojokerto)	59
5.4.3 Uji Coba APJ BJK (Bojonegoro)	59
5.5 Analisis Hasil Uji Coba	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	67
BIODATA PENULIS	69
DAFTAR ISTILAH	71
INDEKS	73

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proyeksi <i>Voronoi Diagram</i>	8
Gambar 2.2 <i>Voronoi Diagram</i> pada Bidang Datar.....	8
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>Generating Point</i> dan <i>Tile Edge</i>	9
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses <i>Triangulation</i>	10
Gambar 2.5 Ilustrasi Proses <i>Circumcircle</i>	11
Gambar 2.6 Hasil dari Proses <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i>	11
Gambar 2.7 Komponen pada SIG	12
Gambar 2.8 Konsep Data Geospasial.....	13
Gambar 2.9 Pembagian Teritorial Pelayanan.....	17
Gambar 2.10 Pembagian Teritorial Layanan Berdasarkan Area Pelayanan Jaringan Gardu Induk.....	19
Gambar 2.11 Pusat Titik Beban	21
Gambar 3.1 Diagram Alur Memodelkan <i>Voronoi Diagram</i> ..	27
Gambar 3.2 Diagram Alur Memodelkan <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i>	27
Gambar 3.3 Diagram Alur Implementasi APJ	28
Gambar 3.4 Diagram Alur Implementasi Dua Metode	29
Gambar 3.5 Diagram Alur Bukti Kemiripan dengan Data PLN	29
Gambar 3.6 Diagram Alur Sistem Secara Umum	30
Gambar 4.1 Hasil Implementasi APJ di Jawa Timur	34
Gambar 4.2 Lokasi yang Sudah Ditentukan dengan Koordinat	35
Gambar 4.3 Atribut Layer Titik Koordinat	36
Gambar 4.4 Proyeksi Trafo Existence pada Peta APJ.....	37
Gambar 4.5 Proyeksi Penyulang Existence pada Peta APJ....	37
Gambar 4.6 Atribut Layer Trafo	38
Gambar 4.7 Atribut Layer Penyulang	39
Gambar 4.8 <i>Output Toolbox</i> Hasil Pembuatan dengan <i>Script Voronoi Diagram</i>	42
Gambar 4.9 Implementasi <i>Voronoi Diagram</i> Terhadap Penyulang.....	43

Gambar 4.10 <i>Output Toolbox</i> Hasil Pembuatan dengan <i>Script Delaunay Triangulation Algorithm</i>	44
Gambar 4.11 Implementasi <i>Delaunay Triangulation Algorithm</i> Terhadap Penyulang	45
Gambar 4.12 Hasil Penggabungan Dua Metode.....	46
Gambar 4.13 Lokasi dari Titik Baru.....	46
Gambar 5.1 Hasil <i>Buffering</i> pada APJ Ponorogo	49
Gambar 5.2 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Tulung Agung dan Wlingi.....	50
Gambar 5.3 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Tulung Agung dan Wlingi	50
Gambar 5.4 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Jombang.....	51
Gambar 5.5 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Jombang.....	51
Gambar 5.6 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Ponorogo	52
Gambar 5.7 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Ponorogo	52
Gambar 5.8 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Nganjuk	53
Gambar 5.9 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Nganjuk	53
Gambar 5.10 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk Bringkang	54
Gambar 5.11 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk Bringkang	54
Gambar 5.12 <i>Supply</i> APJ SBU Tahun 2016.....	55
Gambar 5.13 <i>Supply</i> APJ MJK Tahun 2016.....	56
Gambar 5.14 <i>Supply</i> APJ BJK Tahun 2016	56
Gambar 5.15 <i>Demand</i> Tahun 2017-2018 untuk Tiga APJ	57
Gambar 5.16 Hasil Perhitungan <i>Demand</i> dengan <i>Supply</i> Tahun 2017	57
Gambar 5.17 Hasil Perhitungan <i>Demand</i> dengan <i>Supply</i> Tahun 2018	58

Gambar 5.18 Uji Coba pada APJ SBU	58
Gambar 5.19 Uji Coba pada APJ MJK	59
Gambar 5.20 Uji Coba pada APJ BJK	60

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 4.1 <i>Voronoi Diagram</i> dengan Python	42
Kode Sumber 4.2 <i>Delaunay Triangulation</i> dengan Python ...	44

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi, dan sistematika laporan tugas akhir. Diharapkan dari penjelasan dalam bab ini gambaran tugas akhir secara umum dapat dipahami.

1.1 Latar Belakang

Untuk memenuhi dan mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan listrik di suatu wilayah, diperlukan adanya penambahan gardu induk baru serta pengembangan gardu induk yang telah ada sebelumnya [1]. Perusahaan Listrik Negara (PLN) menyusun suatu rencana untuk menentukan jumlah, kapasitas, dan lokasi dari gardu induk guna mempertemukan kebutuhan listrik saat ini dengan kebutuhan listrik yang akan datang [2]. Rencana ini membutuhkan identifikasi beban listrik di masing-masing wilayah serta kapasitas pengembangan dari gardu-gardu induk yang sudah ada.

Beban yang dialokasikan ke suatu gardu induk, didasarkan pada jarak antar keduanya dengan mengupayakan biaya transportasi yang seminimal mungkin. Biaya tersebut didapatkan dengan menjumlahkan besar beban dengan jarak terhadap gardu induk yang melayaninya. Biaya ini teroptimasi untuk semua gardu induk melalui pengalokasian beban gardu induk yang tepat [1].

Dalam mengatasi hal-hal tersebut penulis mengajukan beberapa penyelesaian melalui tugas akhir ini dengan menerapkan metode *Delaunay Triangulation Algorithm* dan *Voronoi Diagram* untuk membantu merencanakan lokasi dari gardu induk baru secara optimal. Rencana yang optimal akan memenuhi kebutuhan jaringan listrik, pengalokasian di area yang tepat, serta memperhatikan kondisi masyarakat di sekitarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Bagaimana memetakan beban gardu induk per daerah yang sesuai dengan kebutuhan listrik masing-masing.
2. Bagaimana mendapatkan lokasi gardu induk yang baru sesuai dengan parameter geografis dan kondisi pemukiman penduduk di sekitarnya.
3. Bagaimana memetakan daerah APJ (Area Pelayanan Jaringan) di Provinsi Jawa Timur sesuai dengan aturan yang sudah dibuat PLN.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir memiliki beberapa batasan, yakni sebagai berikut:

1. Gardu Induk selalu berada di *centroid*, trafo, dan penyulang (*feeder*) diasumsikan berada di dekat lokasi gardu induk tersebut.
2. Acuan satuan area wilayah adalah daerah APJ (Area Pelayanan Jaringan) yang didapatkan dari PLN Distribusi Jatim untuk tahun 2015 sejumlah 16 daerah APJ.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah memberikan dan menentukan lokasi yang optimal ke PLN (Perusahaan Listrik Negara) berupa titik untuk menempatkan gardu induk baru, serta dalam rangka untuk mengatasi ketersediaan kebutuhan listrik di daerah Jawa Timur.

1.5 Manfaat

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan harapan bisa membantu mengatasi kebutuhan listrik di daerah Jawa Timur dengan memberikan beberapa rekomendasi seperti *upgrade* gardu induk *existing* atau menambah gardu induk baru.

1.6 Metodologi

Metodologi yang dipakai pada pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penyusunan Proposal Tugas Akhir

Tahap awal yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah penyusunan proposal tugas akhir. Di dalam proposal diajukan suatu gagasan optimasi penempatan gardu induk baru di Jawa Timur dengan dua metode.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian, pengumpulan, penyaringan, pemahaman, dan pembelajaran literatur yang berhubungan dengan *Voronoi Diagram*, *Delaunay Triangulation Algorithm*, area pelayanan jaringan (APJ), syarat membangun gardu induk baru, sistem jaringan distribusi listrik di Jawa Timur. Literatur yang digunakan meliputi; buku referensi, jurnal, dokumen dari PLN, dan dokumen lainnya dari internet.

3. Analisis dan Perancangan

Pada tahap ini dilakukan analisa dari metode yang telah didapatkan dari studi literatur serta perancangan baru hasil dari analisa metode yang dikembangkan.

4. Implementasi

Pada tahap ini dilakukan implemmentasi perkiraan lokasi gardu induk baru sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya.

5. Uji Coba dan Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan uji coba terhadap perangkat lunak yang telah dibuat untuk mengetahui kemampuan algoritma yang dipakai, mengamati kinerja sistem, serta mengidentifikasi kendala yang mungkin timbul. Parameter yang diujicobakan adalah hasil *supply* dan *demand* dari teman-teman *smartgrid*, peta geografis Provinsi Jawa Timur, peta persebaran penduduk serta hasil optimasi dari metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm*.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahap ini dilakukan penyusunan laporan pengerjaan tugas akhir yang berisi dasar teori, dokumentasi dari optimasi metode yang dilakukan, dan hasil yang di peroleh selama pengerjaan tugas akhir.

1.7 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir

Buku tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dari pengerjaan tugas akhir ini. Secara garis besar, buku tugas akhir terdiri atas beberapa bagian seperti berikut ini:

Bab I Pendahuluan

Bab yang berisi mengenai latar belakang, tujuan, dan manfaat dari pembuatan tugas akhir. Selain itu perumusan masalah, batasan masalah, metodologi yang digunakan, dan sistematika penulisan juga merupakan bagian dari bab ini.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan secara detail mengenai dasar-dasar penunjang dan teori-teori yang digunakan untuk mendukung pembuatan tugas akhir ini.

Bab III Analisis dan Perancangan Sistem

Bab ini membahas mengenai perancangan perangkat lunak. Perancangan Alur Sistem, Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan data, arsitektur, proses dan perancangan antarmuka pada sistem.

Bab IV Implementasi

Bab ini membahas mengenai implementasi dari rancangan yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Penjelasan berupa *code* yang digunakan untuk proses implementasi dan juga sebagai penunjang fitur dalam aplikasi.

Bab V Uji Coba Dan Evaluasi

Bab ini menjelaskan mengenai kemampuan perangkat lunak dengan melakukan pengujian

kebenaran dan pengujian kinerja dari perangkat lunak yang telah dibuat sesuai dengan data yang diujikan.

Bab VI Kesimpulan Dan Saran

Bab ini merupakan bab terakhir yang menyampaikan kesimpulan dari hasil uji coba yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan perangkat lunak ke depannya.

Daftar Pustaka

Merupakan daftar referensi yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir.

Lampiran

Merupakan daftar referensi yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang menjadi dasar dari pembuatan Tugas Akhir.

2.1 *Voronoi Diagram*

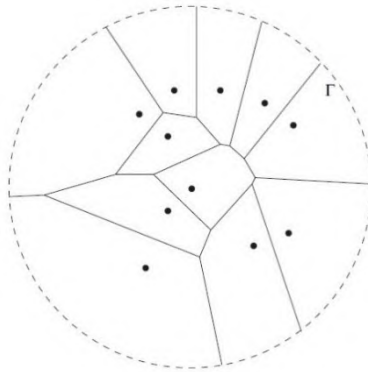
Voronoi Diagram adalah salah satu cabang ilmu yang dipelajari dalam perkuliahan geometri komputasi yang muncul pada abad ke-17. Diagram *voronoi* pertama kali ditemukan oleh Rene Descartes pada tahun 1644 dan digunakan oleh Dirichlet pada tahun 1850. Kemudian Voronoi pada tahun 1907 mengembangkannya ke dalam dimensi yang lebih tinggi. Walaupun demikian, Voronoi dan Dirichlet adalah orang yang pertama kali memperkenalkan konsep *Voronoi Diagram* secara formal. Mereka menerapkan konsep tersebut dalam kajian bentuk kuadrat. Hasil dari studi tersebut kemudian disebut dengan *Dirichlet tessellation* atau *Voronoi Diagram*.

Secara sistematis, *Voronoi Diagram* didefinisikan sebagai berikut:

- a. Misal P adalah himpunan n (jarak titik-titik dalam sebuah bidang). *Voronoi Diagram* dari P adalah pembagian bidang tersebut dalam n sel (bagian), satu untuk setiap titik. Titik q terletak pada sel (bagian) yang sesuai dengan titik p_i elemen dari P . Ditunjukkan dalam Persamaan 2.1.

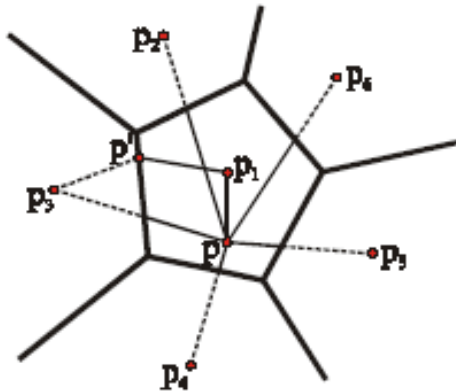
$$V(S) = \bigcup_{p, q \in S, p \neq q} \overline{VR(p, S)} \cap \overline{VR(q, S)} \quad (2.1)$$

- b. Batas dari dua daerah *voronoi* disimbolkan $V(S)$ dan disebut juga *Voronoi edge* (rusuk *voronoi*), jika terdiri dari lebih dari satu titik. Titik sudut dari rusuk *voronoi* disebut *Voronoi vertices* (sudut *voronoi*) yang dibatasi oleh tiga atau lebih daerah *voronoi*. Ilustrasi *Voronoi Diagram* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proyeksi *Voronoi Diagram*

Semua wilayah yang ada di dalam bagian terkoneksi dengan elemen-elemen yang berada di dekat p , dengan memperhatikan jarak *Euclidean* [3].



