

PENENTUAN POHON RENTANG MINIMUM PADA DISTRIBUSI JARINGAN LISTRIK BERDASARKAN KONDISI GEOGRAFIS SUATU WILAYAH DENGAN ALGORITMA PRIM STUDI KASUS: JARINGAN LISTRIK DISTRIBUSI PRIMER KOTA SAMARINDA

Hadiyanto, ST, M.Eng
Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Bontang
e-mail : siemenshd@yahoo.com

Abstract - *Determination of the minimum spanning tree are widely used to solve optimization problems of finding solutions to problems that require minimum. In the electricity distribution network, minimum spanning tree (MST) is used to find the minimum length of cable for electricity network system becomes more optimal. Minimum weight of a MST primary distribution power network is strongly influenced by the geographical conditions of a region in the form of contour data. Contour data is spatial data that contains information of the earth surface elevation of an area.*

To determine the primary distribution grid MST needed an algorithm that can produce optimal solutions. In this research the algorithm used is algorithm Prim. Prim's algorithm is an algorithm in graph theory to find the MST of a weighted graph with emphasis on the selection of minimum weight based on the node is taken.

This research was done by designing a model of primary distribution power network graph in accordance with the data obtained. In finding the minimum weight for each side of the network graph should include parameters elevation, high point / node, and the distance between points / nodes. Furthermore, the graph is done by computer calculation and simulation to get the electricity distribution network primary MST using Prim's algorithm with the help of ArcView GIS 3.3 program through the avenue script.

Prim's algorithm included in the category of good or efficient algorithms, because the shape of polynomial time complexity in n , where n is a measure of the number of vertices or sides. Based on the test results have shown that the algorithm Prim MST ability to determine the primary distribution grid is much better if

based on the geographical conditions of a region. In addition, Prim's algorithm graph computation time in generating the MST based on the data that is not based on the contour and contour data are quadratic.

Keywords: *minimum spanning tree, prim's algorithm, contours, complexity time, distribution electrical network, graph.*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan pemodelan pohon rentang minimum adalah salah satu pemodelan graf yang digunakan untuk mencari nilai minimum dari jalur pada suatu graf, atau dengan kata lain menentukan jarak terpendek suatu titik dengan titik lainnya dengan melewati titik-titik yang ada diantaranya. Untuk mendapatkan hasil tersebut, maka dipilih ruas graf yang memenuhi kriteria dari optimasi yang akan menghasilkan biaya minimum.

Pada saat ini, *minimum spanning tree* (pohon rentang minimum) telah banyak digunakan di berbagai aplikasi salah satunya pada penentuan pohon rentang minimum jaringan distribusi listrik. Penggunaan pohon rentang minimum disesuaikan atas kebutuhan dan ketepatan implementasi di lapangan, sehingga menghasilkan solusi yang optimal. Solusi yang optimal (terbaik) merupakan solusi yang bernilai minimum atau maksimum dari sekumpulan alternatif solusi yang mungkin terjadi.

Disamping itu pemodelan dengan menggunakan graf akan sangat mudah divisualisasikan dengan menggunakan aplikasi animasi, sehingga nilai minimum dari jalur suatu graf dapat dilihat secara visual (Gloor et al, 1993).

Terdapat beberapa algoritma yang dipakai dalam membangun pohon rentang minimum

(MST), diantaranya algoritma prim. Untuk menghasilkan pohon rentang minimum yang optimal diperlukan pemilihan algoritma yang bagus dan benar. Algoritma yang bagus dan benar adalah algoritma yang tepat atau efisien untuk diterapkan pada graf jenis tertentu.

Penentuan pohon rentang minimum menggunakan algoritma prim harus memperhatikan bobot minimum dari masing-masing ruas graf untuk menghasilkan *minimum spanning tree* (MST) dengan bobot minimum. Nilai suatu bobot graf sangat bervariasi tergantung dari jenis kasus yang dikerjakan. Contohnya pada kasus penentuan pohon rentang minimum pada jaringan distribusi listrik, dimana bobot graf tersebut di implementasikan dalam bentuk panjang kabel listrik yang menghubungkan tiang-tiang distribusi listrik.

Bobot graf berupa panjang kabel listrik dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya kondisi geografis suatu wilayah. Seperti diketahui, kondisi geografis di suatu wilayah berbeda-beda khususnya dalam hal ketinggian permukaan bumi. Ketinggian suatu permukaan bumi merupakan suatu bagian data spasial yang berbentuk data *kontur* pada sistem informasi geografis.

Diharapkan dengan adanya parameter ketinggian dari data *kontur* suatu wilayah dalam penentuan bobot minimum untuk menghasilkan pohon rentang minimum dengan algoritma prim, maka akan diperoleh panjang minimum kabel listrik yang mendekati kenyataan untuk menghubungkan tiang-tiang listrik distribusi.

Disamping itu, penggunaan kabel listrik yang terlalu panjang pada jaringan listrik akan mempengaruhi kualitas tegangan pelayanan dan kualitas keandalan jaringan listrik. Kualitas tegangan pelayanan dipengaruhi oleh besar kecilnya jatuh tegangan yang ditimbulkan pada ujung-ujung kabel jaringan listrik tersebut (Lilik J. Awal, 2003). Sedangkan kualitas keandalan listrik dipengaruhi oleh intensitas dan lamanya pemadaman listrik yang terjadi.

Dalam penelitian ini akan dibuat suatu model jaringan distribusi listrik primer yang telah ada di Kota Samarinda kedalam suatu bentuk graf dengan bobot yang telah ditentukan berdasarkan kondisi geografis Kota Samarinda untuk menghasilkan pohon rentang minimumnya. Selanjutnya dilakukan simulasi dan perhitungan oleh bantuan program komputer untuk mendapatkan pohon rentang minimum pada jaringan distribusi listrik primer dengan menggunakan algoritma prim. Pada akhirnya akan diperoleh bobot minimum berupa panjang kabel listrik minimum yang mendekati kenyataan

II. MATERI DAN METODE

Kompleksitas waktu

Sebuah algoritma tidak saja harus menghasilkan keluaran yang benar, tetapi juga harus mangkus (efisien). Kebenaran suatu algoritma harus diuji dengan jumlah masukan tertentu untuk melihat kinerja algoritma berupa waktu yang diperlukan untuk menjalankan algoritmanya dan ruang memori yang diperlukan untuk struktur datanya (Munir, 2009).

Algoritma yang bagus adalah algoritma yang mangkus (efisien). Kemangkusan algoritma diukur dari berapa jumlah waktu dan ruang memori yang dibutuhkan untuk menjalankan. Algoritma yang mangkus adalah algoritma yang meminimumkan kebutuhan waktu dan ruang.

