

PENENTUAN *SLACK BUS* PADA JARINGAN TENAGA LISTRIK SUMBAGUT 150 KV MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL BEE COLONY*

Tommy Oys Damanik, Yulianta Siregar

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: tommydamanik@gmail.com

Abstrak

Slack bus berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya aktif P dan daya reaktif Q pada sistem dan juga sebagai bus yang memikul rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem. Pemilihan *slack bus* akan mempengaruhi aliran daya pada jaringan, rugi-rugi pada jaringan dan tegangan di setiap bus, dengan demikian perlu dilakukan analisis penentuan *slack bus* dalam sebuah sistem. Penentuan *slack bus* diharapkan akan mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan dan menghasilkan tegangan di setiap bus yang sesuai dengan standard SPLN yaitu -10% sampai dengan +5% dari tegangan nominal. Tulisan ini mensimulasikan penentuan *slack bus* jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV dengan menggunakan metode *Artificial Bee Colony*. Hasil yang diperoleh bahwa *slack bus* yang terbaik 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: *slack bus*, studi aliran daya, *artificial bee colony*

1. Pendahuluan

Dalam jaringan tenaga listrik terdapat tiga penggolongan bus, yaitu : bus beban, bus generator, dan *slack bus*. *Slack bus* merupakan salah satu bus generator yang dipilih menjadi bus referensi, biasanya sudut tegangannya dibuat nol [1], dengan kata lain *slack bus* dapat dipilih dari salah satu bus generator. *Slack bus* berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya aktif P dan reaktif Q pada sistem, atau sebagai bus yang menanggung rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Penentuan *slack bus* yang terbaik dapat dilakukan dengan melihat hasil dari analisa aliran daya dari setiap bus yang mungkin dijadikan sebagai *slack bus*. Metode analisa aliran daya yang digunakan pada tulisan ini yaitu metode *Newton Raphson*. *Slack bus* yang dipilih yaitu *slack bus* yang menghasilkan rugi-rugi daya yang paling minimum dan tegangan di setiap bus masih berada di dalam batas toleransi yaitu berdasarkan standar tegangan PT. PLN +5% sampai -10% dari tegangan nominal.

Metode yang digunakan dalam tulisan ini adalah metode ABC (*Artificial Bee Colony*). Metode ABC merupakan salah satu dari metode *artificial intelligent* atau kecerdasan buatan. Metode ini mencari *slack bus* yang terbaik yang terinspirasi dari perilaku koloni lebah dalam

mencari *nectar* (sari bunga). Koloni lebah terbagi menjadi tiga kelompok yaitu lebah pekerja, lebah *onlooker* dan lebah *scout*. Lebah-lebah ini yang menentukan letak dan besar suatu sumber *nectar*, kemudian mengingat dan membandingkan dengan sumber lain. Pada akhir fungsi dipilih suatu lokasi dengan sumber *nectar* yang paling optimal (dalam hal ini yaitu letak *slack bus* yang terbaik).

2. Studi Pustaka

Sistem transmisi adalah sistem yang menghubungkan antara sistem pembangkitan dan sistem distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik.

Komponen utama saluran transmisi adalah struktur pendukung (tiang atau menara listrik) yang menopang konduktor dan isolator, konduktor sebagai penghantar energi, dan isolator. Empat parameter dalam saluran transmisi yang mempengaruhi kemampuannya untuk menyalurkan energi listrik yaitu : resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi.

2.1 Busbar

Busbar adalah sebagai terminal tempat pengambilan sumber listrik. Semua peralatan pada gardu induk dihubungkan ke bus. Pada umumnya konfigurasi busbar terbagi menjadi

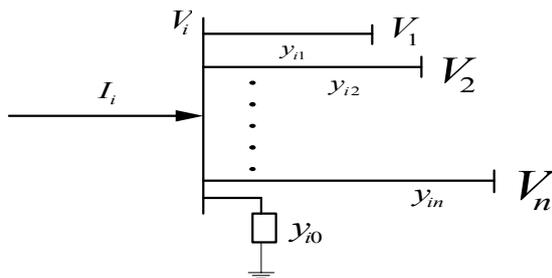
empat yaitu *Single breaker, single bus; single breaker, double bus with tie*; satu setengah *breaker configuration*; and *Ring Bus*.