Gambar 2.2 *Voronoi Diagram* pada Bidang Datar

Penjelasan secara umum akan dijelaskan seperti berikut:

Ada set koordinat $P = p_1, p_2, \dots, p_n$ di mana $2 \leq n \leq \infty$ dan $x_i \neq x_j, i, j \in I_n$. Wilayah di peroleh dari Persamaan 2.2 [3]:

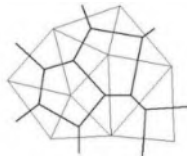
$$V(p_i) = \{x / \|x - x_i\| \leq \|x - x_j\|, \text{ for } j \neq i, j \in I_n\} \quad (2.2)$$

Sebuah *Voronoi polygon* terkoneksi pada p_i . Berdasarkan Persamaan 2.3 di atas, akan didapati V [3]:

$$V = \{V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)\} \quad (2.3)$$

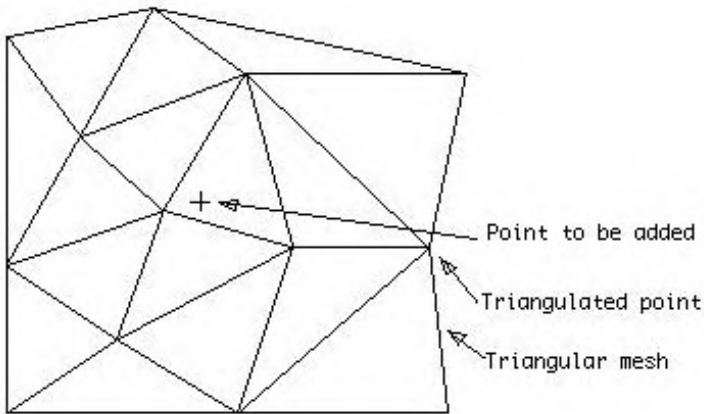
2.2 *Delaunay Triangulation Algorithm*

Delaunay Triangulation Algorithm secara geometris sangat berkaitan erat dengan *Dirichlet tessellation* dikenal juga dengan *voronoi* atau *theissen tessellation*. *Tessellation* ini membagi bidang menjadi ke sejumlah daerah berbentuk polygon yang disebut *tiles*. *Tiles* ini mempunyai satu titik sampel di bagian dalam nya yang disebut *generating point* (titik pembangkit). Semua titik-titik yang berada pada *polygon tile* posisinya terletak lebih dekat dengan *generating point* daripada dengan titik lainnya. *Delaunay Triangulation Algorithm* dibuat dengan menghubungkan semua *generating points* yang kemudian menghasilkan daerah yang bernama *tile edge* (daerah tepi). Ilustrasi *generating point* dan *tile edge* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



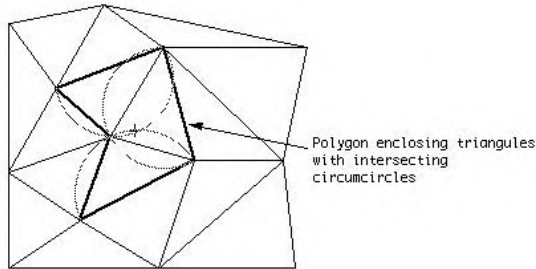
Gambar 2.3 Ilustrasi *Generating Point* dan *Tile Edge*

Pada setiap tahap proses *Triangulation*, salah satu nya memiliki segitiga yang saling berhubungan dan satu titik sampel yang akan ditambahkan pada daerah segitiga yang berhubungan tadi. Proses dimulai dari dengan membuat *super triangle*, sebuah segitiga buatan yang mencakup semua titik-titik. Dan pada tahap akhir proses *Triangulation*, setiap segitiga yang membagi permukaan luarnya dengan *super triangle* akan terhapus dari daftar segitiga. Proses dapat dilihat pada Gambar 2.4.



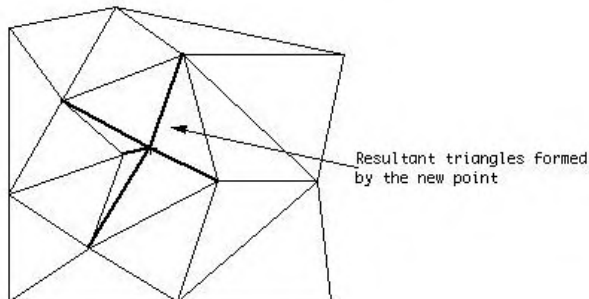
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses *Triangulation*

Semua segitiga yang termasuk *circumcircle* yang mempersertakan dari titik yang sudah ada sebelumnya, di mana bagian terluar dari segitiga-segitiga tersebut juga dikelompokkan menjadi daerah *polygon*. *Circumcircle* adalah daerah lingkaran pada segitiga yang memiliki tiga simpul di setiap segitiga yang melingkarinya [4]. Ilustrasi proses *circumcircle* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ilustrasi Proses *Circumcircle*

Segitiga-segitiga yang sudah dikelompokkan menjadi daerah berbentuk *polygon* akan dihapus dan segitiga-segitiga baru akan terbentuk di antara titik yang telah ditambahkan serta setiap bagian luar dari daerah *polygon*. Hasil akhir dari proses ditunjukkan pada Gambar 2.6.



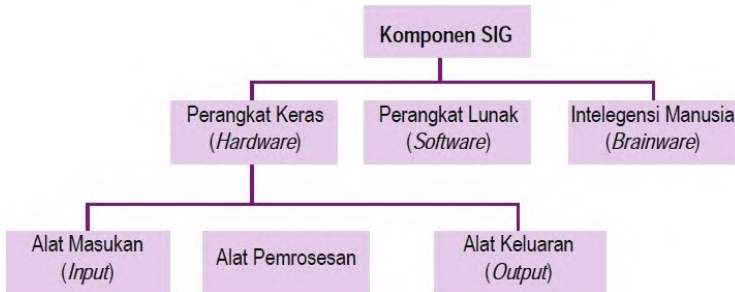
Gambar 2.6 Hasil dari Proses *Delaunay Triangulation Algorithm*

2.3 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat diartikan sebagai sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisis, dan menghasilkan data bereferensi geografis atau data geospasial, untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan penggunaan lahan, sumber daya alam,

lingkungan transportasi, fasilitas kota, dan pelayanan umum lainnya [5] [6].

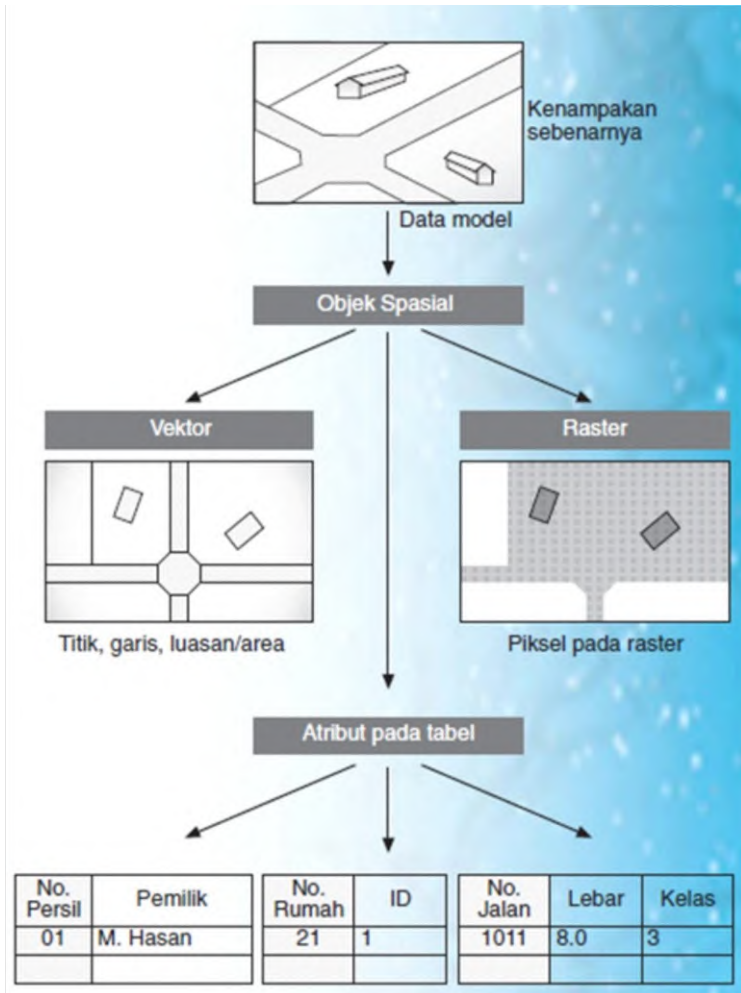
Komponen utama SIG adalah perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan intelegensi manusia (*brainware*), seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Komponen pada SIG

Sistem komputer untuk SIG terdiri dari perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan prosedur untuk penyusunan pemasukan data, pengolahan analisis, pemodelan (*modelling*) serta penayangan data geospasial.

Sumber-sumber data spasial adalah peta digital, foto udara, citra satelit, tabel statistik, dan dokumen lain yang berhubungan. Data geospasial dibedakan menjadi data grafis (atau disebut juga data geometris) dan data atribut (data tematik), lihat Gambar 2.8. Data grafis mempunyai tiga elemen: titik (*node*), garis (*arc*) dan luasan (*polygon*) dalam bentuk vektor maupun raster yang mewakili geometri topologi, ukuran, bentuk, posisi, dan arah.



Gambar 2.8 Konsep Data Geospasial

2.3.1 Jenis Data dalam SIG

Ada beberapa jenis data yang terdapat pada SIG, yaitu sebagai berikut:

a. Data Raster

Model data raster menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial dengan menggunakan struktur matriks atau piksel-piksel yang membentuk *grid*. Setiap piksel atau sel ini memiliki atribut tersendiri, termasuk koordinatnya yang unik. Akurasi model data ini sangat bergantung pada resolusi atau ukuran pikselnya di permukaan bumi. *Entity* spasial raster disimpan dalam *layer* yang secara fungsionalitas direalisasikan dengan unsur-unsur petanya.

b. Data Vektor

Model data vektor menampilkan, menempatkan dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik, garis-garis atau kurva, atau *polygon* beserta atribut-atributnya. Bentuk-bentuk dasar representasi data spasial ini, di dalam sistem model data vektor, didefinisikan oleh sistem koordinat kartesian dan dua dimensi (x,y). Tipe-tipe geometri dalam model data vektor, meliputi:

- Titik

Titik-titik nol dimensi yang digunakan dalam fitur geografi, direpresentasikan sebagai titik tunggal (*single point*) yang mewakili suatu lokasi. Sebagai contoh, lokasi dari sumber mineral, lokasi fasilitas umum, lokasi titik tertinggi dan terendah, dll. Titik memuat informasi terkecil dari tipe *file*. Titik juga digunakan untuk merepresentasikan area ketika ditampilkan dengan skala kecil. Sebagai contoh, kota-kota yang semula berbentuk *polygon*, akan direpresentasikan sebagai titik bila peta tersebut di *zoom out*.

- Garis

Garis satu dimensi atau *polylines* digunakan untuk menggambarkan sungai, jalan, jalur kereta api dan garis topografi. Fitur garis dapat digunakan untuk mengukur jarak.

- *Polygon*
Polygon dua dimensi digunakan sebagai fitur geografis yang melingkupi area atau wilayah tertentu di atas permukaan bumi. Contoh representasi dari fitur *polygon* antara lain, untuk menyatakan danau, area taman, gedung, batas kota, maupun batas tanah. *Polygon* memuat bobot informasi terbesar dari sebuah tipe *file*. *Polygon* dapat mengukur garis keliling dan luas wilayah.
- c. *Data Non-Spatial*
Data Non-Spatial digunakan untuk menyimpan informasi-informasi lain yang berkaitan dengan koordinat yang tersimpan dalam data spasial. Objek spasial yang merepresentasikan persis rumah, ternyata memuat informasi tentang pemilik rumah serta alamat jalan tempat rumah itu berlokasi. Data pemilik rumah dan alamat inilah yang disimpan dalam bentuk data *non-spatial*.

2.3.2 Sistem Koordinat

Sistem koordinat (atau disebut juga *spatial reference system*) berarti memberikan koordinat ke sebuah lokasi dan membentuk hubungan antara koordinat yang memiliki sistem yang sama. Hal ini menginterpretasikan sekumpulan koordinat yang merepresentasikan posisi sebenarnya di permukaan bumi.