Ada dua macam kompleksitas algoritma, yaitu kompleksitas waktu dan kompleksitas ruang. Kompleksitas waktu dari algoritma adalah mengukur jumlah perhitungan (komputasi) yang dikerjakan oleh komputer ketika menyelesaikan suatu masalah dengan menggunakan algoritma. Ukuran yang dimaksud mengacu ke jumlah langkah-langkah perhitungan dan waktu tempuh pemrosesan.

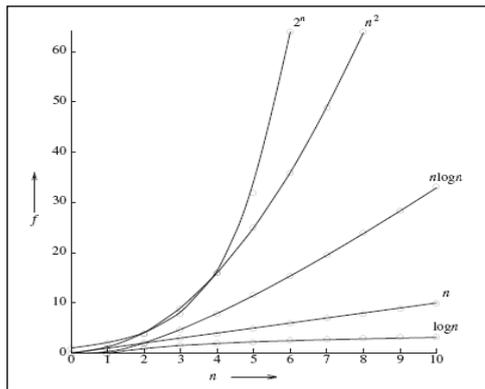
Kompleksitas waktu merupakan hal penting untuk mengukur efisiensi suatu algoritma. Kompleksitas waktu dari suatu algoritma yang terukur sebagai suatu fungsi ukuran masalah (Mehta dan Sahni, 2005).

Kompleksitas waktu dari algoritma berisi ekspresi bilangan dan jumlah langkah yang dibutuhkan sebagai fungsi dari ukuran permasalahan. Kompleksitas ruang berkaitan dengan sistem memori yang dibutuhkan dalam eksekusi program (Purwanto, 2008). Pada tabel 1 diperlihatkan kelompok algoritma berdasarkan kompleksitas waktu asimptotiknya.

Tabel 1. Kelompok algoritma berdasarkan kompleksitas waktu asimptotiknya

Kelompok Algoritma	Nama
$O(1)$	Konstan
$O(\log n)$	Logaritmik
$O(n)$	Linear
$O(n \log n)$	$n \log n$
$O(n^2)$	Kuadratik
$O(n^3)$	Kubik
$O(2^n)$	Eksponensial
$O(n!)$	Faktorial

Berdasarkan tabel 1 di atas, maka dapat digambarkan grafik kelompok algoritma dengan kompleksitas waktu asimptotiknya seperti yang terlihat pada Gambar 1 (Mehta dan Sahni, 2005).



Gambar 1. Grafik kelompok algoritma dengan kompleksitas waktu asimptotiknya

Kebutuhan waktu dan ruang suatu algoritma bergantung pada ukuran masukan, yang secara khas adalah jumlah data yang diproses. Ukuran masukan itu disimbolkan dengan n . Setelah menetapkan ukuran masukan, maka langkah selanjutnya dalam mengukur kompleksitas waktu adalah menghitung banyaknya operasi yang dilakukan algoritma sehingga didapatkan notasi kompleksitas waktunya dalam fungsi n yaitu $f(n)$.

Untuk mengukur kebutuhan waktu sebuah algoritma yaitu dengan mengeksekusi langsung algoritma tersebut pada sebuah komputer, lalu dihitung berapa lama durasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah persoalan dengan n yang berbeda-beda. Kemudian dibandingkan hasil komputasi algoritma tersebut dengan notasi kompleksitas waktunya untuk mengetahui efisiensi algoritmanya. Selain itu, algoritma yang menggunakan graf dan memiliki simpul-simpul n akan memiliki kompleksitas waktu bersifat eksponensial (Pop and Zelina, 2004)

Algoritma prim

Algoritma ini dimulai dari simpul yang berubah-ubah di setiap tingkatnya, diperbolehkan menambah cabang baru untuk membuat susunan pohon baru. Algoritma ini akan tertahan ketika simpul yang sedang dieksplorasi pada graf sudah sampai pada simpul yang dituju. Strategi yang digunakan adalah strategi Greedy dengan menganggap bahwa pada setiap langkah dari pohon merentangannya adalah *augmented* dan dipilih simpul yang nilainya paling kecil dari semua simpul yang ada (Purwanto, 2008).

Algoritma prim menitikberatkan pada pemilihan bobot minimum berdasarkan simpul yang diambil (Greenberg, 1998). Dan karena

tidak perlu mengurutkan terlebih dahulu, algoritma prim cocok untuk pohon dengan jumlah simpul banyak. Algoritma prim akan selalu berhasil menemukan pohon merentang minimum tetapi pohon merentang yang dihasilkan tidak selalu unik.

Dalam kaitkannya dengan data *kontur* berupa data ketinggian (elevasi) permukaan bumi suatu wilayah, maka pemilihan bobot minimum yang akan digunakan untuk menghubungkan simpul-simpul terdekatnya harus melalui proses perhitungan terlebih dahulu. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bahasan mengenai pohon rentang minimum, penentuan bobot minimum yang dipengaruhi parameter tertentu khususnya data *kontur* harus menggunakan persamaan (1).

Langkah-langkah dalam algoritma Prim adalah sebagai berikut:

- Buat sebuah pohon yang terdiri dari satu simpul (*node*), dipilih secara acak dari graf.
 - Buat sebuah himpunan yang berisi semua cabang di graf.
 - *Loop* sampai semua cabang di dalam himpunan menghubungkan dua *node* di pohon
 - Ketika menemukan salah satu *node* yang akan dihubungkan, terlebih dahulu dicari bobot minimum yang menghubungkan dua *node* tersebut. Proses pencarian bobot minimum tersebut dapat menggunakan persamaan (1):
- $$\text{bobot minimum sisi graf} = \sqrt{\Delta t^2 + s^2}$$
- Keterangan:
 Δt = selisih tinggi antar simpul/verteks/*node*.
 s = jarak antar simpul/verteks/*node*.
- Hapus dari himpunan satu cabang dengan bobot minimum yang menghubungkan satu *node* di pohon dengan satu *node* di luar pohon.
 - Hubungkan cabang tersebut ke pohon.

