

Studi Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation pada Sistem Distribusi Tiga Fasa dengan Metode Binary Linear Programming (BLP)

Chandra Lima Silalahi¹, Lukamanul Hakim², Herri Gusmedi³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹limasilalahic@yahoo.com

²plgsekip@eng.unila.ac.id

³herri.gusmedi@eng.unila.ac.id

Intisari--- Dalam sistem tenaga listrik, permasalahan rugi – rugi saluran serta jatuh tegangan sistem dapat diatasi dengan teknik Optimasi. Salah satu metode optimasi yang dapat digunakan yaitu Optimasi Penempatan *Distributed Generation* menggunakan metode *Binary Linear Programming*. Metode *Binary Linear Programming* yang digunakan mempunyai solusi berupa bilangan biner yaitu 0 atau 1. Bilangan 1 merepresentasikan adanya *Distributed Generation* yang diinjeksikan ke sistem sementara 0 merepresentasikan tidak adanya *Distributed Generation* yang diinjeksikan ke sistem. *Distributed Generation* merupakan salah satu teknologi pembangkit tersebar yang memiliki kapasitas kecil, berkisar belasan kilowatt (KW) sampai Megawatt (MW). Optimasi dilakukan untuk mencari solusi optimal lokasi penempatan dimana dalam solusi yang didapat mampu mengakomodir konstrain dalam sistem tenaga listrik, yaitu konstrain aliran daya, konstrain tegangan dan lainnya.

Dalam penelitian ini optimasi dapat mengurangi rugi – rugi daya (*losses power*) jatuh tegangan (*drop voltage*) serta mengurangi injeksi daya (*injection power*) pada slack bus. Dibuktikan menggunakan case IEEE 34 bus serta menggunakan sebuah tipe *Distributed Generation* yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) 1 fasa yang diinjeksikan kedalam sistem distribusi 3 fasa. Hasil penelitian didapat bahwa setelah dioptimasi tegangan pada kasus meningkat sesuai dengan standar nilai tegangan $0.9 < V < 1.05$, rugi – rugi daya (*losses power*) menurun serta injeksi daya (*Injection Power*) pada slack bus menurun dibanding sebelum dioptimasi.

Kata kunci--- Studi Optimasi – Lokasi Penempatan, *Distributed Generation*, Metode *Binary Linear Programming*.

Abstract--- In the electric power system, losses power and voltage drop problems can be solved by optimization technique. One of the method of optimization that can be used is the Optimization Placement of Distributed Generation using Binary Linear Programming. Binary Linear Programming method that is used has two solutions, there are 0 or 1. Number 1 represents the Distributed Generation is injected into the system while 0 represents there is nothing of Distributed Generation injected into the system. Distributed Generation is one of dispersed generation technologies that has a small capacity, ranging from tens of kilowatts (KW) until Megawatt (MW). Optimization is performed to find the optimal solution placement location where the resolution is able to accommodate the constraints in the power system, which are power flow constraint, voltage constraint and others. In this research, optimization can reduce losses power, voltage drop, moreover reducing injection power on the slack bus. Proven by using case IEEE 34 buses and using one Distributed Generation, Single Phase Diesel Power Plant which is injected into the three phase distribution system. As the result of optimization, voltage on the case increase according to the standard voltage value ($0.9 < V < 1.05$), power losses declining and Injection Power on the slack bus after optimized is lower than before optimized.

Keywords--- Optimization Study - Location Placement, Distributed Generation, Method of Binary Linear Programming.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu permasalahan dalam sistem tenaga listrik yaitu mengenai permasalahan energi. Meningkatnya kebutuhan beban pada sistem tenaga listrik serta kurangnya kemampuan generator yang tersambung ke jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban dapat membuat keandalan sistem berkurang, buruknya tegangan dari sistem, hingga akibat terburuk yaitu lepasnya generator – generator dari sistem secara paksa yang membuat sistem kehilangan pasokan listrik secara keseluruhan (blackout). Keadaan ini sangat dihindari, baik dari sisi pelanggan ataupun dari sisi produsen penyedia tenaga listrik. Dari sisi pelanggan, buruknya keadaan sistem dapat menyebabkan rusaknya peralatan elektronik akibat jatuh tegangan (voltage) drop dan dari sisi penyedia tenaga listrik, buruknya sistem mengakibatkan kerugian - kerugian yang cukup signifikan.

Salah satu cara terbaik dari banyak cara untuk mengatasi hal ini adalah peningkatan kapasitas generator pada sistem. Peningkatan kapasitas ini dapat dilakukan dengan banyak cara, yaitu memperbesar kapasitas pembangkit utama dan juga pembangunan generator baru yang terdistribusi dalam sistem. Karena pada umumnya jarak dari pembangkit utama hingga ke beban adalah sangat jauh, dari sisi pengiriman, cara pertama dinilai kurang efektif. Hal ini diakibatkan oleh rugi – rugi pada proses pengiriman, jarak akan menyebabkan rugi – rugi yang diakibatkan oleh hambatan pada penghantar. Selain itu, biasanya penambahan kapasitas di generator utama membutuhkan investasi yang besar.