Setiap data spasial memiliki sistem koordinat yang berhubungan dengan hal ini. Sistem koordinat dapat berupa *georeferenced* (berhubungan dengan representasi spesifik yang ada di bumi) atau tidak *georeferenced* (seperti koordinat Cartesian dan tidak berelasi dengan representasi spesifik yang ada di bumi). Jika sebuah sistem koordinat berupa *georeferenced*, sistem tersebut memiliki standart unit pengukuran sendiri (seperti meter), tetapi tidak dapat secara otomatis mendapatkan hasil dari unit pengukuran yang lain (misalnya mil).

Sebelum Oracle Spatial 8.16 dirilis, geometri (objek dari tipe SDO_GEOMETRY) disimpan dalam bentuk koordinat string tanpa mengacu ke sistem koordinat spesifik. Fungsi spasial dan operator selalu mengasumsikan sistem koordinat yang memiliki sistem *property orthogonal* Cartesian, dan terkadang tidak memberikan representasi yang sebenarnya jika dikonversi menjadi geometri bumi yang disimpan koordinat *latitude* dan *longitude*. Dengan *release* 8.1.6, spasial memberikan *support* untuk banyak sistem koordinat dan bebas melakukan konversi di antara sistem koordinat yang ada.

Data spasial dapat dialokasikan dengan sistem koordinat Cartesian, *geodetic* (geografis), *projected* atau sistem koordinat lokal:

a. Koordinat Cartesian

Merupakan koordinat yang mengukur posisi satu titik dari poros titik *origin* yang secara tegak lurus direpresentasikan dalam dua dimensi atau tiga dimensi. Jika sistem koordinat tidak secara eksplisit berasosiasi dengan geometri, berarti sistem koordinat Cartesian tersebut merupakan hasil asumsi.

b. Koordinat Geodetik

Biasanya disebut koordinat geografis merupakan *angular* (*longitude* dan *latitude*), yang mendekati representasi koordinat bumi sesungguhnya dan didefinisikan secara relatif teliti ke *Earth geodetic datum* (geodetik datum merepresentasikan gambar bumi dan referensinya untuk suatu sistem koordinat geodetik).

c. Koordinat *Projected*

Merupakan koordinat Cartesian *planar* yang merupakan hasil dari pemetaan matematis dari titik yang ada di permukaan bumi ke permukaan mendatar. Terdapat banyak sekali pemetaan matematis yang masing-masing memiliki pendekatan yang sangat teliti.

d. Koordinat *Local*

Merupakan sistem koordinat Cartesien pada koordinat non-Bumi (*non-georeferenced*). Sistem koordinat *local* sering menggunakan aplikasi CAD dan *local survey*.

2.4 Sistem Distribusi Listrik

Untuk menyusun suatu rencana operasional yang efisien dan pengembangan modal yang ekonomis dalam sistem distribusi listrik, pemilik sistem harus dapat mengantisipasi kebutuhan listrik yang akan disalurkan, seberapa besar daya yang harus disalurkan, di mana, dan kapan daya itu dibutuhkan.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan pertumbuhan kebutuhan listrik dalam basis spasial. Dari semua metode tersebut, membagi lokasi geografis teritorial pelayanan ke dalam beberapa area yang lebih kecil, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Kemungkinan teritorial tersebut dibagi menjadi beberapa bentuk yang tidak beraturan mengikuti area pelayanan dari gardu induk atau gardu penyulang (*feeder*) dalam sistem.



Gambar 2.9 Pembagian Teritorial Pelayanan

Untuk selanjutnya, metode yang akan diterapkan dalam tugas akhir ini, ialah dengan membagi teritorial layanan berdasarkan batasaan APJ (Area Pelayanan Jaringan) yang sudah ditentukan oleh PLN.

2.4.1 Gardu Induk Konvensional

Tujuan utama dari gardu induk ialah untuk menyalurkan daya listrik bertegangan tinggi (500 KV/150 KV) dari transmisi atau subtransmisi level, menurunkan tegangannya (dari 150 KV menjadi 20 KV), kemudian menyalurkannya ke dalam beberapa tegangan primer penyulang (*feeder*) untuk didistribusikan ke area sekitarnya [1].

Performansi gardu induk lebih penting daripada biaya gardu induk yang diindikasikan. Gardu induk mempertemukan sistem transmisi dengan sistem distribusi, sehingga gardu induk memegang banyak peranan untuk mempengaruhi total biaya serta performansi dari kedua sistem. Perencanaan yang tepat pada *level* gardu induk merupakan kunci keberhasilan dari perencanaan sistem distribusi [7].

Gardu induk merepresentasikan titik terakhir dari penyaluran sistem transmisi. Gardu induk merupakan lokasi di mana sistem transmisi harus menyalurkan daya sebesar total beban pada semua *feeder* yang terhubung dengan gardu induk tersebut (*level* distribusi).

2.4.2 GIS (*Gas Insulated Substation*)

Adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (*switchgear*, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, *cubicle*, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung.

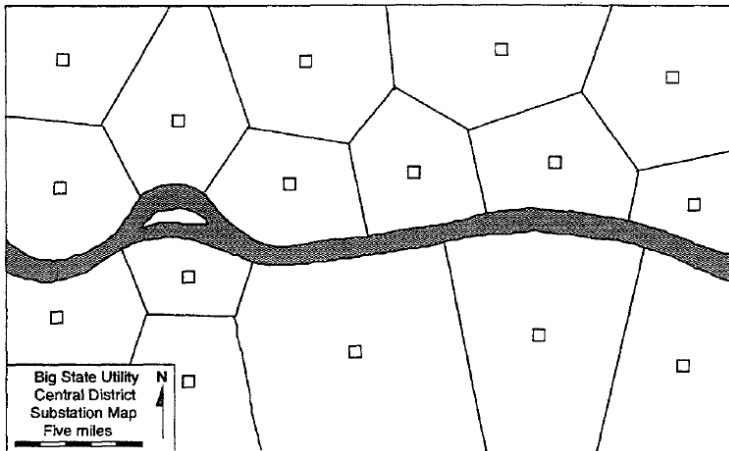
Beberapa keunggulan GIS dibanding GI Konvensional:

1. Hanya membutuhkan lahan seluas $\pm 3.000 \text{ m}^2$ atau $\pm 6\%$ dari luas lahan GI Konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya (*power capacity*) sebesar 3 x 60 MVA, bahkan bisa ditinggikan sampai dengan 3 x 100 MVA.
3. Jumlah penyulang keluaran (*output feeder*) sebanyak 24 penyulang, dengan tegangan kerja masing-masing 20 KV.
4. Bisa dipasang di tengah-tengah kota yang padat pemukiman.

5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi sekitarnya.

2.4.3 Lokasi Gardu Induk, Kapasitas, dan Area Pelayanan

Listrik yang disalurkan ke setiap konsumen berasal dari gardu induk yang terletak berdekatan dengan konsumen atau bisa saja berasal dari tempat lain yang lebih jauh [8]. Teritorial *service area* listrik dibagi menjadi beberapa *service area* gardu induk, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Pembagian Teritorial Layanan Berdasarkan Area Pelayanan Jaringan Gardu Induk

Setiap gardu induk (dilambangkan sebagai kotak kecil) yang melayani area tertentu (batas-batas garis pada gambar) harus memiliki kapasitas yang cukup untuk melayani *maximum demand* dari semua konsumen yang ada di area tersebut [7].

Service area dalam hal ini berupa titik-titik beban yang tersebar di sekitar gardu induk. Titik beban tersebut merupakan titik *demand* dari konsumen yang belum tentu sama antar satu konsumen dengan konsumen di daerah yang lain, bergantung

pada karakteristik masing-masing konsumen. Untuk konsumen pada sektor industri, beban yang dibutuhkan tentunya akan lebih besar bila dibandingkan dengan konsumen dari sektor rumah tangga. Sehingga untuk dua *service area* yang identik, belum tentu total bebannya sama [7].

Gardu induk yang sudah ada maupun yang direncanakan selalu mencakup lokasi terbaik dari segi ekonomi maupun dari segi operasional, realibilitas, dan pelayanan. Suatu *service area* dapat dikatakan optimal bila dalam area tersebut dilayani oleh gardu induk yang paling ‘baik’ dibandingkan dengan gardu induk lain dari segi penekanan biaya sistem secara keseluruhan.

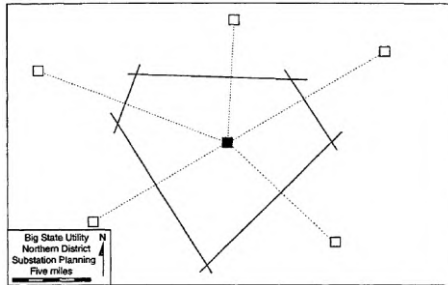
Penambahan gardu induk baru akan dilakukan bila kapasitas dari gardu-gardu induk dalam area tersebut (telah terpasang sebelumnya) sudah tidak dapat memenuhi permintaan konsumen. Dengan demikian, penambahan gardu induk baru harus semaksimal mungkin dapat mengatasi gardu induk yang kelebihan beban.

2.4.4 Pusat Titik Beban

Cara terbaik agar gardu induk dapat melayani konsumen secara maksimal tetapi dengan biaya yang minimal adalah dengan meletakkan gardu induk di pusat *service area* atau pusat beban. Berikut adalah cara menentukan letak gardu induk dengan mempertimbangkan gardu induk lain yang telah terpasang sebelumnya [7]:

- a. Menggambar garis lurus antara rencana letak gardu induk baru dengan tiap gardu induk yang berdekatan.
- b. Menarik garis tegak lurus di setiap garis tersebut (membagi garis pada langkah 1 menjadi dua bagian dengan sudut siku-siku).
- c. Garis-garis yang dihasilkan pada langkah 2 dan saling berpotongan, menunjukkan *service area* dari gardu induk baru.
- d. Target beban (kapasitas) yang akan dipasangkan di gardu induk baru adalah total dari beban di sekitar *service area*.

Gambaran akan pusat titik beban diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pusat Titik Beban

Dampak yang ditimbulkan dari peletakan gardu induk baru dapat mengurangi beban yang ditanggung oleh gardu induk-gardu induk di sekitarnya. Hal ini akan mempengaruhi batasan *service area* dari masing-masing gardu induk.

Pada awalnya, *planner* (perencana) melakukan perhitungan untuk mengidentifikasi gardu induk mana sajakah yang kelebihan beban, misalnya salah satu gardu induk akan memberikan bebannya sebesar 25 MVA, maka lokasi gardu induk baru akan digeser mendekati gardu induk tersebut dan menjauhi gardu induk lainnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan ulang untuk menentukan pusat beban area gardu induk baru. Tahapan ini dilakukan secara iteratif hingga letak pusat beban konvergen (tidak banyak bergeser dari posisi sebelumnya).

2.4.5 Pertimbangan Pembangunan Gardu Induk

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan gardu induk, yaitu sebagai berikut:

1. Kebutuhan (*demand*) beban yang semakin meningkat, mendekati bahkan melebihi gardu induk yang ada.

2. Jika kondisi gardu induk eksisting masih memungkinkan, biasanya cukup dilakukan *up-rating* atau menaikkan kapasitas gardu induk yang ada, misalnya dengan melakukan penggantian dan penambahan transformator daya.
3. Adanya perluasan daerah / wilayah atau adanya daerah / wilayah baru yang pasti membutuhkan ketersediaan / pasokan daya listrik yang cukup besar.
4. Adanya penggunaan infrastruktur bagi kawasan industri (*industrial estate*).
5. Proyeksi kebutuhan daya listrik untuk jangka waktu tertentu, sehingga perlu disiapkan gardu induk baru atau perluasan gardu induk.
6. Adanya pengembangan sistem tenaga listrik secara terpadu, misalnya pembangunan pembangkit listrik baru, sehingga dilakukan perluasan sistem penyaluran (transmisi), tentunya dibarengi dengan pembangunan gardu-gardu induk baru.

Secara prinsip peralatan yang dipasang pada GIS sama dengan peralatan yang dipakai GI Konvensional, perbedaannya adalah:

1. Pada GIS peralatan-peralatan utamanya berada dalam suatu selubung logam tertutup rapat, yang di dalamnya berisi gas bertekanan, yaitu gas SF₆ (*Sulphur Hexafluorida*).
2. Gas SF₆ berfungsi sebagai isolasi *switchgear* dan sebagai pemadam busur api pada operasi *Circuit Breaker* (CB).

2.5 ArcGIS

ArcGIS adalah salah satu *software* yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institute*) yang merupakan kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam *software* GIS yang berbeda seperti GIS *desktop*, *server* dan berbasis *web*. *Software* ini mulai dirilis oleh ESRI pada tahun 2000. Produk dari ArcGIS adalah ArcGIS *desktop*, di mana ArcGIS *desktop* merupakan *software* GIS profesional yang

komprehensif dan dikelompokkan atas tiga komponen, yaitu: ArcView (komponen yang fokus ke penggunaan data yang komprehensif, pemetaan, dan analisis), ArcEditor (lebih fokus ke arah editing data spasial), dan ArcInfo (lebih lengkap dalam menyajikan fungsi-fungsi GIS termasuk untuk keperluan *geoprocessing*) [5].