Bentuk *pseudocode* dari suatu algoritma prim antara lain:

```

Prosedure Prim (input G:graf, output T:pohon)
{ Membentuk pohon rentang minimum T dari graf terhubung G
  Masukan: graf-berbobot terhubung G = (V,E), yang mana |V| = n
  Keluaran: pohon rentang minimum T = (V,E')
  Deklarasi
    i,p,q,u,v : integer
  Algoritma
    Pilih titik awal p
    Cari sisi (p,q) dari E yang berbobot terkecil/minimum dengan persamaan (1)

```

```

T ← {(p,q)}
For i ← 1 to n-2 do
    Pilih sisi (u,v) dari E yang bobotnya
    terkecil/minimum dengan persamaan (1)
    namun bersisian dengan suatu simpul
    didalam T.
T ← TU {(u,v)}
Endfor
    
```

Bahan Penelitian

Adapun metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Studi literatur, yaitu penelusuran literatur mengenai dasar pengetahuan tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini. Metode ini dilakukan dengan cara mencari buku-buku, artikel-artikel, dan jurnal-jurnal ilmiah mengenai algoritma yang merupakan salah satu cabang ilmu komputer, khususnya mengenai graf, pohon rentang minimum, dan algoritma prim. Selain itu juga dilakukan penelusuran tentang data spasial yang ada pada sistem informasi geografis (GIS). Data spasial yang digunakan adalah data *kontur* yang menjelaskan ketinggian permukaan bumi suatu daerah/wilayah.
2. Pengumpulan data jaringan distribusi listrik yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Cabang Samarinda. Data yang diperoleh adalah data digitasi jaringan listrik distribusi primer (jaringan tegangan menengah) dengan beberapa penyulang (*feeder*) di wilayah kerja PT. PLN (persero) Cabang Samarinda. Proses pengambilan data digitasi tiang listrik distribusi, gardu distribusi, dan LBS/ABS dilakukan oleh PT. PLN Cabang Samarinda dengan menggunakan metode satelit penginderaan jauh berupa alat *global positioning system* (GPS).
3. Pengumpulan data peta topografi wilayah Kota Samarinda yang diperoleh dari Dinas Pertambangan dan Energi Kota Samarinda. Data yang digunakan adalah data *kontur*, data luas wilayah, serta beberapa data sungai dan *landmark*. Metode pengambilan data peta topografi menggunakan metode *fotogrametri* (foto udara) dan *divalidasi* dengan survey topografi oleh Bakosurtanal (Badan koordinasi survey dan pemetaan nasional).
4. Melakukan pengamatan secara langsung pada jaringan listrik distribusi primer yang di wilayah Kota Samarinda untuk disesuaikan dengan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Cabang Samarinda serta data dari Distamben Kota Samarinda, sehingga diperoleh bobot minimum berupa panjang

kabel listrik yang dipergunakan mendekati kenyataan.

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat keras (*hardware*)
 - a. Komputer dengan spesifikasi; prosesor Intel Core 2 CPU T5500 1,66GHz, memori 1,50 GB RAM, dan *harddisk* 80 GB.
 - b. Scanner.
2. Perangkat lunak (*software*)
 - a. Sistem operasi Microsoft Windows XP.
 - b. MapInfo Versi 8
 - c. ArcView GIS versi 3.3.
 - d. Microsoft Office 2007.
 - e. Microsoft Visio 2003.

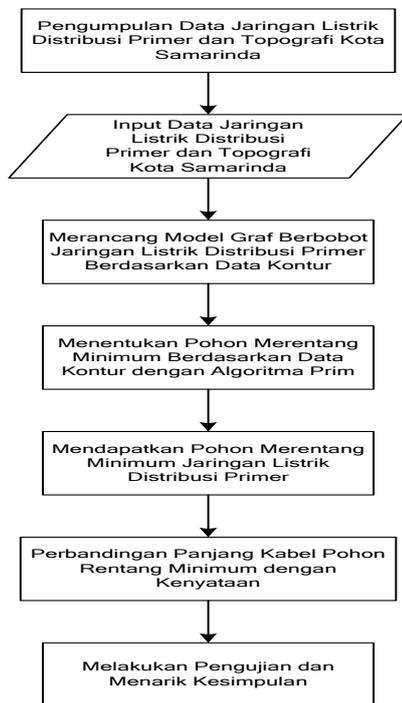
Cara Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan pengamatan dan pengumpulan data jaringan listrik distribusi primer pada PT. PLN (Persero) Cabang Samarinda serta data peta topografi wilayah Kota Samarinda.
2. Instalasi program-program yang dibutuhkan serta pengaturannya.
3. Melakukan persiapan data yang telah ada sehingga dapat digunakan oleh program aplikasi.
4. Merancang model graf jaringan listrik distribusi primer sesuai dengan data yang diperoleh, kemudian dari graf tersebut diberi masukan data yang dibutuhkan untuk mencari bobot minimum suatu graf berupa jarak antar tiang listrik dan elevasi dari masing-masing tiang listrik yang telah disesuaikan dengan data peta topografi Kota Samarinda dengan menggunakan program ArcView GIS 3.3
5. Dengan menggunakan algoritma prim dengan kombinasi parameter data *kontur* wilayah Kota Samarinda, ditentukan pohon rentang minimum dari model graf pada jaringan distribusi listrik primer. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan simulasi oleh program ArcView GIS 3.3 untuk mendapatkan pohon rentang minimum dari jaringan listrik distribusi primer di wilayah Kota Samarinda.
6. Langkah selanjutnya dilakukan perbandingan bobot minimum berupa panjang kabel listrik yang dihasilkan dari MST jaringan listrik distribusi primer dengan panjang kabel listrik yang sebenarnya dengan pengukuran.

7. Langkah terakhir menarik kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan tersebut.

Tahapan-tahapan penelitian ini dapat digambarkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan tahapan penelitian

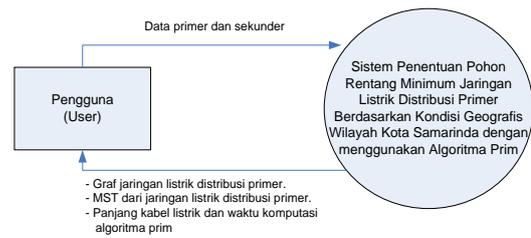
Perancangan Sistem

Diagram konteks

Diagram konteks merupakan pola penggambaran yang berfungsi memperlihatkan interaksi sistem dengan lingkungan dimana sistem tersebut ditempatkan (Oetomo, 2002).

Untuk membuat suatu diagram konteks, terlebih dahulu menganalisa sistem yang akan dibuat berupa informasi dan data apa saja yang dibutuhkan. Selanjutnya menentukan sumber data yang dibutuhkan sistem dan tujuan informasi yang dihasilkan oleh sistem. Setelah berhasil mendeskripsikan kebutuhan data dan informasi yang harus dihasilkan, lalu menggambarkan aliran anak panah untuk mewakili data berupa informasi tersebut.