Pembangunan pembangkit yang terdistribusi (distributed generation) adalah salah satu solusi terbaiknya. Dimana distributed generation merupakan pembangkit yang memiliki kapasitas yang lebih kecil dari pembangkit utama dan letaknya berada dekat dengan konsumen atau pada jaringan distribusi. Letak ini dapat mengurangi kerugian akibat proses pengiriman yang disebabkan oleh rugi – rugi hambatan pada penghantar. Selain itu, nilai kapasitas yang lebih kecil juga mampu mengatasi solusi dari mahalnya biaya investasi untuk penambahan kapasitas generator utama.

Dalam hal pembangunan Distributed Generation, posisi penempatan dan besarnya daya yang dipasang menjadi sangat penting. Penentuan penempatan dan besarnya daya yang dipasang dapat ditentukan menggunakan proses optimasi. Dalam hal ini pemodelan optimasi menggunakan metode Binary Linear Programming (MILP) diharapkan mampu menjadi solusi dalam penentuan optimasi yang tepat. Model yang akan dipakai yaitu model Optimasi Binnary Linear Programming. Model ini akan digunakan karena dengan menggunakan model optimasi ini, dapat ditentukan di bus mana Distributed Generation harus diletakkan untuk mendapatkan titik optimal dari penempatan tersebut dan juga untuk memenuhi constraint – constraint yang telah ditentukan.

B. Tujuan

Tujuan penulisan dari tugas akhir ini yaitu :

1. Memodelkan optimasi pada sistem tenaga listrik menggunakan metode Binary Linear Programming (BLP).

2. Menentukan jumlah distributed generation besarnya daya aktif (P) yang diinjeksikan oleh distributed generation untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi – rugi daya (losses power) pada sistem setelah dioptimasi.
3. Menentukan hasil perbedaan injeksi daya pada bus slack sebelum dan setelah dioptimasi.
4. Menentukan posisi penempatan terbaik dari Distributed Generation setelah dioptimasi.
5. Mengetahui pengaruh pemasangan Distributed Generation terhadap profil tegangan sistem mengurangi rugi – rugi daya (losses power) pada sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

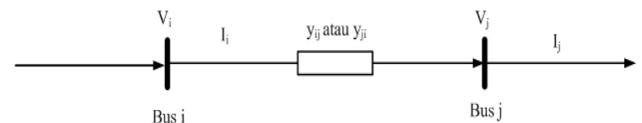
A. Analisa Aliran Daya pada Sistem Distribusi

Hasil perhitungan yang diperoleh pada analisa aliran daya, dapat digunakan untuk menelaah berbagai hal yang berhubungan dengan jaringan yang dianalisa tersebut, yaitu :

1. Pengaturan tegangan, perbaikan faktor daya, kapasitas kawat penghantar, dan rugi – rugi daya.
2. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu dengan menentukan lokasi bus beban baru, unit pembangkitan, dan gardu induk .
3. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang dirancang untuk masa mendatang sesuai dengan pertumbuhan beban [2].

Metode yang terdapat dalam menganalisa aliran daya yaitu Metode Gauss-Seidel, Metode Newton Raphson, dan Metode Fast Decoupled. Pada penelitian ini, metode yang

digunakan untuk menganalisa aliran daya adalah Metode Newton Raphson. Keunggulan dari metode ini yaitu memiliki iterasi yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan Metode Gauss – Seidel. Jumlah iterasi pada Metode Newton – Raphson juga tidak bergantung kepada ukuran sistem yang dianalisa. Hal ini juga berdampak kepada waktu analisa yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan Metode Gauss Seidel [3].



Gbr. 1 Sistem distribusi antara dua bus[10]

Persamaan matriks admitansi yang digunakan yaitu :

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (1)$$

Sedangkan arus pada bus I pada gambar diatas adalah :

$$I_i = \sum_{j \in i}^n V_j \cdot Y_{ij} \quad (2)$$

Dimana :

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (3)$$

Sedangkan tegangan kompleks pada bus i dalam bentuk *rectangular* yaitu ^[4]:

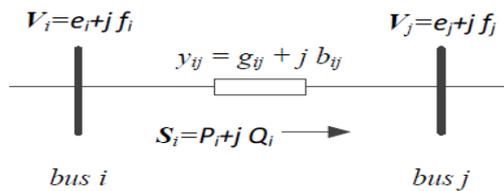
$$V_i = e_i + jf_i \quad (4)$$

Sehingga persamaan daya pada bus i pada adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (5)$$

$$S_i = V_i \sum_{j \in i}^n (V_j \cdot Y_{ij})^* \quad (6)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j \in i} (G_{ij} - j \cdot B_{ij})(e_i - jf_i) \quad (7)$$



Gbr. 2 Aliran daya pada sistem distribusi dua bus[5]

Untuk PQ bus :

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j \in i} (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j \in i} (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (8)$$

$$Q_i^{rect} = f_i \sum_{j \in i} (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j \in i} (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (9)$$

Sedangkan untuk PV bus, nilai Q_i diganti dengan V_i yaitu ^{[5][6]} :

$$V_i^{rect^2} = e_i^2 + f_i^2 \quad (10)$$

B. Definisi Distributed Generation

Distributed Generation merupakan generator – generator yang terdistribusi (tersebar) dalam sistem tenaga listrik yang dipasang guna menginjeksikan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan keandalan atau dengan kata lain memperbaiki keadaan sistem distribusi. Distributed generation memiliki ukuran yang lebih kecil daripada pembangkit utama dan letaknya dalam sistem tenaga listrik yaitu lebih dekat dengan beban – beban sistem atau dengan kata lain pada jaringan distribusi.