ArcGIS meliputi perangkat lunak berbasis Windows sebagai berikut:

a. ArcReader

Yang memungkinkan pengguna menampilkan peta yang di buat produk ArcGIS lainnya.

b. ArcDesktop

Memiliki lima tingkat lisensi:

1. ArcView, yang memungkinkan pengguna menampilkan data spasial, membuat peta berlapis, serta melakukan analisis spasial datar.
2. ArcMap adalah aplikasi utama untuk kebanyakan proses GIS dan pemetaan dengan komputer. ArcMap memiliki kemampuan utama untuk visualisasi, membangun *database*, memilih (*query*, *editing*, menciptakan desain-desain peta, analisis, dan membuat tampilan).

ArcCatalog, *tool* untuk menjelajah (*browsing*), mengatur (*organizing*), membagi (*distribution*), mendokumentasikan data spasial maupun metadata, dan menyimpan (*documentation*) data-data SIG.

2.6 Python Toolbox

Merupakan sebuah *geoprocessing toolbox* yang dibuat dengan bahasa pemrograman Python. Sebuah Python *toolbox* beserta alat-alat nya terdiri dari tampilan, tindakan, dan cara kerja yang sama dengan jenis *toolbox* pada umumnya. Python *toolbox* mempunyai *file* berekstensi *.pyt* yang berbasis ASCII mendefinisikan sebuah *toolbox*.

Python *toolbox* mempunyai beberapa keuntungan, seperti:

- a. Membuat Python *toolbox* dapat memberikan keuntungan untuk mengetahui ilmu pengetahuan mengenai bahasa Python lebih luas lagi, membuat *prototype* secara cepat serta dapat membuat *geoprocessing tools* yang mempunyai fungsi yang lengkap.
- b. Alat yang dibuat merupakan bagian dari integral *geoprocessing*, seperti sistem alat lainnya, *toolbox* ini dapat diakses melalui *search* maupun *catalog window*, digunakan dengan *modelbuilder*, dan memanggil nya dengan bantuan *script*.
- c. Dapat menulis pesan pada *results window* dan *progress dialog box*. Dapat digunakan sebagai alat dokumentasi, sehingga dapat memberikan dokumentasi.

BAB III

ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini dijelaskan mengenai analisis dan perancangan sistem yang akan dibuat. Perancangan yang dijelaskan meliputi data dan proses. Data yang dimaksud adalah data yang akan dianalisis dan dirancang di dalam sistem baik digunakan sebagai pembelajaran maupun pengujian sehingga tujuan Tugas Akhir ini bisa tercapai. Proses yaitu tahap-tahap yang ada dalam sistem sebagai pengolah data adalah klasifikasi data gardu induk yang sudah ada, membuat area pelayanan dengan *Voronoi Diagram*, optimasi menggunakan *Delaunay Triangulation*, kemudian *buffer* berdasarkan dua parameter, yaitu kebutuhan *supply* dan *demand* per area pelayanan, pemukiman penduduk, dan letak geografis .

3.1 Data

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai data yang digunakan sebagai masukan dalam proses optimasi untuk selanjutnya diolah dan dilakukan pengujian sehingga menghasilkan data keluaran yang diharapkan.

3.1.1 Data Masukan

Data masukan adalah data yang digunakan sebagai masukan dari sistem. Data yang digunakan adalah data gardu induk, trafo, penyulang (*feeder*) serta cakupan area pelayanan jaringan (APJ) untuk wilayah Jawa Timur dari PLN.

3.1.2 Data Pembelajaran

Data pembelajaran digunakan sebagai data belajar klasifikasi. Data yang digunakan adalah data gardu induk yang *existence*, trafo serta *feeder* (penyulang) didapat dari PLN Distribusi Jawa Timur. Kemudian data-data tersebut diklasifikasikan berdasarkan daerah area pelayanannya masing-masing yang berjumlah 16 APJ.

3.1.3 Data Keluaran

Data masukan akan akan diproses dan diproyeksikan ke dalam aplikasi ArcMap 10.3. Kemudian setelah memproyeksikan data-data masukan yang sudah disebutkan di atas, dilakukan proses optimasi dengan metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm* sehingga mendapatkan area persebaran pelayanan per *feeder* di setiap APJ. Setelah itu, maka dapat diletakkan sementara gardu induk baru di tempat yang tidak dicakupi oleh area persebaran pelayanan. Lalu, gardu induk baru tersebut diproses kembali berdasarkan dua parameter yaitu, keadaan *supply* dan *demand*.

3.2 Analisis Permasalahan

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana sistem mengolah data yang ada agar mendapatkan hasil lokasi titik baru yang optimal dengan metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm*.

3.2.1 Memodelkan *Voronoi Diagram* pada ArcMap 10.3

Dalam ArcMap memodelkan sebuah metode tidak bisa langsung memproses dengan data, harus ada sebuah *tools* yang berisi *script* yang mengandung metode. *Tools* tersebut dalam aplikasi ArcMap dibungkus menjadi satu dengan nama *Toolbox*. Dalam *Toolbox* dapat menampung lebih dari satu *function* atau metode, tetapi hanya dapat digunakan dalam bahasa pemrograman Python. Metode *Voronoi Diagram* di sini digunakan untuk menentukan *service area* yang ditentukan dari titik *vertices* penyulang dari setiap APJ. Desain proses sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alur Memodelkan *Voronoi Diagram*

3.2.2 Memodelkan *Delaunay Triangulation Algorithm* pada ArcMap 10.3

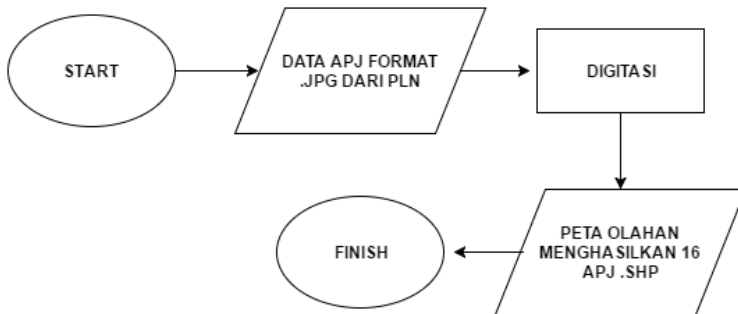
Kemudian diimplementasikan metode *Delaunay Triangulation Algorithm* agar mendapatkan jaringan distribusi listrik dan *service area* yang optimal. Metode ini dijalankan di atas metode *Voronoi Diagram* yang sebelumnya sudah diimplementasikan, dengan menggunakan titik *vertices* dari penyulang (*feeder*) juga. *Output* dari metode ini adalah sebuah garis yang membentuk segitiga dari titik *vertices*. Desain proses sistem dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alur Memodelkan *Delaunay Triangulation Algorithm*

3.2.3 Mengimplementasi Area Pelayanan Jaringan Sesuai dengan Data dari PLN.

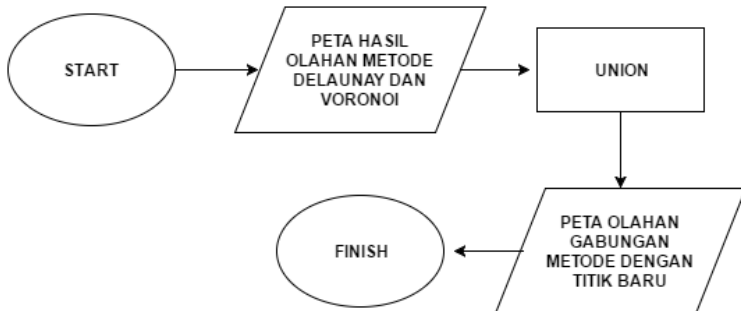
Dalam usaha untuk memperlihatkan hasil yang maksimal sesuai dengan keadaan yang dimiliki oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara), penulis membuat daerah per APJ dengan cara *digitization* berdasarkan data yang asli. Kemudian menghasilkan peta berformat .shp yang berisi daerah-daerah per APJ. Desain proses sistem dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alur Implementasi APJ

3.2.4 Mengimplementasi Dua Metode dengan Data yang Sudah Ada

Setelah metode telah disatukan dalam *toolbox*, daerah per APJ terbentuk dan titik gardu induk serta penyulang sudah diaplikasikan, maka langkah berikutnya adalah mengimplementasikan kedua metode dengan data yang sudah ada. Kedua metode tersebut *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm* memproses data berupa titik penyulang agar membuat sebuah *service area* serta jaringan distribusi listrik yang nantinya akan dijadikan parameter untuk menentukan lokasi gardu induk yang baru. Desain proses sistem dapat dilihat pada Gambar



Gambar 3.4 Diagram Alur Implementasi Dua Metode

3.2.5 Memodelkan Bukti Kemiripan dengan Data PLN

Dalam usaha dalam memperlihatkan hasil implementasi yang telah dilakukan oleh penulis berupa titik lokasi baru dari gardu induk, di sini dilakukan percobaan membandingkan dengan hasil yang telah direncanakan oleh PLN. Cara membandingkannya adalah dengan cara meng-*overlay* peta yang didapatkan dari PLN dengan peta hasil olahan yang diimplementasi oleh penulis. Berikut langkah-langkah proses nya dijelaskan dalam Gambar 3.5.



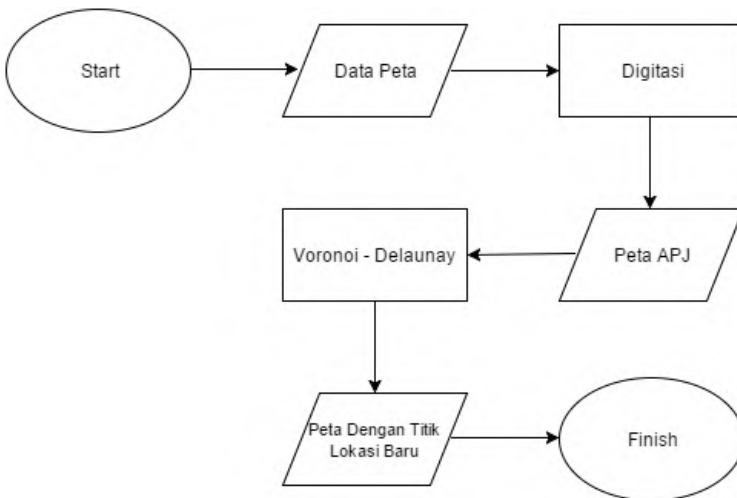
Gambar 3.5 Diagram Alur Bukti Kemiripan dengan Data PLN

3.3 Deskripsi Umum Sistem

Sistem yang akan dibangun adalah sebuah sistem yang digunakan untuk menentukan lokasi gardu induk baru yang optimal berdasarkan *service area* yang berasal dari titik penyulang (*feeder*) yang dimiliki oleh setiap gardu induk. Kemudian disesuaikan dengan pertumbuhan *demand* listrik dari penduduk per wilayah serta keadaan geografis seperti kontur tanah khususnya di Provinsi Jawa Timur.

3.4 Desain Umum Sistem

Pada subbab ini dijelaskan bagaimana sistem berjalan dari awal pembuatan sampai dengan akhir proses, termasuk data yang menjadi parameter keberhasilan dalam studi ini. Diagram alir sistem dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alur Sistem Secara Umum

Data peta yang berisi wilayah dari APJ didigitasi sehingga menghasilkan *file .shp* yang nanti selanjutnya dapat diubah dalam aplikasi ArcGIS. Setelah proses digitasi selesai,

maka akan menghasilkan sebuah *file* .shp baru yang berisi daerah-daerah APJ di Jawa Timur. Lalu peta APJ diberikan titik-titik dari gardu induk, trafo dan penyulang yang *existence* sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Titik-titik tersebut digunakan untuk mencari lokasi titik baru yang akan dicari. Setelah selesai dimasukkan, barulah digunakan metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm* untuk mencari lokasi baru. Hasil implementasi dengan kedua metode, akan menghasilkan peta baru yang berisi dengan gardu induk, trafo, dan penyulang *existence* serta lokasi dari titik baru.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV IMPLEMENTASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai implementasi yang dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Implementasi kode program dilakukan menggunakan bahasa Python.

4.1 Lingkungan Implementasi

Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam implementasi ini ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Lingkungan Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat	Spesifikasi
Perangkat keras	Prosesor: Intel® Core™ i5-2450M CPU @ 2.50GHz(4CPUs), ~2.5GHz Memori: 8.00 GB
Perangkat lunak	Sistem Operasi: Microsoft Windows 10 64-bit Pro Perangkat Pengembang: ArcMap 10.3 PyCharm Perangkat Pembantu: Microsoft Excel 2013

4.2 Implementasi

Subbab implementasi ini menjelaskan tentang implementasi proses yang sudah dijelaskan pada bab desain perangkat lunak.