2.2 Studi Aliran Daya

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. Tiga penggolongan tipe bus dalam studi aliran daya yaitu bus beban (bus P,Q), bus generaor (bus P,V), dan *slack bus* (bus V, δ).

2.2.1 Persamaan Aliran Daya

Suatu sistem tenaga listrik terdapat banyak bus. Gambar 1. menunjukkan diagram satu garis beberapa bus dari sistem tenaga [2].



Gambar1. Diagram satu garis dari n-bus dalam suatu sistem tenaga.

Arus pada bus i dalam persamaan (1):

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

I_i pada Persamaan (1) dapat ditulis:

$$I_i = Y_{ii}V_i + Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n \dots\dots(2)$$

atau dapat ditulis dalam persamaan (3).

$$I_i = Y_{ii}V_i + \sum_{n \neq i}^n Y_{in}V_n \dots\dots(3)$$

Persamaan daya pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \dots\dots(4)$$

dimana V_i^* adalah *V conjugate* pada bus i

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots\dots(5)$$

Persamaan (5) disubstitusikan ke persamaan (4), sehingga diperoleh persamaan (6)

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Y_{ii}V_i + \sum_{n \neq i}^n Y_{in}V_n \dots\dots(6)$$

2.2.2 Studi Aliran Daya Metode Newton Raphson

Metode ini digunakan untuk memudahkan perhitungan aliran daya pada sistem yang sangat luas. Pada suatu bus, dimana besarnya tegangan dan daya reaktif tidak diketahui, unsur nyata dan khayal tegangan untuk setiap iterasi didapatkan dengan pertamanya menghitung nilai daya aktif dan reaktif. Dari Persamaan (6) kita peroleh:

$$P_i - jQ_i = (Y_{ii}V_i + \sum_{n \neq i}^n Y_{in}V_n)V_i^* \dots\dots(7)$$

Dimana $i = n$, sehingga diperoleh:

$$P_i = V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in}V_n \dots\dots(8)$$

$$Q_i = -Im\{V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in}V_n\} \dots\dots(9)$$

Penyelesaian persamaan aliran daya dengan metode ini, tegangan bus dan admitansi saluran dinyatakan dalam bentuk polar, seperti dalam persamaan (10) dan (11).

$$P_i = \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \dots(10)$$

$$Q_i = - \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \dots(11)$$

Hasil perhitungan daya menggunakan Persamaan (10) dan (11) akan diperoleh nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$. Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ menggunakan persamaan (12) dan (13).

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i spec} - P_{i calc}^{(k)} \dots\dots(12)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i spec} - Q_{i calc}^{(k)} \dots\dots(13)$$

Hasil perhitungan Persamaan (12) dan (13) digunakan untuk membentuk matriks *Jacobian*, persamaan matriks *Jacobian* dapat dilihat pada persamaan (14).

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_i^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \dots\dots(14)$$

Secara umum Persamaan diatas dapat kita sederhanakan ke dalam Persamaan (15).

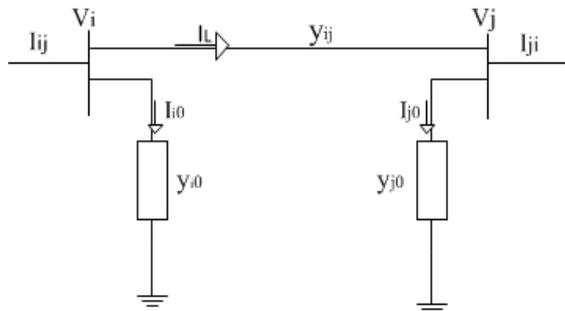
$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots(15)$$

Setelah itu menghitung nilai $\Delta \delta^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$ dengan cara menginvers matriks *Jacobian* yang telah diperoleh sebelumnya. Setelah nilai $\Delta \delta^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$ didapat, kita dapat menghitung

nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai $\Delta\delta_i^{(k)}$ dan $\Delta|V_i|^{(k)}$. Proses ini dilakukan terus menerus sampai diperoleh nilai yang konvergen.

2.2.3 Rugi – rugi pada Jaringan

Rugi – rugi pada jaringan dapat dicari melalui representasi Gambar 2.