Dari analisa yang dilakukan, maka diperoleh diagram konteks dari penentuan pohon rentang minimum berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah menggunakan algoritma prim dengan studi kasus pada Kota Samarinda yang dijelaskan pada Gambar 3:



Gambar 3. Diagram konteks penentuan pohon rentang minimum

Berdasarkan Gambar 3, pengguna (*user*) pada sistem ini memasukkan data sekunder berupa data geografis wilayah Kota Samarinda, antara lain; data bangunan, data jalan, serta data sungai (peta topografi). Selain itu juga *user* memasukkan data primer berupa data jaringan listrik distribusi primer dan data *kontur*, antara lain; data tiang listrik distribusi primer, data saluran udara tegangan menengah (SUTM) pada masing-masing penyulang (*feeder*), data gardu distribusi, data LBS (*load breaker switch*), serta data jarak antara tiang listrik distribusi primer, antara gardu distribusi, atau antara LBS.

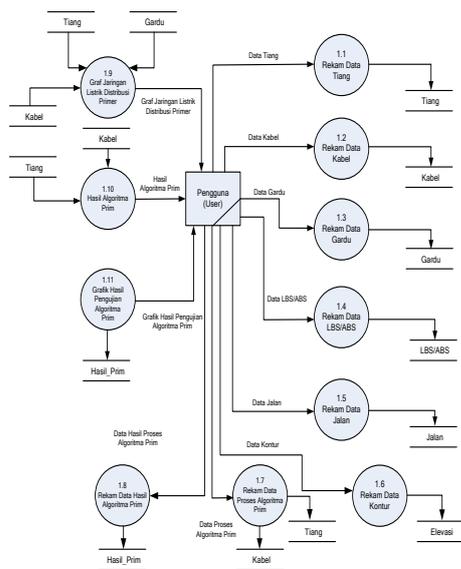
Selanjutnya sistem ini dapat menampilkan model graf jaringan listrik distribusi primer, menampilkan hasil pohon rentang minimum jaringan listrik distribusi primer, urutan rute kabel yang melewati tiang-tiang listrik distribusi, menghasilkan waktu komputasi dalam pencarian pohon rentang minimum jaringan listrik distribusi primer, serta menampilkan grafik hasil pengujian algoritma prim.

Diagram alir data

Diagram alir data (DAD) merupakan suatu model logika data atau proses yang dibuat untuk menggambarkan darimana asal data dan kemana tujuan data keluar dari sistem, dimana data disimpan, proses apa yang menghasilkan data tersebut dan interaksi antara data yang tersimpan dan proses yang dikenakan pada data tersebut (Kristanto, 2008).

DAD menggambarkan penyimpanan data dan proses yang mentransformasikan data. DAD menunjukkan hubungan antara data pada sistem dan proses yang mengikutinya. Adapun DAD pada sistem penentuan pohon rentang minimum berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah menggunakan algoritma prim dengan studi kasus pada Kota

Samarinda dapat dijelaskan pada Gambar 4 dalam bentuk DAD level 0;



Gambar 4. Diagram alir data level 0 pada sistem algoritma prim

Secara garis besar, Gambar 4 memiliki beberapa proses dalam diagram alir data (DAD) level 0 pada sistem algoritma prim dengan menggunakan program ArcView GIS 3.3. Terdapat beberapa proses yang terjadi pada Gambar 4, yang meliputi;

1. Proses rekam data tiang listrik distribusi.
2. Proses rekam data kabel SUTM.
3. Proses rekam data gardu distribusi.
4. Proses rekam data LBS/ABS.
5. Proses rekam data jalan.
6. Proses rekam data kontur
7. Proses rekam data untuk penentuan MST dengan algoritma prim.
8. Proses rekam data hasil penentuan MST pada algoritma prim.
9. Proses menampilkan graf jaringan listrik distribusi primer.
10. Proses menampilkan pohon rentang minimum dari algoritma prim.
11. Proses menampilkan grafik hasil pengujian algoritma prim.

User pada sistem ini, awalnya melakukan proses rekam data pada data tiang listrik, data kabel SUTM, data gardu distribusi, data LBS/ABS, data jalan, serta data kontur. Proses awal ini merupakan tahapan dalam mendesain peta jaringan listrik distribusi primer dan membentuk model grafnya. Proses ini juga dapat menghasilkan informasi lengkap mengenai jaringan listrik

distribusi primer yang di wilayah Kota Samarinda.

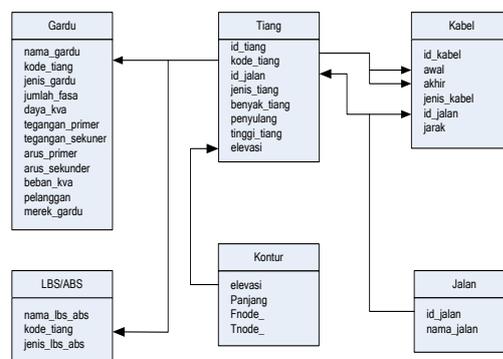
Model graf jaringan listrik distribusi primer yang telah terbentuk dengan memiliki data *elevasi* (ketinggian), data ketinggian tiang listrik distribusi, serta jarak antar tiang listrik distribusi dapat selanjutnya dilakukan eksekusi dengan algoritma prim. Dari proses tersebut diperoleh pohon rentang minimum jaringan listrik distribusi primer di wilayah Kota Samarinda, serta dapat memberikan informasi kepada pengguna mengenai urutan proses yang ditempuh dalam pencarian pohon rentang minimum, bobot minimumnya, serta waktu komputasinya.

Proses selanjutnya adalah rekam data hasil pengujian algoritma prim berupa jumlah titik/simpul, jumlah sisi, waktu komputasi dan bobot minimum (panjang kabel listrik) untuk beberapa kasus pengujian. Data ini dibutuhkan untuk menampilkan grafik hasil pengujian algoritma prim.

■ Perancangan basis data (*database system*)

Pada prinsipnya perancangan basis data untuk sistem penentuan pohon rentang minimum berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah menggunakan algoritma prim dengan studi kasus pada Kota Samarinda menggunakan basis data pada program ArcView GIS 3.3.