Dalam pendefinisian kapasitas pembangkit tersebar terdapat definisi yang berbeda beda dan saat ini definisi yang digunakan sebagai berikut [7]:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan pembangkit tersebar

sebagai pembangkit dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW.

2. Menurut Gas Research Institute mendefinisikan pembangkit tersebar sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 25 kW dan 25 MW.
3. Preston dan Rastler menentukan ukuran mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.
4. Cardell mendefinisikan pembangkit tersebar sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 500 kW dan 1 MW.
5. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan pembangkit tersebar sebagai pembangkit dengan kapasitas lebih kecil dari 50 -100 MW.

C. Linear Programming sebagai Metode Optimasi Aliran Daya Aktif

Secara umum formulasi dari optimisasi menggunakan Linear Programming dapat dituliskan sebagai berikut^[2]:

$$\text{minimize } C^T x \quad (11)$$

subject to:

$$Ax = b \quad (12)$$

$$x^{min} \leq x \leq x^{max} \quad (13)$$

Salah satu penelitian tentang optimasi aliran daya yang mengadopsi persamaan (11), (12) dan (13) adalah Lukmanul Hakim dalam jurnalnya yang berjudul A Study On Reactive Power Allocation For Electrical Power Distribution System With Low Voltage Profile[2], Ia melakukan linearisasi terhadap persamaan jacobian, power mismatch pada perhitungan aliran daya dan menambahkan nilai batasan seperti tegangan

dan daya sehingga diperoleh formulasi optimasi daya reaktif menggunakan metode linear programming untuk penentuan lokasi pemasangan kapasitor. Dalam hal ini, kapasitor akan digantikan oleh distributed generation.

$$\text{Min } \sum_{n \in (\text{load buses})} C_n^+ P v_n^+ + C_n^- n P v_n^- \quad (14)$$

Subject to:

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} \Delta e_i + \frac{\partial P_i}{\partial f_i} \Delta f_i + \frac{\partial P_k}{\partial e_k} \Delta e_k + \frac{\partial P_k}{\partial f_k} \Delta f_k - P_m^+ + P_m^- - n P v_n^+ + n P v_n^- = -P_i + P_i^0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_i} \Delta e_i + \frac{\partial Q_i}{\partial f_i} \Delta f_i + \frac{\partial Q_k}{\partial e_k} \Delta e_k + \frac{\partial Q_k}{\partial f_k} \Delta f_k - Q_m^+ + Q_m^- = -Q_i + Q_i^0 \quad (16)$$

Nilai yang menjadi batasan adalah:

$\forall i \in \{\text{all buses}\}$:

$$\Delta e_{\min} \leq \Delta e_i \leq \Delta e_{\max} \quad (17)$$

$$\Delta f_{\min} \leq \Delta f_i \leq \Delta f_{\max} \quad (18)$$

$\forall m \in \{\text{substation bus}\}$:

$$P_{\min}^+ \leq P_m^+ \leq P_{\max}^+ \quad (19)$$

$$Q_{\min}^+ \leq Q_m^+ \leq Q_{\max}^+ \quad (20)$$

$$P_{\min}^- \leq P_m^- \leq P_{\max}^- \quad (21)$$

$$Q_{\min}^- \leq Q_m^- \leq Q_{\max}^- \quad (22)$$

$\forall i \in \{\text{all buses}\}$:

$$P v_{\min}^+ \leq P v_n^+ \leq P v_{\max}^+ \quad (23)$$

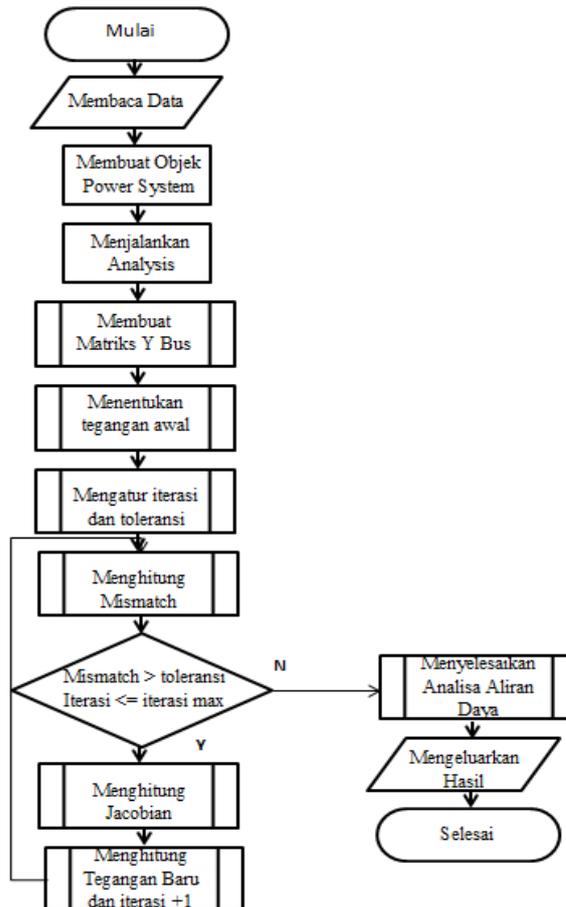
$$P v_{\min}^- \leq P v_n^- \leq P v_{\max}^- \quad (24)$$

