

PENENTUAN LOKASI SWING BUS DI JARINGAN LISTRIK SUMATERA BAGIAN UTARA 150 KV

YULIANTA SIREGAR 1¹, RAJA HARAHAHAP 2²,

¹Departement Teknik Elelktro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

² Departement Teknik Elelktro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Email : julianta_srg@yahoo.co.id

ABSTRAK

Seringnya terjadi pemadaman listrik di Sumatera Utara membuat permasalahan semakin beragam seperti terhambatnya pertumbuhan perekonomian, kerusakan peralatan elektronik di rumah / industri, proses pembelajaran terganggu baik di rumah atau di sekolah, menyebabkan terjadinya kebakaran, dan lain – lain. Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dan loses jaringan, aliran daya mengenal 3 jenis bus, seperti Swing bus, Generator bus, Load bus. Penentuan lokasi swing bus dapat mempengaruhi keandalan sistem dan mendapatkan loses jaringan yang kecil. Salah satu solusi dari permasalahan kelistrikan di sistem jaringan Sumatera Utara Bagian Utara 150 KV adalah dengan menentukan posisi lokasi Swing bus yang tepat, sehingga mendapatkan loses yang kecil dan sistem lebih handal. Penelitian ini menggunakan Artificial Bee Colony untuk mendapatkan posisi slack bus yang optimal dengan menggunakan data Sumatera Bagian Utara (SUMBAGUT) 150 KV. Hasil yang diperoleh bahwa posisi slack bus yang optimal yaitu bus 10 (Gardu Belawan) dengan total rugi-rugi jaringan 63,019 MW dan 218,793 MVAR, dan semua tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Jaringan listrik Sumatera Bagian Utara 150KV, Swing Bus, Artificial Bee Colony.

ABSTRACT

The TEKNIKA Journal which contribute to the advance of knowledge engineering, To comply to the formatting used by the Journal, authors who wish to submit paper to one of the Journal are strongly recommended to use this file as the template for their papers. In this file, authors will find all styles and formatting acceptable for paper submission. Each paper should be between 10 to 15 pages in all, including illustrations, tables, list of references, and abstracts in Bahasa Indonesia and English. Authors are encouraged to submit paper in MS Word format (.doc or .docx) via email jurnalteknika@ft-untirta.ac.id. Hardcopy is acceptable for first submission, but softcopy is required for further editing once the paper is considered for publication by the Journal.

Keywords: author's guideline, document's template, format, style.

PENDAHULUAN

Seringnya terjadi pemadaman listrik di Sumatera Utara membuat permasalahan semakin beragam seperti terhambatnya pertumbuhan perekonomian, kerusakan peralatan elektronik di rumah / industri, proses pembelajaran terganggu baik di rumah atau di sekolah, menyebabkan terjadinya kebakaran, dan lain – lain.

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dan losses jaringan, aliran daya mengenal 3 jenis bus, seperti Swing bus, Generator bus, Load bus. Penentuan lokasi swing bus dapat mempengaruhi keandalan sistem dan mendapatkan losses jaringan yang kecil.

Saluran transmisi akan membentuk suatu jaringan interkoneksi yang rumit. Jaringan tersebut berfungsi untuk mengirimkan energi listrik yang dibangkitkan pada pusat – pusat pembangkit ke berbagai pusat beban. Parameter – parameter yang ada pada transmisi meliputi tegangan sistem, aliran daya, dan rugi – rugi daya pada saluran. Rugi – rugi daya pada saluran menyebabkan turunnya kualitas tenaga listrik yang dikirimkan, padahal tenaga listrik yang berkualitas diperlukan agar peralatan – peralatan yang menggunakan energi listrik dapat bekerja secara optimal. Salah satu cara mengurangi losses adalah dengan pemilihan swing bus. Losses merupakan salah satu bentuk gangguan yang ada pada suatu sistem tenaga listrik. Losses berasal dari transmisi, peralatan, dll. Salah satu mengurangi losses adalah dengan memilih swing bus pada suatu sistem listrik.