Program yang dibangun dengan ArcView GIS 3.3 tersebut menggunakan beberapa tabel pada basis datanya, diantaranya tabel tiang, tabel kabel, tabel gardu, tabel LBS/ABS, tabel jalan, dan tabel kontur. Relasi antar tabel-tabel tersebut diperlihatkan pada Gambar 5:



Gambar 5. Relasi antar tabel dalam algoritma prim

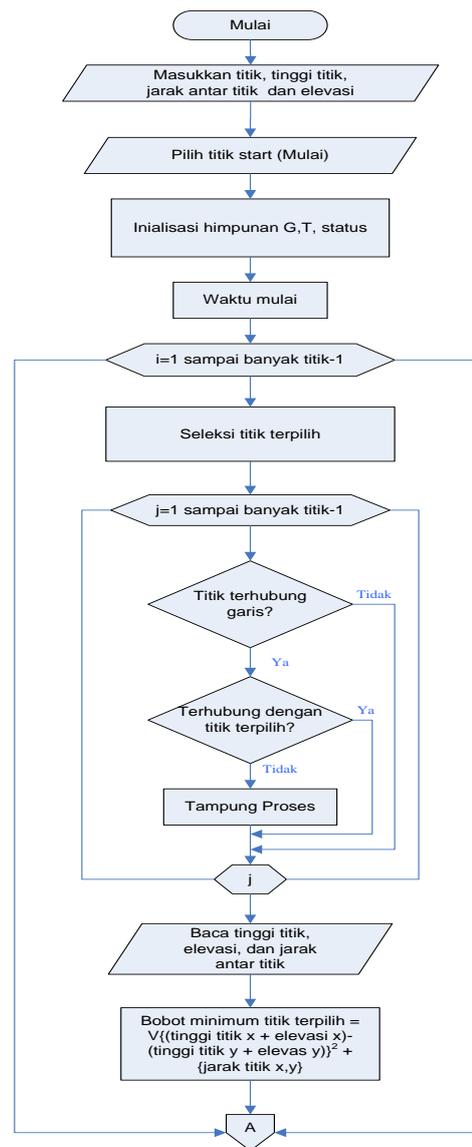
Tahapan Proses Penentuan Pohon Rentang Minimum

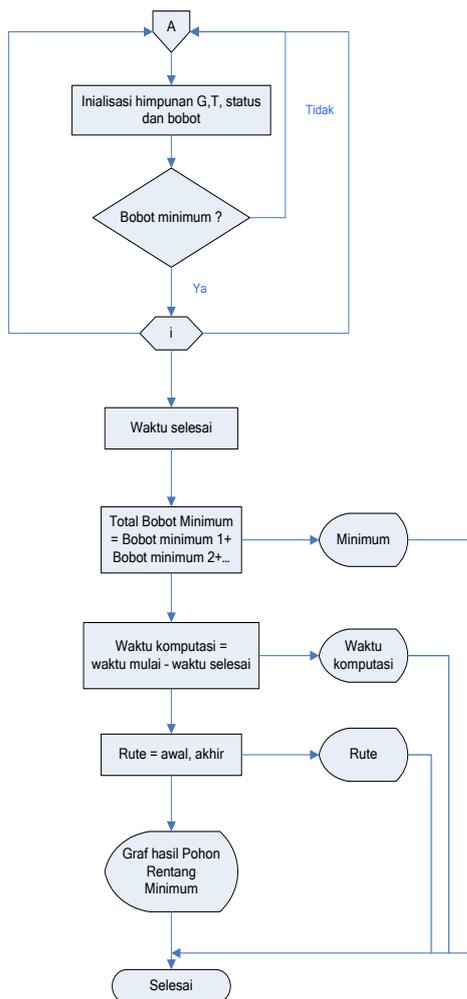
Data yang diperoleh dari PT. PLN Cabang Samarinda dan Distamben Kota Samarinda berupa tiang listrik, kabel listrik, gardu distribusi, LBS/ABS, serta *kontur* dimasukkan ke dalam sistem dengan dukungan data peta topografi wilayah Kota Samarinda. Semua komponen yang telah disebutkan tersebut, diperlukan untuk mendapatkan model graf jaringan listrik distribusi primer yang sesuai dengan kondisi yang ada di lokasi penelitian.

Titik tiang, titik gardu, dan titik LBS/ABS pada jaringan listrik distribusi primer tersebut dihubungkan dengan garis yang telah disesuaikan dengan jarak masing-masing untuk kemudian membentuk suatu graf jaringan listrik distribusi primer. Matriks ketetanggaan yang direpresentasikan merupakan graf dengan jarak antar tiang listrik distribusi dan bukan bobot minimumnya.

Bobot minimum diperoleh bersama-sama dengan proses penentuan pohon rentang minimum dengan algoritma prim. Kondisi ini terjadi karena penentuan pohon rentang minimum dengan algoritma prim telah dimodifikasi programnya agar disesuaikan dengan masukkan data *kontur* suatu wilayah, khususnya di Kota Samarinda.

Selanjutnya data-data tersebut diproses menggunakan metode algoritma prim yang telah dimodifikasi untuk mendapatkan hasil berupa pohon rentang minimum suatu jaringan listrik distribusi primer di wilayah Kota Samarinda dengan disertai total bobot minimum yang dihasilkannya, artinya total panjang kabel listrik yang dipergunakan untuk menghubungkan tiang-tiang listrik distribusi akan mendekati nilai kenyataannya (*riil*). Selain itu, proses tersebut menghasilkan urutan jalur/rute dan waktu komputasi dalam pencarian pohon rentang minimum tersebut. Tahapan tersebut dapat dijelaskan dalam bentuk *flowchart* program pada Gambar 6:





Gambar 6. Flowchart tahapan penentuan pohon rentang minimum jaringan listrik distribusi primer berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah dengan menggunakan algoritma prim

Kompleksitas waktu algoritma prim

Algoritma prim menentukan suatu pohon merentang minimum di dalam graf yang terhubung dan berbobot dengan n titik/simpul (jumlah data masukan). Selanjutnya akan diuji kompleksitas waktu dari algoritma prim dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi dari algoritma tersebut. Efisiensi algoritma diukur dari berapa jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan algoritma tersebut. Algoritma yang efisien yaitu algoritma yang meminimumkan kebutuhan waktu.

Keakuratan waktu eksekusi algoritma dapat diperoleh dengan tidak menghitung kebutuhan waktu untuk menampilkan antarmuka program, operasi masukan/keluaran (baca, tulis), dan sebagainya. Jadi, benar-benar yang dihitung adalah kebutuhan waktu untuk bagian algoritma yang inti saja (Munir, 2009).

Berdasarkan proses pencarian pohon merentang minimum jaringan distribusi listrik dengan algoritma prim, maka kompleksitas dari algoritma prim dapat dibuktikan sebagai berikut:

1. Langkah 1 (inisialisasi) dari algoritma prim memerlukan waktu paling banyak n operasi. Sehingga kompleksitas dari langkah ini adalah $O(n)$.
2. Langkah 2, adalah langkah iterasi, memerlukan paling banyak $n-1$ kali pengujian (sebab satu titik/simpul sembarang telah dipilih pada langkah 2), sehingga kompleksitas langkah ini adalah $O(n)$.
3. Langkah 3 dijalankan tepat n kali.