Persamaan (14) merupakan fungsi objektif dari optimasi daya aktif untuk penentuan lokasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi. Persamaan (15) dan (16) merupakan persamaan jacobian dan power mismatch dalam perhitungan aliran daya dalam bentuk rectangular yang telah dilinearisasi berdasarkan bentuk persamaan fungsi kendala $Ax = b$. Pertidaksamaan (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), dan (24) merupakan pertidaksamaan fungsi kendala yang terdiri dari nilai batasan tegangan dalam bentuk rectangular, batasan daya dan batasan daya aktif baru yang akan diinjeksikan. Selain memformulasi optimasi daya reaktif menggunakan metode linear programming, Lukmanul Hakim juga mensimulasikannya kedalam study kasus Penyulng Katu GI Menggala berjumlah 119 bus menggunakan software yang telah ia kembangkan. Berdasarkan hasil data diperoleh bahwa drop tegangan yang terjadi melebihi batas minimum 10%, sehingga hasil simulasi memberikan solusi untuk melakukan pemasangan 17 buah kapasitor berkapasitas 200 kVar di bus 5 hingga bus 7 agar profil tegangan pada setiap bus berada pada rentang 0.95 pu hingga 1.05 pu.

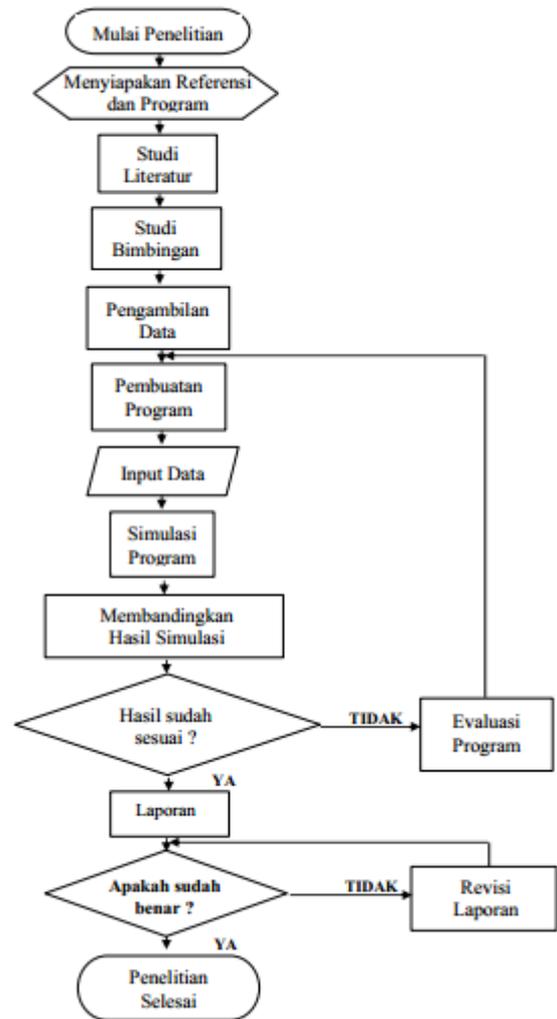
Dengan persamaan linier yang sama, metode persamaan linier diatas dapat digunakan untuk optmasi aliran daya aktif, dimana kapasitor sebagai alat yang di injeksikan akan digantikan oleh distributed generation, sehingga, bukan lagi menginjeksi daya reaktif, namun menginjeksi daya aktif.

III. METODE PENELITIAN

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian yang penulis lakukan:



Gbr. 3 Diagram Alir Program



Gbr. 4 Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Bab Pembahasan berisi data – data sistem, skenario simulasi pengujian, hasil simulasi pengujian serta analisa hasil simulasi pengujian perangkat lunak dengan menggunakan perangkat lunak Unila Linear Programming Optimal Power Flow (UnilaLPOPF). Studi Kasus yang digunakan yaitu *Case 34 bus*.

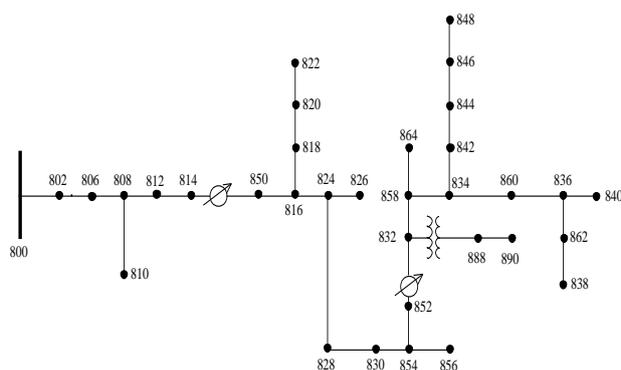
Hal yang dibahas pada tugas akhir ini yaitu mengenai perbandingan profil tegangan sistem dan rugi – rugi daya pada saluran sebelum dan setelah dioptimasi serta

perbandingan daya injeksi pada bus *slack* sebelum dan setelah dioptimasi.