Gambar 2. Representasi Rugi-rugi Jaringan

Dari gambar di atas dapat dinyatakan bahwa arus yang mengalir dari i ke j adalah:

$$I_{ij} = I_L + I_{io} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{io}V_j \dots (16)$$

Begitu pula sebaliknya, arus yang mengalir dari j ke i dapat dinyatakan dengan :

$$I_{ji} = -I_L + I_{jo} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{jo}V_i \dots (17)$$

Daya Semu yang terjadi dari bus i ke j dan dari bus j ke i adalah :

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij} \dots (18)$$

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^* \dots (19)$$

Sedangkan rugi-rugi daya yang terjadi dari i ke j secara aljabar dapat ditulis sebagai :

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \dots (20)$$

Dengan begitu, untuk menghitung nilai rugi-rugi secara keseluruhan dari jaringan dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh rugi-rugi yang diperoleh pada setiap saluran.

$$S_L = \sum_{j=i+1}^n S_{ij} ; (i \neq j) \dots (21)$$

2.3 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 [3]. Metode ini mensimulasikan perilaku lebah untuk menentukan slack bus yang terbaik. Dalam metode ini terdapat tiga kelompok lebah, yaitu: lebah pekerja, lebah onlooker, dan lebah scout. Metode ini diterapkan dalam bahasa pemrograman komputer. Dalam

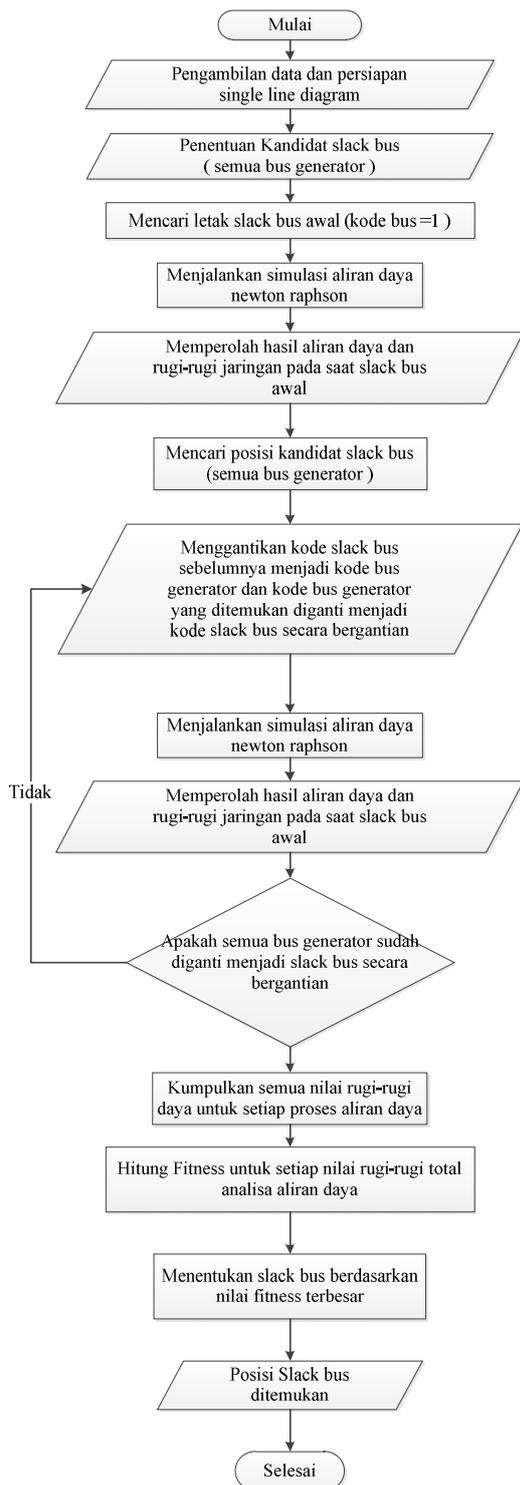
penerapannya nectar dianggap sebagai rugi-rugi daya pada jaringan. Kemudian lebah scout akan mencari letak kandidat slack bus. Lebah pekerja akan pergi ke letak kandidat slack bus menghitung rugi-rugi daya pada jaringan di setiap kandidat slack bus dan lebah onlooker akan menentukan slack bus yang terbaik yaitu slack bus yang setelah dijalankan perhitungan aliran daya diperoleh tegangan setiap bus pada batas yang diinginkan dan rugi rugi pada jaringan yang paling sedikit.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini mensimulasikan jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV dengan pemrograman komputer. Penelitian dimulai dari pengambilan data yang dibutuhkan. Kemudian mengelola data yang diperoleh dalam bentuk pemrograman untuk simulasi penelitian penentuan slack bus. Simulasi tersebut yaitu simulasi aliran daya newton raphson dan program untuk menganalisis penentuan slack bus yang terbaik dengan metode Artificial Bee Colony. Berikut adalah langkah-langkah penentuan slack bus:

- a. Membuat single line diagram jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV.
- b. Membuat program penentuan slack bus dengan mengkodekan data yang didapatkan sebagai parameter dalam simulasi dengan bantuan program komputer yaitu Matlab.
- c. Menentukan kandidat slack bus yaitu seluruh bus generator dapat dijadikan slack bus.
- d. Mensimulasikan program penentuan slack bus dengan menggunakan kandidat slack bus secara bergantian.
- e. Menghitung nilai fitness dari masing-masing kandidat slack bus.
- f. Menentukan slack bus dari nilai fitness yang terbesar.

Penentuan slack bus pada jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV ini, dengan flowchart dapat digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Penentuan slack bus dengan metode ABC.

4. Hasil dan Pembahasan

Data saluran terlebih dahulu dikonversikan ke dalam satuan p.u (per unit). Maka, perlu menghitung nilai impedansi basenya. Perhitungan dalam program ditetapkan Pbase = 100MVA, dan tegangan nominal = 150 kV. Sehingga,

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{P_{base}} = \frac{150^2}{100} = 225 \text{ ohm}$$

$$Z \text{ (pu)} = \frac{Z}{Z_{base}}$$

4.1 Penentuan Slack Bus

Bus yang dapat dijadikan slack bus yaitu semua bus generator. Tabel 2. adalah bus-bus yang dapat dijadikan kandidat slack bus.

Tabel 2. Kandidat Slack Bus

No. Bus	Nama Bus	Jenis Bus
1	Banda Aceh	Bus Generator
2	Sigli	Bus Generator
4	lhokseumawe	Bus Generator
10	Belawan	Bus Generator
13	Paya pasir	Bus Generator
16	Glugur	Bus Generator
18	Titi Kuning	Bus Generator
20	Berastagi	Bus Generator
21	Renun	Bus Generator
35	Kuala Tanjung	Bus Generator
43	Sipan Sipahoras 1	Bus Generator
44	Sipan Sipahoras 2	Bus Generator
45	Labuhan Angin	Bus Generator

Kandidat slack bus tersebut masing-masing dijalankan dalam program, sehingga diperoleh hasil studi aliran daya pada Tabel 3. yang menampilkan kondisi tegangan setiap bus dalam pu, sudut tegangan, beban dalam MW dan MVAR, pembangkitan daya dalam MW dan MVAR, dan injeksi MVAR.

Tabel 3. Hasil Studi Aliran Daya

Posisi Slack Bus	Total Loses		Total Generation	
	MW	MVAR	MW	MVAR
1	853.7	538.6	1099.3	1393.6
2	853.7	538.6	1068.5	1291.9
4	853.7	538.6	1097.5	1389.6
10	853.7	538.6	916.8	757.39
13	853.7	538.6	918.5	771.56
16	853.7	538.6	940.7	866.73
18	853.7	538.6	928.7	818.19
20	853.7	538.6	946.9	877.83
21	853.7	538.6	953.3	899.03
35	853.7	538.6	966.1	944.21
43	853.7	538.6	961.9	929.42
44	853.7	538.6	963.4	933.84
45	853.7	538.6	964.1	944.13

Setelah memperoleh rugi-rugi daya untuk setiap posisi slack bus, selanjutnya adalah menghitung nilai fitness untuk menemukan slack bus yang terbaik. Nilai fitness yang terbesar adalah slack bus yang terbaik. Nilai fitness dapat dilihat pada Tabel 4., dimana fitness terbesar yaitu Bus 10.