Setiap kali menjalankan langkah 3, menentukan garis/sisi dengan bobot terkecil dari himpunan simpul-simpul yang belum terhubung (G) ke himpunan simpul-simpul yang sudah saling terhubung (T), dengan paling banyak n kali operasi. Sehingga langkah 3 ini memiliki kompleksitas $O(n)$.

Setelah simpul pada himpunan T terbaru ditandai, perlu untuk memperbaharui daftar simpul pada himpunan G . Untuk tiap simpul pada himpunan G , diadakan perbandingan antara bobot dari sisi terkecil dari simpul pada himpunan F ke simpul pada himpunan T , untuk menentukan sisi dengan bobot terkecil yang menghubungkan sembarang simpul pada himpunan F ke sembarang simpul pada himpunan T . Proses pembaharuan tersebut dalam $O(n)$ operasi.

Karena tidak ada satupun bagian dari langkah 3 ini yang memerlukan lebih dari $O(n)$ operasi, maka kompleksitas langkah 3 adalah $O(n)$, perlu diingat bahwa $O(n) + O(n) = O(n)$.

Karena langkah 3 dilaksanakan n kali, maka operasi yang dilakukan adalah: $(n)(O(n)) = O(n^2)$

Sehingga kompleksitas dari semua langkah iterasi (langkah 2 dan langkah 3) adalah:

$$O(n) + O(n^2) = O(n^2 + n) = O(n^2)$$

Dari menghitung kompleksitas masing-masing langkah di atas, diperoleh kompleksitas algoritma prim adalah: kompleksitas langkah 1 + kompleksitas langkah semua iterasi (langkah 2 dan langkah 3) adalah:

$$f(n) = O(n) + O(n^2) = O(n^2 + n) = O(n^2)$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kompleksitas waktu algoritma prim bersifat kuadratik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sistem

Pengujian sistem penentuan pohon rentang minimum berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah menggunakan algoritma prim dengan studi kasus pada Kota Samarinda dilakukan untuk mengetahui kemampuan program algoritma prim dalam menghasilkan pohon rentang minimum.

Program algoritma prim yang digunakan telah dimodifikasi untuk memasukkan parameter tinggi tiang listrik distribusi, elevasi, dan jarak antar tiang listrik distribusi untuk menghasilkan graf dengan bobot minimum.

Pengujian sistem yang dilakukan dibagi menjadi tiga bagian antara lain pengujian terhadap kondisi *kontur* yang berbeda dengan masukan berupa variasi jumlah simpul/titik dan jumlah sisi graf. Tujuannya untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menghasilkan MST dengan bobot minimum serta waktu komputasi yang diperlukan sistem.

Selanjutnya pengujian terhadap jaringan listrik distribusi primer yang telah eksisting di Kota Samarinda. Tujuannya untuk mengetahui panjang minimum kabel yang *riil* digunakan oleh sistem jaringan listrik distribusi primer Kota Samarinda. Dalam pengujian bagian kedua ini menggunakan data tambahan berupa pengukuran manual dari panjang kabel minimum yang telah dihasilkan menggunakan peralatan GPS dengan tingkat kesalahan sebesar ± 5 meter dari pengukuran.

Sedangkan yang terakhir adalah pengujian terhadap perencanaan jaringan listrik distribusi primer baru yang telah dipasang tiang-tiang listrik di suatu wilayah. Tujuannya untuk menentukan pohon rentang minimum suatu jaringan listrik distribusi listrik yang optimal (memiliki panjang kabel minimum serta telah sesuai dengan kondisi daerah tersebut).

Penggunaan variasi jumlah simpul, jumlah sisi, dan variasi model graf adalah untuk mendapatkan hasil pengujian berupa kemampuan algoritma prim dalam menentukan pohon rentang minimum berdasarkan masukan elevasi, tinggi tiang listrik, serta jarak antar tiang listrik. Pengujian sistem ini juga menggunakan program yang dibuat dengan ArcView GIS 3.3 dengan bantuan *script avenue*.

Maksud dan tujuan penggunaan program ini adalah membantu menghubungkan data elevasi, tinggi tiang listrik distribusi, serta jarak antar tiang listrik distribusi dengan metode algoritma prim untuk mendapatkan pohon rentang minimum suatu graf berbobot dan

diimplementasikan dalam jaringan listrik distribusi primer Kota Samarinda.

Pembahasan

Dari proses pengujian yang telah dilakukan, maka akan diperoleh tiga bagian hasil pengujian. Bagian pertama merupakan hasil pengujian dari pengujian 1 sampai dengan 5, dan bagian kedua merupakan hasil pengujian 6 sampai dengan 8. Untuk bagian ketiga merupakan hasil pengujian 9 dan pengujian 10.

Hasil pengujian bagian pertama menitikberatkan pada kemampuan sistem dalam menghasilkan MST dengan bobot minimum untuk kondisi *kontur* yang berbeda-beda. Selain itu juga untuk mengetahui waktu komputasi yang dibutuhkan oleh sistem untuk menentukan pohon rentang minimum.

Hasil pengujian 1 sampai dengan 5 dapat dibagi dua bagian yaitu bobot minimum yang dihasilkan serta waktu komputasi dari masing-masing pengujian. Secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut:

Tabel 2 Waktu komputasi pengujian 1 sampai dengan 5

Peng ujian	Jumlah simpul	Jumlah sisi	Waktu komputasi		Selisih (Δ)
			Kondisi <i>kontur</i> datar	Kondisi <i>kontur</i> berbeda	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Peng ujian 1	20	49	10 sec	23 sec	13 sec
Peng ujian 2	30	80	54 sec	116 sec	62 sec
Peng ujian 3	40	104	153 sec	372 sec	219 sec
Peng ujian 4	50	130	311 sec	880 sec	569 sec
Peng ujian 5	60	163	572 sec	1941 sec	1369 sec

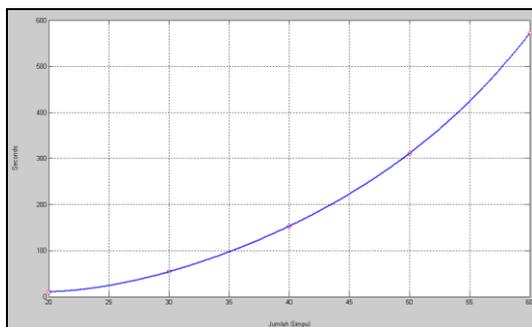
Tabel 3 Bobot minimum pengujian 1 sampai dengan 5