4.2.1 Implementasi Area Pelayanan Jaringan (APJ)

Pada sub ini membahas bagaimana membangun Area Pelayanan Jaringan (APJ) sesuai dengan data yang didapatkan dari PLN Distribusi Jawa Timur. Dikarenakan *file* yang didapatkan berformat .cdr (format *file* pada aplikasi Corel

Draw), maka diharuskan meng-*export* terlebih dahulu ke format .jpg. Berikut ini adalah langkah dan implementasi Area Pelayanan Jaringan menggunakan ArcMap:

- a. Buka aplikasi ArcMap → *add data* → *add data raster* yang ingin didigitasi.
- b. Dari ArcCatalog buat sebuah *shapefile*, klik kanan pada folder → *new* → *shapefile*.
- c. Tentukan nama *file*, tipe data, dan titik koordinat dari *file* .shp. Buat titik penanda berupa *point*, *polyline* untuk garis dan *polygon* untuk daerah lalu ok.
- d. Setelah *file* .shp sudah terbuka di *table of content*, dari *main menu editor* → *Start Editing*.
- e. Mulai proses digitasi dengan hati-hati dan rapih.
- f. Setelah selesai, klik kanan pilih *finish*.
- g. *Save* hasil digitasi tersebut, dari main menu Editor → *Save Editing*. Dan hasilnya akan ditampilkan seperti pada Gambar 4.1

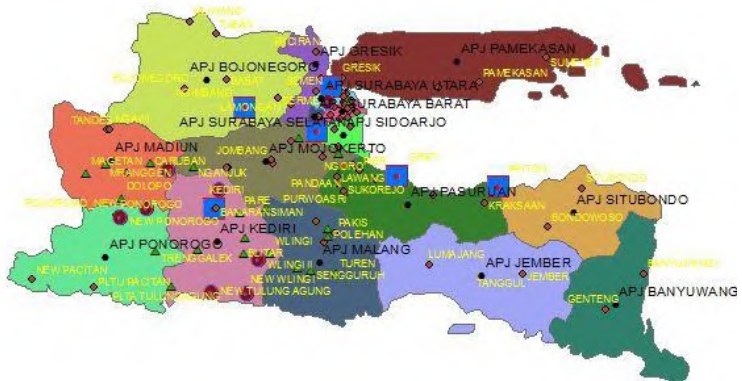


Gambar 4.1 Hasil Implementasi APJ di Jawa Timur

4.2.2 Implementasi Proyeksi Gardu Induk *Existence* di ArcMap

Pada subbab ini akan ditunjukkan bagaimana memproyeksikan gardu induk *existence* pada peta APJ yang sebelumnya sudah didigitasi. Berikut langkah-langkah yang dilakukan agar dapat menampilkan gardu induk yang sudah ada:

1. Buka atribut data tabel yang ingin dihitung geometri nya.
2. Tambahkan kolom baru pada atribut tabel untuk mengisi koordinat x dan y.
3. Kemudian klik kanan pada kolom baru tersebut → *calculate geometry*. Dan hasilnya akan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Lokasi yang Sudah Ditentukan dengan Koordinat

Berikut merupakan atribut dari *Layer* “Titik Koordinat” yang menampilkan data gardu induk *existence*. Ada sebanyak 9 *field* yang terdapat pada atribut *layer* “Titik Koordinat”, yaitu “FID”, “Shape”, “Id”, “Nama_Gardu”, “Latitude”, “Longitude”, “Kapasitas”, “Status”, dan “Supply_GI”. Data pada atribut dapat diperlihatkan pada Gambar 4.3.

Titik Koordinat								
FID	Shape *	Id	Nama_Gardu	Latitude	Longitude	Kapasitas	Status	Supply_Gl
13	Point	0	ALTA PRIMA	-7.206809	112.637966666667	150 KV		396131200
19	Point	0	BABADAN	-7.404006	112.680333333333	150 KV		560640000
99	Point	0	BABAT	-7.131417	112.095	150 KV		336384000
4	Point	0	BALONG BENDO	-7.4129	112.557816666667	150 KV		1009152000
100	Point	0	BANARAN	-7.83426	112.032	150 KV		672728000
57	Point	0	BANGLIL	-7.601045	112.779133333333	150 KV		448512000
73	Point	0	BANGKALAN	-7.058713	112.795	150 KV		504576000
40	Point	0	BANYUWANGI	-8.189419	114.356133333333	150 KV		1009152000
38	Point	0	BLIMBING	-7.940662	112.64265	70 KV		448512000
44	Point	0	BLITAR	-8.073393	112.185916666667	70 KV		336384000
54	Point	0	BOJONEGORO	-7.181542	111.865483333333	150 KV		784986000
76	Point	0	BONDOWOSO	-7.937181	113.833	150 KV		504576000
112	Point	0	BRINGKANG	-7.257484159480	112.647687336738	150 KV_R		0
24	Point	0	BUDURAN	-7.390881	112.760183333333	150 KV		672678000
49	Point	0	BULUKANDANG	-7.695456	112.68835	150 KV		672678000
94	Point	0	BUMI COKRO	-7.605737	112.725	150 KV		616704000
101	Point	0	CARUBAN	-7.581714	111.675	70 KV		280320000
27	Point	0	CERME	-7.198218	112.575366666667	150 KV		336384000
14	Point	0	DARMO GRANDE	-7.28738	112.674516666667	150 KV		953088000
56	Point	0	DOLOPO	-7.7799	111.52385	70 KV		112128000
18	Point	0	DRYOREJO	-7.368556	112.603983333333	150 KV		953088000
7	Point	0	GEMBONG	-7.241306	112.751333333333	150 KV		0
77	Point	0	GENTENG	-8.380345	114.146	150 KV		953088000
55	Point	0	GILITIMUR	-7.125346	112.71945	150 KV		112128000
82	Point	0	POKIMANDUJITAN	-7.279	112.909222	150 KV		953088000

Gambar 4.3 Atribut Layer Titik Koordinat

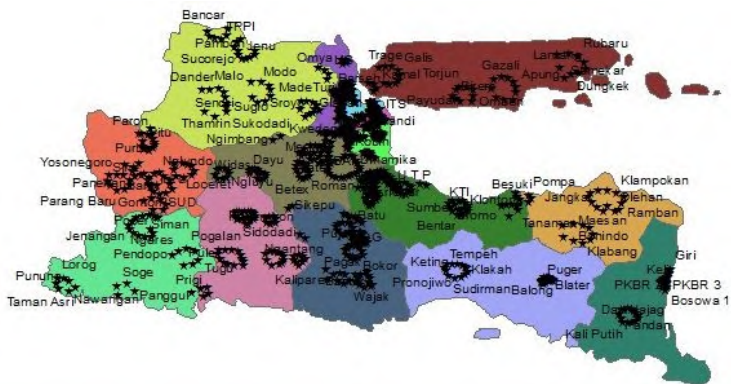
4.2.3 Implementasi Proyeksi Trafo dan Penyulang di ArcMap

Pada subbab ini akan ditunjukkan bagaimana memproyeksikan trafo dan penyulang yang *existence*, berikut langkah-langkah yang dilakukan agar dapat menampilkan trafo dan penyulang yang sudah ada:

1. Buka atribut data tabel yang ingin dihitung geometri nya.
2. Tambahkan kolom baru pada atribut tabel untuk mengisi koordinat x dan y.
3. Kemudian klik kanan pada kolom baru tersebut → *calculate geometry*. Dan hasilnya akan ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Proyeksi Trafo Existence pada Peta APJ



Gambar 4.5 Proyeksi Penyulang Existence pada Peta APJ

Berikut merupakan atribut dari *layer* “Trafo” yang menampilkan data *trafo existence*. Ada sebanyak 7 *field* yang terdapat pada atribut *layer* “Trafo”, yaitu “FID”, “Shape”, “Id”, “Longitude”, “Latitude”, “Trafo”, dan “GI”. Data pada atribut dapat diperlihatkan pada Gambar 4.6

Trafo							
	FID	Shape *	Id	Longitude	Latitude	Trafo	Gl
▶	0	Point	0	112° 38' 16.800" E	-7	MERLIN GERIN	ALTA PRIMA
	1	Point	0	112° 38' 16.656" E	-7	EGANUSA	ALTA PRIMA
	2	Point	0	112° 40' 48.000" E	-7	HITACHI	BABADAN
	3	Point	0	112° 40' 49.177" E	-7	GOLD STAR	BABADAN
	4	Point	0	112° 47' 42.840" E	-7	HITACHI	BANGKALAN
	5	Point	0	112° 47' 42.821" E	-7	EGANUSA	BANGKALAN
	6	Point	0	112° 45' 36.660" E	-7	MODALEK 1	BUDURAN
	7	Point	0	112° 45' 36.688" E	-7	MEIDENSA	BUDURAN
	8	Point	0	112° 45' 36.660" E	-7	AREVA	BUDURAN
	9	Point	0	112° 45' 36.688" E	-7	HYUNDAI	BUDURAN
	10	Point	0	112° 45' 36.660" E	-7	TRAFO MOBIL	BUDURAN
	11	Point	0	112° 45' 36.688" E	-7	MODALEK 2	BUDURAN
	12	Point	0	112° 34' 31.320" E	-7	AEG	CERME
	13	Point	0	112° 34' 31.339" E	-7	SCHNEIDER	CERME
	14	Point	0	112° 40' 28.260" E	-7	MERLIN GERIN	DARMO GRANDE
	15	Point	0	112° 40' 28.279" E	-7	EGANUSA (VISTRO)	DARMO GRANDE
	16	Point	0	112° 40' 28.260" E	-7	EGANUSA 1	DARMO GRANDE
	17	Point	0	112° 40' 28.279" E	-7	EGANUSA 2	DARMO GRANDE
	18	Point	0	112° 40' 28.260" E	-7	MERLIN GERIN	DARMO GRANDE
	19	Point	0	112° 40' 28.279" E	-7	EGATELINDO	DARMO GRANDE
	20	Point	0	112° 43' 10.031" E	-7	AREVA	GILI TIMUR
	21	Point	0	112° 43' 10.020" E	-7	GOLD STAR	GILI TIMUR

Gambar 4.6 Atribut Layer Trafo

Berikut merupakan atribut dari *layer* “Feeder Per APJ” yang menampilkan data penyulang (*feeder*) *existence* di setiap wilayah APJ. Ada sebanyak 4 *field* yang terdapat pada atribut *layer* “Feeder Per APJ”, yaitu “FID”, “Shape”, “Id”, dan “Nama_Feeder”. Data pada atribut dapat diperlihatkan pada Gambar 4.7

Feeder APJ PNG				
	FID	Shape *	Id	Nama_Feede
▶	0	Point	0	Punung
	1	Point	0	Kebon Agung
	2	Point	0	Lorog
	3	Point	0	Tegal Ombo
	4	Point	0	Teuku Umar
	5	Point	0	Nawangan
	6	Point	0	Taman Asri
	7	Point	0	Prigi
	8	Point	0	Cokrokembang
	9	Point	0	Soge
	10	Point	0	Karang Turi
	11	Point	0	Panggul
	12	Point	0	Sumoroto
	13	Point	0	Saritanam
	14	Point	0	Sawunggaling
	15	Point	0	Bungkal
	16	Point	0	Gontor
	17	Point	0	RSUD
	18	Point	0	Slahung
	19	Point	0	Jenangan
	20	Point	0	Poper
	21	Point	0	Kadipaten
	22	Point	0	Siman

Gambar 4.7 Atribut Layer Penyulang

4.2.4 Implementasi Metode *Voronoi Diagram*

Pada subbab ini, penulis akan menjelaskan kenapa menggunakan metode *Voronoi Diagram*. Metode ini digunakan untuk mendapatkan *service area* dari setiap penyulang (*feeder*) yang sudah aktif dan terpasang sebelumnya. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa daerah mana saja yang belum tercakupi oleh *service area*. Daerah yang belum tercakupi oleh *service area* tersebut diasumsikan sebagai daerah yang belum terpenuhi kebutuhan listriknya atau bahkan belum mendapatkan listrik sama sekali, dan hal ini memungkinkan untuk membangun gardu induk yang baru di daerah tersebut.