Pada tugas akhir ini digunakan juga model *Binary Linear Programming* dan menggunakan tambahan berupa modul CVXOPT sebagai *solver* untuk membantu dalam proses penyelesaian optimasi.

B. Analisa Data Studi Kasus

Studi kasus case 34 bus yang bersumber dari data *IEEE Distribution Test Feeders* namun dengan dilakukan sedikit perubahan terhadap data yang asli. Case 34 bus memiliki tegangan nominal basis 20 kV , jumlah bus sebanyak 34 bus , jumlah saluran sebanyak 33 saluran , jumlah beban sebanyak 24 buah , dan sistem pada kasus ini disuplai oleh sebuah power grid yang ada di bus 1 dengan MVA Base sebesar 100 MVA. Total daya beban pada kasus ini adalah sebesar 2.45 MW dan 2.35 MVA_r. Daya pada fasa A sebesar 0.827 MW , 0.7645 MVA_r , pada fasa B sebesar 0.8332 MW , 0.8214 MVA_r dan pada fasa C sebesar 0.7965 MW , 0.7865 MVA_r.



Gbr. 5 Single Line Diagram Case 34 Bus

C. Skenario Simulasi

Skenario simulasi yang dilakukan pada penelitian ini terbagi kedalam 3 bagian, yaitu:

1. Perbandingan profil tegangan pada fasa ke fasa (*V Line to Line*) saat sebelum dan

setelah dioptimasi menggunakan *Distributed Generation* tipe Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

2. Perbandingan total rugi – rugi daya pada setiap fasa saat sebelum dan setelah dioptimasi.

3. Perbandingan Daya Injeksi pada slack bus dan pada setiap fasa saat sebelum dan setelah dioptimasi.

Dalam proses skenario , beban sistem secara keseluruhan dimodelkan kedalam model *Constant Power* , dimana dalam keadaan ini , daya aktif dan reaktif yang dikonsumsi oleh beban bersifat konstan (tetap) sementara tegangan yang mengalir ke beban bersifat berubah – ubah.

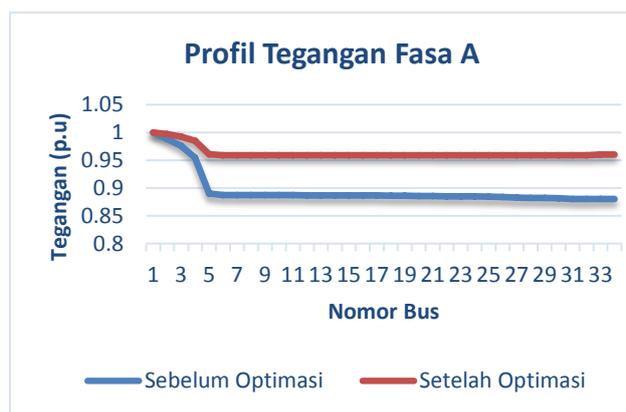
D. Hasil dan Pembahasan

Hasil optimasi pada kasus 34 bus akan ditentukan lokasi pemasangan *Distributed Generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW atau 0.0003 p.u pada sistem. Hasil optimasi pada skenario pertama dapat dilihat pada table 1 dibawah ini.

Tabel 1 Hasil Optimasi Pemasangan *Distributed Generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Ket	Nomor Bus	Phase A	Phase B	Phase C
+	1	30 KW	0	0
-	1	0	0	0
+	29	30 KW	0	0
-	29	0	0	0
+	33	0	0	30 KW
-	33	0	0	0

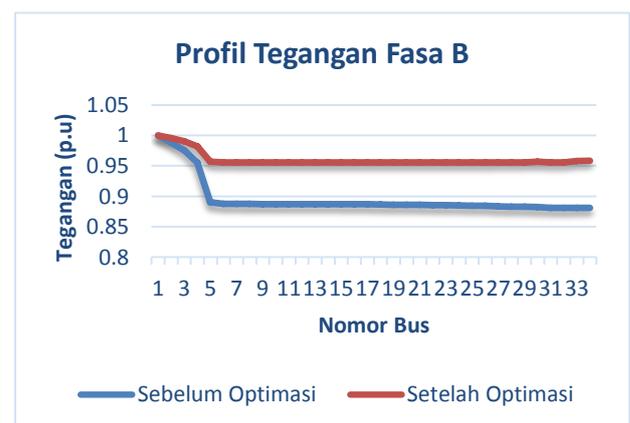
Dari Tabel 1 dapat dilihat tanda positif (+) melambangkan *distributed generation* yang diinjeksikan ke sistem sementara tanda negatif (-) melambangkan kondisi dimana *distributed generation* akan menyerap daya dari sistem. Nomor bus melambangkan lokasi penempatan *distributed generation* ke sistem, 0 melambangkan tidak adanya injeksi *distributed generation* sementara 30 KW melambangkan adanya injeksi *distributed generation* ke lokasi tersebut serta melambangkan besarnya kapasitas dari *distributed generation* yang akan diinjeksi ke sistem. Terlihat bahwa total pemasangan *distributed generation* pada sistem yaitu sebanyak 3 buah. Dari hasil dapat disimpulkan bahwa hasil program UnilaLPOPF yang telah dibuat memiliki kesesuaian pemasangan terhadap model *Binary Linear Programming* yang digunakan. Dari Hasil dapat terlihat bahwa terdapat pemasangan *distributed generation* pada bus 2 fasa A, bus 30 fasa A dan bus 34 fasa C (karena indeks bus dalam program dimulai dari angka 0).