Peng ujian	Jumlah simpul	Jumlah sisi	Bobot Minimum		Selisih (Δ)
			Kondisi <i>kontur</i> datar	Kondisi <i>kontur</i> berbeda	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Peng ujian 1	20	49	3208, 52 m	3218, 63 m	10,11 m
Peng ujian 2	30	80	4269, 34 m	4289, 13 m	19,79 m
Peng ujian 3	40	104	5536, 54 m	5568, 58 m	32,04 m
Peng ujian 4	50	130	6647, 64 m	6690, 85 m	43,21 m
Peng ujian 5	60	163	8421, 31 m	8476, 34 m	55,03 m

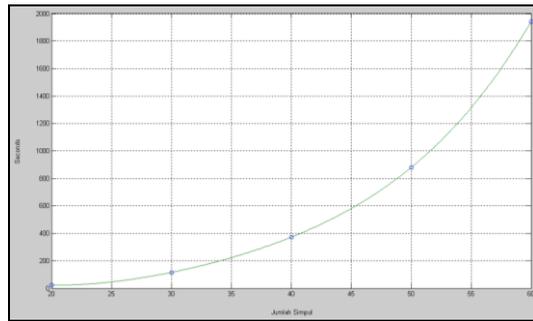
Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa waktu komputasi yang diperlukan algoritma prim dalam menghasilkan pohon rentang minimum (MST) mengalami kenaikan seiring pertambahan jumlah simpul dan sisi suatu graf. Selain itu waktu komputasi yang dibutuhkan algoritma prim dalam menghasilkan MST tanpa memperhatikan kondisi *kontur* (permukaan bumi datar) lebih cepat dibandingkan dengan memperhatikan kondisi *kontur*. Kondisi tersebut dapat terlihat dari selisih waktu komputasi yang semakin besar dari pengujian 1 sampai dengan 5.

Penentuan MST berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah dengan algoritma prim akan membutuhkan waktu komputasi yang lama dan apabila jika jumlah simpul dan sisi graf ditambah, maka waktu komputasi akan semakin lama. Hal ini disebabkan karena adanya tambahan *script* program pada algoritma prim berupa masukkan parameter elevasi dan tinggi tiang dari suatu graf, sehingga penentuan MST dengan algoritma prim akan mengalami penambahan proses perhitungan elevasi dan tinggi tiang untuk menghasilkan bobot minimum masing-masing graf.

Hasil pengujian kompleksitas waktu algoritma prim pada Tabel 2 dengan menggunakan program ArcView GIS 3.3 berdasarkan jumlah titik/simpul (n) dapat digambarkan ke dalam grafik seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8:



Gambar 7. Grafik kompleksitas waktu algoritma prim tanpa memperhatikan kondisi *kontur*



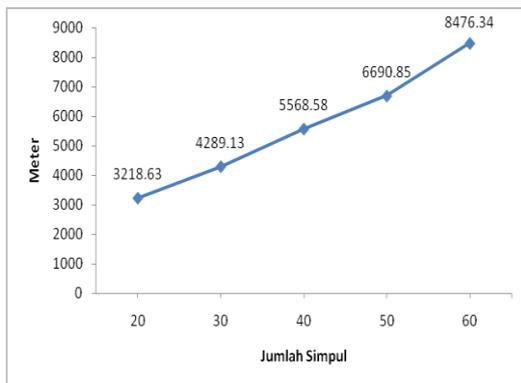
Gambar 8. Grafik kompleksitas waktu algoritma prim dengan memperhatikan kondisi *kontur*

Pada gambar 7 terlihat bahwa untuk jumlah simpul/titik (n) yang kecil akan membutuhkan waktu komputasi yang masih cepat. Ketika semakin banyak jumlah titik/simpul (n) yang akan diuji, maka waktu komputasinya juga akan mengalami kenaikan yang besar (waktu semakin lama). Kondisi tersebut juga dialami oleh Gambar 8, dimana waktu komputasi akan melonjak tajam untuk jumlah simpul/titik (n) yang banyak.

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8 tampak bahwa grafik hasil pengujian kompleksitas waktu algoritma prim dalam mencari pohon merentang minimum (MST) dengan variasi jumlah titik/simpul bersifat kuadratik.

Pada Tabel 3 terlihat terjadi perbedaan antara bobot minimum yang dihasilkan oleh algoritma prim yang tidak memperhatikan kondisi *kontur* dengan yang memperhatikan kondisi *kontur*. Selain itu, selisih bobot minimum yang dihasilkan dari kedua kondisi tersebut mengalami kenaikan secara signifikan setelah jumlah titik/simpul dan sisi ditambah dalam suatu graf.

Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan jumlah titik/simpul serta jumlah sisi suatu graf disertai pengaruh parameter *kontur* suatu wilayah mengakibatkan perbedaan bobot minimum yang dihasilkan pohon MST akan semakin besar pula. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 9:



Gambar 9. Grafik bobot minimum MST berdasarkan kondisi geografis

Dari gambar 9, kenaikan jumlah titik/simpul dalam hal ini tiang listrik akan menambah bobot minimum MST berupa panjang minimum kabel yang diperlukan dalam penyambungan jaringan distribusi listrik. Kondisi ini jelas sangat membantu pihak PT. PLN (Persero) sebagai operator ketenagalistrikan di Indonesia untuk mengefisienkan dan mengoptimalkan penggunaan kabel listrik berdasarkan kondisi geografis suatu daerah/wilayah, disamping untuk mempertahankan kualitas pelayanan dan keandalan jaringan distribusi listrik.

Selanjutnya hasil pengujian bagian kedua menitikberatkan pada kemampuan algoritma prim dalam menghasilkan pohon rentang minimum (MST) yang diimplementasikan kedalam jaringan listrik distribusi primer Kota Samarinda yang telah eksisting. Dari pengimplementasiannya, diharapkan diperoleh MST jaringan listrik distribusi primer Kota Samarinda yang optimal yaitu penggunaan panjang kabel listrik yang minimum berdasarkan kondisi geografis Kota Samarinda.