Untuk membuat metode ini mudah diimplementasikan dan digunakan dalam aplikasi ArcMap, digunakan sebuah alat bantu berupa *tools* yang bernama *toolbox*. *Toolbox* ini berfungsi untuk memanggil secara langsung metode yang terkandung di

dalamnya. *Toolbox* ini hanya dapat menyimpan metode dan fungsi *script* berisi *syntax* dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Berikut *syntax* metode *Voronoi Diagram* dalam *script toolbox* serta hasil *output* yang dihasilkan. Berikut hasil dapat dilihat pada Kode Sumber 4.1, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

```
def computeVoronoiDiagram(points):
    siteList = SiteList(points)
    context = Context()
    voronoi(siteList,context)
    return (context.vertices, context
    lines, context.edges, context.triangles)

def voronoi_lines(vor_pnts, vor_edges):
    pairs = []
    for i in vor_edges:
        a_pair = [ i[1], i[2] ]
        if -1 not in a_pair:
            from_pnt =
list(vor_pnts[a_pair[0]])
            to_pnt = list(vor_pnts[a_pair[1]])
            coords = [ from_pnt, to_pnt ]
            pairs.append(coords)
    return pairs

def voronoi_polygons(input_pnts,
output_pnts, triangle_sites):
    N = len(output_pnts)
    M = len(input_pnts)
    vert_site = []
    site_vert = []
    poly_list = []
    for i in range(0,N):

vert_site.append([i,triangle_sites[i]])
    for i in range(0,M):
        site_vert.append([i, []])
    for i in range(0,N):
```

```

    triplet = vert_site[i][1]
    for j in triplet:
        site_vert[j][1].append(i)
    for i in range(0,M):
        site_pnt =
input_pnts[site_vert[i][0]]
        x, y = site_pnt.X, site_pnt.Y
        site_pnt = Point(x, y)
        vor_pnts = []
        for j in site_vert[i][1]:
            x,y = output_pnts[j]
            vor_pnts.append(Point(x, y))
        out_pnts, sorted_pnts =
sort_radial(vor_pnts, site_pnt)
        a_poly = [site_pnt, out_pnts]
        poly_list.append(a_poly)
    return vert_site, site_vert, poly_list

def angle(self):
    return
math.degrees( math.atan2(self.Y,
self.X) )

def point_in_poly(pnt, poly):
    n = len(poly)
    inside = False
    x = pnt.X; y = pnt.Y
    p1x = poly[0].X; p1y = poly[0].Y
    for i in range(n + 1):
        p2x = poly[i % n].X; p2y = poly[i %
n].Y
        if y > min(p1y, p2y):
            if y <= max(p1y, p2y):
                if x <= max(p1x, p2x):
                    if p1y != p2y:
                        xinters = (y - p1y)*(p2x -
p1x)/(p2y - p1y) + p1x
                    if p1x == p2x or x <= xinters:
                        inside = not inside

```

```

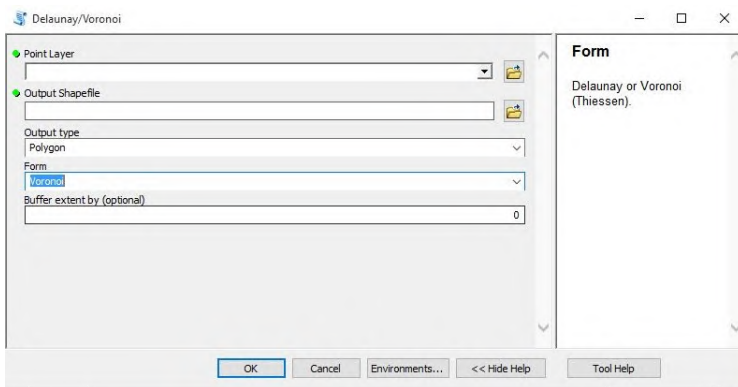
    p1x, p1y = p2x, p2y
    return inside

def sort_radial(pnts, cent):
    sorted_pnts = []
    out_pnts = []
    for pnt in pnts:
        p_angle = (pnt - cent).angle()
        sorted_pnts.append([p_angle, pnt])
    sorted_pnts.sort()
    sorted_pnts.reverse()
    for i in sorted_pnts:
        out_pnts.append(i[1])
    return [out_pnts, sorted_pnts]

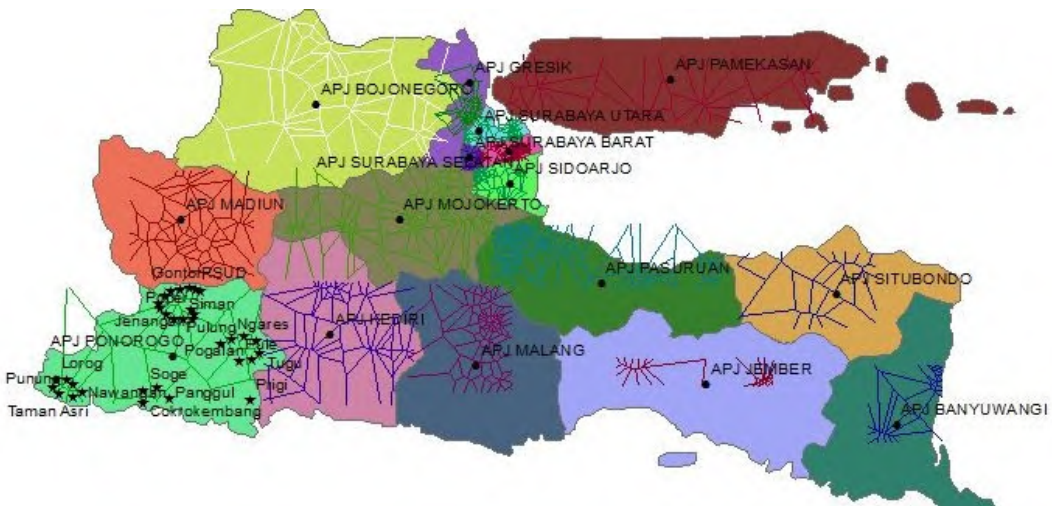
def to_point(other):
    if isinstance(other, Point):
        return other
    else:
        return Point(other)

```

Kode Sumber 4.1 Voronoi Diagram dengan Python



Gambar 4.8 Output Toolbox Hasil Pembuatan dengan Script Voronoi Diagram



Gambar 4.9 Implementasi *Voronoi Diagram* Terhadap Penyulang

4.2.5 Implementasi Metode *Delaunay Triangulation Algorithm*

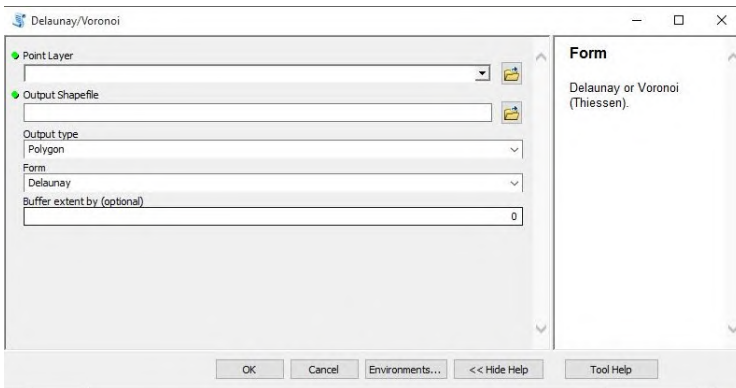
Pada subbab ini, penulis akan menjelaskan bagaimana menggunakan metode *Delaunay Triangulation Algorithm*. Metode ini digunakan untuk mendapatkan jaringan distribusi listrik dari setiap penyulang (*feeder*) yang sudah aktif dan terpasang sebelumnya. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa daerah mana saja yang belum tercapuki oleh jaringan distribusi listrik. Daerah yang belum tercapuki oleh jaringan distribusi listrik tersebut diasumsikan sebagai daerah yang belum terpenuhi kebutuhan listriknya atau bahkan belum mendapatkan listrik sama sekali, dan hal ini memungkinkan untuk membangun gardu induk yang baru di daerah tersebut.

Hal yang sama pada subbab sebelumnya, untuk membuat metode ini mudah diimplementasikan dan digunakan dalam aplikasi ArcMap, digunakan sebuah alat bantu berupa

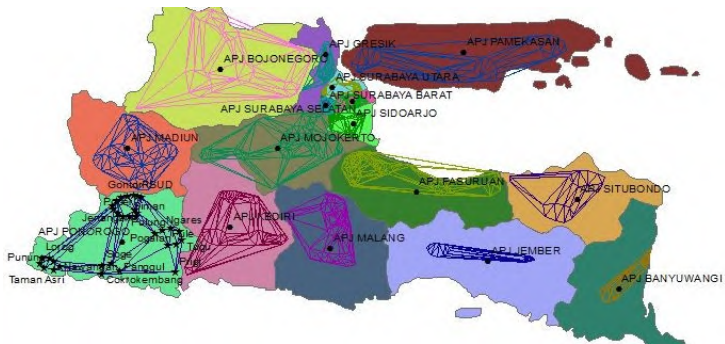
tools yang bernama *toolbox*. *Toolbox* ini berfungsi untuk memanggil secara langsung metode yang terkandung didalamnya. *Toolbox* ini hanya dapat menyimpan metode dan fungsi *script* berisi *syntax* dengan bahasa pemrograman Python. Berikut *syntax* dari metode *Delaunay Triangulation Algorithm* dalam *script toolbox*, serta hasil *output* yang dihasilkan. Berikut hasil dapat dilihat pada Kode Sumber 4.2, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

```
def
computeDelaunayTriangulation(points):
    siteList = SiteList(points)
    context = Context()
    context.triangulate = True
    voronoi(siteList, context)
    return context.triangles
```

Kode Sumber 4.2 *Delaunay Triangulation Algorithm* dengan Python



Gambar 4.10 *Output Toolbox* Hasil Pembuatan dengan *Script Delaunay Triangulation Algorithm*



Gambar 4.11 Implementasi *Delaunay Triangulation* Algorithm Terhadap Penyulang

4.2.6 Implementasi Penerapan Dua Metode pada Data Gardu Induk, Trafo dan Penyulang.

Pada subbab ini dijelaskan bagaimana kedua metode yang sudah diimplementasikan sebelumnya, digabungkan menjadi satu untuk mendapatkan daerah yang belum tercakupi oleh *service area* dan jaringan distribusi listrik. Daerah ini merupakan daerah yang paling optimal, karena di daerah tersebut diasumsikan sebagai daerah yang tidak memiliki kedua hal di atas. Berikut merupakan hasil implementasi kedua metode pada peta APJ (Area Pelayanan Jaringan), dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Penggabungan Dua Metode

4.2.7 Implementasi Titik Baru Disesuaikan dengan Dua Parameter

Pada subbab ini dijelaskan bagaimana mendapatkan titik baru untuk pembangunan gardu induk baru. Setelah mendapatkan daerah yang belum terpenuhi kebutuhannya yang didapat dari dua metode, yaitu *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm*, maka penulis mendapatkan titik-titik baru yang disimbolkan dengan bendera kuning pada peta sebanyak 106 titik. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Lokasi dari Titik Baru

BAB V

UJI COBA DAN EVALUASI

Pada bab ini akan dijelaskan hasil uji coba dan evaluasi program yang telah selesai diimplementasi.

5.1 Lingkungan Uji Coba

Lingkungan uji coba yang akan digunakan adalah,

- a. Perangkat Keras
Prosesor Intel® Core™ i5-2350M CPU @ 2.30GHz
2.30GHz RAM 8 GB.
Sistem Operasi 64-bit.
- b. Perangkat Lunak
Sistem Operasi Microsoft Windows 10 64-bit Pro.
- c. Perangkat Pengembang
PyCharm Python IDE.

5.2 Data Uji Coba

Data yang digunakan untuk uji coba implementasi optimasi penempatan gardu induk dengan metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm* adalah peta vektor Provinsi Jawa Timur. Skala peta yang digunakan adalah 1:2.500.000. Data peta yang digunakan berasal dari data geospasial Indonesia dan RUPTL PLN 2015-2024.

5.3 Pengujian

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pengujian untuk mendapatkan lokasi yang optimal serta membandingkan hasil dari PLN dengan implementasi yang dilakukan oleh penulis. Pada setiap pengujian akan dijelaskan bagaimana tahap-tahap yang dilakukan sampai mendapatkan hasil.

5.3.1 Pengujian Mendapatkan Lokasi Optimal

Berdasarkan hasil dari metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm*, didapatkan sebanyak 106 titik yang berpotensi untuk membangun gardu induk baru,

namun titik-titik ini belum berdasarkan dua faktor parameter, yaitu:

1. Pemukiman penduduk.
2. Kontur tanah (letak geografis).

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka hasil 106 titik tersebut dioptimasi dengan dua parameter di atas. Hal itu dilakukan dengan cara melakukan teknik *buffering* pada titik-titik tersebut. Tahap optimasi akan dijelaskan pada langkah-langkah di bawah ini:

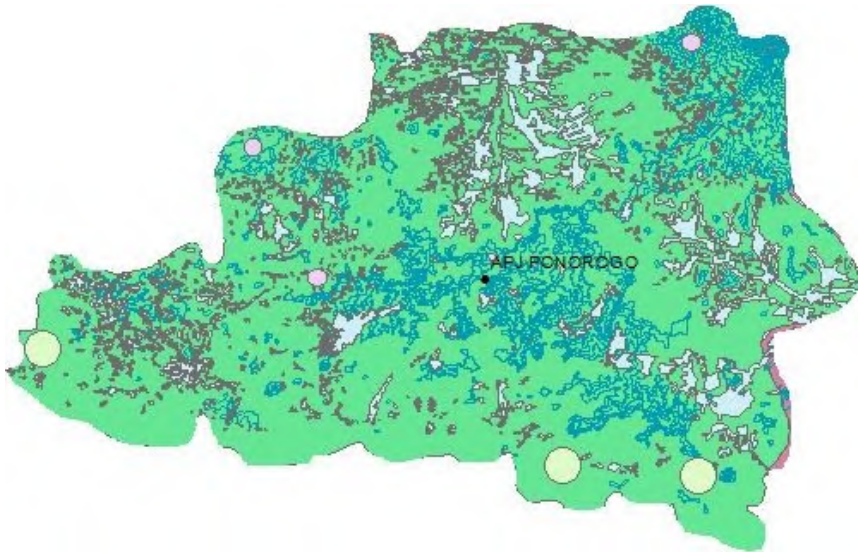
- a. *Buffering* Berdasarkan Pemukiman Penduduk dan Kontur Tanah

Dari 106 titik baru dilakukan *buffering* dengan peta pemukiman_penduduk.shp dan KONTURLN_250K.shp.