Gbr. 6-a Perbandingan Profil Tegangan pada Fasa A Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Gambar 6-a merupakan grafik perbandingan profil tegangan pada fasa A

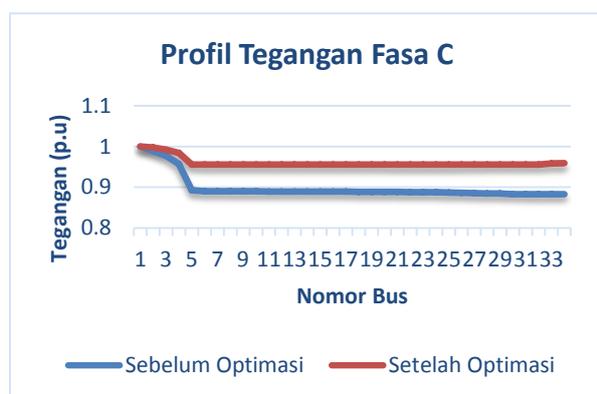
sebelum dan setelah optimasi pada skenario pertama kasus 34 bus. Dari grafik terlihat bahwa profil tegangan setelah dioptimasi menggunakan UnilaLPOPF lebih besar bila dibandingkan dengan profil tegangan sebelum dioptimasi menggunakan UnilaPF, hal ini menunjukkan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan meningkatkan profil tegangan setiap bus pada kasus 34 bus skenario pertama ini. Tegangan maksimum berada pada bus 1 dengan nilai magnitude sebesar 1 pu pada program UnilaLPOPF dan UnilaPF sedangkan tegangan minimum terdapat pada bus 32 dengan nilai magnitude sebesar 0.959 pada program UnilaLPOPF dan pada bus 32 dengan nilai magnitude 0.8803 pada program UnilaPF.



Gbr. 6-b Perbandingan Profil Tegangan pada Fasa B Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Gambar 6-b merupakan grafik perbandingan profil tegangan pada fasa B sebelum dan setelah optimasi pada skenario pertama kasus 34 bus. Dari grafik terlihat bahwa profil tegangan setelah dioptimasi menggunakan UnilaLPOPF lebih besar bila dibandingkan dengan profil tegangan sebelum dioptimasi menggunakan UnilaPF, hal ini menunjukkan bahwa program

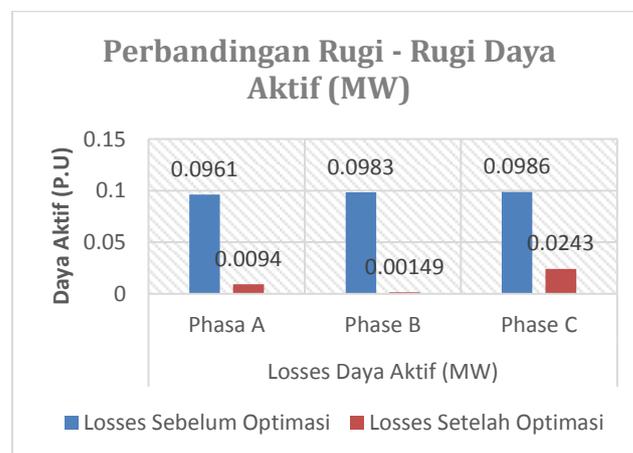
UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan meningkatkan profil tegangan setiap bus pada kasus 34 bus skenario pertama ini. Tegangan maksimum berada pada bus 1 dengan nilai magnitudo sebesar 1 pu pada program UnilaLPOPF dan UnilaPF sedangkan tegangan minimum terdapat pada bus 11,12,13,14 dengan nilai magnitudo sebesar 0.9598 pada program UnilaLPOPF dan pada bus 32 dengan nilai magnitudo 0.8812 pada program UnilaPF.



Gbr. 6-c Perbandingan Profil Tegangan pada Fasa C Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Gambar 6-c merupakan grafik perbandingan profil tegangan pada fasa C sebelum dan setelah optimasi pada skenario pertama kasus 34 bus. Dari grafik terlihat bahwa profil tegangan setelah dioptimasi menggunakan UnilaLPOPF lebih besar bila dibandingkan dengan profil tegangan sebelum dioptimasi menggunakan UnilaPF, hal ini menunjukkan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan meningkatkan profil tegangan setiap bus pada kasus 34 bus skenario pertama ini. Tegangan maksimum berada pada bus 1 dengan nilai magnitudo sebesar 1 pu pada program UnilaLPOPF dan UnilaPF sedangkan tegangan minimum

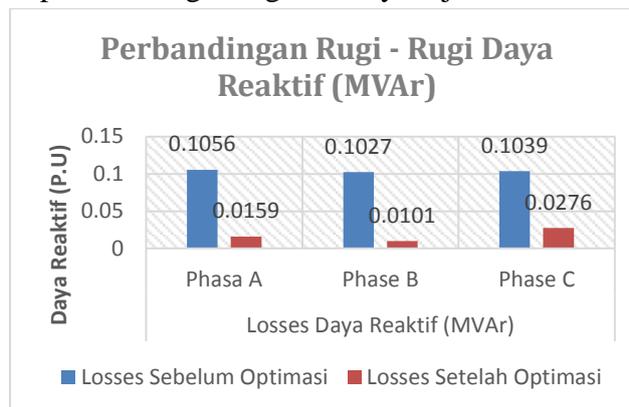
terdapat pada bus 21,22,23,24,25,26 dengan nilai magnitudo sebesar 0.9554 pada program UnilaLPOPF dan bus 32 dengan nilai magnitudo 0.8827 pada program UnilaPF.