Swing bus adalah bus yang diambil sebagai referensi dimana magnitude dan sudut fasa diketahui. Bus ini dipersiapkan untuk memenuhi perbedaan antara beban yang terjadi dengan daya pembangkitan yang disebabkan oleh losses pada jaringan. Swing bus dapat dipilih dari bus mana saja, namun biasanya dipilih bus yang mempunyai daya paling besar. Dengan pemilihan slack bus yang tepat nantinya akan menghasilkan losses paling kecil sehingga berdampak pada optimalnya biaya pembangkitan.

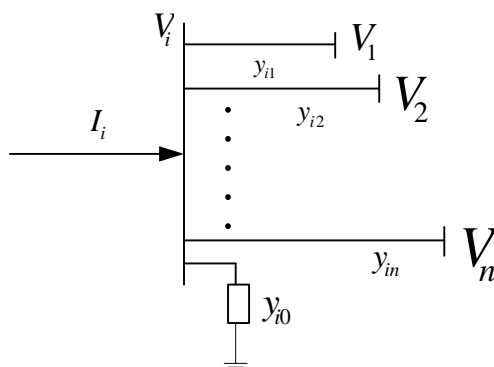
2. STUDI ALIRAN DAYA (METODA NEWTON-RAPHSON)

Studi aliran daya bertujuan untuk kepentingan perencanaan dan perancangan guna kondisi operasi optimal pada sistem yang ada dan untuk pengembangan sistem yang akan datang secara optimal. Keterangan yang diperoleh dari studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan daya nyata dan reaktif yang mengalir pada setiap saluran.

Dalam studi aliran daya terdapat tiga penggolongan bus, yaitu [6]:

1. Bus beban; pada bus ini terhubung beban-beban yang permintaan daya nyata (P) dan daya reaktif (Q), sedangkan besar tegangan (V) dan sudut fasanya (δ) dihitung. Bus beban sering juga disebut bus P-Q.
2. Bus generator; pada bus generator terdapat generator-generator yang besaran tegangan (V) dan daya aktif (P) diketahui, sedangkan sudut fasa tegangan (δ) dan daya reaktif (Q) tidak diketahui. Bus generator sering juga disebut bus P-V.
3. Bus referensi (*slack bus*); pada bus referensi besar tegangan (V) dan sudut fasanya (δ) diketahui, sudut fasa δ pada bus referensi menjadi acuan untuk sudut fasa tegangan pada bus yang lain.

Suatu sistem tenaga listrik terdapat banyak bus. Berikut gambar 1 menunjukkan diagram satu garis beberapa bus dari sistem tenaga [1-3]:



Gambar 1 Diagram satu garis dari n-bus dalam suatu sistem tenaga

Arus pada bus i dapat ditulis:

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n)$$

$$I_i = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \tag{1}$$

Sehingga dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Y_{ii} = y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}$$

$$Y_{i1} = -y_{i1}$$

$$Y_{i2} = -y_{i2}$$

$$\downarrow$$

$$Y_{in} = -y_{in}$$

Admittansi Y dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{in} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Sehingga I_i pada Persamaan (1) dapat ditulis:

$$I_i = Y_{ii}V_i + Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n \tag{3}$$

Atau dapat ditulis menjadi:

$$I_i = Y_{ii}V_i + \sum_{n=1, n \neq i}^n Y_{in}V_n \tag{4}$$

Persamaan daya pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i ; \text{dimana } V_i^* \text{ adalah } V \text{ conjugate pada bus } i$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \tag{5}$$

Dengan mensubsitusikan Persamaan (4) ke Persamaan (5), maka diperoleh:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Y_{ii}V_i + \sum_{n=1, n \neq i}^n Y_{in}V_n \tag{6}$$

Dari Persamaan (2.20) terlihat bahwa persamaan aliran daya bersifat tidak linear dan harus diselesaikan dengan metode iterasi.