- b. Membagi Menjadi Dua Gardu Induk

Gardu induk mempunyai dua jenis yang mempunyai syarat dan ketentuan yang berbeda, dalam pengujian ini dari 106 titik baru dibagi menjadi dua jenis gardu, yaitu *Gas Insulated Substation* (GIS) dan Gardu Induk Konvensional. Untuk GIS mempunyai syarat lahan untuk pembangunan minimal $\pm 3.000 \text{ m}^2$ dan untuk Gardu Induk Konvensional minimal 1 hektar / $\pm 10.000 \text{ m}^2$ lahan kosong.

Pada kasus ini, setelah dilakukan *buffer* sebelumnya, maka didapati titik baru yang tidak layak untuk dibangun sebuah gardu induk. Untuk daerah metropolis penulis menentukan agar dibangun GIS karena cocok untuk daerah perkotaan. Diambil contoh pada APJ PNG (Ponorogo), setelah dilakukan optimasi didapati 6 titik gardu baru, yaitu 3 GIS dan 3 Gardu Induk Konvensional. Hasil ini sudah berdasarkan dua parameter, dan lokasi dari titik sudah dipastikan ditempatkan pada lahan yang kosong dan ketinggian yang sesuai. Hasil *buffering* dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Hasil *Buffering* pada APJ Ponorogo

5.3.2 Pengujian Membandingkan Hasil dari PLN dengan Implementasi

Tahap ini akan menjelaskan bagaimana penulis membuktikan bahwa titik-titik baru yang ditemukan mempunyai kemiripan dengan titik yang dicari oleh pihak PLN, dari 8 titik yang direncanakan oleh PLN terdapat 6 titik yang mempunyai kemiripan lokasi. Hasil di bawah tidak sepenuhnya berada pada lokasi yang tepat dikarenakan peta olahan menggunakan skala 1:2.500.000, sedangkan peta PLN menggunakan skala 1:5.000.000. Kemudian bukti ini dapat memperkuat studi yang dilakukan oleh penulis bahwa titik lokasi gardu induk baru yang direncanakan PLN dengan yang ditemukan oleh penulis ada kemiripan berdasarkan jarak. Berikut bukti-bukti dari kemiripan tersebut:

1. Bukti pertama, gardu induk New Tulung Agung dan New Wlingi. Lokasi ini berada di sekitar gardu induk Blitar,

PLTA TulungAgung, dan TulungAgung. Ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan 5.3.

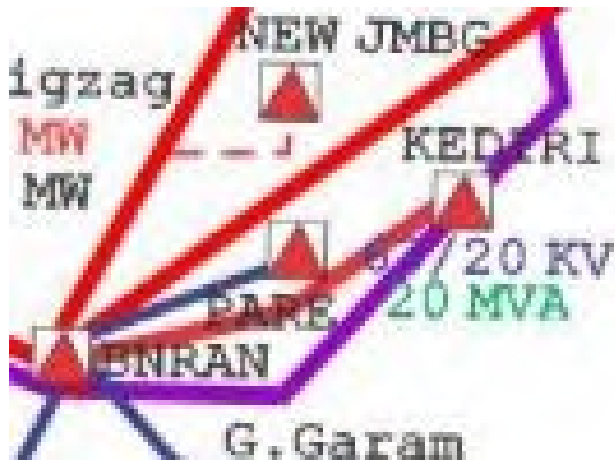


Gambar 5.2 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Tulung Agung dan Wlingi

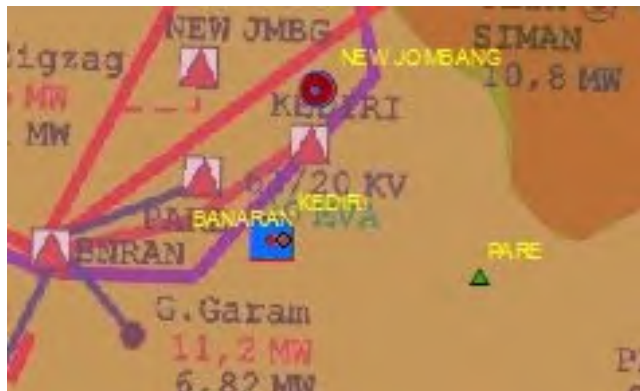


Gambar 5.3 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Tulung Agung dan Wlingi

2. Bukti kedua, gardu induk New Jombang. Lokasi ini berada di sekitar gardu induk Pare, Banaran, dan Kediri. Ditunjukkan pada Gambar 5.4 dan 5.5.



Gambar 5.4 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Jombang



Gambar 5.5 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Jombang

3. Bukti ketiga, gardu induk New Ponorogo. Lokasi ini berada di sekitar gardu induk Ponorogo, Dolopo, dan Trenggalek. Ditunjukkan pada Gambar 5.6 dan 5.7.

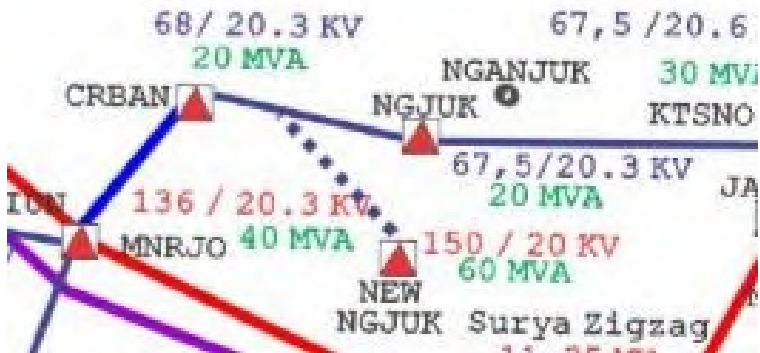


Gambar 5.6 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Ponorogo



Gambar 5.7 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Ponorogo

4. Bukti keempat, gardu induk New Nganjuk. Lokasi ini berada di sekitar gardu induk Caruban, Manisrejo, dan Nganjuk. Ditunjukkan pada Gambar 5.8 dan 5.9



Gambar 5.8 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk New Nganjuk



Gambar 5.9 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk New Nganjuk

5. Bukti kelima, gardu induk Bringkang. Lokasi ini berada di sekitar gardu induk DarmoGrand, Tandes, dan KarangPilang. Ditunjukkan pada Gambar 5.10 dan 5.11



Gambar 5.10 Hasil Perencanaan PLN untuk Gardu Induk Bringkang



Gambar 5.11 Hasil Perencanaan untuk Gardu Induk Bringkang

5.4 Skenario *Forecasting*

Pada bagian ini akan melihat hasil peramalan yang dilakukan oleh tim *forecast* dalam memperkirakan *supply* dan *demand*. Dari hasil *forecasting* tersebut akan didapat sebuah kesimpulan daerah APJ mana saja yang *demand* nya lebih tinggi dibandingkan dari *supply*, berdasarkan dari kondisi itu dapat disimpulkan bahwa perlu adanya penindakan berupa pembangunan gardu induk baru atau tidak.

Dalam pengujian, hanya tiga APJ yang dihitung *demand* dan *supply* nya, daerah tersebut adalah SBU (Surabaya Utara), MJK (Mojokerto), dan BJK (Bojonegoro). Dari ketiga APJ tersebut, telah didapat total *supply* sampai dengan tahun 2016, total tersebut didapat dari gardu-gardu induk yang masih aktif di ketiga wilayah tersebut. Berikut data *supply* dari ketiga APJ sampai dengan tahun 2016 akan ditunjukkan pada Gambar 5.12, 5.13, dan 5.14.

SBU	PETROKIMIA	784,896,000	
	SEGOROMADU	672,678,000	
	ALTAPRIMA	398,131,200	
	PERAK	336,384,000	
	UJUNG	336,384,000	
	KREMBANGAN	616,704,000	
	UNDAAN	336,384,000	
	SAWAHAN	616,704,000	
	PLOSO	448,512,000	
	KENJERAN	897,024,000	5,443,801,200

Gambar 5.12 Supply APJ SBU Tahun 2016

Dari Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa dari 10 gardu induk yang aktif, untuk APJ SBU menghasilkan total *supply* sebanyak 5.443.801.200 kWh.

MJK	BALONG BENDO	1,009,152,000	
	KRIAN	672,678,000	
	PORONG	224,256,000	
	NGORO	1,009,152,000	
	JOMBANG	336,384,000	
	MOJOAGUNG	336,384,000	
	MOJOKERTO	1,009,152,000	
	TARIK	112,128,000	
	JAYAKERTAS	336,384,000	
	KERTOSONO	336,384,000	
	NGANJUK	392,448,000	5,774,502,000

Gambar 5.13 Supply APJ MJK Tahun 2016

Kemudian dari Gambar 5.13, dapat dilihat bahwa dari 11 gardu induk yang aktif, untuk APJ MJK menghasilkan total *supply* sebanyak 5.774.502.000 kWh.

BJG	BOJONEGORO	784,986,000	
	NGIMBANG	336,384,000	
	BABAT	336,384,000	
	LAMONGAN	504,576,000	
	MLIWANG	336,384,000	
	TUBAN	504,576,000	2,803,290,000

Gambar 5.14 Supply APJ BJB Tahun 2016

Lalu untuk APJ BJB dapat dilihat dari Gambar 5.14, terdapat 6 gardu induk yang aktif yang kemudian dapat menghasilkan total *supply* sebanyak 2.803.290.000

Data di atas merupakan *supply* yang dapat diberikan oleh pihak PLN dari tiga APJ sampai dengan tahun 2016. Berikut akan diperlihatkan hasil *forecasting* yang telah di-*forecast* oleh tim, hasil akan ditunjukkan pada Gambar 5.15.

	APJ	SEKTOR				TOTAL DEMAND
		SOSIAL	BISNIS	INDUSTRI	RUMAH TANGGA	
2017	MJK	143,876,797	205,481,221	2,601,773,136	1,290,417,656	4,241,548,810
	BJG	124,914,699	248,626,656	2,164,130,132	1,300,303,096	3,837,974,583
	SBU	220,792,528	903,639,664	641,046,540	920,790,056	2,686,268,788
2018	MJK	151,824,148	227,042,720	2,902,350,944	1,382,803,064	4,664,020,876
	BJG	140,336,820	278,701,268	2,525,721,680	1,610,288,736	4,555,048,504
	SBU	235,637,490	932,684,792	657,413,112	961,439,080	2,787,174,474

Gambar 5.15 Demand Tahun 2017-2018 untuk Tiga APJ

Gambar di atas merupakan *demand* dari keseluruhan sektor yang ada, yaitu Sosial, Bisnis, Industri, dan Rumah Tangga. Dari keempat sektor tersebut didapatkan *demand* untuk ketiga APJ dimulai dari tahun 2017 sampai dengan 2018.

Berdasarkan data di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pada tahun 2017, untuk perhitungan *demand* dibandingkan dengan *supply* diperlihatkan pada Gambar 5.16.

2017:	
MJK : 5.774.502.000 - 4.241.548.810	
= 1.532.953.190	
BJG : 2.803.290.000 - 3.837.974.583	
= -1.034.684.583	
SBU : 5.443.801.200 - 2.686.268.788	
= 2.757.532.412	

Gambar 5.16 Hasil Perhitungan Demand dengan Supply Tahun 2017

- Dan untuk tahun 2018, untuk perhitungan *demand* dibandingkan dengan *supply* diperlihatkan pada Gambar 5.17.

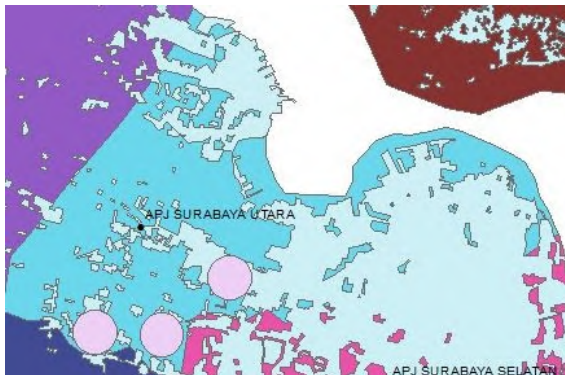
2018:	
MJK :	5.774.502.000 - 4.664.020.876
	= 1.110.481.124
BJG :	2.803.290.000 - 4.555.048.504
	= -1.751.758.504
SBU :	5.443.801.200 - 2.787.174.474
	= 2.656.626.726

Gambar 5.17 Hasil Perhitungan *Demand* dengan *Supply* Tahun 2018

- c. Dari Gambar 5.16 dan 5.17 dapat ditarik kesimpulan, pada APJ BJK untuk tahun 2017-2018, kebutuhan *demand* lebih tinggi dari *supply*, sehingga dibutuhkan tindakan yaitu berupa penambahan gardu induk yang baru.