Tabel 4. Nilai Fitness

Posisi Slack Bus	Total Loses			Fitness
	MW	MVAR	MW	
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

Tabel 5. adalah kondisi tegangan di setiap bus untuk semua posisi *slack bus* dalam satuan pu. Dapat dilihat bahwa untuk posisi *slack bus* pada Bus 1,2, dan 4 tegangan pada Bus 5,6,7, dan 8 mengalami jatuh tegangan sampai diluar standar tegangan yaitu +5% s/d -10% tegangan nominal

Tabel 5. Kondisi Tegangan Bus dalam pu

No. Bus	Posisi Slack Bus						
	1	2	4	10	13	16	18
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	0.982	0.982	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
4	1	1	1	1	1	1	1
5	0.759	0.759	0.759	0.964	0.964	0.963	0.964
6	0.659	0.659	0.659	0.955	0.955	0.954	0.955
7	0.654	0.654	0.654	0.951	0.951	0.950	0.951
8	0.655	0.655	0.655	0.953	0.954	0.952	0.953
9	0.932	0.932	0.932	0.983	0.983	0.981	0.983
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
13	1	1	1	1	1	1	1
14	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
16	1	1	1	1	1	1	1
17	0.986	0.986	0.986	0.994	0.994	0.992	0.994
18	1	1	1	1	1	1	1
19	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991
23	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985
24	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981
25	0.966	0.966	0.966	0.965	0.965	0.966	0.967
26	0.958	0.958	0.958	0.958	0.958	0.959	0.959
27	0.963	0.963	0.963	0.962	0.963	0.963	0.964
28	0.971	0.971	0.971	0.970	0.970	0.971	0.971
29	0.969	0.969	0.969	0.968	0.969	0.969	0.970
30	0.981	0.981	0.981	0.980	0.980	0.981	0.981
31	0.973	0.973	0.973	0.972	0.973	0.973	0.973
32	0.976	0.976	0.976	0.975	0.976	0.976	0.977
33	0.975	0.975	0.975	0.974	0.975	0.975	0.975

34	0.968	0.968	0.968	0.967	0.968	0.969	0.969
35	1	1	1	1	1	1	1
36	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957	0.957
37	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944	0.944
38	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.943
39	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952
40	0.969	0.969	0.969	0.968	0.968	0.969	0.969
41	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
42	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
43	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1

Lanjutan Tabel 5

No. Bus	Posisi Slack Bus					
	20	21	35	43	44	45
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
4	1	1	1	1	1	1
5	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964
6	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
7	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
8	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954
9	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983
10	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1
12	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
13	1	1	1	1	1	1
14	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
15	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
16	1	1	1	1	1	1
17	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994
18	1	1	1	1	1	1
19	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
20	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1
22	0.988	0.984	0.990	0.982	0.982	0.982
23	0.980	0.975	0.983	0.970	0.970	0.970
24	0.977	0.973	0.977	0.961	0.961	0.961
25	0.966	0.962	0.953	0.948	0.948	0.947
26	0.960	0.957	0.939	0.946	0.946	0.946
27	0.964	0.962	0.943	0.952	0.952	0.952
28	0.972	0.970	0.950	0.963	0.963	0.963
29	0.970	0.969	0.950	0.962	0.962	0.962
30	0.982	0.982	0.977	0.980	0.980	0.980
31	0.974	0.974	0.969	0.973	0.973	0.973
32	0.977	0.977	0.972	0.976	0.976	0.976
33	0.976	0.976	0.971	0.975	0.975	0.975
34	0.969	0.969	0.964	0.968	0.968	0.968
35	1	1	1	1	1	1
36	0.959	0.959	0.944	0.944	0.944	0.944
37	0.947	0.947	0.927	0.928	0.928	0.927
38	0.946	0.946	0.924	0.928	0.928	0.928
39	0.955	0.955	0.935	0.939	0.939	0.939
40	0.971	0.971	0.958	0.962	0.962	0.961
41	0.991	0.991	0.987	0.988	0.988	0.987
42	0.998	0.998	0.997	0.996	0.996	0.995
43	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1

5. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis penentuan *slack bus* pada jaringan tenaga listrik SUMBAGUT 150 kV menggunakan metode *artificial bee colony*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

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 yaitu memilih bus generator yang memiliki kapasitas paling besar.

6. Daftar Pustaka

- [1] Alshawawreh, Jumana A. & Atef S. Al-Mashaqbeh, "Effect of Slack bus Selection in Load Flow Solution and the Total Generation Cost", Tafila Technical University, Electrical Engineering Departmen, 2013.
- [2] Saadat, Hadi, "Power System Analysis", McGraw-Hill Book Co, Singapura, 1999
- [3] Karaboga, D, "An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization", Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [4] Tyas, Yusniar Uly Andrianing, "Pemilihan Slack Bus untuk Memperkecil Losses dengan Studi Aliran Daya", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009.