Hasil pengujian bagian kedua merupakan hasil dari pengujian 6 sampai pengujian 8. Pengujian dilakukan di tiga tempat berbeda, yaitu kawasan kampus universitas mulawarman, kawasan perkantoran DPRD Kaltim, dan kawasan pengembangan Kota Samarinda. Adapun rincian hasil pengujian 6 sampai pengujian 8 dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4 Hasil pengujian 6 sampai dengan 8

Peng ujian	Bobot Minimum			Kesalahan	
	Tanpa kondisi geografis	Berdasarkan kondisi geografis	Referensi (pengukuran manual)	Tanpa Kondisi geografis	Berdasarkan kondisi geografis
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Peng ujian 6	3100,76 m	3100,76 m	3103,43 m	0,086 %	0,086 %
Peng ujian 7	1103, 99 m	1107, 81 m	1109, 23 m	0,472 %	0,128 %
Peng ujian 8	2016, 77 m	2087 m	2091, 89 m	3,591 %	0,234 %

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa kesalahan terkecil dari referensi terjadi pada bobot minimum yang didasarkan pada kondisi geografis suatu wilayah dalam hal ini data *kontur* (tinggi permukaan bumi). Rata-rata kesalahan untuk bobot minimum yang dihasilkan algoritma prim berdasarkan kondisi *kontur* sebesar 0,149 %. Hal ini mengindikasikan bahwa bobot minimum yang dihasilkan algoritma prim untuk menentukan MST jaringan listrik distribusi primer berdasarkan kondisi *kontur* sudah hampir mendekati panjang kabel sebenarnya, meskipun belum 100 % akurat

Sedangkan untuk bobot minimum yang dihasilkan algoritma prim yang tidak memperhatikan kondisi *kontur* memiliki tingkat kesalahan rata-rata sebesar 1,383 % dari referensi, dengan tingkat kesalahan terbesar terjadi pada pengujian 8 yaitu sebesar 3,591%. Kondisi itu terjadi ketika sistem tidak memperhatikan kondisi *kontur* yang memiliki tingkat ketinggian berbeda, contohnya pada daerah perbukitan dan pegunungan.

Dengan demikian, maka bobot minimum yang dihasilkan dari MST jaringan listrik distribusi primer tanpa memperhatikan kondisi geografis akan memiliki tingkat kesalahan yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa parameter elevasi (tinggi permukaan bumi) sangat mempengaruhi bobot minimum suatu graf dalam menghasilkan MST dengan menggunakan algoritma prim.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian kesembilan dan kesepuluh, dimana dalam pengujian ini dilakukan perencanaan jaringan baru di daerah yang belum dialiri listrik berdasarkan kondisi geografis Kota Samarinda. Untuk pengujian kesembilan dilakukan pengembangan jaringan listrik distribusi primer di penyulang T5 untuk memberikan aliran listrik di daerah perumahan bengkuring kecamatan palaran.

Kondisi geografis daerah kawasan perumahan bengkuring memiliki ketinggian 12,5 meter diatas permukaan laut. Dari model graf jaringan listrik yang telah dirancang berdasarkan peta topografi dan *kontur* daerah tersebut dihasilkan rute jaringan listrik distribusi primer dengan bobot minimum sebesar 727,16 meter, yaitu pemakaian kabel listrik yang efisien dalam menghubungkan seluruh tiang listrik yang akan dipasang.

Pada pengujian kesepuluh, dilakukan perencanaan pengembangan jaringan listrik distribusi primer di kawasan perumahan mutiara indah kecamatan samarinda ilir dengan penyulang T5 sebagai sumber listriknya. Kondisi geografis daerah tersebut berada di

ketinggian antara 12,5 sampai 25 meter diatas permukaan laut. Dari model graf jaringan listrik yang telah dirancang berdasarkan peta topografi dan *kontur* daerah tersebut dihasilkan rute jaringan listrik distribusi primer dengan bobot minimum sebesar 439,12 meter, yaitu pemakaian kabel listrik yang efisien dalam menghubungkan seluruh tiang listrik yang akan dipasang.

Berdasarkan pengujian kesembilan dan kesepuluh yang diperoleh dapat dijadikan acuan bagi tingkat manajer untuk mengambil keputusan dalam pengembangan jaringan listrik distribusi primer di daerah yang belum mendapat aliran listrik. Acuan yang dapat dilihat adalah penggunaan panjang kabel yang efisien berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah serta tingkat kemampuan penghantar/kabel dalam melayani beban listrik yang akan dipasang di daerah tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan tentang penentuan pohon rentang minimum berdasarkan kondisi geografis suatu wilayah menggunakan algoritma prim dengan studi kasus pada Kota Samarinda dapat diperoleh kesimpulan, diantaranya:

- Pohon rentang minimum dari suatu algoritma prim yang didasarkan pada kondisi kontur akan menghasilkan bobot minimum berupa panjang kabel listrik minimum yang mendekati kenyataan, dengan tingkat kesalahan rata-rata 0,149 % dari referensi pengukuran secara manual.
- Bobot minimum yang dihasilkan algoritma prim tanpa memperhatikan kondisi kontur memiliki tingkat kesalahan rata-rata sebesar 1,383 % dari referensi, dengan kesalahan terbesar terjadi di daerah pegunungan/perbukitan yaitu 3,591 %.

Saran

Adapun saran yang mungkin bermanfaat bagi kelanjutan penelitian ini, adalah pemanfaatan GIS dalam penentuan pohon rentang minimum hendaknya perlu memperhatikan optimasi program. Hal ini dimaksudkan agar proses pencarian graf berbobot dapat dilakukan dengan relatif cepat dengan kompleksitas waktu algoritma mendekati $O(n)$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaian artikel ini, terlebih kepada para tim perevisi, Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gloor, P. A., Johnson, D. B., Makedon, F., Metaxas, P., (1993), A Visualization System for Correctness Proofs of Graph Algorithms, http://www.wellesley.edu/CS/pmetaxas/visual_proofs.pdf, Computer Science Education.
- [2] Greenberg, H. J., (1998), Greedy Algorithm for Minimum Spanning Tree, <http://glossary.computing.society.informs.org/notes/spanningtree.pdf>, University of Colorado, Denver.
- [3] Pop, P. C., Zelina, I., (2004), Heuristic Algorithms for the Generalized Minimum Spanning Tree Problem, http://emis.library.cornell.edu/journals/AUA/acta8/Pop_Zelina.pdf, Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Mathematics and Informatics (ICTAMI), Thessaloniki, Greece.
- [4] Lilik J. Awal dan Bangun M. Sujoko, (2003), *Pembuatan dan Analisa Sistem Informasi Geografis Distribusi Jaringan Listrik*, Makara, Teknologi Vol.7 No.1, April 2003, Fakultas Teknik Sipil, ITS, Surabaya.
- [5] Munir, R., (2009), *Matematika Diskrit*, Edisi 3, Informatika, Bandung.
- [6] Oetomo, B. S., (2002), *Perencanaan dan Pembangunan Sistem Informasi*, Andi, Yogyakarta.
- [7] Kristanto, K., (2008), *Perancangan Sistem Informasi dan Aplikasinya*, Gava Media, Yogyakarta.
- [8] Mehta, D. P., Sahni, S., (2005), *Handbook of Data Structures and Applications*, Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series, United States of America.
- [9] Purwanto, E. B., (2008), *Perancangan Dan Analisis Algoritma*, Edisi 1, Graha Ilmu, Yogyakarta