Gbr. 6-d Perbandingan Rugi – Rugi Daya Aktif Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

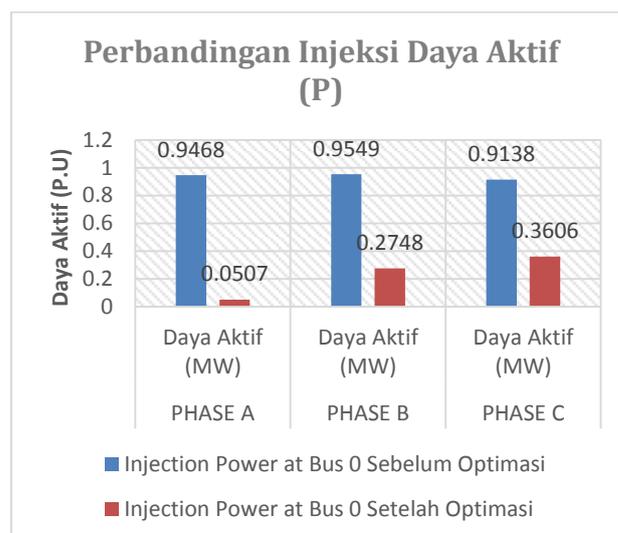
Gambar 6-d menunjukkan perbandingan rugi – rugi daya aktif sebelum optimasi menggunakan program UnilaPF dan setelah optimasi menggunakan UnilaLPOPF pada skenario pertama menggunakan *distributed generation* jenis pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW. Pada grafik diatas, terlihat perbedaan rugi – rugi antara kedua program tersebut. Total rugi – rugi daya aktif pada program UnilaPF yaitu 0.2930 MW sedangkan total rugi – rugi daya aktif program UnilaLPOPF yaitu 0.0486 MW. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan menurunkan rugi – rugi daya aktif setelah dilakukan optimasi. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi *distributed generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW ke sistem 34 bus. *Distributed Generation* akan mensupply daya aktif dan daya reaktif ke bus

beban sehingga rugi – rugi daya saluran dapat dikurangi dengan adanya injeksi.



Gbr. 6-e Perbandingan Rugi – Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

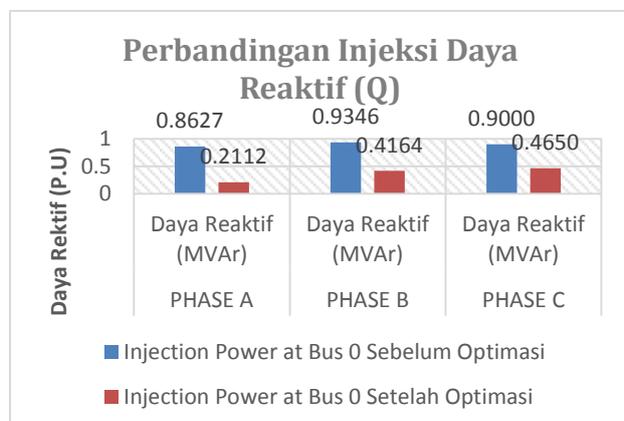
Gambar 6-e menunjukkan perbandingan rugi – rugi daya reaktif sebelum optimasi menggunakan program UnilaPF dan setelah optimasi menggunakan UnilaLPOPF pada skenario pertama menggunakan *distributed generation* jenis pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW. Pada grafik diatas, terlihat perbedaan rugi – rugi antara kedua program tersebut. Total rugi – rugi daya reaktif pada program UnilaPF yaitu 0.3122 MW sedangkan total rugi – rugi daya reaktif program UnilaLPOPF yaitu 0.0537 MW. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan menurunkan rugi – rugi daya reaktif setelah dilakukan optimasi. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi *distributed generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW ke sistem 34 bus. *Distributed Generation* akan mensupply daya aktif dan daya reaktif ke bus beban sehingga rugi – rugi daya saluran dapat dikurangi dengan adanya injeksi.



Gbr. 6-f Perbandingan Injeksi Daya Aktif pada *slack* bus Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Gambar 6-f menunjukkan perbandingan injeksi daya aktif sebelum optimasi menggunakan program UnilaPF dan setelah optimasi menggunakan UnilaLPOPF pada skenario pertama menggunakan *distributed generation* jenis pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW. Pada grafik diatas, terlihat perbedaan injeksi daya aktif antara kedua program tersebut. Total injeksi daya aktif pada program UnilaPF yaitu 2.8156 MW sedangkan total rugi – rugi daya aktif program UnilaLPOPF yaitu 0.6862 MW. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan menurunkan injeksi daya aktif pada *slack* bus setelah dilakukan optimasi. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi *distributed generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW ke sistem 34 bus. Karena injeksi tersebut, seluruh beban sistem yang awalnya disupply oleh *slack* bus, disupply juga oleh generator baru yang di injeksikan ke sistem berupa jenis pembangkit listrik tenaga diesel

(PLTD) dengan kapasitas 30 kW sehingga injeksi daya aktif pada *slack* bus dibantu oleh injeksi daya PLTD.



Gbr. 6-g Perbandingan Injeksi Daya Reaktif pada *slack* bus Sebelum dan Setelah Optimasi Menggunakan *Distributed Generation* Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW

Gambar 6-g menunjukkan perbandingan injeksi daya reaktif sebelum optimasi menggunakan program UnilaPF dan setelah optimasi menggunakan UnilaLPOPF pada skenario pertama menggunakan *distributed generation* jenis pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW. Pada grafik diatas, terlihat perbedaan injeksi daya reaktif antara kedua program tersebut. Total injeksi daya reaktif pada program UnilaPF yaitu 2.6974 MW sedangkan total rugi – rugi daya reaktif program UnilaLPOPF yaitu 1.0928 MW. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa program UnilaLPOPF mampu memberikan hasil yang optimal dengan menurunkan injeksi daya reaktif pada *slack* bus setelah dilakukan optimasi. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi *distributed generation* jenis Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW ke sistem 34 bus. Karena injeksi tersebut, seluruh beban sistem yang awalnya *disupply* oleh *slack* bus, *disupply* juga oleh generator

baru yang di injeksikan ke sistem berupa jenis pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dengan kapasitas 30 kW sehingga injeksi daya reaktif pada *slack* bus dibantu oleh injeksi daya PLTD.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

1. Program simulasi optimasi aliran daya tiga fasa dengan Metode Binary Linear Programming dapat diterapkan untuk model beban constant power pada ketiga kasus yaitu kasus 11 bus, kasus 34 bus dan kasus 119 bus penyulang Katu GI Menggala dan menghasilkan hasil yang konvergen.
2. Optimasi aliran daya menggunakan metode Binary Linear Programming (BLP) dengan penempatan 3 buah *distributed generation* tipe Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat mengurangi jatuh tegangan (voltage drop) dan menaikkan tegangan di tiap bus, dibuktikan pada kasus 11 bus, kasus 34 bus serta kasus penyulang Katu GI Menggala.
3. Optimasi aliran daya menggunakan metode Binary Linear Programming (BLP) dengan penempatan 3 buah *distributed generation* tipe Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat mengurangi rugi – rugi daya (losses power), dibuktikan pada kasus 11 bus, kasus 34 bus serta kasus penyulang Katu GI Menggala.
4. Pemodelan optimasi yang disimulasikan dapat memberikan hasil penempatan

terbaik dari distributed generation setelah dioptimasi sehingga semua constrain (batasan) dalam sistem tenaga listrik dapat dipenuhi.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Mencari program pembanding yang dapat digunakan untuk membandingkan hasil dari optimasi penempatan distributed generation menggunakan metode Binary Linear Programming (BLP).
2. Meneliti lebih lanjut mengenai pemodelan linearisasi tegangan dan constrain coupling bus dan coupling fasa sehingga didapatkan hasil optimasi yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] Ackermann, Thomas dan Goran Andersson dan Lennart Soder.2000."Distributed Generation: a definition" Electrical Power System Research 57 (2001) 195-204.
- [2] Lukmanul Hakim, Umi Murdika, Herri Gusmedi, Syamsuri Zaini, "A Study on Reactive Power Allocation for Electrical Power Distribution System with Low Voltage Profile", dalam International Conference on Science, Technology and Interdisciplinary Research, Bandar Lampung, 2015.
- [3] Lukmanul Hakim,"Linear Programming Based-Optimal Power Flow", UMIST, Manchester, 1998.
- [4] Gusmau Rado Pratama, "Penerapan Model Beban ZIP untuk Analisa Aliran Daya Tiga Fasa pada Penyulang Katu GI Menggala", Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2016.
- [5] L. Hakim, M. Wahidi, T Handoko, H. Gusmedi, N. Soedjarwanto dan F. Milano, "Development of a Power Flow Software for Distribution System Analysis Based on Rectangular Voltage Using Python Software Package," dalam 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, 2014.
- [6] X.-F. Wang, Y. Song and M. Irving, Modern Power System Analysis, New York: Springer Science+Bussines Media, 2008.
- [7] Thomas Ackermann and Goran Andersson and Lennart Soder, " Distributed Generation: a definition", ELSEVIER Electrical Power Sistem Research 57 (2001) 195-204, December 2000
- [8] Guseynov, A., M., dan Akhundov, B., S. 2006. Defining Impact of Distributed Generation on Power System Stability. Azerbaijan Scientific Research Institute of Energetic and Energy Design.
- [9] Mahendra, Miko. 2011."Tugas Akhir: Pengaruh Penambahan PLTU Teluk Sirih 100 MW pada Sistem Interkoneksi Sumatera". Pad
- [10] B.M. Weedy,"Electrical Power System (fifth Edition)", A Jhon Willey Sons, United Kingdom,2012.
- [11] M. Wahidi, "Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Pada Penyulang Kangkung PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2014.