Sekelompok pusat listrik dan pusat beban (Gardu Induk) yang dihubungkan satu sama lain oleh saluran transmisi dan melayani beban pada bagian sistem distribusi disebut dengan sistem tenaga listrik. Dalam sistem tenaga listrik terdapat beberapa analisis yang umumnya dilakukan, yaitu [5-7]: :

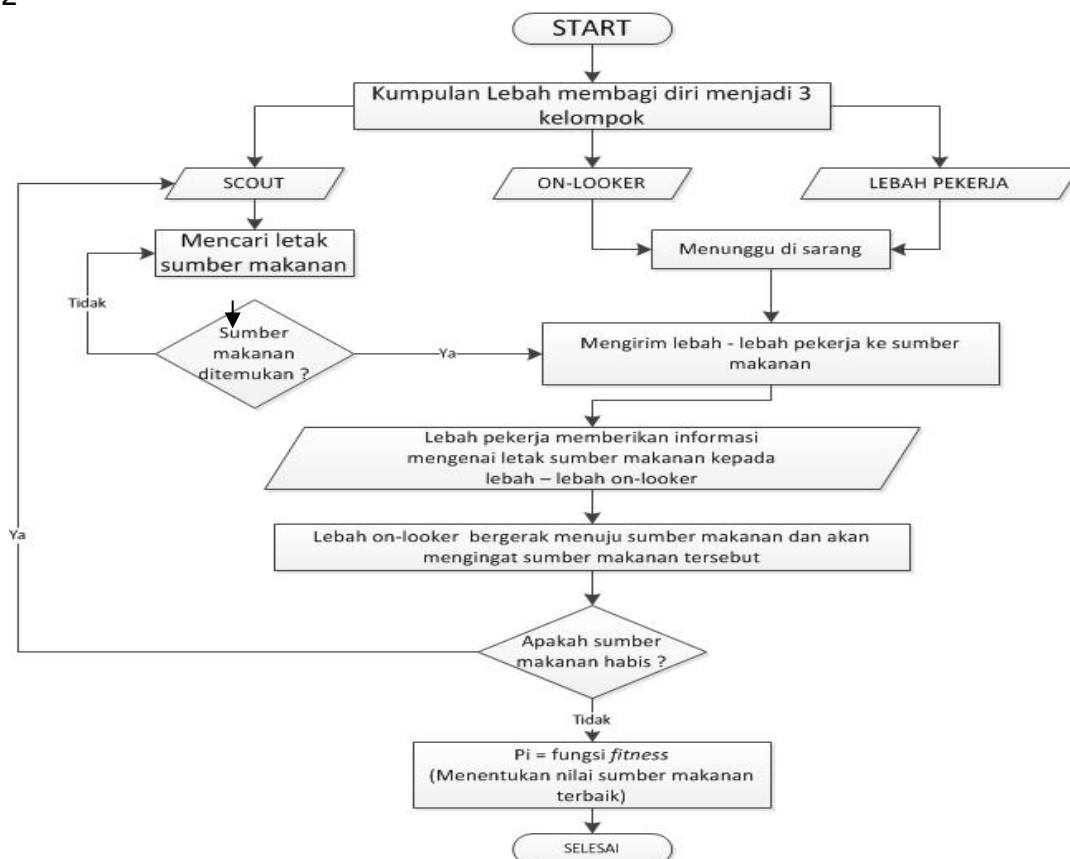
- a) Analisis aliran daya. Analisis ini adalah untuk menganalisis sistem dalam keadaan normal, untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, aliran daya aktif dan reaktif pada sistem tenaga listrik dalam kondisi beban tertentu.

- b) Analisis hubung singkat. Analisis ini adalah analisis yang mempelajari pengaruh arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang di dalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.
- c) Analisis stabilitas sistem. Analisis ini adalah analisis yang mempelajari keadaan sistem dimana terjadi pergeseran besaran listrik berupa frekuensi, tegangan dan arus pada beberapa pembangkit yang dihubungkan oleh jaringan sewaktu terjadi perubahan.

3. ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC)

Metode optimisasi yang digunakan untuk menentukan letak *slack bus* adalah dengan metode *Artificial Bee Colony* (ABC). ABC adalah sebuah metode optimisasi yang terinspirasi oleh perilaku mencari makan lebah madu diperkenalkan oleh Karaboga pada tahun 2005 [8]. Metode ini mensimulasikan perilaku lebah untuk menentukan *swing bus* yang terbaik. Dalam metode ini terdapat tiga kelompok lebah, yaitu: lebah pekerja, lebah *onlooker*, dan lebah *scout*. Lebah pekerja yaitu lebah yang pergi ke sumber makanan yang pernah dikunjungi sendiri sebelumnya, lebah *onlooker* adalah lebah yang membuat keputusan dalam memilih sumber makanan, dan yang mencari sumber makanan secara acak yaitu lebah *scout*. Setiap sumber makanan hanya ada satu lebah pekerja. Lebah pekerja yang sumber makanannya telah habis akan menjadi lebah *scout*.

Adapun tahapan yang dilakukan oleh lebah dalam menentukan tempat makanan seperti gambar 2



Gambar 2 Flowchart Artificial Bee Colony

Penggunaan metode Artificial Bee Colony dalam penentuan slack bus dapat direpresentasikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Representasi Penggunaan Metode ABC

Algoritma ABC	Penentuan Slack Bus
Posisi Sumber Makanan	Kandidat bus yang akan dijadikan slack bus
Jumlah Sumber Makanan	Jumlah Bus yang menjadi kandidat slack bus
Fungsi Objektif	Rugi – rugi pada jaringan = $\min \sum S_{loss}$

Pada tabel di atas, dijelaskan bahwa posisi sumber makanan direpresentasikan sebagai kandidat bus yang akan dijadikan slack bus. Kandidat slack bus yaitu semua bus generator. Jumlah sumber makanan direpresentasikan sebagai jumlah bus yang menjadi kandidat slack bus. Kualitas sumber makanan direpresentasikan sebagai kualitas tegangan yang dihasilkan pada jaringan setelah penentuan slack bus. Dan fungsi objektif dari pemilihan titik optimum adalah nilai rugi – rugi daya tekecil. Atau, bila dikonversikan menjadi fungsi *fitness* :

$$F_{fitness} = \frac{1}{\sum S_{losses}}$$

4. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sistem jaringan Sumatera Bagian Utara 150 KV dan penentuan slack bus dengan menggunakan bahasa pemrograman Artificial Bee Colony dengan melakukan perhitungan aliran daya newton raphson.

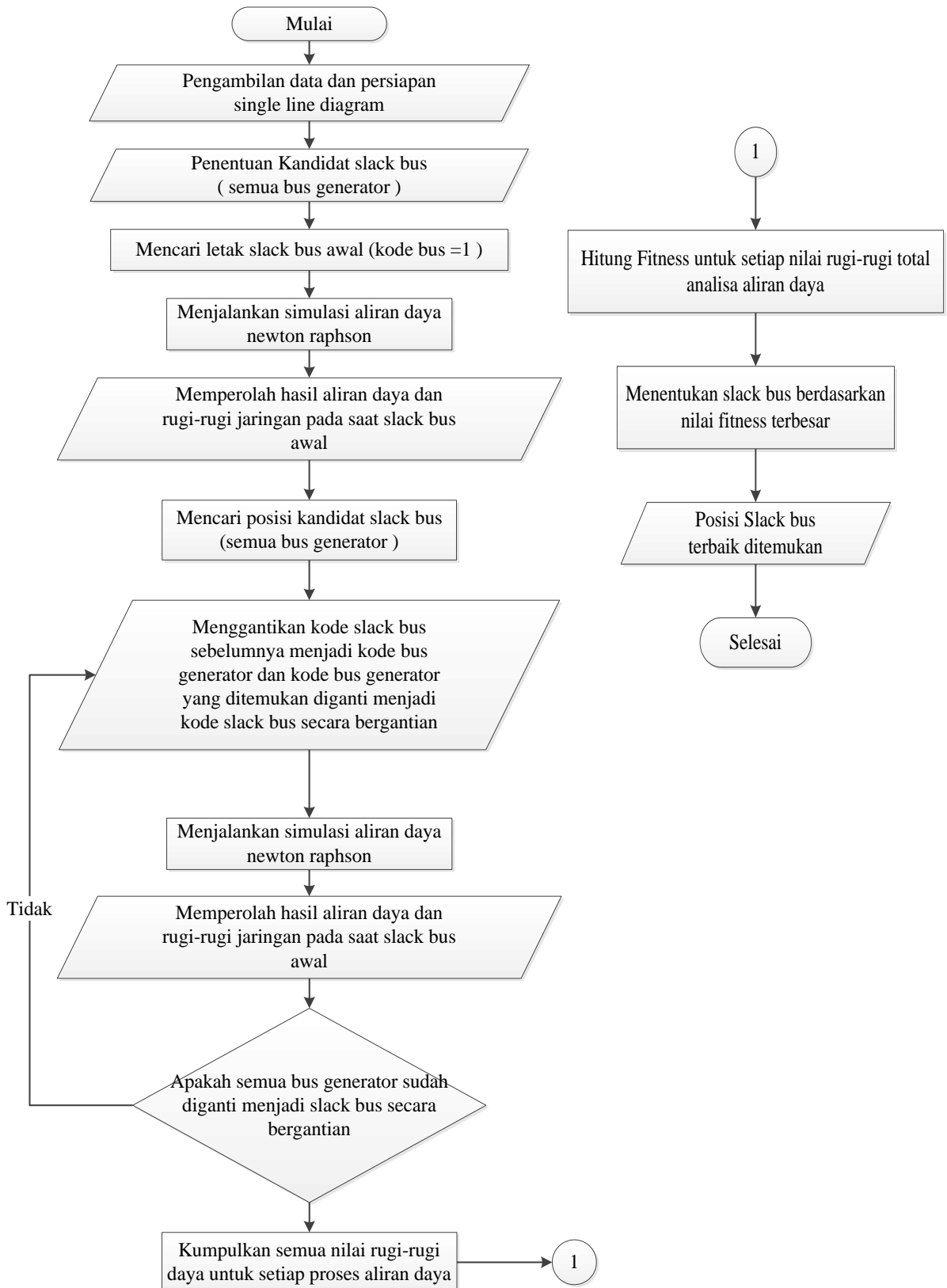
Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah :

- Kandidat slack bus
- Besar tegangan dan sudut tegangan setiap bus
- Rugi – rugi daya

Adapun langkah – langkah penelitian yaitu :

- a. Merancang simulasi yang sistem kelistrikan SUMBAGUT 150 kV dengan menggunakan data yang didapatkan sebagai parameter dalam simulasi dengan bantuan program komputer yaitu Matlab.
- b. Merancang program aliran daya dengan metode Newton Raphson dengan bantuan program Matlab.
- c. Merancang program untuk menentukan slack bus yang terbaik dengan menggunakan metode ABC dengan bantuan program komputer.
- d. Menentukan kandidat slack bus yaitu seluruh bus generator dapat dijadikan slack bus.
- e. Mensimulasikan program aliran daya dan program untuk menentukan slack bus dengan menggunakan metode ABC.
- f. Dengan metode ABC maka akan ditemukan slack bus yang yaitu slack bus yang akan menghasilkan rugi-rugi pada jaringan yang minimum.

Penentuan slack bus pada jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV ini, secara flowchart dapat digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Penentuan *slack bus* dengan metode ABC

5 HASIL DAN ANALISIS

Hasil studi aliran daya akan menampilkan kondisi tegangan setiap bus dalam pu, sudut tegangan, beban dalam MW dan MVAR, pembangkitan daya dalam MW dan MVAR, dan injeksi MVAR.

A. SLACK BUS PADA BUS

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 1 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di bus 5,6,7, dan 8 berada dibawah standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 1099,264 MW dan 1393,605 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 245,568 MW dan 855,019 MVAR.

B. SLACK BUS PADA BUS 2

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 2 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di bus 5,6,7, dan 8 berada dibawah standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 1068,471 MW dan 1291,924 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 214,776 MW dan 753,342 MVAR.

C. SLACK BUS PADA BUS 4

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 4 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di bus 5,6,7, dan 8 berada dibawah standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 1097,477 MW dan 1389,654 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 243,783 MW dan 851,075 MVAR.

D. SLACK BUS PADA BUS 10

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 10 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 916,713 MW dan 757,375 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 63,019 MW dan 218,793 MVAR.