5.4.1 Uji Coba APJ SBU (Surabaya Utara)

Dari data *forecasting*, wilayah APJ SBU untuk tahun 2017-2018, kebutuhan akan *demand* masih bisa ditangani oleh *supply* yang ada. Jadi, 3 titik baru yang optimal yang diberikan berjenis GIS, bisa disimpan untuk memenuhi kebutuhan tahun-tahun berikutnya. Berikut diperlihatkan pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Uji Coba pada APJ SBU

5.4.2 Uji Coba APJ MJK (Mojokerto)

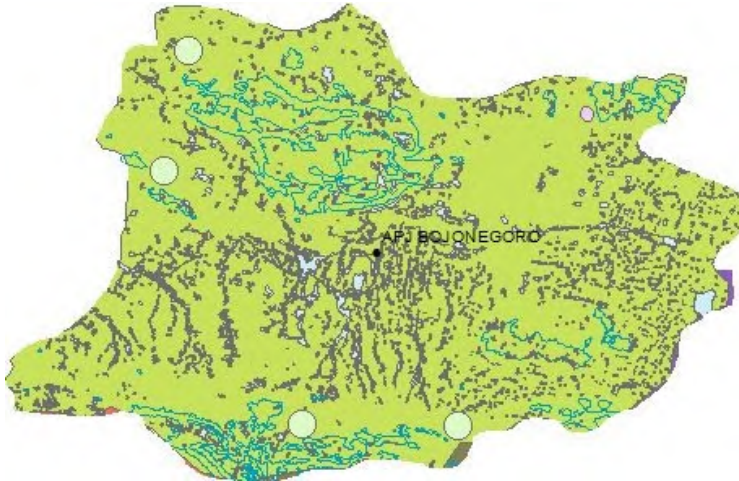
Dari data *forecasting*, wilayah APJ MJK untuk tahun 2017-2018, kebutuhan akan *demand* masih bisa ditangani oleh *supply* yang ada. Jadi, 2 titik baru yang optimal yang diberikan berjenis Gardu Induk Konvensional, bisa disimpan untuk memenuhi kebutuhan tahun-tahun berikutnya. Berikut diperlihatkan pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Uji Coba pada APJ MJK

5.4.3 Uji Coba APJ BJG (Bojonegoro)

Dari data *forecasting*, wilayah APJ BJG untuk tahun 2017-2018, kebutuhan akan *demand* perlu penambahan dari pihak *supply*. Jadi, dibutuhkan 1-2 pembangunan gardu induk baru berkapasitas 150 KV dari 5 titik yang optimal untuk memenuhi kebutuhan pada tahun 2017 dan 2018. Berikut diperlihatkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Uji Coba pada APJ BJK

5.5 Analisis Hasil Uji Coba

Dari hasil skenario uji coba yang telah dilakukan, lokasi yang optimal didapatkan dengan *buffering* dengan pemukiman penduduk dan kontur tanah. Setelah dilakukan optimasi dari 106 titik yang sebelumnya didapati dari hasil implementasi dua metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm* menjadi 81 titik baru yang sudah optimal terdiri dari 40 GIS (*Gas Insulated Substation*) dan 41 Gardu Induk Konvensional.

Kemudian dari pengujian juga dapat membuktikan bahwa hasil implementasi dari penulis dengan hasil perencanaan dari PLN memiliki tingkat kemiripan yang tinggi, yaitu dibuktikan dengan 8 dari 6 mempunyai titik lokasi yang sama.

Dan uji coba yang terakhir berfokus pada *forecasting* akan *demand* untuk tahun 2017-2018 pada wilayah APJ SBU, MJK, dan BJK. Dari hasil *forecasting*, didapatkan pada APJ BJK mempunyai *demand* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *supply* nya, hal ini yang akan ditindak lanjuti untuk

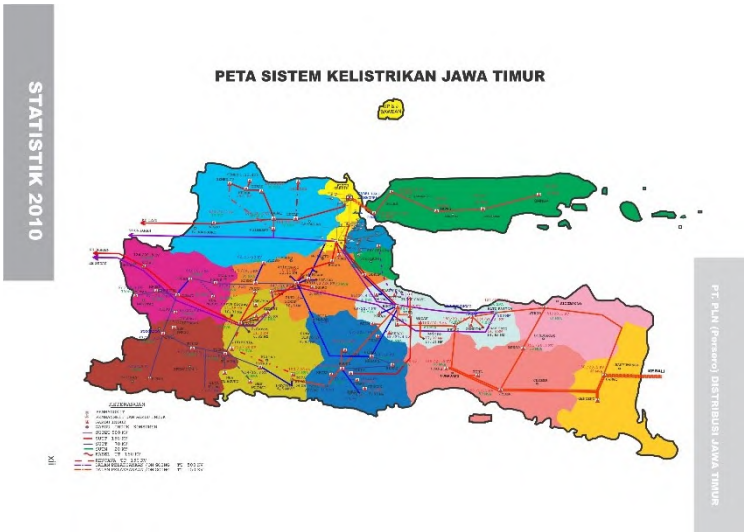
merencanakan pembangunan gardu induk baru sebanyak 1-2 gardu di daerah tersebut.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

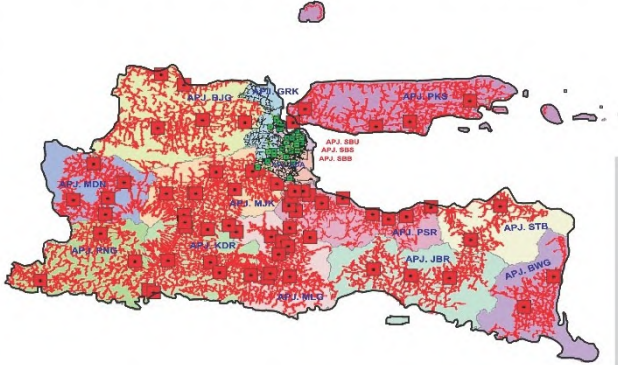
LAMPIRAN



PETA SISTEM KELISTRIKAN JAWA TIMUR



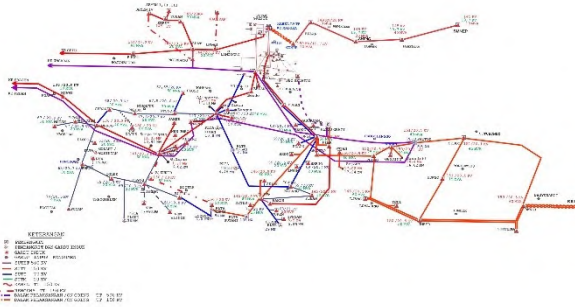
PETA WILAYAH USAHA PT PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR



PT. PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR

XIII

SISTEM KELISTRIKAN JAWA TIMUR



PT. PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR

XIV

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dari proses dan uji coba dari program dan saran untuk pengembangan dari program itu sendiri.

6.1 Kesimpulan

Listrik merupakan sebuah kebutuhan yang sudah menjadi kebutuhan yang primer bagi kehidupan manusia. Di Indonesia, listrik dapat dihasilkan dari beberapa sumber daya, yaitu tenaga sinar matahari, air, uap, gas, dan sumber-sumber lainnya. Seiring dengan berjalannya waktu, permintaan akan kebutuhan listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Indonesia, khususnya di wilayah Jawa Timur, kebutuhan listrik terus meningkat, tetapi berdasarkan data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) banyak daerah yang belum terpenuhi kebutuhan listrik nya karena daya yang dihasilkan belum maksimal.

Banyak studi yang mempelajari akan kebutuhan listrik, tetapi jarang sekali yang membahas bagaimana cara untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan membangun sumber pembangkit listrik dan menentukan lokasinya. Dalam penelitian ini, penulis berhasil mendapatkan lokasi-lokasi yang optimal dengan bantuan aplikasi ArcGIS dan *tools* di dalamnya. Dengan aplikasi ini, dapat menentukan lokasi yang memungkinkan untuk membangun gardu induk yang baru guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang semakin bertumbuh khususnya di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan data yang didapatkan dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) bagian Distribusi Jawa Timur, ada sebanyak kurang lebih 97 gardu induk, 242 trafo, dan 1.161 penyulang yang sudah aktif dan sedang berjalan sekarang melayani kebutuhan masyarakat di Jawa Timur.

Dari hasil tugas akhir yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Menghasilkan titik-titik gardu induk baru yang optimal sebanyak 81 titik yang tersebar di semua wilayah APJ di Jawa Timur sesuai dengan letak geografis nya menggunakan metode *Voronoi Diagram* dan *Delaunay Triangulation Algorithm*.
- b. Dapat memetakan beban gardu induk dengan menggunakan metode *Voronoi Diagram* per daerah APJ (Area Pelayanan Jaringan) sesuai dengan kebutuhan listrik daerah nya masing-masing.
- c. Dapat memetakan menjadi ke 16 daerah wilayah APJ (Area Wilayah Jaringan) menggunakan teknik digitasi pada ArcGIS berdasarkan data PLN.
- d. Terdapat kesamaan dalam penempatan lokasi titik gardu induk baru sesuai dengan perencanaan yang dilakukan oleh PLN, yaitu sebanyak 6 lokasi titik yang sama dari 8 lokasi yang telah direncanakan.

Titik gardu induk baru yang ditemukan diperkirakan dapat memenuhi kebutuhan listrik di Jawa Timur sampai dengan tahun 2028.

6.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dianjurkan oleh penulis untuk perkembangan selanjutnya terhadap studi ini:

- a. Menambahkan metode untuk mencari lokasi gardu induk baru secara otomatis berdasarkan *supply* dan *demand*.
- b. Menggunakan fitur ArcGIS khusus untuk *forecasting*, yaitu *ArcGIS Geostatistical Analyst*.
- c. Menambahkan pemakaian *tools* pada ArcMap bernama *modelbuilder* untuk memodelkan proses yang dilakukan serta mempermudah pengguna dalam implementasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Sarno and N. F. Ariyani, "Optimasi Penempatan Gardu Induk Menggunakan Metode P-Median dan Voronoi Diagram," Jurusan Teknik Informatika, ITS, Surabaya, 2008.
- [2] A. D. Purwanto, U. Subchan and I. G. N. Rai, "Fuzzy Clustering untuk Optimasi Perencanaan Letak Unit Pembangkit Listrik di Jawa Timur," in *Seminar Tugas Akhir*, ITS, Surabaya, 2013.
- [3] H. S. Lopes, G. C. Correa, L. C. Galvao and L. F. Nunes, "Optimized Electric Power Substation Location Using P-Medians and Voronoi Diagrams," in *The XXVI Iberian Latin-American Congress on Computational Methods, Electronics Department*, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Brazilia, 2005.
- [4] V. J. Tsai, "Fast Topological Construction of Delaunay Triangulation and Voronoi Diagram," Department of Civil and Environmental Engineering, U.S.A, 1993.
- [5] S. M. Castongia, "A Demand-Based Resource Allocation Method For Electrical Substation Service Area Delineation," Department of Geography and Earth Sciences, Charlotte, 2006.
- [6] R. Sarno, U. L. Yuhana and P. Wardana, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Pengelolaan Perizinann Reklame Studi Kasus Kota Malang," in *Digital Information and System Conference, Jurusan Teknik Informatika ITS*, Surabaya, 2009.
- [7] R. Sarno and N. F. Ariyani, "Design and Implementation of P-Median Method For Locating Electric Power Subtation," in *International Conference on Computer*,

Control, Informatics and its Applications, Informatics Engineering, ITS, Surabaya, 2009.

- [8] S.-W. Lee, W. J. Tolone and W.-N. Xiang, "A Feasibility Study of Substation Service Area Estimation Methodologies," Department of Geography and Earth Sciences, Charlotte, 2006.

BIODATA PENULIS



Pradipta Ghusti atau biasa dipanggil Dipta dilahirkan di Bekasi pada tanggal 06 Agustus 1994 dan dibesarkan di Bekasi. Penulis adalah anak semata wayang di keluarga.

Penulis menempuh pendidikan di SDN Jatiasih 08 (2000-2006), SMPN 09 Bekasi (2006-2009), dan SMAN 03 Bekasi (2009-2012). Setelah lulus SMA penulis melanjutkan ke jenjang perkuliahan di Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang Studi yang diambil oleh penulis pada saat kuliah di Teknik Informatika ITS adalah Manajemen Informasi.

Selama menempuh kuliah penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Computer (HMTC) ITS. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan Schematics sebagai REEVA Schematics 2013 dan Ketua Divisi Bidang Expo – REEVA 2014. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Sunday Sharing Loperman (SSL) sebagai Ketua Divisi (2016). Penulis juga pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Sistem Teknologi Informasi (STI) pada tahun 2014. Penulis dapat dihubungi melalui alamat *email* pradipta.ghusti@gmail.com.