E. SLACK BUS PADA BUS 13

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 13 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 918,457 MW dan 771,548 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 64,763 MW dan 232,966 MVAR.

F. SLACK BUS PADA BUS 16

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 16 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 940,686 MW dan 866,709 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 86,993 MW dan 328,129 MVAR.

G. SLACK BUS PADA BUS 18

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 18 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 928,679 MW dan 818,179 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 74,985 MW dan 279,598 MVAR.

H. SLACK BUS PADA BUS 20

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 20 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 946,956 MW dan 877,813 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 93,262 MW dan 339,230 MVAR.

I. SLACK BUS PADA BUS 21

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 21 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 953,282 MW dan 899,016 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 99,589 MW dan 360,433 MVAR.

J. SLACK BUS PADA BUS 35

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 35 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 966,035 MW dan 944,187 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 112,345 MW dan 405,613 MVAR.

K. SLACK BUS PADA BUS 43

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 43 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 961,883 MW dan 929,424 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 108,183 MW dan 390,824 MVAR.

L. SLACK BUS PADA BUS 44

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 44 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan

963,379 MW dan 933,841 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 109,679 MW dan 395,241 MVAR.

M. SLACK BUS PADA BUS 45

Hasil perhitungan program ketika *slack bus* berada pada bus 45 dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil yang diperoleh bahwa tegangan di setiap bus berada di dalam standard tegangan yang diijinkan. Total beban sebesar 853,700 MW dan 538,600 MVAR, total pembangkitan 964,625 MW dan 944,126 MVAR dan total rugi-rugi daya sebesar 110,925 MW dan 405,526 MVAR.

5.1 PENENTUAN SLACK BUS

Untuk menentukan *slack bus* terbaik, maka perlu membandingkan rugi-rugi yang terjadi setiap kemungkinan *slack bus* ditempatkan. Untuk itu perlu menghitung nilai fitness setiap kemungkinan. Rumus fitness yaitu 1 per total rugi-rugi dalam saluran. Fitness terbesar yang akan dipilih menjadi *slack bus*. Dari Tabel 2 dapat dilihat total rugi-rugi daya, total beban dan total daya yang dibangkitkan untuk setiap posisi *slack bus*. Setelah memperoleh total rugi-rugi daya, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *fitness*. Nilai fitness dapat dilihat pada tabel 3. Fitness yang terbesar yaitu 0,00439 pada posisi *slack bus* pada Bus 10 (Bus Belawan).

Tabel 2 Total Beban, Total Rugi-Rugi, dan Total Pembangkitan

Posisi Slack Bus	Total Load		Total Losses		Total Generation	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	853.7	538.6	245.564	855.005	1099.264	1393.605
2	853.7	538.6	214.771	753.324	1068.471	1291.924
4	853.7	538.6	243.777	851.054	1097.477	1389.654
10	853.7	538.6	63.019	218.793	916.719	757.393
13	853.7	538.6	64.763	232.966	918.463	771.566
16	853.7	538.6	86.993	328.129	940.693	866.729
18	853.7	538.6	74.985	279.598	928.685	818.198
20	853.7	538.6	93.262	339.23	946.962	877.83
21	853.7	538.6	99.589	360.433	953.289	899.033
35	853.7	538.6	112.345	405.613	966.045	944.213
43	853.7	538.6	108.183	390.824	961.883	929.424
44	853.7	538.6	109.679	395.241	963.379	933.841
45	853.7	538.6	110.925	405.526	964.625	944.126

Tabel 3 Nilai Fitness

Posisi Slack Bus	Total Losses			Fitness
	MW	MVAR	MVA	
1	245.564	855.005	889.5702	0.001124
2	214.771	753.324	783.3413	0.001277
4	243.777	851.054	885.2797	0.00113
10	63.019	218.793	227.6879	0.004392
13	64.763	232.966	241.8003	0.004136
16	86.993	328.129	339.4649	0.002946

18	74.985	279.598	289.4785	0.003454
20	93.262	339.23	351.8164	0.002842
21	99.589	360.433	373.9384	0.002674
35	112.345	405.613	420.884	0.002376
43	108.183	390.824	405.5206	0.002466
44	109.679	395.241	410.1767	0.002438
45	110.925	405.526	420.4232	0.002379

Besar tegangan untuk setiap kemungkinan posisi *slack bus* juga dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Besar Tegangan Setiap Bus (dalam pu)

NO BUS	Posisi Slack Bus												
	BUS 1	BUS 2	BUS 4	BUS 10	BUS 13	BUS 16	BUS 18	BUS 20	BUS 21	BUS 35	BUS 43	BUS 44	BUS 45
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0.982	0.982	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.759	0.759	0.759	0.964	0.964	0.963	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964
6	0.659	0.659	0.659	0.955	0.955	0.954	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
7	0.654	0.654	0.654	0.951	0.951	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
8	0.655	0.655	0.655	0.953	0.954	0.952	0.953	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954
9	0.932	0.932	0.932	0.983	0.983	0.981	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
15	0.972	0.972	0.972	0.990	0.990	0.987	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0.986	0.986	0.986	0.994	0.994	0.992	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.988	0.984	0.990	0.982	0.982	0.982
23	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.980	0.975	0.983	0.970	0.970	0.970
24	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.977	0.973	0.977	0.961	0.961	0.961
25	0.966	0.966	0.966	0.965	0.965	0.966	0.967	0.966	0.962	0.953	0.948	0.948	0.947
26	0.958	0.958	0.958	0.958	0.958	0.959	0.959	0.960	0.957	0.939	0.946	0.946	0.946
27	0.963	0.963	0.963	0.962	0.963	0.963	0.964	0.964	0.962	0.943	0.952	0.952	0.952
28	0.971	0.971	0.971	0.970	0.970	0.971	0.971	0.972	0.970	0.950	0.963	0.963	0.963
29	0.969	0.969	0.969	0.968	0.969	0.969	0.970	0.970	0.969	0.950	0.962	0.962	0.962
30	0.981	0.981	0.981	0.980	0.980	0.981	0.981	0.982	0.982	0.977	0.980	0.980	0.980
31	0.973	0.973	0.973	0.972	0.973	0.973	0.973	0.974	0.974	0.969	0.973	0.973	0.973
32	0.976	0.976	0.976	0.975	0.976	0.976	0.977	0.977	0.977	0.972	0.976	0.976	0.976
33	0.975	0.975	0.975	0.974	0.975	0.975	0.975	0.976	0.976	0.971	0.975	0.975	0.975

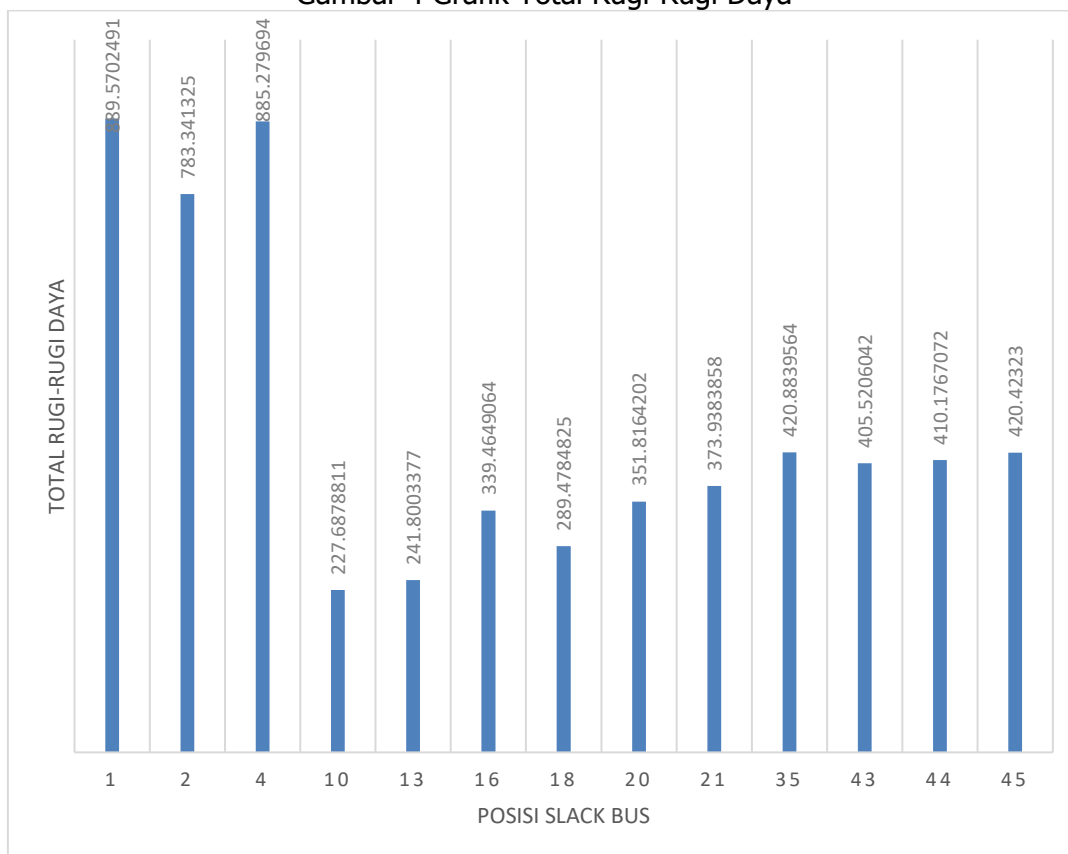
PENENTUAN LOKASI SWING BUS DI JARINGAN LISTRIK SUMATERA BAGIAN UTARA 150 KV

34	0.968	0.968	0.968	0.967	0.968	0.969	0.969	0.969	0.969	0.964	0.968	0.968	0.968
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957	0.959	0.959	0.944	0.944	0.944	0.944

Lanjutan Tabel 4 Besar Tegangan Setiap Bus (dalam pu)

NO BUS	Posisi Slack Bus												
	BUS 1	BUS 2	BUS 4	BUS 10	BUS 13	BUS 16	BUS 18	BUS 20	BUS 21	BUS 35	BUS 43	BUS 44	BUS 45
37	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.947	0.947	0.927	0.928	0.928	0.927
38	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.943	0.946	0.946	0.924	0.928	0.928	0.928
39	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.955	0.955	0.935	0.939	0.939	0.939
40	0.969	0.969	0.969	0.968	0.968	0.969	0.969	0.971	0.971	0.958	0.962	0.962	0.961
41	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.987	0.988	0.988	0.987
42	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997	0.996	0.996	0.995
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Gambar 4 Grafik Total Rugi-Rugi Daya



6. KESIMPULAN

1. *Slack bus* yang dipilih berdasarkan nilai rugi-rugi terkecil adalah Bus 10. Bus 10 yaitu Bus Belawan dengan total rugi-rugi daya sebesar 63.019 MW dan 218.793 MVAR, total beban sebesar 853.700 MW dan 538.600 MVAR, total pembangkitan 916.713 MW dan 757.375 MVAR, dan tegangan di setiap bus berada pada batas yang ijin.
2. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa letak *slack bus* berada pada bus generator yang memiliki kapasitas paling besar. Hal ini sesuai dengan pemilihan *slack bus* yang biasa dilakukan untuk studi aliran daya yaitu memilih bus generator yang memiliki kapasitas paling besar.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Hadi Saadat, (2004), *Power Sistem Analysis*, Second Edition, McGraw-Hill International Edition.,Singapore.
- [2] Lynn Powell, (2005), *Power Sistem Load Flow Analysis*, McGraw-Hill International Edition.
- [3] John J.Grainger and William D.Stevenson.Jr, (1994), *Power Sistem Analysis*, Mc Graw-Hill International Editions.
- [4] Charles A Gross, (1986), *Power System Analysis*, Second Edition, John Wiley & Sons.,Canada.
- [5] Turan Gonen,(1988), *Modern Power Sistem Analysis*, John Wiley & Sons,Inc.,Canada.
- [6] Prabha Kundur, *Power Sistem Stability and Control*, (1994), Mc Graw-Hill, Inc.
- [7] Vincent Del Toro, (1992), *Electric Power Sistems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey