



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION*
(DG) UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM
JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE
*K-MEANS CLUSTERING***

Muhammad Alief Amanullah
NRP 2212100193

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION (DG) PLACEMENT
ESTABLISHMENT FOR REDUCING POWER LOSSES ON
RADIAL DISTRIBUTION NETWORK USING K-MEANS
CLUSTERING**

Muhammad Alief Amanullah
NRP 2212100193

Supervisors

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

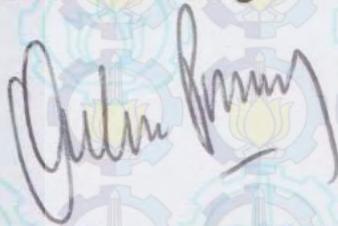
**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED*
GENERATION (DG) UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI
DAYA PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL
MENGUNAKAN METODE *K-MEANS CLUSTERING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

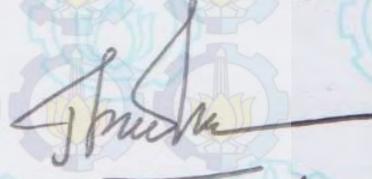
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP. 196509011991032002



**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : MUHAMMAD ALIEF AMAIULLAH
Nrp. : 22 12 100 193
Jurusan / Fak. : TEKNIK ELEKTRO / FTI
Alamat kontak : APARTEMEN SDR UNIT 2314
a. Email : alief.amanullah@gmail.com
b. Telp/HP : 0822 4543 1095

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

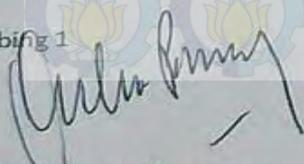
Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

STUDI PENENTUAN LOKASI DISTRIBUTED GENERATION (DG)
UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM JARINGAN
DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dosen Pembimbing 1



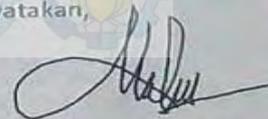
Prof. Dr. ONTOSENO PENANGSANG, M.Sc., Ph.D.

NIP. 194907151974 121001

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,



MUHAMMAD ALIEF AMAIULLAH

Nrp. 22 12 100 193

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION*
(DG) UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA
SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
METODE *K-MEANS CLUSTERING***

Nama Mahasiswa : Muhammad Alief Amanullah
NRP : 2212100193
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D
NIP : 194907151974121001
Dosen Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

Abstrak :

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan rugi daya yang timbul pada sistem distribusi adalah dengan menempatkan *distributed generation* (DG). Penggunaan DG dapat menjadi solusi untuk peningkatan kemampuan jaringan mulai dari pengurangan rugi daya, perbaikan profil tegangan, kualitas daya serta operasi keandalan. Namun studi menunjukkan bahwa pemilihan dan penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG. Untuk itu diperlukan sebuah studi dan perencanaan sebelum mengintegrasikan DG pada jaringan distribusi.

Dalam Tugas akhir ini akan digunakan metode *K-means Clustering* yang akan mengelompokan setiap bus dari sudut pandang operasi karakteristik (*loss sensitivity factor* (LSF) dan dV). Dengan penggunaan metode ini penentuan lokasi DG untuk *single* dan *multi* DG akan didapatkan sebagai solusi untuk perbaikan nilai rugi daya.

Kasus A1, B1 dan C1 yang merupakan base case dari masing-masing kasus memiliki nilai rugi daya total sebesar 202,6935 kW, 39,2436 kW, dan 223,7626 kW. Setelah dilakukan penempatan *single* DG hingga *multi* DG berdasarkan *K-means Clustering*, didapatkan hasil pengurangan rugi daya terbaik untuk kasus A menjadi 34,224 kW pada pemasangan 4 DG, kasus B menjadi 6,050 kW pada pemasangan 3 DG dan Kasus C menjadi 16,444 kW pada pemasangan 4 DG.

Kata Kunci : *Loss Sensitivity Factor, K-means Clustering, Sistem distribusi radial, Distributed Generation, Negative PQ load model*



STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION (DG) PLACEMENT ESTABLISHMENT FOR REDUCING POWER LOSSES ON RADIAL DISTRIBUTION NETWORK USING K-MEANS CLUSTERING

Name : Muhammad Alief Amanullah
NRP : 2212100193
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D
NIP : 194907151974121001
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

Abstrac:

The use of DG can be a solution for increased network capabilities ranging from reduction in power losses, improved voltage profile, power quality and operation reliability. But the study showed that the selection and DG improper placement can bring the system to a greater loss than the system without DG. It required a study and planning before integrating DG on the distribution network.

In this final project will be used K-means clustering method that will categorize each bus from the standpoint of operating characteristics (loss sensitivity factor (LSF) and dV). With the use of this method of determining the location for single and multi DG will be obtained as a solution to improve the value of power loss.

Case A1, B1 and C1 which is the base case of an individual case has a value of power losses totaling 202.6935 kW, 39.2436 kW and kW 223.7626. After placement of single DG to multi DG based on K-means clustering, showed a reduction in power loss of the best for the case A to 34.224 kW at installation 4 DG, case B to 6,050 kW for installation of 3 DG and Case C to 16.444 kW at installation 4 DG

Keywords : Loss Sensitivity Factor, K-means Clustering, Radial distribution system, Distributed Generation, Negative PQ load model



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 ANALISIS ALIRAN DAYA SEIMBANG PADA SISTEM DISTRIBUSI	
2.1 Analisis Aliran Daya.....	5
2.1.1 Pendahuluan.....	5
2.1.2 Persamaan Aliran Daya.....	5
2.1.3 Rugi Saluran.....	7
2.1.4 Drop Tegangan.....	8
2.2 Sistem Distribusi Radial.....	8
2.3 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial.....	10
2.3.1 Pendahuluan.....	10
2.3.2 Metode Backward-Forward.....	10
2.4 Loss Sensitivity Factors.....	13
2.5 K-means Clustering.....	14
2.6 Distributed Generation.....	15

BAB 3 STUDI PENEMPATAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING

3.1 Pemodelan Penyelesaian Tugas Akhir.....	19
3.2 Normalisasi LSF dan Deviasi Tegangan.....	20
3.3 Metode K-means Clustering.....	21
3.4 Penentuan Kandidat Bus pemasangan DG.....	23
3.5 Permodelan DG sebagai Negative PQ Load.....	23
3.6 Sistem Distribusi – IEEE 33 Bus Modifikasi.....	24
3.7 Sistem Distribusi – IEEE 34 Bus Modifikasi.....	26
3.8 Sistem Distribusi – IEEE 69 Bus Modifikasi.....	27

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA

4.1 Hasil Clustering dan Penentuan Lokasi DG.....	29
4.1.1 Sistem Jaringan IEEE 33 Bus.....	29
4.1.2 Sistem Jaringan IEEE 34 Bus.....	33
4.1.3 Sistem Jaringan IEEE 69 Bus.....	36
4.2 Studi Kasus.....	41
4.2.1 Sistem Jaringan IEEE 33 Bus (Kasus A),.....	41
4.2.1.1 Kasus A1-base case.....	41
4.2.1.2 Kasus A2.....	43
4.2.1.3 Kasus A3.....	44
4.2.1.4 Kasus A4.....	45
4.2.1.5 Kasus A5.....	46
4.2.1.6 Analisis Kasus A.....	47
4.2.2 Sistem Jaringan IEEE 34 Bus (Kasus B),.....	48
4.2.2.1 Kasus B1-base case.....	48
4.2.2.2 Kasus B2.....	50
4.2.2.3 Kasus B3.....	51
4.2.2.4 Kasus B4.....	52
4.2.2.5 Kasus B5.....	53
4.2.2.6 Analisis Kasus B.....	54
4.2.3 Sistem Jaringan IEEE 69 Bus (Kasus C),.....	55
4.2.3.1 Kasus C1-base case.....	56
4.2.3.2 Kasus C2.....	57
4.2.3.3 Kasus C3.....	58
4.2.3.4 Kasus C4.....	59
4.2.3.5 Kasus C5.....	60
4.2.3.6 Kasus C6.....	61

4.2.3.7 Kasus C7.....	62
4.2.3.8 Analisis Kasus C.....	63
4.3 Validasi Hasil Perhitungan <i>K-means Clustering</i> dengan Metode LSF (Loss Sensitivity Factor).....	65
4.3.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 33 Bus.....	65
4.3.2 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 34 Bus.....	66
4.3.2 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 69 Bus.....	67
4.4 Analisis pengurangan rugi daya dengan sizing DG secara proporsional terhadap beban pada bus kandidat.....	69
4.4.1 Kasus IEEE 33 Bus.....	69
4.4.2 Kasus IEEE 34 Bus.....	70
4.4.3 Kasus IEEE 69 Bus.....	71
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79
RIWAYAT HIDUP	89



DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Jaringan Sistem Tenaga Listrik Secara Sederhana.. 6
Gambar 2.2	Contoh saluran sederhana..... 7
Gambar 2.3	Rangkaian <i>Equivalent line – to – netral</i> 8
Gambar 2.4	Sistem distribusi radial bentuk pohon..... 9
Gambar 2.5	Contoh single line diagram..... 11
Gambar 2.6	Saluran Distribusi Sederhana..... 14
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> penyelesaian tugas akhir..... 19
Gambar 3.2	<i>Flowchart K-means Clustering</i> 22
Gambar 3.3	<i>Distributed Generator</i> dimodelkan sebagai Negatif PQ load..... 23
Gambar 3.4	Single Line Diagram IEEE-33 Bus..... 24
Gambar 3.5	Single Line Diagram IEEE-34 Bus..... 26
Gambar 3.6	Single Line Diagram IEEE-69 Bus..... 27
Gambar 4.1	Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 33 Bus..... 32
Gambar 4.2	Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 34 Bus..... 35
Gambar 4.3	Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 69 Bus..... 40
Gambar 4.4	<i>Losses</i> saluran pada kasus A1..... 42
Gambar 4.5	Tegangan setiap bus pada kasus A1..... 42
Gambar 4.6	<i>Losses</i> saluran pada kasus A2..... 43
Gambar 4.7	Tegangan setiap bus pada kasus A2..... 43
Gambar 4.8	<i>Losses</i> saluran pada kasus A3..... 44
Gambar 4.9	Tegangan setiap bus pada kasus A3..... 44
Gambar 4.10	<i>Losses</i> saluran pada kasus A4..... 45
Gambar 4.11	Tegangan setiap bus pada kasus A4..... 45
Gambar 4.12	<i>Losses</i> saluran pada kasus A5..... 46
Gambar 4.13	Tegangan setiap pada kasus A5..... 46
Gambar 4.14	Perbandingann nilai rugi daya semua kasus dalam kasus A..... 48
Gambar 4.15	<i>Losses</i> saluran pada kasus B1..... 49
Gambar 4.16	Tegangan setiap bus pada kasus B1..... 49
Gambar 4.17	<i>Losses</i> saluran pada kasus B2..... 50
Gambar 4.18	Tegangan setiap bus pada kasus B2..... 50
Gambar 4.19	<i>Losses</i> saluran pada kasus B3..... 51

Gambar 4.20	Tegangan setiap bus pada kasus B3.....	51
Gambar 4.21	<i>Losses</i> saluran pada kasus B4.....	52
Gambar 4.22	Tegangan setiap pada kasus B4.....	52
Gambar 4.23	<i>Losses</i> saluran pada kasus B5.....	53
Gambar 4.24	Tegangan setiap pada kasus B5.....	53
Gambar 4.25	Perbandingann nilai rugi daya semua kasus dalam kasus B.....	55
Gambar 4.26	<i>Losses</i> saluran pada kasus C1.....	56
Gambar 4.27	Tegangan setiap bus pada kasus C1.....	57
Gambar 4.28	<i>Losses</i> saluran pada kasus C2.....	57
Gambar 4.29	Tegangan setiap bus pada kasus C2.....	58
Gambar 4.30	<i>Losses</i> saluran pada kasus C3.....	58
Gambar 4.31	Tegangan setiap bus pada kasus C3.....	59
Gambar 4.32	<i>Losses</i> saluran pada kasus C4.....	59
Gambar 4.33	Tegangan setiap bus pada kasus C4.....	60
Gambar 4.34	<i>Losses</i> saluran pada kasus C5.....	60
Gambar 4.35	Tegangan setiap bus pada kasus C5.....	61
Gambar 4.36	<i>Losses</i> saluran pada kasus C6.....	61
Gambar 4.37	Tegangan setiap bus pada kasus C6.....	62
Gambar 4.38	<i>Losses</i> saluran pada kasus C7.....	62
Gambar 4.39	Tegangan setiap bus pada kasus C7.....	63
Gambar 4.40	Perbandingann nilai rugi daya semua kasus dalam kasus C.....	64
Gambar 4.41	Hasil Validasi nilai total <i>P losses</i> setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 33 bus.....	66
Gambar 4.42	Hasil Validasi nilai total <i>P losses</i> setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 34 bus.....	67
Gambar 4.43	Hasil Validasi nilai total <i>P Losses</i> setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 69 bus.....	68
Gambar 4.44	Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus A dengan sizing DG sesuai porsi beban setiap kandidat.....	69
Gambar 4.45	Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus B dengan sizing DG sesuai porsi beban setiap kandidat.....	71
Gambar 4.46	Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus C dengan sizing DG sesuai porsi beban setiap kandidat.....	72

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1	Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit..... 17
Tabel 2.2	Klasifikasi DG berdasarkan teknologi Pembangkitan 17
Tabel 4.1	Rangking Cluster Sistem Jaringan IEEE 33 Bus... 30
Tabel 4.2	Rangking dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 33 Bus... 30
Tabel 4.3	Rangking dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 33 Bus... 30
Tabel 4.4	Rangking dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 33 Bus... 31
Tabel 4.5	Rangking dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 33 Bus... 31
Tabel 4.6	Rangking Cluster Sistem Jaringan IEEE34 Bus..... 33
Tabel 4.7	Rangking dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 34 Bus... 33
Tabel 4.8	Rangking dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 34 Bus... 34
Tabel 4.9	Rangking dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 34 Bus... 34
Tabel 4.10	Rangking dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 34 Bus... 35
Tabel 4.11	Rangking Cluster Sistem Jaringan IEEE 69 Bus..... 36
Tabel 4.12	Rangking dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 69 Bus... 36
Tabel 4.13	Rangking dan Kandidat bus Cluster 5 IEEE 69 Bus... 37
Tabel 4.14	Rangking dan Kandidat bus Cluster 6 IEEE 69 Bus... 37
Tabel 4.15	Rangking dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 69 Bus... 37
Tabel 4.16	Rangking dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 69 Bus... 38
Tabel 4.17	Rangking dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 69 Bus... 39
Tabel 4.18	Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 33 Bus..... 41
Tabel 4.19	Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 34 Bus..... 48
Tabel 4.20	Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 69 Bus..... 55
Tabel 4.21	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means Clustering dan LSF pada IEEE 33 bus..... 65
Tabel 4.22	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means Clustering dan LSF pada IEEE 34 bus..... 66
Tabel 4.23	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means Clustering dan LSF pada IEEE 69 bus..... 68
Tabel 4.24	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus A..... 69
Tabel 4.25	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus A..... 70
Tabel 4.26	Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-

means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus A..... 71



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem distribusi radial yang semakin besar dan kompleks saat ini menyebabkan rugi-rugi daya yang timbul lebih tinggi dan profil tegangan yang buruk. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-13% dari total daya yang dihasilkan hilang sebagai kerugian saluran yang menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk sepanjang saluran distribusi [1]. Saat ini telah banyak solusi yang ditawarkan seperti pemasangan kapasitor dan *Distributed Generation* (DG). DG atau pembangkit tersebar menjadi alternatif yang menarik untuk perencanaan sistem tenaga dan kontribusinya memberikan dampak yang signifikan pada efisiensi dan performa sistem. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan DG pada sistem distribusi tenaga listrik dapat menjadi solusi untuk peningkatan kemampuan jaringan mulai dari perbaikan profil tegangan, mengurangi rugi daya, kualitas daya serta operasi keandalan [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, DG telah menjadi topik yang banyak diteliti mengingat meningkatnya kekhawatiran global akan masalah lingkungan yang ditimbulkan oleh pembangkit konvensional.

Namun pada implementasinya, penggunaan DG dalam sistem distribusi memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti kapasitas maksimal yang akan digunakan dan lokasi penempatan DG. Studi menunjukkan bahwa penempatan DG yang tidak tepat dapat membawa sistem kepada kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa DG [3]. Untuk itu diperlukan sebuah studi dan perencanaan sebelum mengintegrasikan DG pada jaringan distribusi.

Dalam tugas akhir ini akan diusulkan studi penentuan penempatan DG menggunakan metode *K-means Clustering*. Metode ini akan mengelompokkan setiap node dalam sistem dari sudut pandang operasi karakteristik LSF (*loss sensitivity factor*) dan dV (deviasi tegangan) yang masing-masing telah dinormalisasi. Hasil pengelompokan setiap bus dengan metode *K-means Clustering* akan menjadi dasar dalam penentuan lokasi pemasangan DG pada saluran distribusi IEEE 33, 34 dan 69 bus. Dengan penggunaan metode ini penentuan lokasi DG akan didapatkan sebagai solusi untuk perbaikan nilai rugi-rugi daya sistem jaringan distribusi baik dengan pemasangan *single* DG maupun *multi* DG.

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan dan akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana penentuan lokasi DG untuk *single* DG sampai *multi* DG pada sistem jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode *K-means Clustering*
2. Bagaimana hasil penurunan nilai rugi-rugi daya dengan pemasangan *single* DG dan *multi* DG berdasarkan metode *K-means Clustering*

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui dan mengimplementasikan metode *K-means clustering* untuk penentuan lokasi DG dalam sistem distribusi radial.
2. Mengetahui hasil penurunan rugi-rugi daya dengan menempatkan *single* DG hingga *multi* DG berdasarkan metode *K-means Clustering*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan simulasi menggunakan sistem distribusi IEEE 33,34 dan 69-bus modifikasi tiga fasa dengan pendekatan satu fasa (sistem seimbang).
2. Sistem distribusi yang diterapkan adalah sistem distribusi seimbang ($R=S=T$)
3. Tidak memperhatikan permasalahan kualitas daya
4. Karakteristik DG yang digunakan tidak diperhatikan
5. Kapasitas total DG adalah 50% dari total beban sistem [16]
6. Studi untuk pemasangan *multi* DG dibatasi sejumlah dengan jumlah K-group dimasing-masing kasus
7. Keluaran DG dianggap ideal
8. DG dimodelkan dengan *negative PQ load*
9. Analisis penempatan DG mempertimbangkan *single* DG sampai dengan *multi* DG sejumlah *cluster* yang ada
10. Software yang digunakan Matab R2015a dan ETAP 12.6

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka

Studi pustaka yang dilakukan yaitu mengenai sistem tenaga listrik, studi aliran daya, sistem distribusi, metode *modified backward forward*, metode LSF, metode *K-means Clustering* dan pemodelan menggunakan *software* ETAP dan Matlab.

2. Pengambilan data

Pada awal penelitian dikumpulkan data-data dalam melakukan analisis data berupa single line diagram, data beban (P dan Q), serta impedansi saluran pada tiap penyulang. Semua data diinputkan dalam program *power flow* menggunakan *software* Matlab.

3. Simulasi dan Analisis Data

Simulasi dimulai dengan menghitung solusi aliran daya pada sistem jaringan distribusi. Kemudian hasil perhitungan aliran daya tersebut dijadikan *base case* untuk analisa perbaikan niali rugi-rugi daya dengan pemasangan DG pada sistem jaringan berdasarkan metode *K-means Clustering*. *K-means Clustering* akan mengelompok setiap bus dalam sistem kedalam beberapa kelompok berdasarkan nilai *Loss Sensitivity Factors* dan deviasi tegangan pada tiap busnya. Analisis akan dilakukan dengan melihat nilai pengurangan rugi-rugi daya pada *base case* yang dibandingkan dengan sistem yang dipasangkan DG berdasarkan metode *K-means Clustering*.

4. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan perbandingan kasus yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan apakah metode yang diajukan dapat digunakan untuk menempatkan DG sampai dengan *multi* DG untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi jaringan radial.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

- Bab 1 : Pendahuluan
Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- Bab 2 : Tinjauan Pustaka
Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini. Seperti mengenai analisis aliran daya, sistem distribusi, dan distributed generation.
- Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan
Bab ini membahas mengenai metode penentuan lokasi DG dengan *K-means Clustering* yang akan digunakan dalam tugas akhir ini, pemodelan dari *negative* PQ bus yang digunakan untuk memodelkan generator yang terpasang pada sistem distribusi.
- Bab 4 : Simulasi dan Analisis
Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya dan validasinya dengan membandingkan hasilnya dengan *software* ETAP.
- Bab 5 : Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi pertimbangan bagi pihak pengembang sistem distribusi aktif untuk mengadopsi metode yang diusulkan dan digunakan baik dalam perencanaan maupun pengembangan sistem distribusi aktif kedepan.
2. Menjadi referensi bagi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan analisis aliran daya distributif aktif.

BAB 2

ANALISIS ALIRAN DAYA SEIMBANG PADA SISTEM DISTRIBUSI

2.1 Analisis Aliran Daya

2.1.1 Pendahuluan

Analisis aliran daya merupakan hal yang paling penting dan mendasar dalam studi dan analisis sistem tenaga. Tujuan dari analisis aliran daya adalah untuk mendapatkan data dan informasi mengenai kondisi dari sistem yang dijadikan objek analisis tersebut. Data dan informasi yang didapatkan tersebut sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi kinerja serta menganalisa kondisi pembangkitan dan pembebanan sistem tenaga listrik tersebut. Selain itu analisis aliran daya juga sangat dibutuhkan dalam perencanaan maupun perancangan pengembangan sistem kedepan.

Untuk melakukan perhitungan dan analisis aliran daya perlu diketahui terlebih dahulu data saluran dan data beban objek sistem tenaga listrik tersebut. Data saluran merupakan data nilai impedansi semua saluran yang menghubungkan setiap bus dalam sistem. Data beban merupakan data nilai beban baik beban daya aktif maupun beban daya reaktif yang terpasang pada setiap bus.

2.1.2 Persamaan Aliran Daya

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang membangkitkan, mengatur, menyalurkan, membagi dan pada akhirnya yang memakai/memanfaatkan tenaga listrik tersebut. Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari dua bus saja, sistem tersebut terdiri dari puluhan bahkan ratusan bus yang terkoneksi satu sama lain. Daya listrik yang dibangkitkan oleh generator akan mengalir menuju ke semua beban yang ada pada sistem tersebut.

Besarnya arus bus 1 pada Gambar 2.1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Kirchoff untuk arus. Sehingga didapatkan persamaan

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.1) \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.2)$$

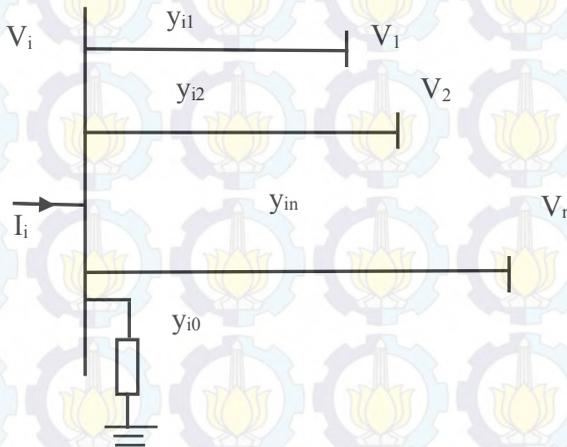
atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2 dan persamaan 3 menghasilkan persamaan

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.4)$$

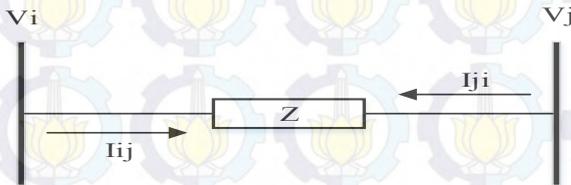
Dari persamaan 2.4, dapat dilihat bahwa persamaan aliran daya merupakan persamaan yang tidak linear, sehingga dibutuhkan proses iterasi untuk menyelesaikan persamaan tersebut.



Gambar 2.1 . Jaringan Sistem Tenaga Listrik Secara Sederhana

2.1.3 Rugi Saluran

Setelah mengetahui nilai tegangan dan arus pada setiap bus dan saluran dengan solusi perhitungan iterasi, kemudian rugi saluran dapat diidentifikasi. Anggap sebuah saluran menghubungkan dua bus i dan bus j yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Arus saluran I_{ij} terukur pada bus i dan didefinisikan positif pada arah maju sedangkan I_{ji} didefinisikan negatif pada arah mundur. [4]



Gambar 2.2 Contoh saluran sederhana

$i \gg j$ didefinisikan dengan

$$I_{ij} = I_l = Z_{ij}(V_i - V_j) \quad (2.5)$$

$j \gg i$ didefinisikan dengan

$$I_{ji} = -I_l I_{ij} = I_l = Z_{ij}(V_j - V_i) \quad (2.6)$$

Daya kompleks yang didapatkan untuk bus i ke j dan bus j ke bus i adalah

$$S_{ij} = V_i * I_{ij}^* \quad (2.7)$$

$$S_{ji} = V_j * I_{ji}^* \quad (2.8)$$

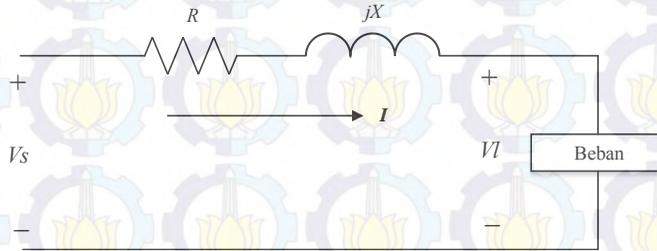
Rugi saluran dalam saluran $i - j$ dapat dijabarkan dengan penjumlahan persamaan 2.7 dan 2.8 sebagai berikut

$$S_{l\ ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.9)$$

$$P_{l\ ij} = \text{real}(S_{l\ ij}) \quad (2.10)$$

2.1.4 Drop Tegangan

Sebuah rangkaian *equivalent line – to – netral* dari sebuah rangkaian tiga fasa yang menanggung beban 3 fasa seimbang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian *Equivalent line – to – netral*

Hukum Kirchoff untuk tegangan diberikan pada persamaan 2.11. [5]

$$V_s = V_l + (R + jX) * I = V_l + R * I + jX * I \quad (2.11)$$

Deviasi tegangan didefinisikan dengan selisih antara nilai magnitude tegangan sumber dengan tegangan pada beban. [5]

$$V_{drop} = |V_s| - |V_l| \quad (2.12)$$

2.2 Sistem Distribusi Radial

Jaringan radial merupakan bentuk paling sederhana dan banyak dioperasikan dalam sistem distribusi. Hal ini disebabkan biaya untuk membangun jaringan ini cukup murah. Jaringan ini dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang – cabangkan ke titik beban. Sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil dan menuju beban.

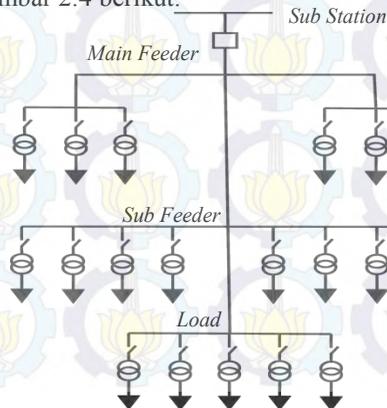
Pada jaringan ini, sumber berada puncak jaringan yang terhubung secara radial kebawah menuju bus dan juga beban. Ketika terjadi gangguan pada suatu area, maka area tersebut akan terkena dampak dari gangguan sepanjang jalur tunggal yaitu jalur yang terhubung antara setiap pelanggan dan gardu. Jika terganggu, akan mengakibatkan hilangnya sumber energi yang didistribusikan kepada pelanggan.

Sumber yang berasal dari satu titik yang menuju percabangan menyebabkan perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Sehingga terjadi perbedaan luas penampang konduktor. Hal ini juga akan menyebabkan saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk memiliki luas penampang yang lebih besar dan saluran cabang – cabangnya. Untuk itu, semakin dekat suatu saluran dengan sumber maka luas penampang semakin kecil.

Sistem distribusi radial ini mempunyai beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

1. Sistem radial pohon.
2. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah.
3. Sistem radial dengan pembagian fasa area.
4. Sistem radial dengan pusat beban.
5. Sistem *margerithe*.

Bentuk sistem jaringan distribusi radial contoh bentuk pohon dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Sistem distribusi radial bentuk pohon

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan kurang baik. Kualitas daya kurang baik disebabkan oleh deviasi tegangan dan rugi daya yang relatif besar. Hal yang mempengaruhi semakin buruknya kualitas daya adalah besar nilai impedansi dan nilai arus yang melewati saluran. Konfigurasi ini memiliki kontinuitas yang kurang baik disebabkan hanya memiliki satu alternatif saluran sehingga saat saluran terjadi gangguan maka saluran sesudah gangguan akan mengalami pemadaman total selama gangguan tersebut belum teratasi.

2.3 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial

2.3.1 Pendahuluan

Analisis aliran daya pada sistem distribusi hampir sama dengan analisis aliran daya pada sistem transmisi. Tujuannya adalah menentukan nilai tegangan dan sudut pada setiap bus dan juga menentukan besarnya aliran daya pada setiap saluran, dalam bentuk daya aktif, daya reaktif maupun arus. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengetahui rugi-rugi saluran, total daya aktif dan reaktif sistem penyulang.

Karakteristik distribusi yang mempunyai banyak cabang dan banyak beban terpasang, menyebabkan ratio R/X tinggi. Perhitungan analisis aliran daya pada sistem transmisi jika diterapkan pada sistem distribusi yang memiliki ratio R/X tinggi akan mengalami kesulitan untuk konvergen [6]. Sehingga dibutuhkan teknik iterasi yang tepat untuk digunakan pada perhitungan analisis aliran daya sistem distribusi radial.

2.3.2 Metode *Backward-Forward*

Metode perhitungan analisis aliran daya *backward forward* banyak telah banyak digunakan terutama pada sistem distribusi yang memiliki topologi radial dan rasio R/X yang tinggi. Banyak pengembangan yang dilakukan untuk metode *backward forward*. Pengembangan dilakukan untuk mempercepat proses perhitungan dan mengakomodir perhitungan beban tiga fasa tidak seimbang.

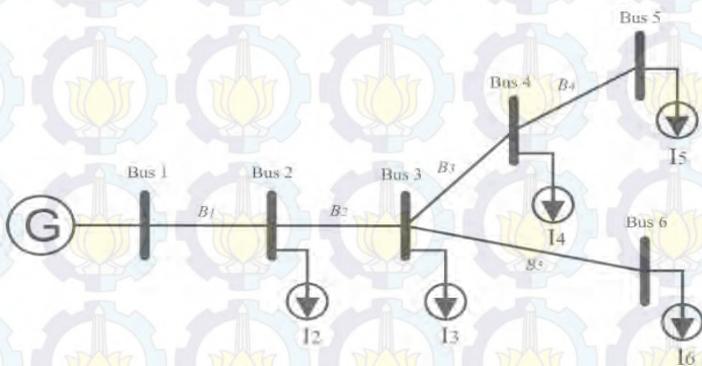
Pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya adalah metode *backward* –

forward sweep. Berikut tahapan dari metoda *Forward – Backward Sweep* :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah *backward sweep*, yaitu menghitung besar arus yang mengalir pada saluran di awali pembentukan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Besar arus saluran dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$I_k = \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (2.13)$$

Dimana I_k, P_k, jQ_k, V_k adalah nilai arus, daya aktif, daya reaktif dan tegangan pada bus k



Gambar 2.5 Contoh single line diagram

Sebuah sistem distribusi sederhana pada Gambar 2.5 menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka untuk mendapatkan matriks BIBC, berdasarkan hukum arus Khirchoff didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (2.14)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.15)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.16)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.17)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.18)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungannya dengan menggunakan matriks.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.20)$$

- Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang diawali dengan pembentukan matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*). Hubungan antara percabangan arus dan tegangan bus dapat ditentukan berdasarkan hukum Khirchoff untuk tegangan. Sebagai contoh, untuk hubungan antara percabangan arus dan tegangan bus pada Gambar 2.5 dapat dibentuk persamaan:

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.21)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.22)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.23)$$

$$V_5 = V_4 - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.24)$$

$$V_6 = V_3 - B_5 \cdot Z_{26} \quad (2.25)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas, dapat diperoleh persamaan di bawah ini :

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.26)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.27)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.28)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.29)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (2.30)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.31)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.32)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.33)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.34)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (2.35)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik *BCBV* (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

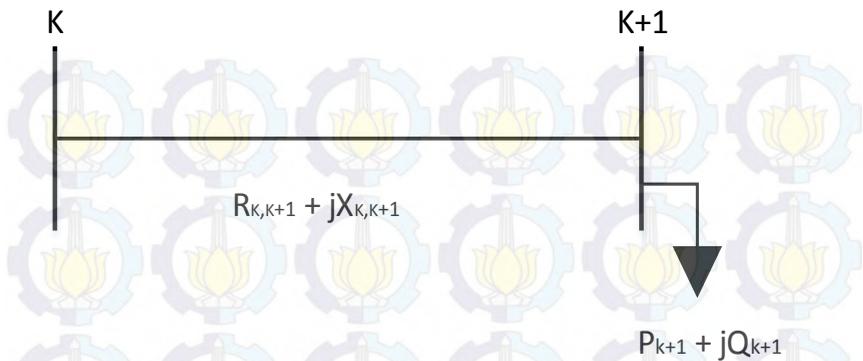
Sehingga, untuk mendapatkan nilai ΔV didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.37)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.38)$$

2.4 Loss Sensitivity Factors

Metode *Loss Sensitivity Factors* (LSF) telah digunakan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang muncul pada sistem jaringan distribusi, misalkan seperti penentuan lokasi pemasangan kapasitor dan DG [3]. Untuk dapat menghitung nilai LSF tiap node dalam sebuah sistem distribusi, sebelumnya perlu diketahui terlebih dahulu nilai beban dan tegangan pada setiap bus, arus dan daya yang mengalir pada setiap saluran dan rugi-rugi yang timbul pada setiap saluran yang didapatkan dengan perhitungan analisis aliran daya.



Gambar 2.6 Saluran Distribusi Sederhana

Gambar 2.6 menunjukkan saluran distribusi sederhana yang memiliki impedansi $R_{k,k+1} + jX_{k,k+1}$ dari bus k menuju ke bus $k+1$. Pada bus $k+1$ terdapat sebuah beban $P_{k+1} + jQ_{k+1}$. Rugi daya aktif pada saluran antara bus k dan $k+1$ dirumuskan dalam persamaan 2.39 sebagai berikut. [3]

$$P_{Loss_{k,k+1}} = (I_{k,k+1})^2 * (R_{k,k+1}) \quad (2.39)$$

$$P_{Loss_{k,k+1}} = \left(\frac{(P_{k+1})^2 + (Q_{k+1})^2}{|V_{k+1}|^2} \right) * (R_{k,k+1}) \quad (2.40)$$

Nilai LSF dapat dinyatakan dengan turunan persamaan 2.40 terhadap P_{k+1}

$$\frac{\partial P_{Loss_{k,k+1}}}{\partial P_{k+1}} = \frac{2 * P_{k+1} * R_{k,k+1}}{|V_{k+1}|^2} \quad (2.41)$$

$$LSF = \frac{2 * P_{k+1} * R_{k,k+1}}{|V_{k+1}|^2} \quad (2.42)$$

2.5 K-means Clustreing

K-means Clustering merupakan metode untuk mengklasifikasikan atau mengelompokan objek-objek (data) ke dalam

K-group berdasarkan atribut tertentu. Pengelompokan data dilakukan dengan memperhitungkan jarak terdekat antara setiap objek data dengan setiap *centroid* (titik pusat) dari setiap *cluster*. Pada tahap awal metode ini jumlah *cluster* untuk proses *clustering* harus ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu *centroid* dari masing-masing *cluster* ditentukan secara acak dari kumpulan populasi data yang ada. Kemudian *K-means Clustering* menguji masing-masing komponen didalam populasi data dan menandai komponen tersebut ke salah satu *cluster* berdasarkan jarak minimum antara data komponen (data) dengan masing-masing *centroid* dari setiap *cluster*. Nilai setiap *centroid* akan diperbarui berdasarkan rata-rata dari nilai anggotanya. Kemudian jarak setiap komponen dalam populasi data dengan setiap *centroid* akan dihitung kembali. Iterasi ini akan terus berulang sampai nilai *centroid* tidak berubah kembali.

Jarak yang data digunakan untuk metode *K-means Clustering* dalam tugas akhir ini adalah *Euclidean Distance*. Persamaan *Euclidean Distance* adalah sebagai berikut:

$$d(x_j, C_j) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_j - C_i)^2} \quad (2.43)$$

d = jarak

n = jumlah data

m = jumlah *cluster*

c = *centroid*

x = data

2.6 *Distributed Generation (DG)*

Pembangkit listrik terpusat telah memegang peran yang sangat penting dalam proses pembangkitan tenaga listrik hingga hari ini. Sistem pembangkitan tersebut juga dikenal dengan sistem pembangkitan konvensional yang menggunakan batubara, gas dan minyak bumi sebagai bahan pembangkitan energi listriknya. Namun seluruh dunia mendesak untuk mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil dan mencegah perubahan iklim yang meningkatkan tekanan untuk merubah paradigma sistem pembangkitan tenaga listrik. Dan kini muncul

Distributed Generation (DG) yang menjadi substitusi menarik untuk pengembangan dan perluasan pembangkitan tenaga listrik [9].

Distributed Generation (DG) atau yang juga disebut dengan pembangkitan terdistribusi merupakan sistem pembangkitan yang menggunakan generator dengan ukuran yang lebih kecil daripada sistem pembangkitan terpusat. Pembangkit-pembangkit ini didistribusikan pada seluruh sistem tenaga listrik dekat dengan beban [10]. Karena letaknya yang dekat dengan beban memungkinkan DG untuk membantu mensuplai daya pada beban yang jauh dari pembangkit utama (*utility grid*).

Dari semua literatur yang ada, banyak bentuk dan definisi yang digunakan untuk menjelaskan *Distributed Generation* (DG). Sebagai contoh, Negara Anglo-Amerika menggunakan istilah *Embedded Generation*, Amerika Utara menggunakan menyebutnya dengan *Dispered Generation*, Eropa dan sebagian Asia menyebutnya *Decentralised Generation*. Selain istilah, penentuan rentang ukuran/kapasitas *distributed generator* juga masih memiliki beberapa versi yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Beberapa definisi kapasitas *distributed generator* yang dimiliki oleh lembaga-lembaga riset internasional adalah sebagai berikut [11] :

1. *The Electric Power Research Institute* mendefinisikan *distributed generator* adalah pembangkit dengan kapasitas beberapa kW hingga 50 MW.
2. *Gas Research Institute* mendefinisikan *distributed generator* adalah pembangkit dengan kapasitas 25 kW hingga 25 MW.
3. Preston dan Rastler mendefinisikan *distributed generator* berkapasitas beberapa kW sampai 100 MW.
4. Cardell mendefinisikan kapasitas *distributed generator* adalah 500 kW – 1 MW.
5. *International Conference on Large High Voltage Electric System (CIGRE)* menyebutkan kapasitas 50 – 100 MW.

Beberapa permasalahan teknis yang berhubungan dengan *distributed generator* dapat memberikan beberapa variasi yang signifikan terhadap kapasitas pembangkitan dari *distributed generator* itu sendiri. Oleh karena itu, perlu diperkenalkan pengkategorian yang tepat untuk mengklasifikasikan *distributed generator* berdasarkan kapasitas pembangkitan yang dimilikinya yang ditampilkan dalam Tabel 2.1. [11]

Tabel 2 1. Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkit

<i>Micro distributed generator</i>	1 watt – 5 kW
<i>Small distributed generator</i>	5 kW – 5 MW
<i>Medium distributed generator</i>	5 MW – 50 MW
<i>Large distributed generator</i>	50 MW – 300 MW

Berdasarkan teknologi pembangkitan yang digunakan, DG dapat diklasifikasikan sebagaimana ditunjukkan Tabel 2.2 berikut [12] :

Tabel 2 2. Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Combined cycle gas T.</i>	35–400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW–10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1–250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW–1 MW
<i>Renewable</i>	
<i>Small hydro</i>	1–100 MW
<i>Micro hydro</i>	25 kW–1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt–3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt–100 kW
<i>Solar thermal, central receiver</i>	1–10 MW
<i>Solar thermal, Lutz system</i>	10–80 MW
<i>Biomass, e.g. based on gasification</i>	100 kW–20 MW
<i>Fuel cells, phosacid</i>	200 kW–2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW–2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW–250 kW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW–5 MW
<i>Geothermal</i>	5–100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW–1 MW
<i>Stirling engine</i>	2–10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW–5 MW

Banyak keuntungan yang didapatkan dengan pemasangan distributed generator. Jika dibandingkan dengan pembangkit

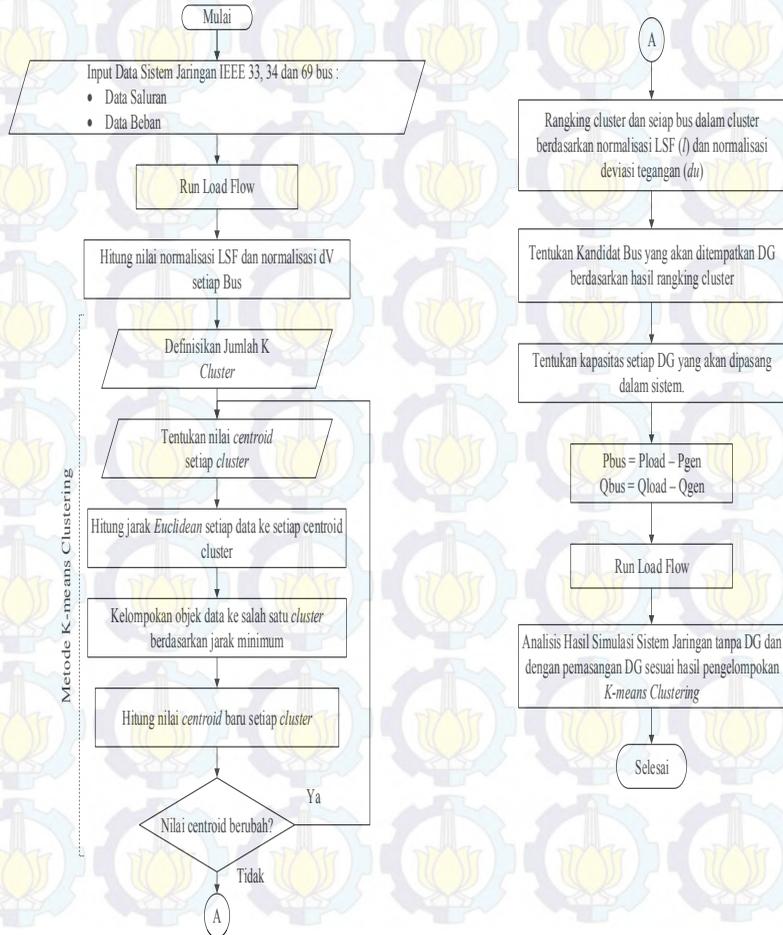
konvensional, efisiensi pada *distributed generator* lebih besar. Karena pada *distributed generator* menggunakan teknologi yang baru dan masih banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan effisiensinya, seperti turbin angin, *fuell cell*, dsb [12]. Beberapa keuntungan lain dari *Distributed Generation* antara lain [10] ;

1. Dari sudut pandang pengguna (*end-user*) dapat diuntungkan dengan mempunyai pembangkit cadangan untuk meningkatkan keandalan. Selain itu, pengguna juga bisa mendapatkan kompensasi karena dapat memberikan energi yang mereka bangkitkan ke sistem tenaga listrik.
2. Jika dilihat dari sudut pandang pengelola jaringan distribusi, *distributed generation* dapat menambah kapasitas jaringan transmisi dan distribusi yang telah terpasang. Selain itu *distributed generator* juga dapat melindungi jaringan dari pertumbuhan beban yang tidak pasti.
3. Dari sudut pandang produsen energi komersial, produsen energi dapat membeli kapasitas dari beberapa unit *distributed generator*.
4. Dari sudut pandang teknis, integrasi DG dengan sistem pada lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi-rugi saluran dan memperbaiki profil tegangan, meningkatkan kualitas daya serta meningkatkan keandalan dan kemandirian sistem
5. Dari sudut pandang ekonomi, integrasi DG dapat menghemat biaya karena teknologi DG seperti PV, dan turbin angin memiliki nilai operasi dan perawatan yang murah.
6. Dari sudut pandang lingkungan, teknologi DG tidak menimbulkan banyak emisi dan polusi seperti pembangkit konvensional yang menggunakan fosil sebagai bahan bakarnya.

BAB 3

STUDI PENEMPATAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING

3.1 Pemodelan Penyelesaian Tugas Akhir



Gambar 3.1 Flow Chart penyelesaian tugas akhir

Gambar 3.1 menampilkan *flow chart* untuk penyelesaian tugas akhir ini. Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan analisis aliran daya pada sistem distribusi radial pasif menggunakan metode *modified backward forward*. Setelah hasil aliran daya sistem didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan *Loss Sensitivity Factor* (LSF), normalisasi LSF dan normalisasi tegangan dV (pu) pada setiap bus. Hasil perhitungan normalisasi LSF dan dV (pu) tersebut kemudian digunakan sebagai *input* dalam perhitungan metode *K-means Clustering*. Metode *K-means Clustering* akan mengelompokkan DG dalam sejumlah kelompok berdasarkan nilai normalisasi LSF dan normalisasi dV . Hasil pengelompokan tersebut selanjutnya akan menjadi acuan dalam penentuan lokasi pemasangan DG dalam sistem distribusi. Setelah lokasi penempatan DG ditentukan, Selanjutnya adalah memodelkan bus generator yang terpasang pada bus ditribusi sebagai negatif PQ bus, yaitu dengan menganggap generator sebagai beban namun aliran dayanya berlawanan arah dengan beban. Studi penentuan lokasi DG akan dilakukan dengan membandingkan penempatan dengan *single* DG sampai dengan *multi* DG sesuai dengan jumlah cluster yang ada.

3.2 Normalisasi LSF dan Deviasi Tegangan

Setelah mendapatkan penyelesaian aliran daya, nilai LSF pada tiap bus dicari menggunakan persamaan (2.42). Nilai LSF kemudian di normalisasi dalam rentang 0-1 dengan definisi bahwa 1 adalah nilai sensitivitas terbesar dan 0 adalah nilai sensitivitas terkecil. Proses normalisasi LSF dilakukan setelah mendapatkan semua nilai LSF dari setiap node dalam sistem yang kemudian ditentukan nilai LSF terbesar sebagai LSF_{max} dan nilai LSF terkecil sebagai LSF_{min} . Normalisasi LSF (l) dihitung menggunakan persamaan 3.5 berikut, [13]

$$l = \frac{LSF - LSF_{min}}{LSF_{max} - LSF_{min}} \quad (3.1)$$

Nilai normalisasi deviasi tegangan (dU) setiap bus dalam sistem didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai deviasi tegangan setiap bus (dV) dengan tegangan sistem (V_n), deviasi tegangan

merupakan selisih antara nilai tegangan sistem (V_n) dengan nilai tegangan pada suatu bus (V_k) didefinisikan dalam persamaan 3.2 berikut,

$$dV = V_n - V_k \quad (3.2)$$

$$dU = \frac{dV}{V_n} \quad (3.3)$$

Nilai normalisasi LSF (l) dan normalisasi deviasi tegangan (v) dari setiap node/bus dalam sistem jaringan distribusi ini kemudian akan digunakan sebagai masukan untuk metode *K-means Clustering*.

3.3 Metode *K-means Clustering*

Pada tahap awal metode ini, jumlah K *cluster* didefinisikan terlebih dahulu. Kemudian tentukan nilai pusat (*centroid*) masing-masing *cluster*. Objek data yang digunakan untuk metode ini adalah nilai normalisasi LSF dan dV . Selanjutnya *K-means* menguji masing-masing LSF dan dV dari setiap bus dan mengelompokannya ke salah satu *centroid* yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan jarak minimum antara objek data dengan masing-masing *centroid* yang ada. Nilai masing-masing *centroid* akan dihitung kembali dengan menghitung nilai rata-rata objek data yang masuk kedalam kelompoknya. Iterasi ini akan terus dilakukan sampai pada kondisi konvergen yaitu dimana nilai *centroid* tidak lagi berubah atau sama dengan sebelumnya.

Secara lebih detail, algoritma *K-means Clustering* adalah sebagai berikut,

1. Definisikan jumlah K *cluster*

Jumlah *cluster* ditentukan dengan persamaan 3.4 berikut, [14]

$$K \approx \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (3.4)$$

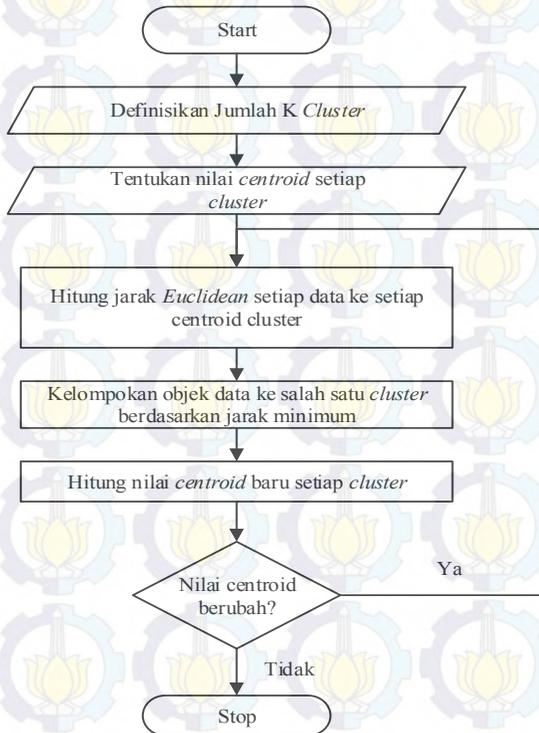
K = jumlah *cluster*

n = jumlah data

2. Inisiasi nilai pusat (*centroid*) masing-masing *cluster*.

Nilai *Centroid* dapat ditentukan dengan nilai acak atau dipilih dari K objek data pertama [13]

3. Hitung jarak setiap data dengan *centroid* tiap *cluster*.
Jarak yang digunakan adalah *Euclidean Distance* sesuai Persamaan 2.43
4. Kelompokan setiap data ke salah satu cluster dengan jarak yang terdekat.
5. Hitung kembali nilai *centroid* dari *cluster* sebagai nilai rata-rata dari seluruh data dalam masing-masing *cluster*.
6. Cek nilai *centroid*
Bilai nilai *centroid* bergeser/berubah dari nilai *centroid* sebelumnya, maka kembali ke langkah 3. Namun bila nilai *centroid* setiap *cluster* tidak berubah (konvergen), maka proses *K-means* telah selesai. [15]



Gambar 3.2 Flowchart *K-means Clustering*

3.4 Penentuan Kandidat Bus pemasangan DG

Dari hasil pengelompokan/*clustering* yang sudah dilakukan pada langkah sebelumnya, kandidat bus untuk pemasangan DG dapat ditentukan dari setiap kelompok/*cluster* [13]. Setelah mendapatkan hasil pengelompokan untuk setiap bus dalam sistem, setiap kelompok/*cluster* akan diranking berdasarkan rata-rata dari nilai normalisasi LSF dan deviasi tegangan dari setiap anggota kelompoknya. Nilai tersebut kemudian disebut dengan indeks *ranking cluster*. Setelah mendapatkan *ranking cluster* kemudian setiap bus dalam masing-cluster juga diranking berdasarkan nilai normalisasi LSF dan deviasi tegangan (indeks *clustering*).

Setiap bus yang memiliki nilai indeks *clustering* tertinggi dari setiap *cluster* akan menjadi kandidat untuk pemasangan DG pada sistem jaringan distribusi. Urutan kandidatnya ditentukan berdasarkan *ranking* dari masing-masing *cluster*. Bila bus A merupakan bus dengan profil indeks *clustering* terbesar dari *cluster* 1 yang juga merupakan *cluster* dengan profil indeks *ranking cluster* terbesar dari semua *cluster* yang ada, maka bus A akan menjadi kandidat pertama dari pemasangan DG tersebut.

3.5 Pemodelan DG sebagai *Negative PQ Load*

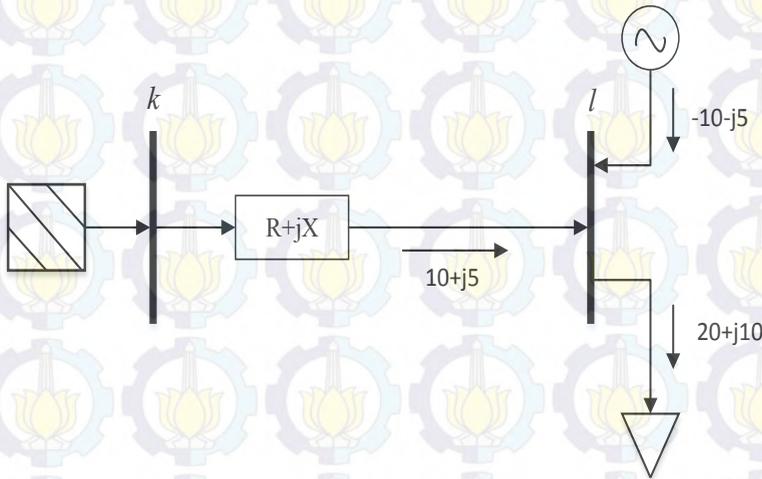
Pada sistem distribusi radial, daya mengalir dari *infinite* bus menuju ke beban. Karena beban menyerap daya aktif dan daya reaktif yang disediakan oleh *infinite* bus, arah aliran arus beban searah dengan arah aliran daya tersebut.

Karakteristik beban dan generator berbeda, beban menyerap daya sedangkan generator menyuplai daya. Ketika generator dipasang pada sisi distribusi, arah aliran daya generator berlawanan dengan arah aliran daya beban. Arah aliran yang berbeda tersebut membuat generator dapat dimodelkan menjadi *negative PQ load*. Sehingga dalam perhitungan analisis aliran daya, generator dianggap sebagai beban negatif yang arah aliran dayanya berlawanan dengan beban.

Untuk lebih memahami algoritma diatas, dapat dilihat melalui gambar 3.3. Ketika pada bus l dipasang *distributed generator* dengan kapasitas $10 + j5$, total beban yang terpasang pada bus l ,

mempertimbangkan adanya *Distributed generator* pada bus yang sama adalah $20 + j10 - 10 - j5 = 10 + j5$. Jika *distributed generator* pada bus l diganti dengan beban yang mempunyai nilai yang sama, total beban yang terpasang adalah $20 + j10 + 10 + j5 = 30 + j15$.

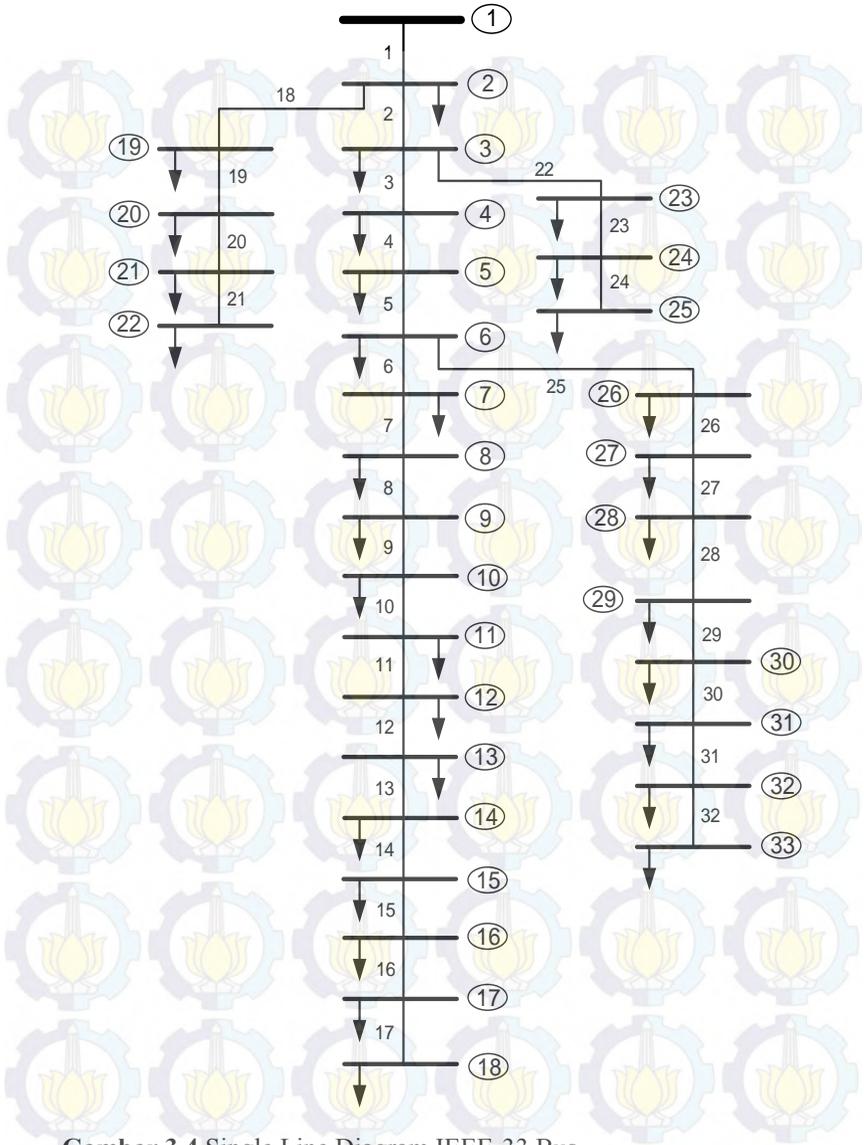
Pada bus yang terpasang *distributed generator*, bus tersebut diindikasikan sebagai beban tetapi bertanda negatif. Beban yang memiliki tanda negatif tersebut akan berperan sebagai generator karena arah aliran dayanya yang berlawanan dengan beban.



Gambar 3.3 *Distributed Generator* dimodelkan sebagai Negatif PQ load

3.6 Sistem Distribusi - IEEE 33 Bus Modifikasi

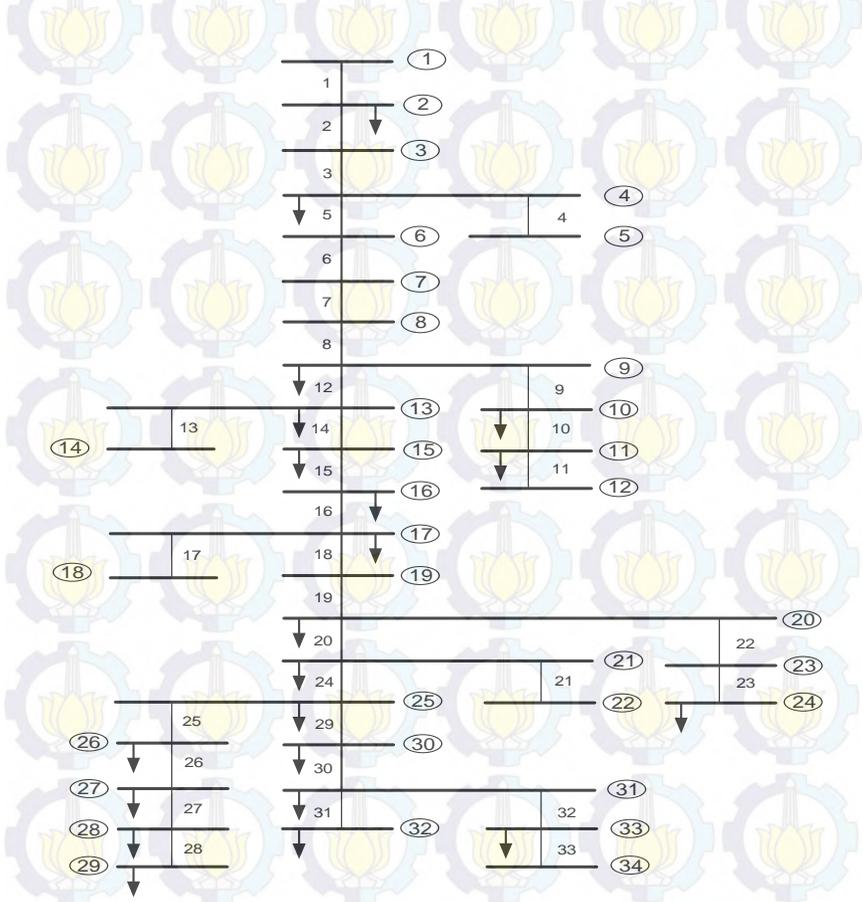
Gambar 3.5 merupakan single line diagram dari Sistem IEEE-33 Bus. Data saluran dan data beban Sistem Distribusi IEEE-33 Bus dapat dilihat pada lampiran 1 dan 2. Total beban pada sistem jaringan IEEE 33 bus adalah 3,715 MW dan 2,300 MVAR..



Gambar 3.4 Single Line Diagram IEEE-33 Bus

3.7 Sistem Distribusi - IEEE 34 Bus Modifikasi

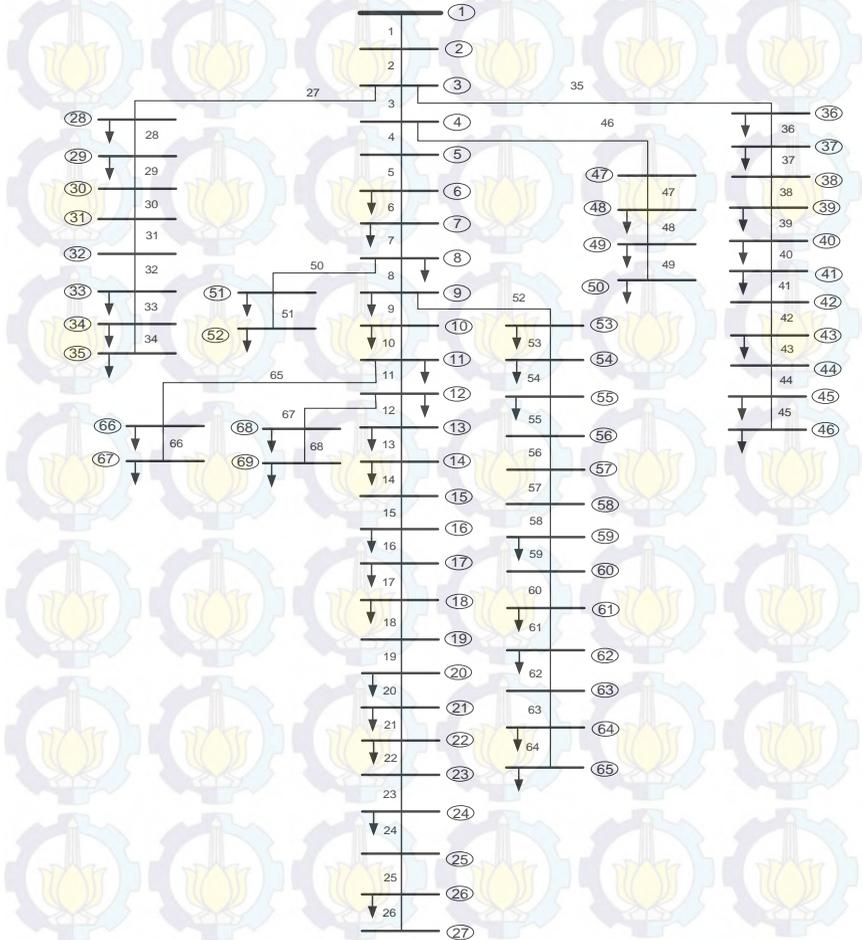
Gambar 3.12 merupakan single line diagram modifikasi dari IEEE node 34 test feeder. Seharusnya pada node 832 – 888 terdapat trafo untuk menurunkan tegangan sistem dari 24.9kV ke 0.4kV, tetapi pada penelitian ini trafo diabaikan. Data saluran dan data beban modifikasi IEEE – 34 bus dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4. Total beban sistem ini berjumlah 0,606 MW dan 0,440 MVAR



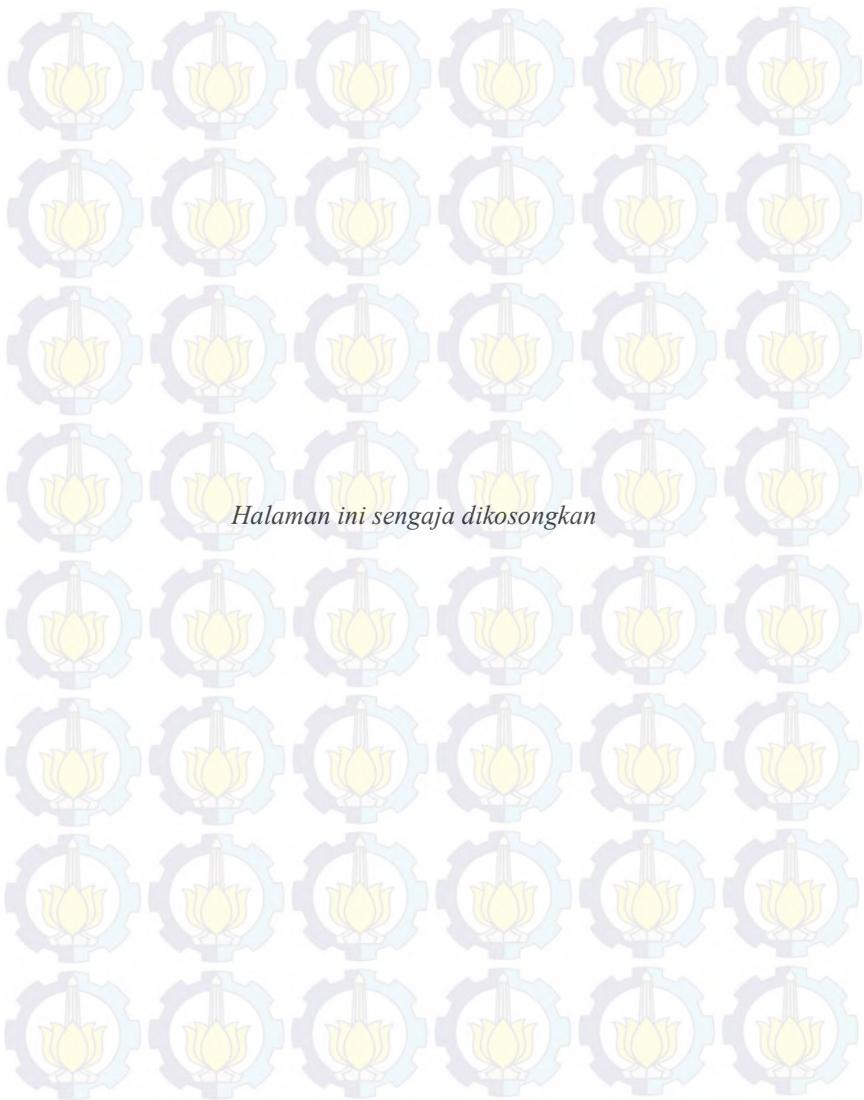
Gambar 3.5 Single Line Diagram IEEE-34 Bus

3.8 Sistem Distribusi – IEEE 69 Bus Modifikasi

Gambar 3.5 merupakan single line diagram dari Sistem IEEE-69 Bus. Data saluran dan data beban Sistem Distribusi IEEE-69 Bus dapat dilihat lampiran 5 dan 6. Total beban pada sistem ini IEEE 69 Bus ini adalah 3,783 MW dan 2,6841 MVAR.



Gambar 3.6 Single Line Diagram IEEE-69 Bus



BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengelompokan tiap bus pada sistem dengan menggunakan metode *K-means Clustering* pada sistem jaringan distribusi radial, yakni pada sistem IEEE 33 bus, IEEE 34 bus dan IEEE 69 bus. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya yang meliputi keadaan sistem pada saat sebelum pemasangan DG dan setelah pemasangan DG yang mengacu pada hasil pengelompokan metode *K-means Clustering*. Tujuan dari simulasi ini adalah mendapatkan jumlah dan lokasi pemasangan DG yang tepat untuk mengurangi nilai *losses* saluran. Hasil aliran daya yang dilakukan menggunakan program MATLAB R2015a akan divalidasi dengan hasil aliran daya pada ETAP 12.6.0.

4.1 Hasil Clustering dan Penentuan Lokasi DG

K-means Clustering akan mengelompokkan setiap bus dalam sistem kedalam sejumlah kelompok berdasarkan operasi karakteristik (LSF dan dU). Setelah h anggota masing-masing *cluster* diketahui, *cluster* di *Ranking* berdasarkan rata-rata nilai LSF dan dv setiap anggotanya. Berdasarkan hasil *clustering* tersebut, penentuan lokasi DG dapat ditentukan berdasarkan hasil clustering pada setiap jaringan. Kandidat bus yang akan dipasangkan DG adalah bus yang memiliki indeks clustering (LSF dan dU) paling tinggi pada masing-masing *clustering* [13].

4.1.1 Sistem Jaringan IEEE 33 Bus

Sistem jaringan distribusi IEEE 33 bus memiliki jumlah objek data sebanyak 33. Sesuai dengan persamaan 3.30 maka jumlah *K-cluster* yang ditetapkan untuk sistem ini adalah sebanyak 4. Setelah dilakukan perhitungan aliran daya dilakukan pengelompokan bus menggunakan *K-means Clustering*. Total iterasi perhitungan untuk proses *clustering* sebanyak 8 kali. Kemudian setiap *cluster* di *Ranking* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dan hasil *Ranking* setiap bus dalam *cluster* yang akan menjadi kandidat bus yang akan dipasangkan DG dari setiap *cluster* ditunjukkan pada Tabel 4.2-4.5.

Tabel 4.1 *Ranking* Cluster Sistem Jaringan IEEE 33 Bus

No	Cluster	Indeks <i>Ranking</i>
1	4	0.51334
2	3	0.19978
3	2	0.10710
4	1	0.04147

Pada hasil *Ranking* cluster Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa cluster 4 merupakan kelompok bus dengan indeks terburuk yang kemudian disusul oleh cluster 3, cluster 2 dan cluster 1. Selanjutnya bus dengan *Ranking* indeks tertinggi dari masing-masing cluster akan menjadi kandidat lokasi pemasangan bus sesuai dengan *Ranking* clusternya.

Tabel 4.2 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 33 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	25	1.00000	0.03064	0.51532	4
2	24	0.99539	0.02732	0.51136	4

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa bus 25 menjadi kandidat pertama pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,51532.

Tabel 4.3 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 33 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	31	0.43326	0.08221	0.25774	3
2	8	0.40264	0.05869	0.23066	3
3	30	0.29817	0.07805	0.18811	3
4	29	0.28132	0.07449	0.17790	3
5	20	0.34287	0.00707	0.17497	3
6	13	0.25942	0.07924	0.16933	3

Pada Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa bus 31 menjadi kandidat ke-2 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,25774.

Tabel 4.4 *Ranking dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 33 Bus*

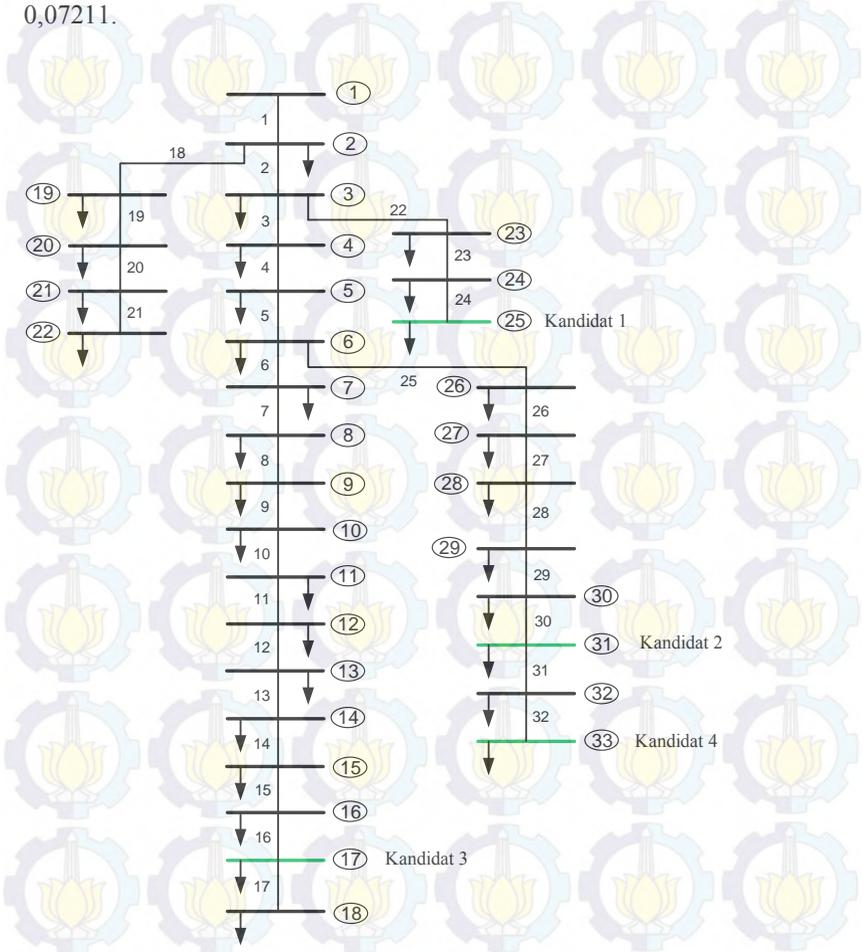
No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	17	0.23133	0.08632	0.15882	2
2	18	0.19731	0.08693	0.14212	2
3	32	0.19367	0.08312	0.13840	2
4	14	0.19236	0.08151	0.13694	2
5	10	0.18114	0.07077	0.12596	2
6	28	0.18198	0.06627	0.12412	2
7	9	0.17650	0.06496	0.12073	2
8	16	0.13334	0.08429	0.10882	2
9	15	0.10528	0.08292	0.09410	2
10	6	0.13605	0.05034	0.09320	2
11	22	0.16202	0.00842	0.08522	2
12	7	0.10442	0.05383	0.07913	2
13	4	0.11525	0.02454	0.06990	2
14	3	0.11467	0.01706	0.06587	2
15	23	0.10572	0.02065	0.06318	2

Pada Tabel 44 ditunjukkan bahwa bus 17 menjadi kandidat ke-3 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,15882.

Tabel 4.5 *Ranking dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 33 Bus*

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	33	0.06081	0.08341	0.07211	1
2	12	0.06529	0.07313	0.06921	1
3	27	0.04766	0.05483	0.05125	1
4	21	0.09347	0.00778	0.05063	1
5	11	0.02563	0.07163	0.04863	1
6	5	0.06092	0.03194	0.04643	1
7	26	0.03386	0.05227	0.04306	1
8	19	0.03711	0.00350	0.02031	1
9	2	0.02316	0.00297	0.01306	1
10	1	0.00000	0.00000	0.00000	1

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan bahwa bus 33 menjadi kandidat ke-4 pemasangan DG dalam cluster 1 dengan nilai indeks clustering sebesar 0,07211.



Gambar 4.1 Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 33 Bus

Gambar 4.1 menunjukkan bus kandidat pemasangan DG pada sistem jaringan IEEE 33 bus berdasarkan *K-means Clustering*. Kandidat tersebut secara berurutan adalah bus 25, 31, 17 dan 33.

4.1.2 Sistem Jaringan IEEE 34 Bus

Sistem jaringan distribusi IEEE 34 bus memiliki jumlah objek data sebanyak 34. Sesuai dengan persamaan 3.30 maka jumlah *K-cluster* yang ditetapkan untuk sistem ini adalah sebanyak 4. Setelah dilakukan perhitungan aliran daya dilakukan pengelompokan bus menggunakan *K-means Clustering*. Total iterasi perhitungan untuk proses *clustering* sebanyak 5 kali. Kemudian setiap cluster di *Ranking* yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Dan hasil *Ranking* setiap bus dalam cluster yang akan menjadi kandidat bus yang akan dipasangkan DG dari setiap cluster ditunjukkan pada Tabel 4.7-4.10. Bus yang menjadi kandidat untuk pemasangan DG adalah Bus 24, 25, 30 dan 4.

Tabel 4.6 *Ranking* Cluster Sistem Jaringan IEEE34 Bus

No	Cluster	Indeks <i>Ranking</i>
1	3	0.5036
2	1	0.1378
3	4	0.0371
4	2	0.0148

Pada hasil *Ranking* cluster Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa cluster 3 merupakan kelompok bus dengan indeks terburuk yang kemudian disusul oleh cluster 1, cluster 4 dan cluster 2. Selanjutnya bus dengan *Ranking* indeks tertinggi dari masing-masing cluster akan menjadi kandidat lokasi pemasangan bus sesuai dengan *Ranking* cluster-nya.

Tabel 4.7 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 34 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normalisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	24	1.0000	0.0764	0.5382	3
2	11	0.8946	0.0433	0.4689	3

Pada Tabel 4.7 ditunjukkan bahwa bus 24 menjadi kandidat pertama pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,5382.

Tabel 4.8 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 34 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	25	0.2607	0.0764	0.1685	1
2	16	0.2683	0.0568	0.1626	1
3	27	0.1849	0.0767	0.1308	1
4	13	0.1313	0.0472	0.0893	1

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan bahwa bus 25 menjadi kandidat ke-2 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,1685.

Tabel 4.9 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 34 Bus

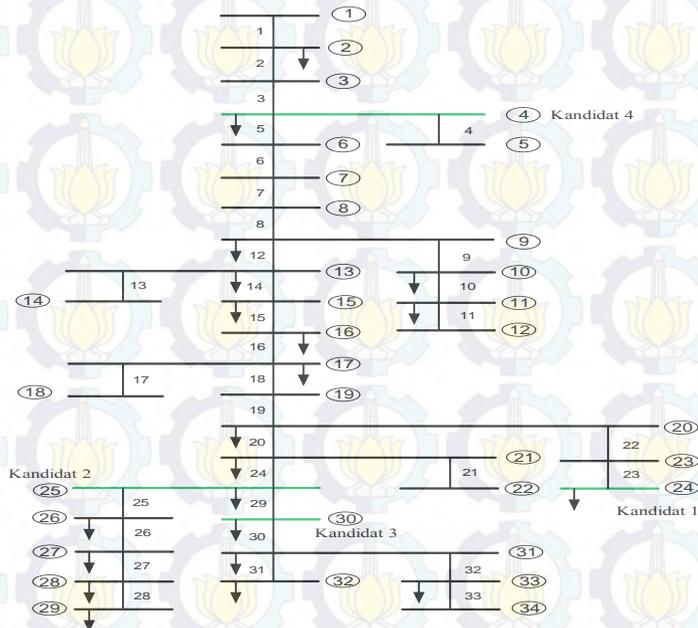
No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	30	0.0867	0.0765	0.0816	4
2	21	0.0490	0.0747	0.0618	4
3	31	0.0318	0.0766	0.0542	4
4	28	0.0266	0.0768	0.0517	4
5	29	0.0097	0.0768	0.0432	4
6	32	0.0071	0.0766	0.0418	4
7	33	0.0023	0.0766	0.0395	4
8	26	0.0008	0.0764	0.0386	4
9	34	0.0000	0.0766	0.0383	4
10	23	0.0000	0.0753	0.0377	4
11	22	0.0000	0.0747	0.0373	4
12	20	0.0000	0.0732	0.0366	4
13	19	0.0000	0.0732	0.0366	4
14	17	0.0005	0.0570	0.0288	4
15	18	0.0000	0.0570	0.0285	4
16	10	0.0078	0.0425	0.0251	4
17	15	0.0014	0.0476	0.0245	4
18	9	0.0053	0.0424	0.0239	4
19	14	0.0000	0.0472	0.0236	4
20	12	0.0000	0.0433	0.0217	4
21	8	0.0000	0.0423	0.0211	4
22	7	0.0000	0.0423	0.0211	4

Pada Tabel 4.9 ditunjukkan bahwa bus 30 menjadi kandidat ke-3 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0.0816.

Tabel 4.10 Ranking dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 34 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	4	0.0895	0.0151	0.0523	2
2	6	0.0000	0.0303	0.0151	2
3	2	0.0251	0.0012	0.0131	2
4	5	0.0000	0.0151	0.0075	2
5	3	0.0000	0.0019	0.0009	2
6	1	0.0000	0.0000	0.0000	2

Pada Tabel 4.10 ditunjukkan bahwa bus 4 menjadi kandidat ke-4 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,0523.



Gambar 4.2 Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 34 Bus

Gambar 4.2 menunjukkan bus kandidat pemasangan DG pada sistem jaringan IEEE 33 bus berdasarkan *K-means Clustering*. Kandidat tersebut secara berurutan adalah bus 24, 25, 30 dan 4.

4.1.3 Sistem Jaringan IEEE 69 Bus

Sistem jaringan distribusi IEEE 69 bus memiliki jumlah objek data sebanyak 69. Sesuai dengan persamaan 3.30 maka jumlah *K-cluster* yang ditetapkan untuk sistem ini adalah sebanyak 6. Setelah dilakukan perhitungan aliran daya dilakukan pengelompokan bus menggunakan *K-means Clustering*. Total iterasi perhitungan untuk proses *clustering* sebanyak 7 kali. Kemudian setiap cluster di *Ranking* yang ditunjukkan pada tabel 4.11. Dan hasil *Ranking* setiap bus dalam cluster yang akan menjadi kandidat bus yang akan dipasangkan DG dari setiap cluster ditunjukkan pada Tabel 4.12-4.17. Bus yang menjadi kandidat untuk pemasangan DG adalah Bus 61, 64, 59, 21, 24 dan 33.

Tabel 4.11 *Ranking* Cluster Sistem Jaringan IEEE 69 Bus

No	Cluster	Indeks <i>Ranking</i>
1	3	0.543753259
2	5	0.108218974
3	6	0.042798546
4	2	0.030173282
5	4	0.019338356
6	1	0.001934821

Pada hasil *Ranking* cluster Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa cluster 3 merupakan kelompok bus dengan indeks terburuk yang kemudian disusul oleh cluster 5, cluster 6 dan cluster 2, cluster 4 dan cluster 1. Selanjutnya bus dengan *Ranking* indeks tertinggi dari masing-masing cluster akan menjadi kandidat lokasi pemasangan bus sesuai dengan *Ranking* clusternya.

Tabel 4.12 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 3 IEEE 69 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normalisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	61	1.00000	0.0875	0.54375	3

Pada Tabel 4.12 ditunjukkan bahwa bus 61 menjadi kandidat pertama pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,54375.

Tabel 4.13 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 5 IEEE 69 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normalisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	64	0.25692	0.0901	0.17350	5
2	65	0.09796	0.0907	0.09431	5
3	12	0.14503	0.0315	0.08825	5
4	49	0.14834	0.0053	0.07682	5

Pada Tabel 4.13 ditunjukkan bahwa bus 64 menjadi kandidat ke-2 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,17350.

Tabel 4.14 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 6 IEEE 69 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normalisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	59	0.04690	0.0751	0.06099	6
2	62	0.00494	0.0878	0.04637	6
3	63	0.00000	0.0882	0.04409	6
4	60	0.00000	0.0801	0.04006	6
5	58	0.00000	0.0708	0.03541	6
6	57	0.00000	0.0598	0.02988	6

Pada Tabel 4.14 ditunjukkan bahwa bus 59 menjadi kandidat ke-3 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,06099.

Tabel 4.15 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 69 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normalisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	21	0.05600	0.0423	0.04914	2
2	17	0.03222	0.0411	0.03668	2
3	11	0.03792	0.0284	0.03316	2
4	68	0.02913	0.0318	0.03046	2

Tabel 4.15 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 2 IEEE 69 Bus (lanjutan)

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
5	10	0.03197	0.0273	0.02964	2
6	36	0.05076	0.0022	0.02647	2
7	50	0.04212	0.0058	0.02398	2
8	34	0.04288	0.0010	0.02193	2
9	7	0.02110	0.0191	0.02010	2

Pada Tabel 4.15 ditunjukkan bahwa bus 21 menjadi kandidat ke-4 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,04914.

Tabel 4.16 *Ranking* dan Kandidat bus Cluster 4 IEEE 69 Bus

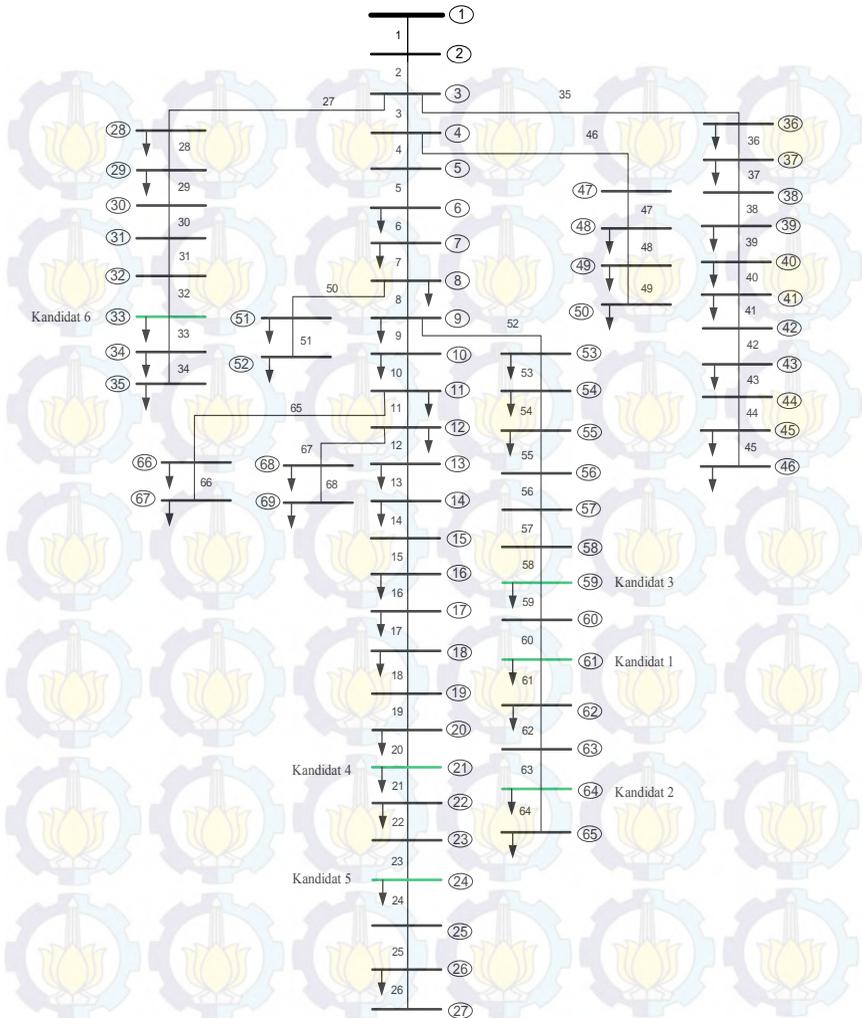
No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	24	0.01395	0.0425	0.02820	4
2	16	0.01267	0.0403	0.02648	4
3	14	0.01188	0.0370	0.02446	4
4	26	0.00622	0.0426	0.02440	4
5	13	0.01165	0.0343	0.02296	4
6	27	0.00000	0.0426	0.02129	4
7	25	0.00000	0.0425	0.02127	4
8	55	0.00962	0.0329	0.02127	4
9	22	0.00010	0.0423	0.02120	4
10	23	0.00000	0.0423	0.02117	4
11	20	0.00030	0.0418	0.02107	4
12	19	0.00000	0.0416	0.02078	4
13	18	0.00040	0.0411	0.02077	4
14	15	0.00000	0.0398	0.01989	4
15	56	0.00000	0.0373	0.01864	4
16	54	0.00737	0.0284	0.01791	4
17	66	0.00506	0.0285	0.01676	4
18	69	0.00019	0.0318	0.01599	4
19	8	0.00952	0.0213	0.01541	4
20	67	0.00012	0.0285	0.01429	4
21	51	0.00511	0.0213	0.01322	4
22	53	0.00097	0.0252	0.01308	4
23	9	0.00204	0.0224	0.01223	4
24	52	0.00137	0.0213	0.01135	4

Pada Tabel 4.16 ditunjukkan bahwa bus 24 menjadi kandidat ke-5 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,02820.

Tabel 4.17 Ranking dan Kandidat bus Cluster 1 IEEE 69 Bus

No	Bus	LSF normalisasi	dV normlisasi	Indeks Clustering	Cluster
1	33	0.01551	0.0006	0.00808	1
2	35	0.01169	0.0010	0.00637	1
3	6	0.00128	0.0099	0.00557	1
4	48	0.00889	0.0015	0.00517	1
5	45	0.00564	0.0037	0.00466	1
6	37	0.00220	0.0023	0.00227	1
7	41	0.00097	0.0032	0.00210	1
8	43	0.00033	0.0036	0.00195	1
9	46	0.00005	0.0037	0.00186	1
10	44	0.00000	0.0036	0.00179	1
11	42	0.00000	0.0035	0.00177	1
12	39	0.00097	0.0025	0.00175	1
13	40	0.00006	0.0025	0.00130	1
14	38	0.00000	0.0025	0.00125	1
15	29	0.00220	0.0001	0.00117	1
16	5	0.00000	0.0010	0.00049	1
17	32	0.00000	0.0004	0.00020	1
18	31	0.00000	0.0003	0.00014	1
19	30	0.00000	0.0003	0.00013	1
20	28	0.00015	0.0001	0.00011	1
21	47	0.00000	0.0002	0.00010	1
22	4	0.00000	0.0002	0.00008	1
23	3	0.00000	0.0001	0.00003	1
24	2	0.00000	0.0000	0.00002	1
25	1	0.00000	0.0000	0.00000	1

Pada Tabel 4.17 ditunjukkan bahwa bus 33 menjadi kandidat ke-6 pemasangan DG dengan nilai indeks clustering sebesar 0,00808.



Gambar 4.3 Hasil penentuan kandidat bus pemasangan DG pada IEEE 69 Bus

Gambar 4.3 menunjukkan bus kandidat pemasangan DG pada sistem jaringan IEEE 33 bus berdasarkan *K-means Clustering*. Kandidat tersebut secara berurutan adalah bus 61, 64, 59, 21, 24 dan 33..

4.2 Studi Kasus

Studi kasus yang akan diimplementasikan dalam tugas akhir ini adalah pengujian setiap sistem jaringan IEEE yang akan dipasangkan DG mulai dari keadaan pasif (tanpa DG) hingga pemasangan DG mulai dari *single* DG hingga *multi* DG sejumlah kelompok yang ditetapkan sebelumnya. Kandidat bus yang akan dipasangkan DG sudah didapatkan dari hasil *K-means Clustering* pada tahap sebelumnya. Total kapasitas yang dibatasi sebesar 50% dari total beban sistem [17]. Kapasitas masing-masing DG ditentukan dengan membagi rata total kapasitas DG yang tersedia dengan jumlah DG yang akan dipasang pada sistem tersebut [18].

4.2.1 Sistem Jaringan IEEE 33 Bus (Kasus A)

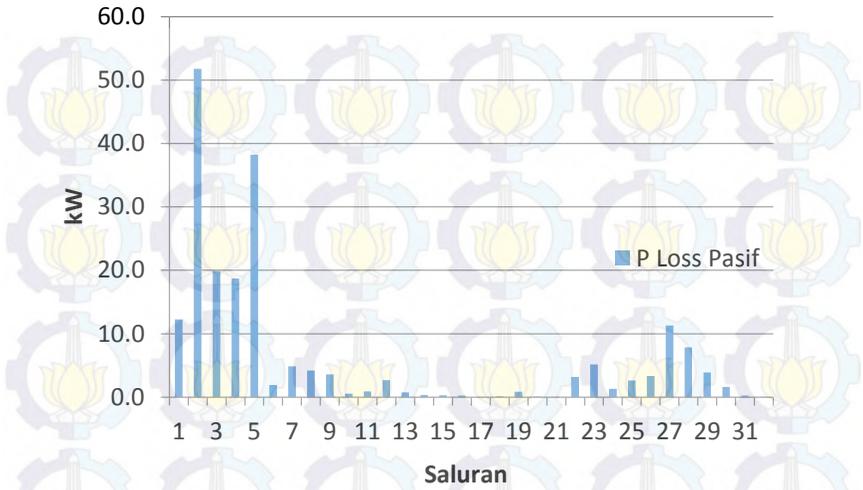
Terdapat 5 kasus yang akan dibahas untuk sistem jaringan IEEE 33 bus yang ditunjukkan pada Tabel 4.18. Total beban sistem jaringan IEEE 33 bus adalah 3,715 MW dan 2,3 MVAR, sehingga kapasitas total DG adalah 1,8575 MW dan 1,15 MVAR.

Tabel 4.18 Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 33 Bus

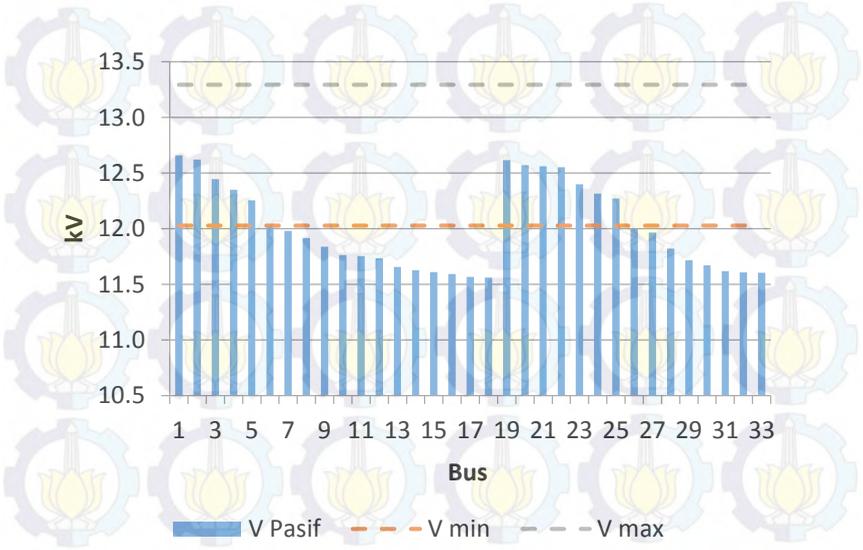
Kasus	Lokasi DG	Kapasitas per DG
Kasus A1 – <i>Base Case</i>	Pasif (tanpa DG)	-
Kasus A2	Bus 25	1,857 MW dan 1,15 MVAR
Kasus A3	Bus 25, 31	0,928 MW dan 0,575 MVAR
Kasus A4	Bus 25, 31, 17	0,620 MW dan 0,383 MVAR
Kasus A5	Bus 25, 31, 17, 33	0,4643 MW dan 0,2875 MVAR

4.2.1.1 Kasus A1-base case

Merupakan Sistem Jaringan IEEE 33 Bus yang belum dilakukan pemasangan DG. Data saluran dan beban sudah ditunjukkan pada bab 3. Hasil dari aliran daya pasif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5. Total rugi daya aktif (*P losses*) adalah sebesar 202,6935 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,0074 kV.



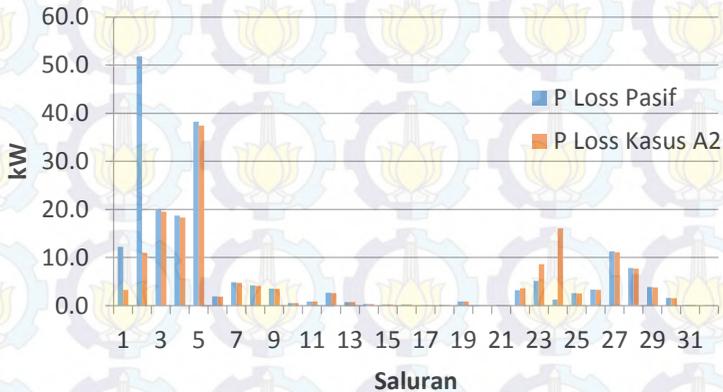
Gambar 4.4 Losses saluran pada kasus A1



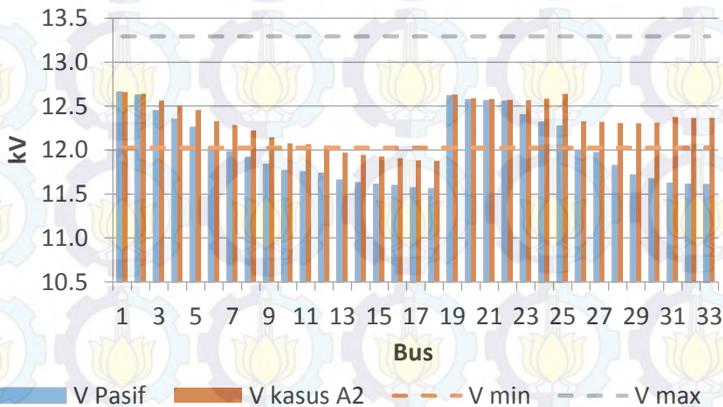
Gambar 4.5 Tegangan setiap bus pada kasus A1

4.2.1.2 Kasus A2

Pada kasus A2 sistem jaringan IEEE 33 bus dipasangkan DG pada bus 25 dengan kapasitas 1,857 MW dan 1,15 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7 Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG ini menjadi sebesar 168,9032 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,1351 kV.



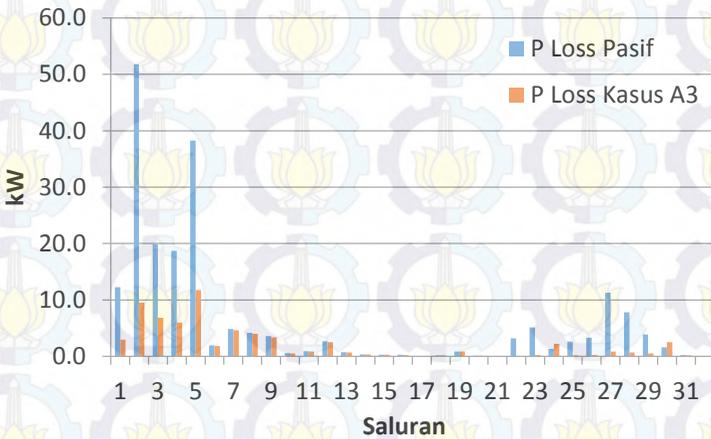
Gambar 4.6 P_{losses} saluran pada kasus A2



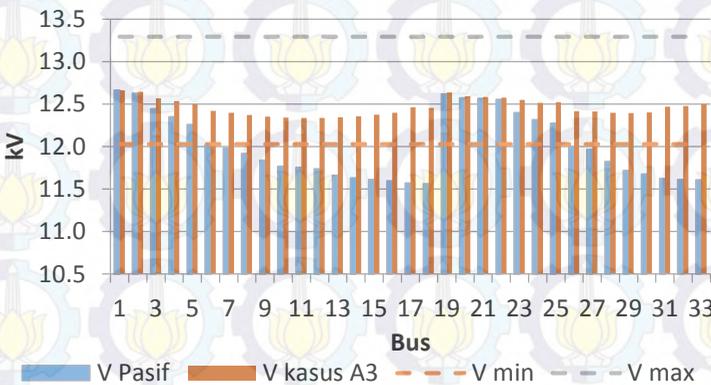
Gambar 4.7 Tegangan setiap bus pada kasus A2

4.2.1.3 Kasus A3

Pada kasus A3 sistem jaringan IEEE 33 bus dipasangkan DG pada bus 25 dan 31 dengan kapasitas masing-masing DG 0,928 MW dan 0,575 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan 4.9. Penempatan dua DG ini dapat mengurangi total rugi daya aktif (P_{losses}) menjadi sebesar 65,0347 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,3145 kV.



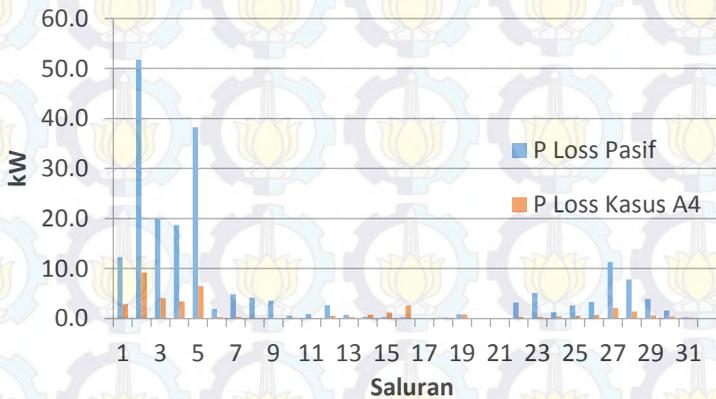
Gambar 4.8 P_{losses} saluran pada kasus A3



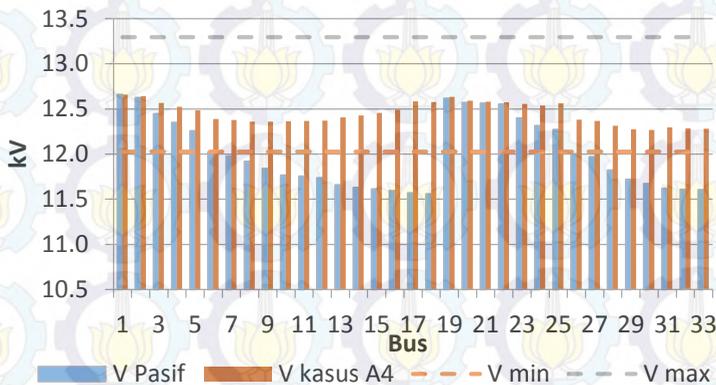
Gambar 4.9 Tegangan setiap bus pada kasus A3

4.2.1.4 Kasus A4

Pada kasus A4 sistem jaringan IEEE 33 bus dipasangkan DG pada bus 25, 31 dan 17 dengan kapasitas masing-masing DG 0,620 MW dan 0,383 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan 4.11. Penempatan tiga DG ini dapat mengurangi total rugi daya aktif (*P losses*) menjadi sebesar 40,4634 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,3145 kV..



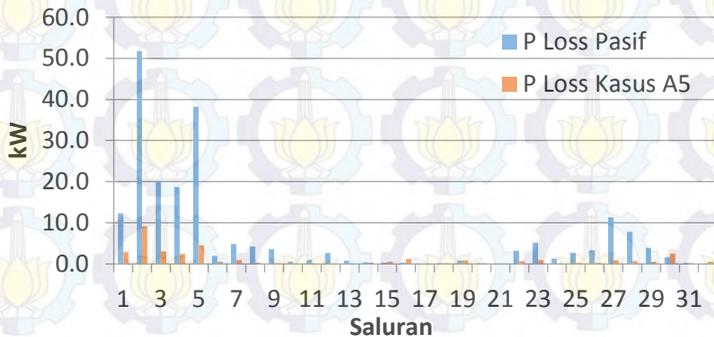
Gambar 4.10 Losses saluran pada kasus A4



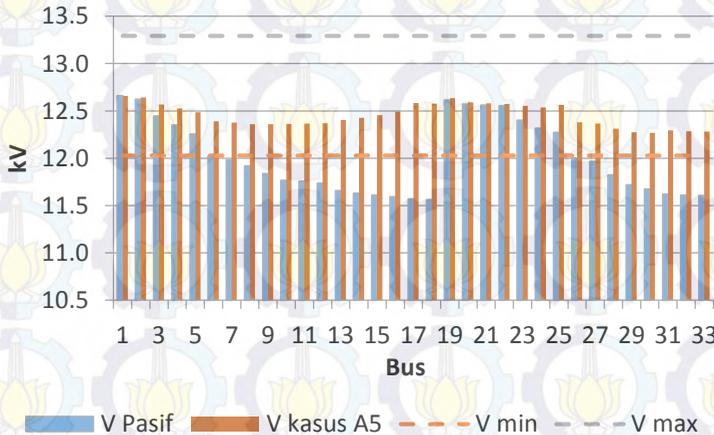
Gambar 4.11 Tegangan setiap bus pada kasus A4

4.2.1.5 Kasus A5

Pada kasus A5 sistem jaringan IEEE 33 bus dipasangkan DG pada bus 25, 31, 17 dan 33 dengan kapasitas masing-masing DG 0,4643 MW dan 0,2875 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan 4.13. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan empat DG adalah sebesar 34,2240 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,4625 kV.



Gambar 4.12 Losses saluran pada kasus A5



Gambar 4.13 Tegangan setiap pada kasus A5

4.2.1.6 Analisis Kasus A

Dari hasil kasus A1 dapat diketahui bahwa total rugi saluran sistem IEEE 33 bus tanpa DG sebesar 202,6935 kW dan kondisi tegangan pada bus 6-18 dan bus 26-33 mengalami keadaan *undervoltage* dimana tegangannya dibawah 0,95 p.u. Selanjutnya sistem 33 bus diuji dengan pemasangan DG hingga multi DG dengan kapasitas total yang tetap yaitu sebesar 1,8575 MW dan 1,15 MVAR (50% dari total beban) sebagai solusi untuk mengurangi rugi daya dan juga memperbaiki nilai tegangan.

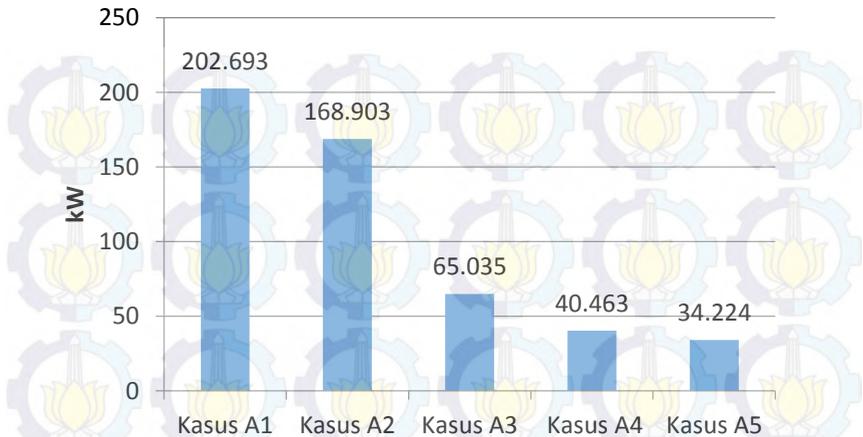
Pada kasus A2 Gambar 4.6 dan 4.7, terlihat bahwa pemasangan 1 DG pada bus 25 dapat mengurangi nilai rugi saluran hingga 168,9032 kW namun masih ada bus yang mengalami kondisi *undervoltage* pada bus 7-18 dan terulangi kembali pada bus 28-33.

Pada kasus A3 Gambar 4.8 dan 4.9, terlihat bahwa pemasangan 2 DG pada bus 25 dan 31 dapat mengurangi rugi saluran hingga 65,0347 kW lebih baik dari kasus A1 dan kasus A2 namun tetap masih ada bus yang mengalami kondisi *undervoltage* pada bus 13-18.

Pada kasus A4 Gambar 4.10 dan 4.11, terlihat bahwa pemasangan 3 DG pada bus 25 31 dan 17 dapat mengurangi rugi saluran hingga 40,4634 kW lebih baik dari kasus A1, A2 dan A3 dan kondisi tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u.. dengan rata-rata tegangan sistem 12,4515 kV.

Pada kasus A5 Gambar 4.12 dan 4.13, nilai rugi saluran dapat dikurangi hingga 34,2240 kW dan nilai tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan tegangan rata-rata sistem 12,4625 kV.

Rangkuman hasil simulasi kasus A terlihat pada Gambar 4.14. Hasil terbaik untuk memperbaiki nilai rugi saluran didapatkan dengan penempatan 4 DG (kasus A5) pada bus 25, 31, 17 dan 33. Nilai rugi daya dapat diturunkan hingga 34,224 kW.



Gambar 4.14 Perbandingan nilai rugi daya semua kasus dalam kasus A

4.2.2 Sistem Jaringan IEEE 34 Bus (Kasus B)

Terdapat 5 kasus yang akan dibahas untuk sistem jaringan IEEE 34 bus yang ditunjukkan pada Tabel 4.19. Total beban sistem jaringan IEEE 34 bus adalah 0,606 MW dan 0,44 MVAR, sesuai dengan kapasitas total DG adalah 0,303 MW dan 0,22 MVAR.

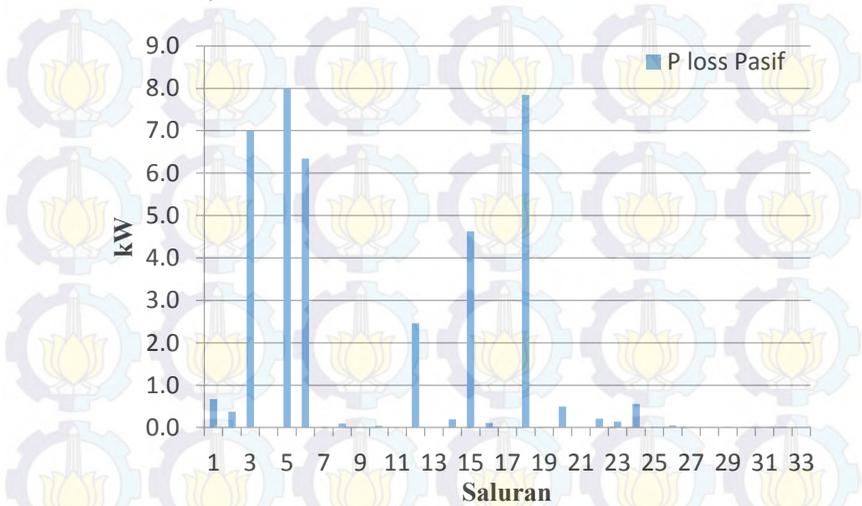
Tabel 4.19 Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 34 Bus

Kasus	Lokasi DG	Kapasitas per DG	
Kasus B1 – Base Case	Pasif (tanpa DG)	-	-
Kasus B2	Bus 24	0,303 MW	0,22 MVAR
Kasus B3	Bus 24 25	0,1515 MW	0,11 MVAR
Kasus B4	Bus 24 24 30	0,101 MW	0,074 MVAR
Kasus B5	Bus 24 25 30 4	0,0758 MW	0,055 MVAR

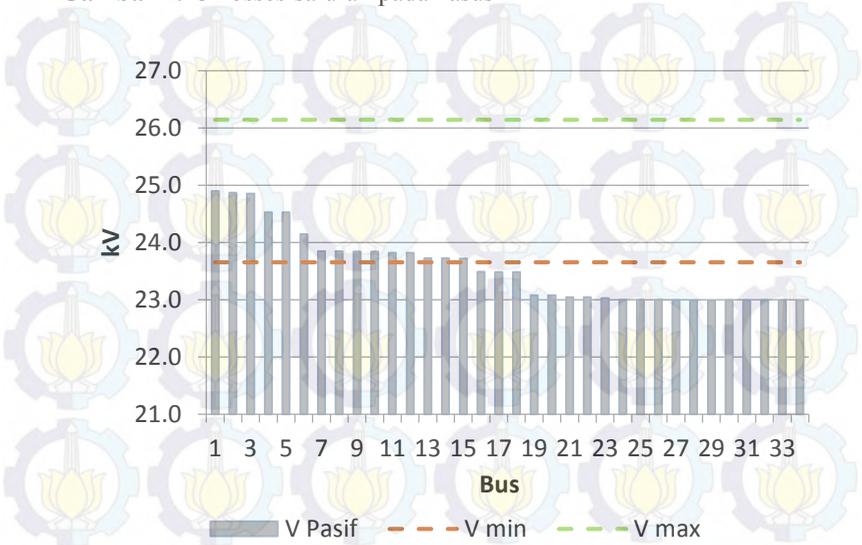
4.2.2.1 Kasus B1-base case

Merupakan Sistem Jaringan IEEE 34 Bus yang belum dilakukan pemasangan DG. Data saluran dan beban sudah ditunjukkan pada bab 3. Hasil dari aliran daya pasif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan 4.16. Total rugi

daya aktif (P_{losses}) adalah sebesar 39,2436 kW dengan tegangan rata-rata sistem 23,5482 kV.



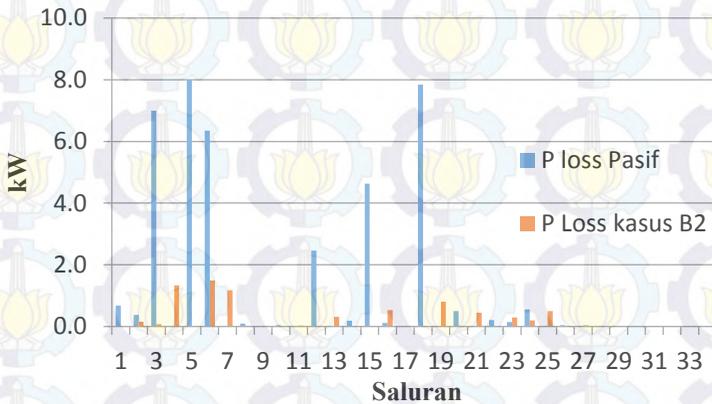
Gambar 4.15 Losses saluran pada kasus B1



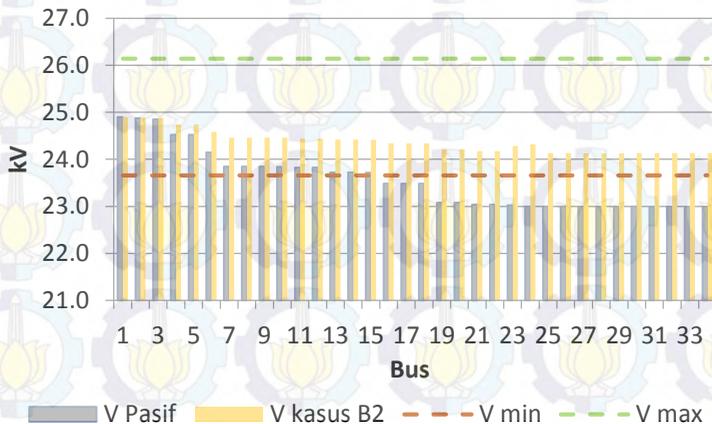
Gambar 4.16 Tegangan setiap bus pada kasus B1

4.2.2.2 Kasus B2

Pada kasus B2 sistem jaringan IEEE 34 bus dipasangkan DG pada bus 24 dengan kapasitas 0,303 MW dan 0,22 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan 4.18. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 7,4875 kW dengan tegangan rata-rata sistem 24,3650 kV.



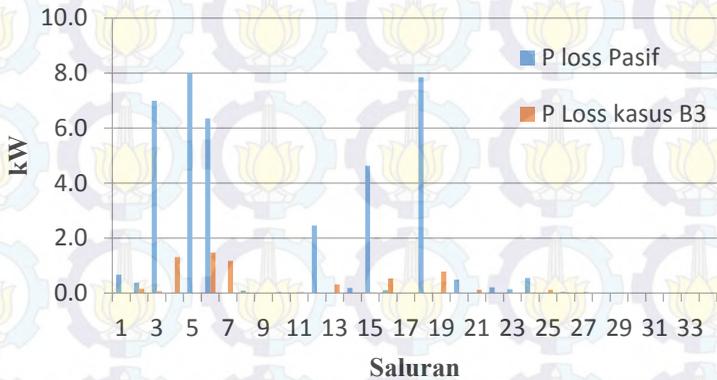
Gambar 4.17 P_{losses} saluran pada kasus B2



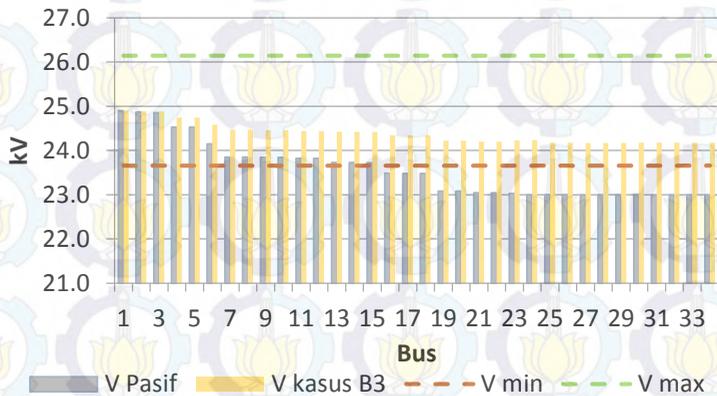
Gambar 4.18 Tegangan setiap bus pada kasus B2

4.2.2.3 Kasus B3

Pada kasus B3 sistem jaringan IEEE 34 bus dipasangkan DG pada bus 24 dan 25 dengan kapasitas masing-masing 0,1515 MW dan 0,11 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan 4.20. Total rugi daya aktif (*P losses*) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 6,2219 kW dengan tegangan rata-rata sistem 24,3760 kV.



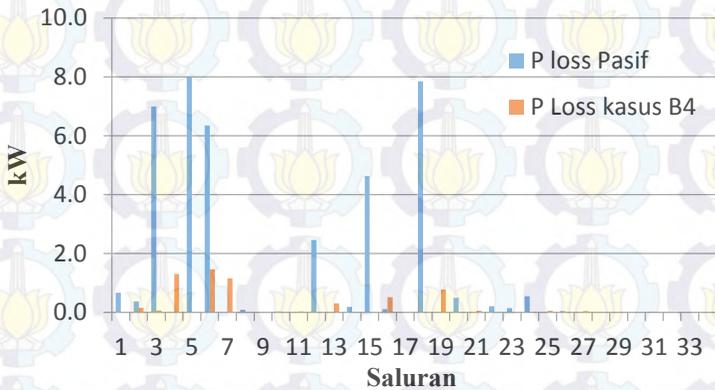
Gambar 4.19 Losses saluran pada kasus B3



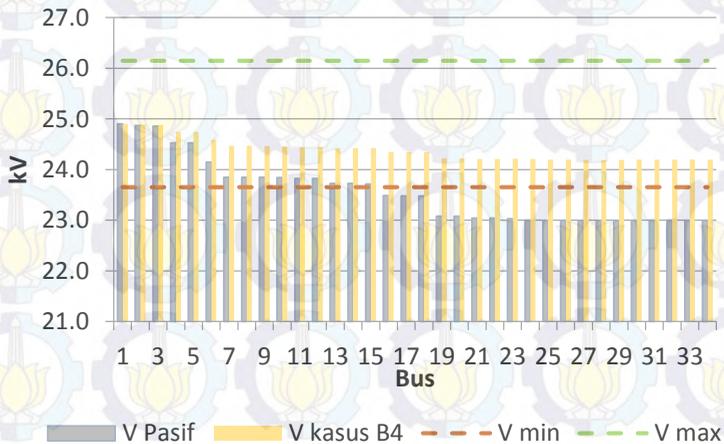
Gambar 4.20 Tegangan setiap bus pada kasus B3

4.2.2.4 Kasus B4

Pada kasus B4 sistem jaringan IEEE 34 bus dipasangkan DG pada bus 24, 25 dan 30 dengan kapasitas masing-masing 0,101 MW dan 0,074 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan 4.22. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 6,0499 kW dengan tegangan rata-rata sistem 24,3823 kV.



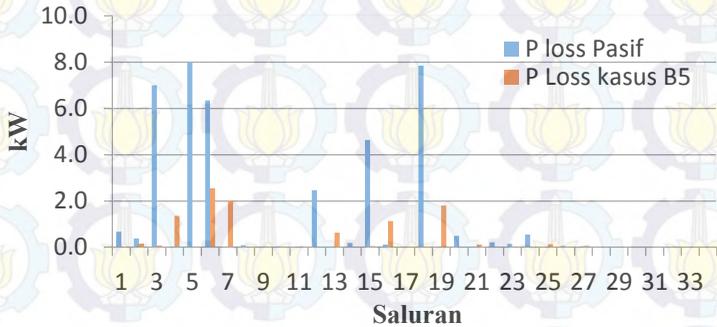
Gambar 4.21 Losses saluran pada kasus B4



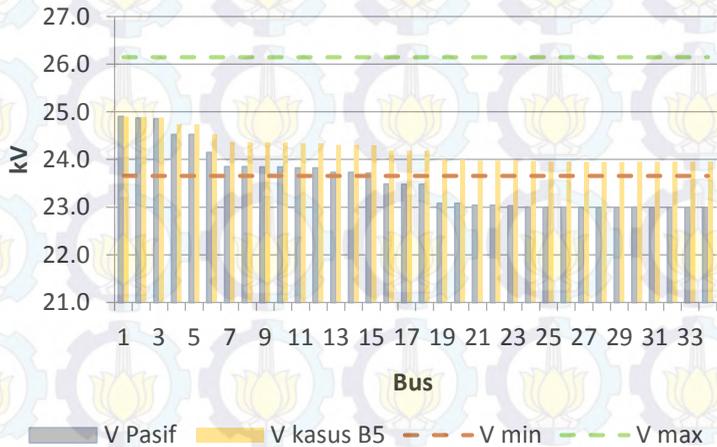
Gambar 4.22 Tegangan setiap bus pada kasus B4

4.2.2.5 Kasus B5

Pada kasus B5 sistem jaringan IEEE 34 bus dipasangkan DG pada bus 24, 25, 30 dan 4 dengan kapasitas masing-masing 0,0758 MW dan 0,055 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.23 dan 4.24. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 10,2212 kW dengan tegangan rata-rata sistem 24,2261 kV.



Gambar 4.23 Losses saluran pada kasus B5



Gambar 4.24 Tegangan setiap bus pada kasus B5

4.2.2.6 Analisis Kasus B

Dari hasil kasus B1 Gambar 4.15 dan 4.16 dapat diketahui bahwa total rugi saluran sistem IEEE 34 bus tanpa DG sebesar 39,2436 kW dan kondisi tegangan pada bus 16-34 mengalami keadaan *undervoltage* dimana tegangannya dibawah 0,95 p.u. Selanjutnya sistem 34 bus diuji dengan pemasangan DG hingga multi DG dengan kapasitas total yang tetap yaitu sebesar 0,303 MW dan 0,220 MVAR (50% dari total beban) sebagai solusi untuk mengurangi rugi daya dan juga memperbaiki nilai tegangan.

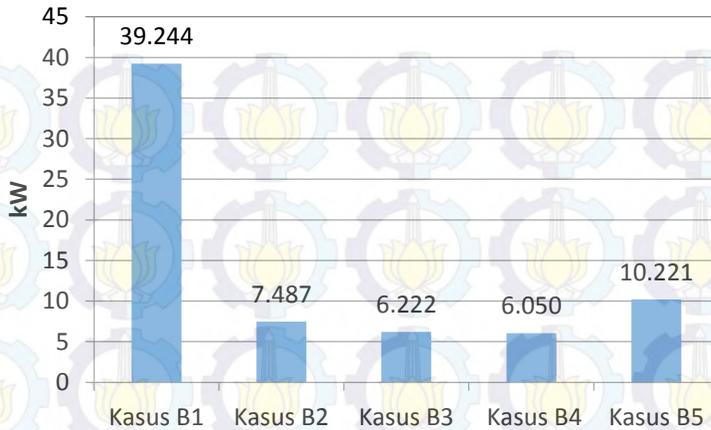
Pada kasus B2 Gambar 4.17 dan 4.18, terlihat bahwa pemasangan 1 DG pada bus 24 dapat mengurangi nilai rugi saluran hingga 7,4875 kW dan nilai tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan tegangan rata-rata sistem 24,3650 kV.

Pada kasus B3 Gambar 4.19 dan 4.20, terlihat bahwa pemasangan 2 DG pada bus 24 dan 25 dapat mengurangi rugi saluran hingga 6,2219 kW nilai tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan tegangan rata-rata sistem 24,3760 kV lebih baik dari kasus B1 dan kasus B2.

Pada kasus B4 Gambar 4.21 dan 4.22, terlihat bahwa pemasangan 3 DG pada bus 24, 25 dan 30 dapat mengurangi rugi saluran hingga 6,0499 kW lebih baik dari kasus B1, B2 dan B3 dan kondisi tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan rata-rata tegangan sistem 24,3823 kV.

Pada kasus B5 Gambar 4.23 dan 4.24, nilai rugi saluran dapat dikurangi hingga 10,2212 kW, hasil perbaikan nilai rugi saluran tidak sebaik dengan kasus sebelumnya kasus B4 dengan pemasangan 3 DG. Nilai tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. namun hasilnya juga tidak sebaik kasus sebelumnya dengan tegangan rata-rata sistem 12,4625 kV.

Rangkuman hasil simulasi kasus B terlihat pada Gambar 4.25. Hasil terbaik untuk memperbaiki nilai rugi saluran didapatkan dengan penempatan 3 DG (kasus B4) pada bus 24, 25 dan 30. Nilai rugi daya dapat diturunkan hingga 6,050 kW.



Gambar 4.25 Perbandingan nilai rugi daya semua kasus dalam kasus B

4.2.3 Sistem Jaringan IEEE 69 Bus (Kasus C)

Terdapat 7 kasus yang akan dibahas untuk sistem jaringan IEEE 69 bus yang ditunjukkan pada Tabel 4.20. Total beban sistem jaringan IEEE 34 bus adalah 3,783 MW dan 2,6841 MVAR, sehingga kapasitas total DG adalah 1,8915 MW dan 1,3420 MVAR.

Tabel 4.20 Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 69 Bus

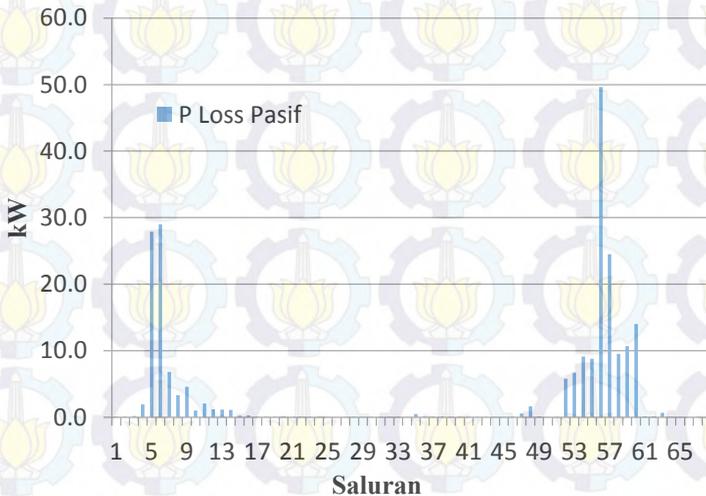
Kasus	Lokasi DG	Kapasitas per DG
Kasus C1 – <i>Base Case</i>	Pasif (tanpa DG)	-
Kasus C2	Bus 61	1,891 MW dan 1,342 MVAR
Kasus C3	Bus 61 64	0,9457 MW dan 0,67125 MVAR
Kasus C4	Bus 61 64 59	0,6305 MW dan 0,4475 MVAR

Tabel 4.20 Studi Kasus Sistem Jaringan IEEE 69 Bus (lanjutan)

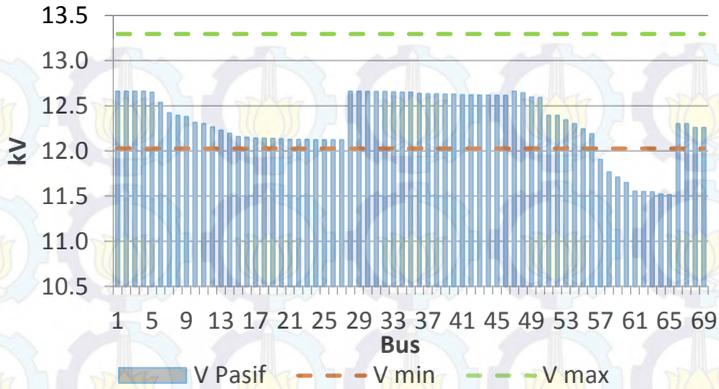
Kasus	Lokasi DG	Kapasitas per DG
Kasus C5	Bus 61 64 59 21	0,4730 MW dan 0,3356 MVAR
Kasus C6	Bus 61 64 59 21 24	0,3783 MW dan 0,2685 MVAR
Kasus C7	Bus 61 64 59 21 24 33	0,3153 MW dan 0,2240 MVAR

4.2.3.1 Kasus C1-base case

Merupakan Sistem Jaringan IEEE 69 Bus yang belum dilakukan pemasangan DG. Data saluran dan beban sudah ditunjukkan pada bab 3. Hasil dari aliran daya pasif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.26 dan 4.27. Total rugi daya aktif (*P losses*) adalah sebesar 223,7626 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,322 kV.



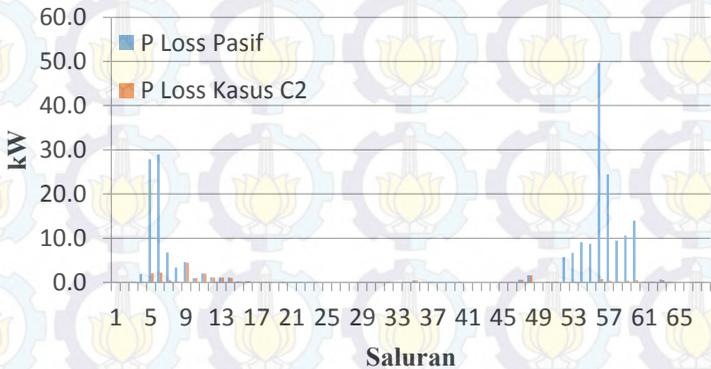
Gambar 4.26 Losses saluran pada kasus C1



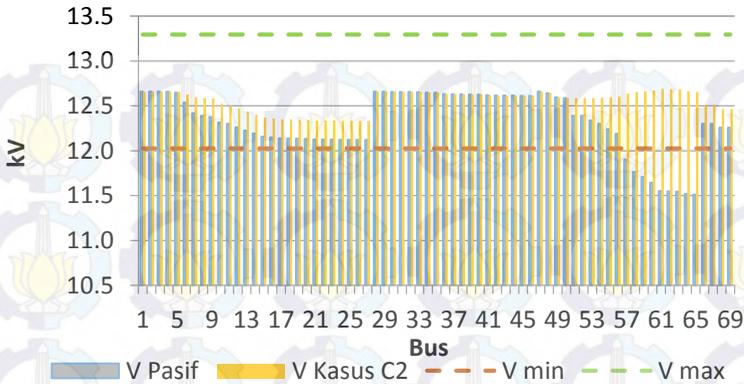
Gambar 4.27 Tegangan setiap bus pada kasus C1

4.2.3.2 Kasus C2

Pada kasus C2 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 dengan kapasitas 1,891 MW dan 1,342 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.28 dan 4.29. Total rugi daya aktif (*P losses*) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 22,8391 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,5583 kV.



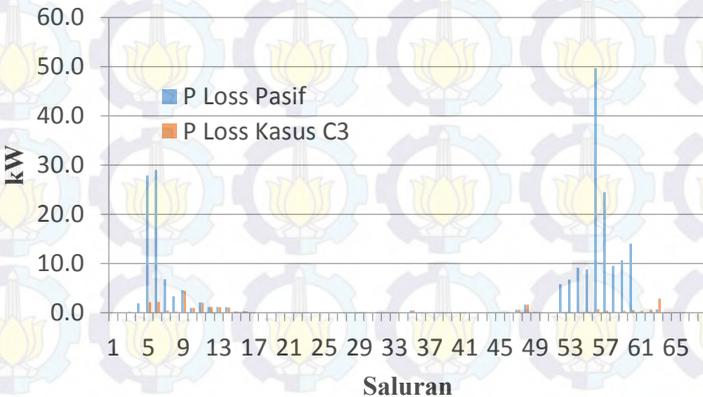
Gambar 4.28 Losses saluran pada kasus C2



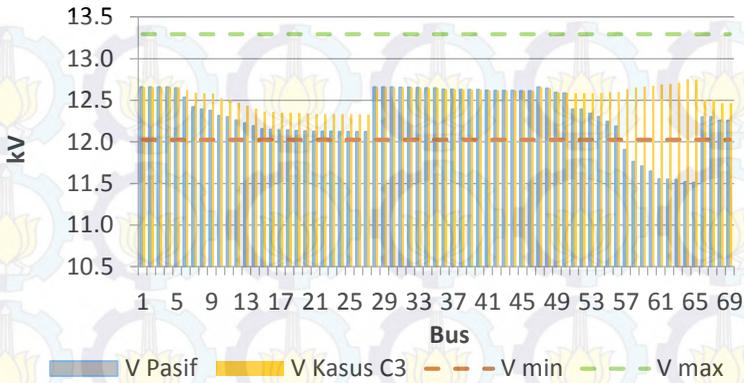
Gambar 4.29 Tegangan setiap bus pada kasus C2

4.2.3.3 Kasus C3

Pada kasus C3 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 dan 64 dengan kapasitas masing-masing 0,9457 MW dan 0,67125 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.30 dan 4.31. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 25,8618 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,5613 kV.



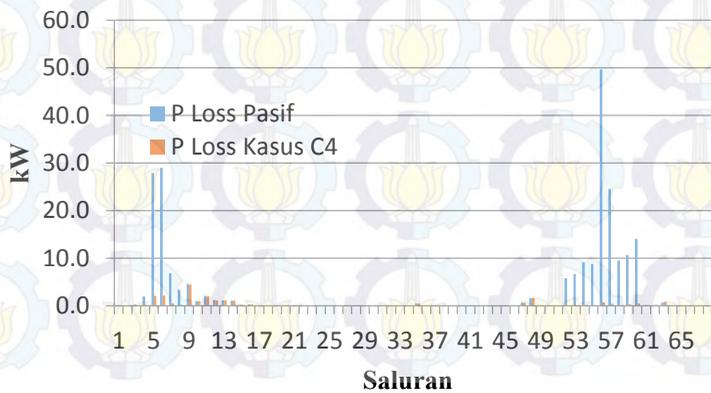
Gambar 4.30 Losses saluran pada kasus C3



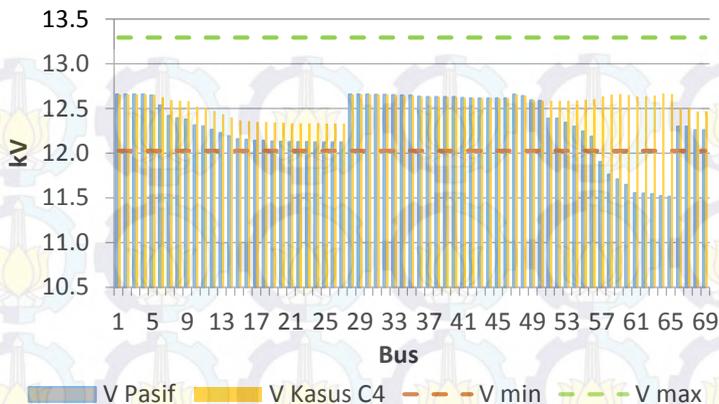
Gambar 4.31 Tegangan setiap bus pada kasus C3

4.2.3.4 Kasus C4

Pada kasus C4 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 64 dan 59 dengan kapasitas masing-masing 0,6305 MW dan 0,4475 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.32 dan 4.33. Total rugi daya aktif (*P losses*) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 23,0259 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,5560 kV.



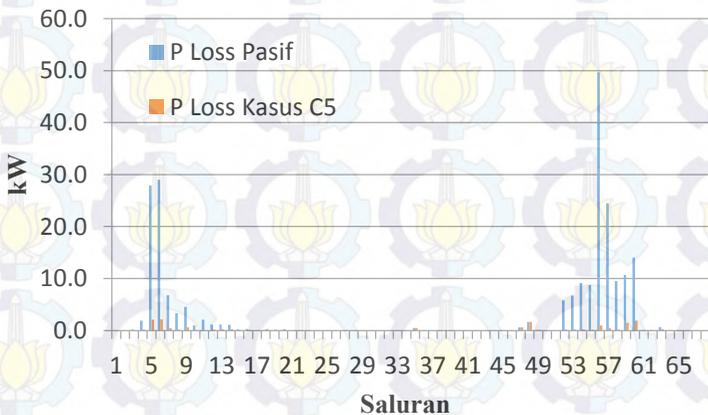
Gambar 4.32 *Losses* saluran pada kasus C4



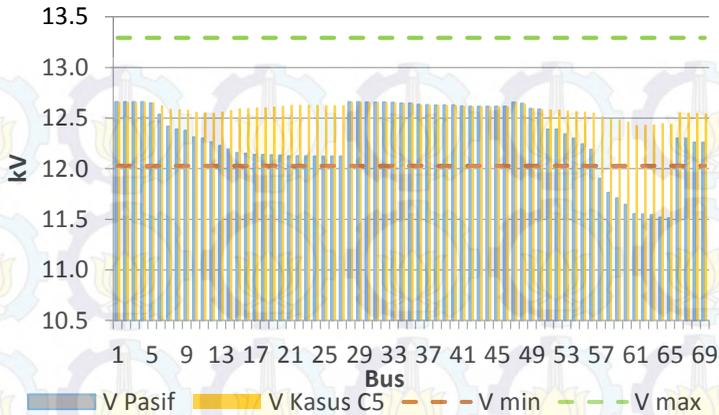
Gambar 4.33 Tegangan setiap bus pada kasus C4

4.2.3.5 Kasus C5

Pada kasus C5 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 64 59 dan 21 dengan kapasitas masing-masing 0,4730 MW dan 0,3356 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.34 dan 4.35. Total rugi daya aktif (*P losses*) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 16,4439 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,5929 kV.



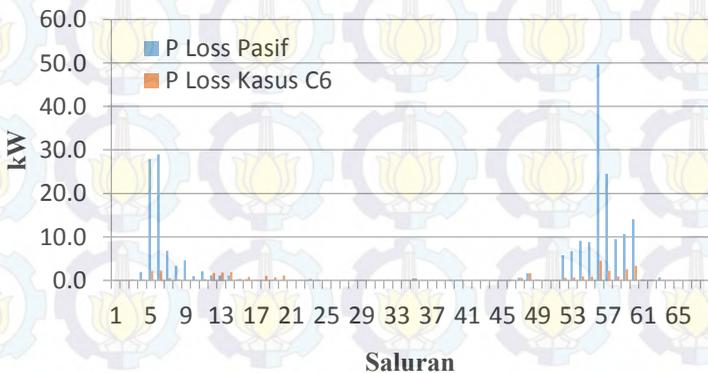
Gambar 4.34 Losses saluran pada kasus C5



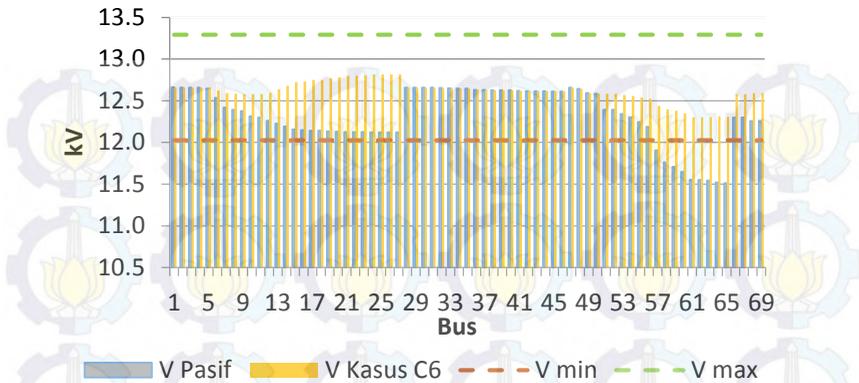
Gambar 4.35 Tegangan setiap bus pada kasus C5

4.2.3.6 Kasus C6

Pada kasus C6 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 64 59 21 dan 24 dengan kapasitas masing-masing 0,3783 MW dan 0,2685 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.36 dan 4.37. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 34,8280 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,6131 kV.



Gambar 4.36 Losses saluran pada kasus C6



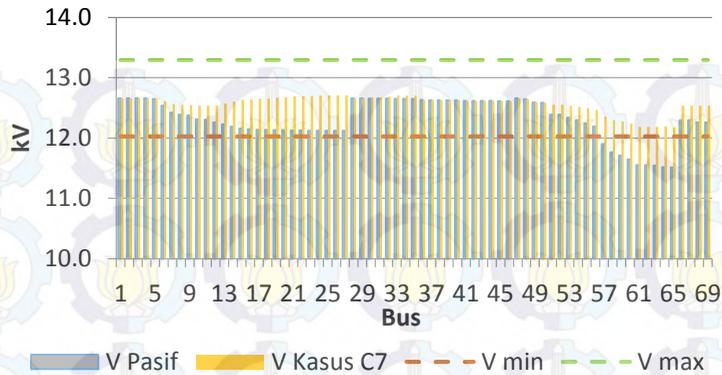
Gambar 4.37 Tegangan setiap bus pada kasus C6

4.2.3.7 Kasus C7

Pada kasus C7 sistem jaringan IEEE 69 bus dipasangkan DG pada bus 61 64 59 21 24 dan 33 dengan kapasitas masing-masing 0,3153 MW dan 0,2240 MVAR. Hasil dari aliran daya aktif menunjukkan nilai rugi saluran dan tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.38 dan 4.39. Total rugi daya aktif (P_{losses}) yang dapat diperbaiki dengan penempatan satu DG adalah sebesar 47,8068 kW dengan tegangan rata-rata sistem 12,5706 kV.



Gambar 4.38 Losses saluran pada kasus C7



Gambar 4.39 Tegangan setiap bus pada kasus C7

4.2.3.8 Analisis Kasus C

Dari hasil kasus C1 Gambar 4.26 dan 4.27 dapat diketahui bahwa total rugi saluran sistem IEEE 69 tanpa DG bus sebesar 223,7626 kW dan kondisi tegangan pada bus 57-65 mengalami keadaan *undervoltage* dimana tegangannya dibawah 0,95 p.u. Selanjutnya sistem 69 bus diuji dengan pemasangan DG hingga multi DG dengan kapasitas total yang tetap yaitu sebesar 1,8915 MW dan 1,34205 MVAR (50% dari total beban) sebagai solusi untuk mengurangi rugi daya dan juga memperbaiki nilai tegangan.

Pada kasus C2 Gambar 4.28 dan 4.29, terlihat bahwa pemasangan 1 DG pada bus 61 dapat mengurangi nilai rugi saluran hingga 22,8391 kW dan memperbaiki nilai tegangan setiap bus. Tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan tegangan rata-rata sistem 12,5583 kV.

Pada kasus C3 Gambar 4.30 dan 4.31, terlihat bahwa pemasangan 2 DG pada bus 61 dan 64 dapat mengurangi rugi saluran hingga 25,8618 kW. Hasil pengurangan rugi daya tersebut tidak sebaik pada kasus C2. Nilai tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan tegangan rata-rata sistem 12,5613 lebih baik dari kasus C1 dan kasus C2.

Pada kasus C4 Gambar 4.32 dan 4.33, terlihat bahwa pemasangan 3 DG pada bus 61, 64 dan 59 dapat mengurangi rugi saluran hingga 23,0259 kW lebih baik dari kasus C3 namun idak sebaik

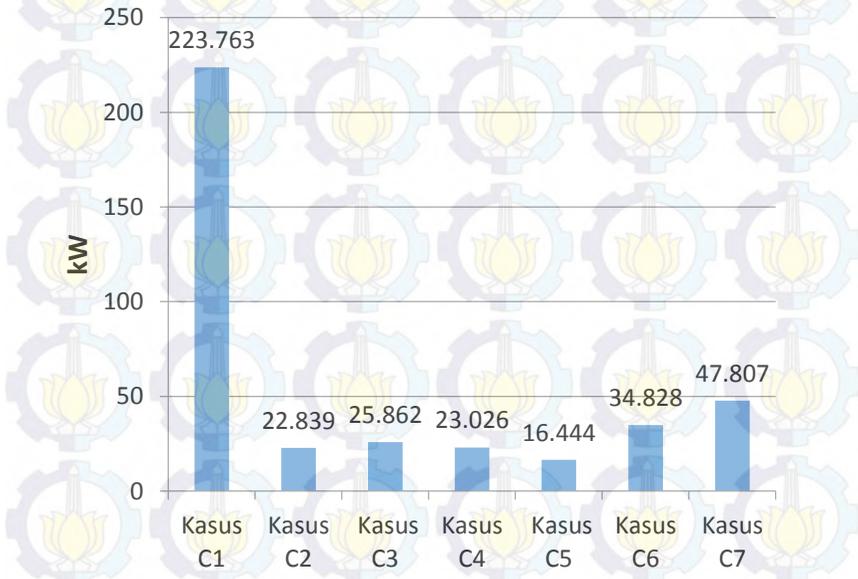
pada kasus C2. Kondisi tegangan setiap bus sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan rata-rata tegangan sistem 12,5560 kV.

Pada kasus C5 Gambar 4.34 dan 4.35, nilai rugi saluran dapat dikurangi hingga 16,4439 kW. Hasil perbaikan nilai rugi saluran tersebut lebih baik dari kasus-kasus sebelumnya. Nilai tegangan setiap bus juga sudah masuk dalam range 0,95 p.u. – 1,05 p.u. dengan rata-rata tegangan sistem 12,5929 kV.

Pada kasus C6 Gambar 4.36 dan 4.37, nilai rugi saluran dapat dikurangi hingga 34,8280 kW. Hasil perbaikan nilai rugi saluran tersebut tidak lebih baik dari kasus C5.

Pada kasus 7C Gambar 4.38 dan 4.39, nilai rugi saluran dapat dikurangi hingga 47,8068 kW. Hasil perbaikan nilai rugi saluran tersebut tidak lebih baik dari kasus C5 dan C6.

Rangkuman hasil pengurangan rugi daya pada kasus C dapat dilihat dari Gambar 4.40, hasil terbaik untuk memperbaiki nilai rugi saluran dan tegangan sistem adalah dengan penempatan 4 DG (kasus C5) pada bus 61, 64, 59 dan 21. Nilai rugi daya dapat diturunkan hingga 16,444 kW.



Gambar 4.40 Perbandingann ilai rugi daya semua kasus dalam kasus C

4.3 Validasi Hasil Perhitungan *K-means Clustering* dengan Metode LSF (Loss Sensitivity Factor)

Pada penelitian ini digunakan metode *K-means Clustering* untuk penentuan lokasi penempatan DG pada sistem jaringan distribusi radial. Hasil perhitungan metode *K-means Clustering* tersebut perlu divalidasi untuk dibuktikan nilai kebenarannya. Salah satu alat/*tool* yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem tenaga listrik dan memvalidasi hasil perhitungan adalah dengan membandingkan hasil metode *K-means Clustering* dengan metode lainnya. Metode lain yang digunakan sebagai pembanding adalah metode penempatan DG dengan metode LSF (Loss Sensitivity Factor).

4.3.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 33 Bus

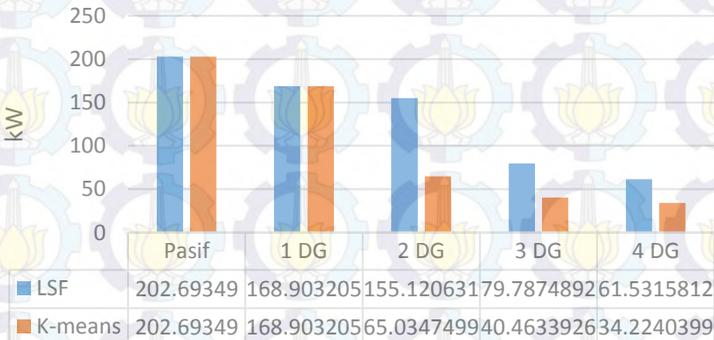
Tabel 4.21 menunjukkan penentuan kandidat pemasangan DG pada dua metode yang akan dibandingkan pada kasus IEEE 33 bus. Perbandingan dua metode akan dilakukan untuk pemasangan DG dari *single* DG hingga *multi* DG

Tabel 4.21 Kandidat bus pemasangan DG pada metode *K-means Clustering* dan LSF pada IEEE 33 bus

Kasus	<i>K-means Clustering</i>	LSF
A1	Pasif (tanpa DG)	Pasfi (tanpa DG)
A2	25	25
A3	25 31	25 24
A4	25 31 17	25 24 31
A5	25 31 17 33	25 24 31 8

Gambar 4.41 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total *P Losses* dari setiap kasus pada Sistem Jaringan 33 Bus. Dari tabel dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *K-means Clustering* mendapatkan hasil pengurangan rugi daya aktif yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode LSF untuk kasus IEEE 33 bus. Dapat dilihat dari gambar 4.41 pengurangan rugi daya terbaik pada pemasangan DG keempat dengan hasil pengurangan rugi daya menjadi

34,224 kW dengan metode *K-means Clustering*, sedangkan metode LSF memiliki hasil yang tidak lebih baik dari *K-means Clustering* terlihat dari penurunan rugi daya terbaiknya hanya mampu menurunkan rugi daya sampai nilai 61,5316 kW dengan pemasangan 4 DG.



Gambar 4.41 Hasil Validasi nilai total P losses setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 33 bus

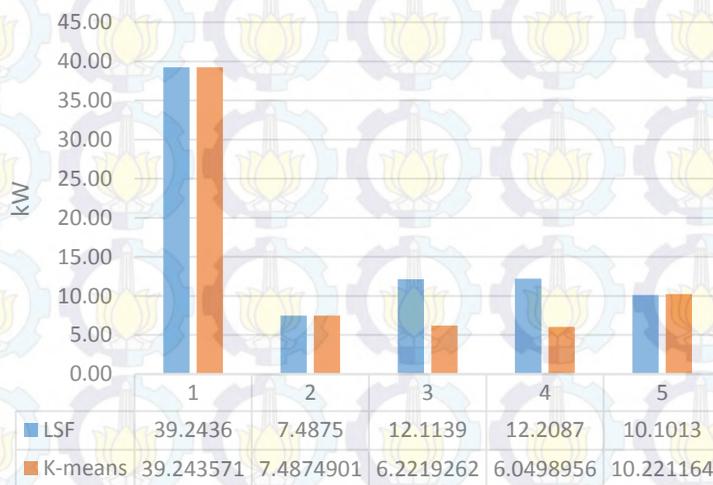
4.3.2 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 34 Bus

Tabel 4.23 menunjukkan penentuan kandidat pemasangan DG pada dua metode yang akan dibandingkan pada kasus IEEE 34 bus. Perbandingan dua metode akan dilakukan untuk pemasangan DG dari *single* DG hingga *multi* DG

Tabel 4.22 Kandidat bus pemasangan DG pada metode *K-means Clustering* dan LSF pada IEEE 34 bus

Kasus	<i>K-means Clustering</i>	LSF
B1	Pasif (tanpa DG)	Pasfi (tanpa DG)
B2	24	24
B3	24 25	24 11
B4	24 25 30	24 11 16
B5	24 25 30 4	24 11 16 25

Tabel 4.24 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total P Losses dari setiap kasus pada Sistem Jaringan 34 Bus. Dari tabel dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *K-means Clustering* mendapatkan hasil pengurangan rugi daya aktif yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode LSF untuk kasus IEEE 34 bus. Dapat dilihat dari tabel 4.24 pengurangan rugi daya terbaik pada pemasangan DG ketiga dengan hasil pengurangan rugi daya menjadi 6.0499 kW dengan metode *K-means Clustering*, sedangkan metode LSF memiliki hasil yang tidak lebih baik dari *K-means Clustering* terlihat dari penurunan rugi daya terbaiknya hanya mampu menurunkan rugi daya sampai nilai 7.4874 kW dengan pemasangan 1 DG.



Gambar 4.42 Hasil Validasi nilai total P losses setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 34 bus

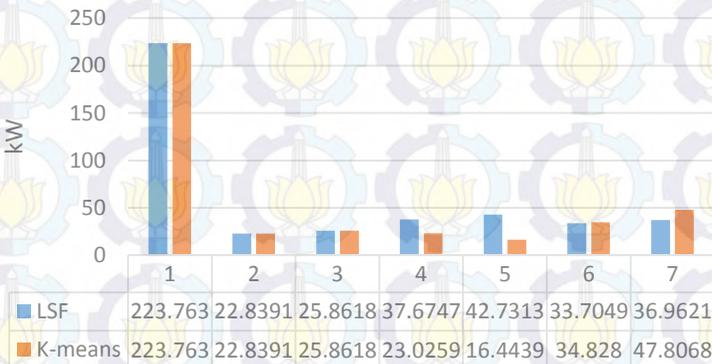
4.3.3 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 69 Bus

Tabel 4.25 menunjukkan penentuan kandidat pemasangan DG pada dua metode yang akan dibandingkan pada kasus IEEE 69 bus. Perbandingan dua metode akan dilakukan untuk pemasangan DG dari *single* DG hingga *multi* DG.

Tabel 4.23 Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means Clustering dan LSF pada IEEE 69 bus

Kasus	<i>K-means Clustering</i>	LSF
C1	Pasif (tanpa DG)	Pasif (tanpa DG)
C2	61	61
C3	61 64	61 64
C4	61 64 59	61 64 49
C5	61 64 59 21	61 64 49 12
C6	61 64 59 21 24	61 64 49 12 65
C7	61 64 59 21 24 33	61 64 49 12 65 21

Tabel 4.26 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total P_{Losses} dari setiap kasus pada Sistem Jaringan 69 Bus. Dari tabel dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *K-means Clustering* mendapatkan hasil pengurangan rugi daya aktif yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode LSF untuk kasus IEEE 69 bus. Dapat dilihat dari tabel 4.26 pengurangan rugi daya terbaik pada pemasangan DG keempat dengan hasil pengurangan rugi daya menjadi 16.4439 kW dengan metode *K-means Clustering*, sedangkan metode LSF memiliki hasil yang tidak lebih baik dari *K-means Clustering* terlihat dari penurunan rugi daya terbaiknya hanya mampu menurunkan rugi daya sampai nilai 22.8391 kW dengan pemasangan 1 DG.



Gambar 4.43 Hasil Validasi nilai total P_{Losses} setiap kasus pada sistem jaringan IEEE 69 bus

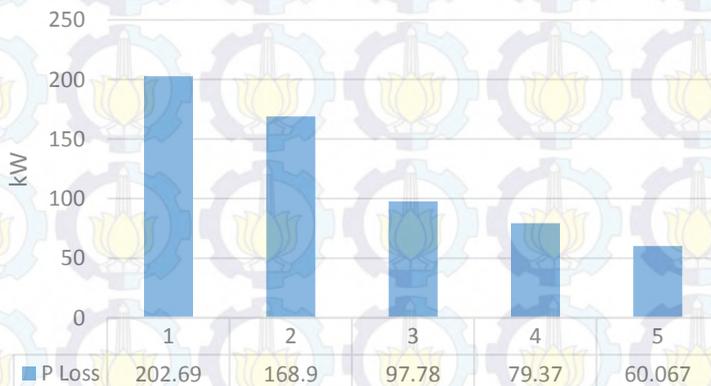
4.4 Analisis pengurangan rugi daya dengan *sizing* DG secara proporsional terhadap beban pada bus kandidat

4.4.1 Kasus IEEE 33 Bus

Tabel 4.24 menunjukkan lokasi pemasangan dan kapasitas DG dari setiap kasus pada kasus A.

Tabel 4.24 Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan *sizing* sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus A.

Kasus	Jumlah DG	Lokasi DG	Kapasitas	
			P (MW)	Q (MVAR)
A1	0	-	-	-
A2	1	25	1.875	1.15
A3	2	25	1.3686	0.85185
		31	0.4888	0.2981
A4	3	25	1.2383	0.7931
		31	0.4422	0.277
		17	0.1769	0.0793
A5	4	25	1.13065	0.697
		31	0.404	0.244
		17	0.1615	0.0697
		33	0.1615	0.0697



Gambar 4.43 Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus A dengan *sizing* DG sesuai porsi beban setiap kandidat

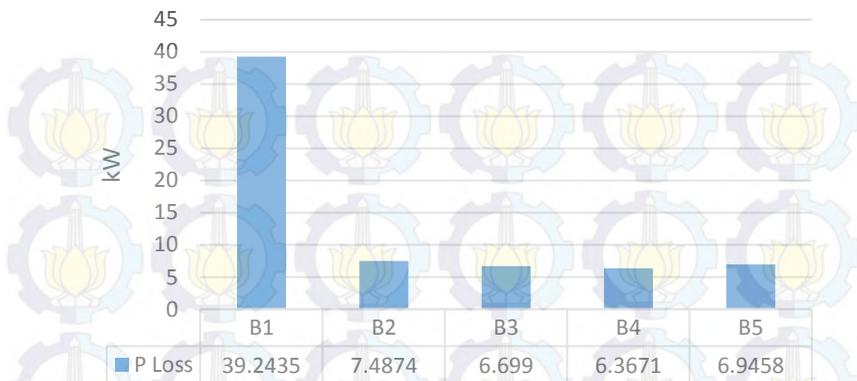
Pada gambar 4.43 ditunjukkan hasil pengurangan rugi daya dengan sizing DG sesuai porsi beban pada setiap kandidat hasil K-means Clustering pada IEEE 33 bus. Pengurangan rugi daya terbaik didapatkan pada pemasangan DG keempat dengan pengurangan rugi daya aktif menjadi 60,067 kW atau turun sebesar 70,36% dari nilai rugi daya aktif awal.

4.4.2 Kasus IEEE 34 Bus

Tabel 4.25 menunjukkan lokasi pemasangan dan kapasitas DG dari setiap kasus pada kasus A.

Tabel 4.25 Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus B.

Kasus	Jumlah DG	Lokasi DG	Kapasitas	
			P (MW)	Q (MVAR)
B1	0	-	-	-
B2	1	24	0.303	0.22
B3	2	24	0.2284	0.1667
		25	0.4888	0.2981
B4	3	24	0.184756	0.127
		25	0.06035	0.041
		30	0.05789	0.0511
B5	4	24	0.181	0.125
		25	0.0592	0.04
		30	0.05674	0.05
		4	0.006	0.005



Gambar 4.44 Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus B dengan sizing DG sesuai porsi beban setiap kandidat.

Pada gambar 4.44 ditunjukkan hasil pengurangan rugi daya dengan sizing DG sesuai porsi beban pada setiap kandidat hasil K-means Clustering pada IEEE 34 bus. Pengurangan rugi daya terbaik didapatkan pada pemasangan DG keempat dengan pengurangan rugi daya aktif menjadi 6,367 kW atau turun sebesar 83,77% dari nilai rugi daya aktif awal.

4.4.3 Kasus IEEE 69 Bus

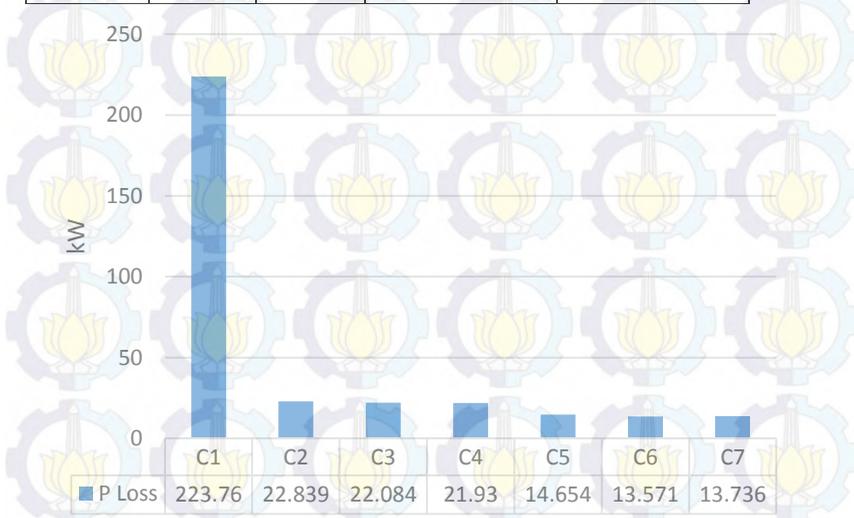
Tabel 4.26 menunjukkan lokasi pemasangan dan kapasitas DG dari setiap kasus pada kasus A.

Tabel 4.26 Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus C.

Kasus	Jumlah DG	Lokasi DG	Kapasitas	
			P (MW)	Q (MVAR)
C1	0	-	-	-
C2	1	61	1.891	1.342
C3	2	61	1.599186948	1.134948571
		64	0.291813052	0.207051429
C4	3	61	1.497392743	1.062117647
		64	0.273238065	0.193764706
		59	0.120369192	0.086117647

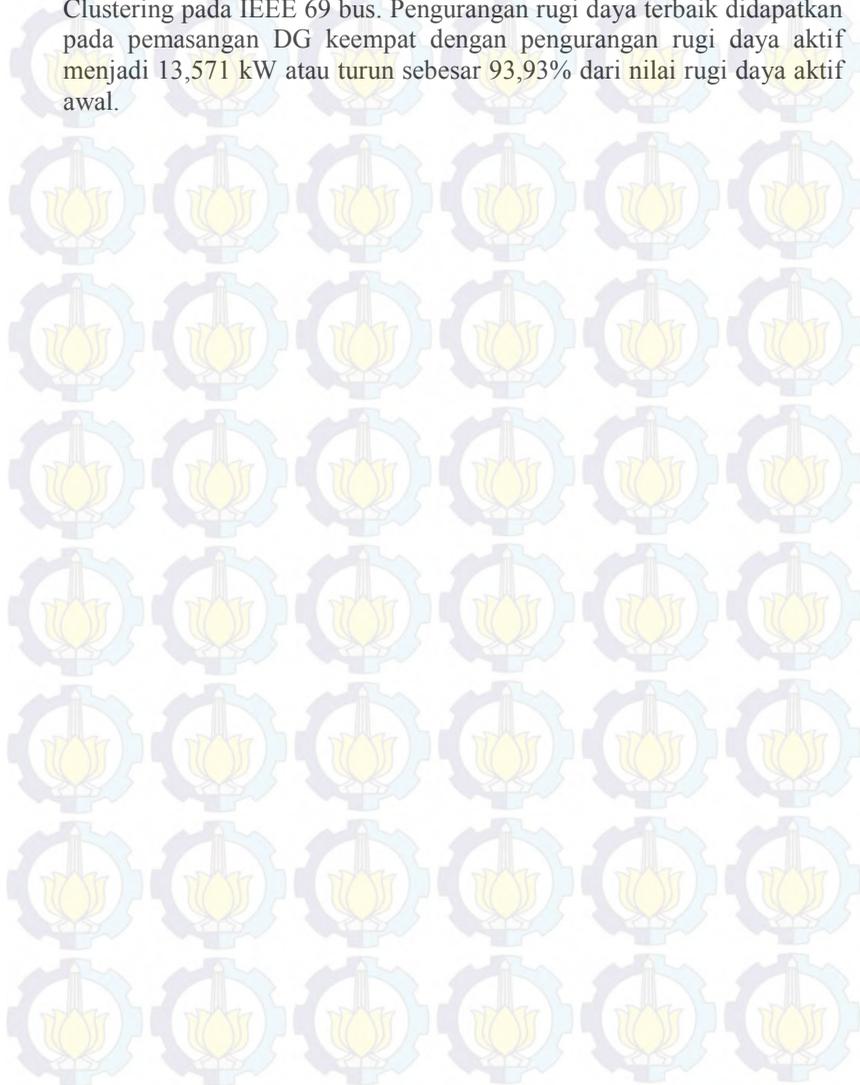
Tabel 4.26 Kandidat bus pemasangan DG pada metode K-means dengan sizing sesuai porsi beban setiap kandidat pada kasus C. (lanjutan)

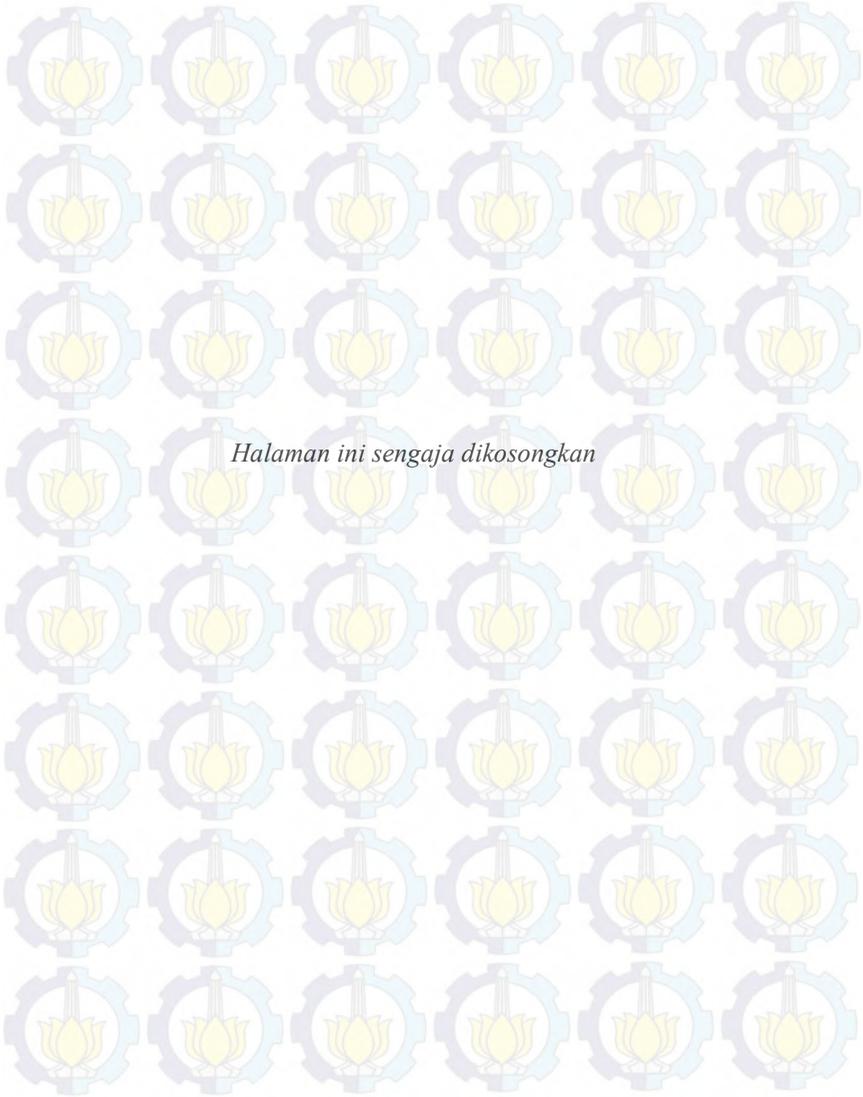
Kasus	Jumlah DG	Lokasi DG	Kapasitas	
			P (MW)	Q (MVAR)
C5	4	61	1.39608546	0.990603491
		64	0.254751929	0.180718204
		59	0.112225519	0.080319202
		21	0.127937092	0.090359102
C6	5	61	1.373265616	0.974403925
		64	0.250587858	0.177762878
		59	0.110391127	0.079005724
		21	0.125845884	0.088881439
		24	0.030909515	0.021946034
C7	6	61	1.362133179	0.966501217
		64	0.248556456	0.176321168
		59	0.109496236	0.078364964
		21	0.124825709	0.088160584
		24	0.030658946	0.021768045
		33	0.015329473	0.010884023



Gambar 4.45 Hasil pengurangan rugi daya aktif pada kasus C dengan sizing DG sesuai porsi beban setiap kandidat.

Pada gambar 4.45 ditunjukkan hasil pengurangan rugi daya dengan sizing DG sesuai porsi beban pada setiap kandidat hasil K-means Clustering pada IEEE 69 bus. Pengurangan rugi daya terbaik didapatkan pada pemasangan DG keempat dengan pengurangan rugi daya aktif menjadi 13,571 kW atau turun sebesar 93,93% dari nilai rugi daya aktif awal.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Metode penentuan DG menggunakan *K-means Clustering* memiliki konvergensi yang cepat. Untuk sistem jaringan IEEE 33 bus membutuhkan 8 kali iterasi, sistem jaringan IEEE 34 bus membutuhkan 5 kali iterasi dan sistem jaringan IEEE 69 bus membutuhkan 7 kali itersi untuk menentukan pengelompokan bus
- Hasil perhitungan aliran daya aktif pada kasus IEEE 33 bus (Kasus A) memiliki perbaikan nilai losses saluran terbaik pada kasus 5A yaitu pada saat pemasangan 4 DG dengan nilai losses menjadi 34,2240 kW atau turun 83,11% dari nilai losses awal.
- Hasil perhitungan aliran daya aktif pada kasus IEEE 34 bus (Kasus B) memiliki perbaikan nilai losses saluran terbaik pada kasus 4B yaitu pada saat pemasangan 3 DG dengan nilai losses menjadi 6,0499 kW atau turun 84,58% dari nilai losses awal.
- Hasil perhitungan aliran daya aktif pada kasus IEEE 69 bus (Kasus C) memiliki perbaikan nilai losses saluran terbaik pada kasus 5C yaitu pada saat pemasangan 4 DG dengan nilai losses menjadi 16,4439 kW atau turun 92,65% dari nilai losses awal.
- Hasil Validasi untuk nilai tegangan dan losses memiliki nilai error terbesar untuk tegangan yaitu 0,021% pada kasus 7A dan untuk losses yaitu 0,6943% pada kasus 3A
- Dengan total kapasitas DG yang sama dan pembagian kapasitas yang sama pada tiap DG, jumlah efektif pemasangan DG pada sistem berjumlah 3-4 DG.
- Penambahan jumlah DG yang semakin banyak kurang efisien sebagai solusi perbaikan nilai rugi daya karena terlihat pada

kasus B dan C nilai DG yang semakin banyak tidak membuat nilai rugi daya semakin turun, sebaliknya nilai rugi daya justru naik.

- Metode K-means clustering dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan lokasi pemasangan DG

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Untuk penelitian selanjutnya bisa dikembangkan penentuan kapasitas DG yang tepat untuk setiap lokasi yang telah ditentukan oleh K-means Clustering.
- Untuk penelitian selanjutnya juga dapat dikembangkan dengan plant real dan juga pengembangan ke arah sistem distribusi tidak seimbang.
- Pemodelan DG untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memodelkan DG sebagai PV model.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mohamed Imran a, M. Kowsalya, D.P. Kothari. "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks". *Electrical Power and Energy Systems* 63, 461–472 ELSEVIER, Juli 2014.
- [2] Juan Andrés Martín García 1, Antonio José Gil Mena. "Optimal distributed generation location and size using a modified teaching–learning". *Electrical Power and Energy Systems* 50, 65–75. ELSEVIER Maret 2013.
- [3] N. V. V. Karunakar.Jureedi, K. M. Rosalina, N. Prema Kumar. "Clustering Analysis and its Application in Electrical Distribution System". *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems (IJEECS)*. 2013.
- [4] Saadat, Hadi "*Power System Analysis*", WCB McGraw-Hill, 1999
- [5] Kersting, William H. "*Distribution System Modeling and Analysis*". CRC Pres, America, 2002
- [6] D. Bhujel, B. Ahikary, A. K. Mishra, Phd. "A Load Flow Algorithm for Radial Distribution System with Distributed Generation", IEEE ICSET, Nepal, 2012.
- [7] U.Eminogiu and H.Hocaoglu,. "" . Department of Electronics Engineering, Gebze Institute of Technology. Kocaeli, Turkey, Januari 2009
- [8] Janev Vanco., "Implementation and Evaluation of a Distribution Load Flow Algorithm for Networks with Distributed Generator", semester work, Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, 2009
- [9] Priyanka Paliwal, N. P. Patidar, R. K. Nema, "Planning of grid integrated distributed generators: A review of technology, objectives and techniques". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40, 557–570, ELSEVIER, Agustus 2014.
- [10] S.G Bharathi Dasan and S.Selvi Ramalakshmi, "Optimal Siting and Sizing of Hybrid Distributed Generation using EP", Thrid International Conference on Power System, Kharagpun, India, 2009.
- [11] Ackermann Thomas, Andersson Goran, Soder Lennart. "Distributed Generation : a definition". *Electric Pwer System Research*, Zurich, Swiss, Desember 2000.

- [12] D. Johan, B. Rnnie, "Distributed Generation in Future Grid". Kuleuven-ESAT/ELECTA, 2003.
- [13] Trupti M. Kodiariya, Prashant R Makwana. "Review on determining number of cluster in K-means Clustering". International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, November 2013.
- [14] Wu Junjie. "*Advance in K-means Clustering*" Springer Pres, 2012.
- [15] Florina Scarlatache, Gheorghe Grigoraş, Gianfranco Chicco, Gheorghe Cârţină. "Using k-Means Clustering Method in Determinationof the Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Electrical Distribution Systems". IEEE 2012.
- [16] S. Gopiya Naik, D.K Khatod, M.P. Sharma, "Optimal Allocation of Combined DG and Capacitor for Real Power Loss Minimization in Distribution Networks", Electrical Power and Energy System, Juni 2013.
- [17] M. Ettehadi, H. Ghasemi, S. Vaez-Zadeh. "Voltage Stability DG Placement in Distribution Network".IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 28, Januari 2013.

LAMPIRAN

1. Data Saluran IEEE 33 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	r	x
1	2	0.0922	0.0470
2	3	0.4930	0.2511
3	4	0.3660	0.1864
4	5	0.3811	0.1941
5	6	0.8190	0.7070
6	7	0.1872	0.6188
7	8	0.7144	0.2351
8	9	1.0300	0.7400
9	10	1.0440	0.7400
10	11	0.1966	0.0650
11	12	0.3744	0.1238
12	13	1.4680	1.1550
13	14	0.5416	0.7129
14	15	0.5910	0.5260
15	16	0.7463	0.5450
16	17	1.2890	1.7210
17	18	0.7320	0.5740
2	19	0.1640	0.1565
19	20	1.5042	1.3554
20	21	0.4095	0.4784
21	22	0.7089	0.9373
3	23	0.4512	0.3083
23	24	0.8980	0.7091
24	25	0.8960	0.7011
6	26	0.2030	0.1034
26	27	0.2842	0.1447
27	28	1.0590	0.9337
28	29	0.8042	0.7006
29	30	0.5075	0.2585
30	31	0.9744	0.9630
31	32	0.3105	0.3619
32	33	0.3410	0.5302

2. Data Beban IEEE 33 Bus

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
1	0.0000	0.0000
2	0.1000	0.0600
3	0.0900	0.0400
4	0.1200	0.0800
5	0.0600	0.0300
6	0.0600	0.0200
7	0.2000	0.1000
8	0.2000	0.1000
9	0.0600	0.0200
10	0.0600	0.0200
11	0.0450	0.0300
12	0.0600	0.0350
13	0.0600	0.0350
14	0.1200	0.0800
15	0.0600	0.0100
16	0.0600	0.0200
17	0.0600	0.0200
18	0.0900	0.0400
19	0.0900	0.0400
20	0.0900	0.0400
21	0.0900	0.0400
22	0.0900	0.0400
23	0.0900	0.0500
24	0.4200	0.2000
25	0.4200	0.2000
26	0.0600	0.0250
27	0.0600	0.0250
28	0.0600	0.0200
29	0.1200	0.0700
30	0.2000	0.6000
31	0.1500	0.0700
32	0.2100	0.1000
33	0.0600	0.0400
Total	3.7150	2.3000

3. Data Saluran IEEE 34 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	r	x
1	2	0.64988	0.65775
2	3	0.43577	0.44105
3	4	8.11854	8.21681
4	5	1.02577	0.5443
4	6	9.44602	9.56036
6	7	7.4888	7.57946
7	8	0.00364	0.00269
8	9	0.11287	0.08338
9	10	0.30221	0.16036
10	11	8.50984	4.51558
11	12	2.42835	1.28855
9	13	3.71762	2.74619
13	14	0.53551	0.28415
13	15	0.30585	0.22593
15	16	7.4425	5.49776
16	17	0.1893	0.13986
17	18	4.1232	2.18792
17	19	13.4104	9.9062
19	20	0.00364	0.00269
20	21	1.78416	1.31795
21	22	0.28631	0.15192
20	23	3.936	8.452
23	24	2.66	2.6922
21	25	2.12279	1.5681
25	26	0.10195	0.07531
26	27	0.49155	0.36311

3. Data Saluran IEEE 34 Bus (lanjutan)

Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	r	x
27	28	1.32538	0.97905
28	29	0.19298	0.14255
25	30	0.73551	0.54332
30	31	0.97583	0.72084
31	32	0.3131	0.23131
31	33	0.10195	0.07531
33	34	0.5896	0.43605

4. Data Beban IEEE 34 Bus

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
1	0.0000	0.0000
2	0.0180	0.1000
3	0.0000	0.0000
4	0.0050	0.0030
5	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000
9	0.0200	0.0010
10	0.0110	0.0060
11	0.0450	0.0230
12	0.0000	0.0000
13	0.0150	0.0070
14	0.0000	0.0000

4. Data Beban IEEE 34 Bus (lanjutan)

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
15	0.0020	0.0010
16	0.0150	0.0070
17	0.0010	0.0010
18	0.0000	0.0000
19	0.0000	0.0000
20	0.0050	0.0020
21	0.0110	0.0060
22	0.0000	0.0000
23	0.0000	0.0000
24	0.1500	0.0750
25	0.0490	0.0240
26	0.0030	0.0020
27	0.1500	0.1130
28	0.0080	0.0040
29	0.0200	0.0160
30	0.0470	0.0300
31	0.0130	0.0070
32	0.0090	0.0070
33	0.0090	0.0050
34	0.0000	0.0000
Total	0.6060	0.4400

5. Data Saluran IEEE 69 Bus

Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	r	x
1	2	0.0005	0.0012
2	3	0.0005	0.0012
3	4	0.0015	0.0036
4	5	0.0251	0.0294
5	6	0.366	0.1864
6	7	0.3811	0.1941
7	8	0.0922	0.047
8	9	0.0493	0.0251
9	10	0.819	0.2707
10	11	0.1872	0.0619
11	12	0.7114	0.2351
12	13	1.03	0.34
13	14	1.044	0.345
14	15	1.058	0.3496
15	16	0.1966	0.065
16	17	0.3744	0.1238
17	18	0.0047	0.0016
18	19	0.3276	0.1083
19	20	0.2106	0.069
20	21	0.3416	0.1129
21	22	0.014	0.0046
22	23	0.1591	0.0526
23	24	0.3463	0.1145
24	25	0.7488	0.2475
25	26	0.3089	0.1021
26	27	0.1732	0.0572
3	28	0.0044	0.0108
28	29	0.064	0.1565
29	30	0.3978	0.1315
30	31	0.0702	0.0232
31	32	0.351	0.116
32	33	0.839	0.2816
33	34	1.708	0.5646
34	35	1.474	0.4873

5. Data Saluran IEEE 69 Bus (lanjutan)

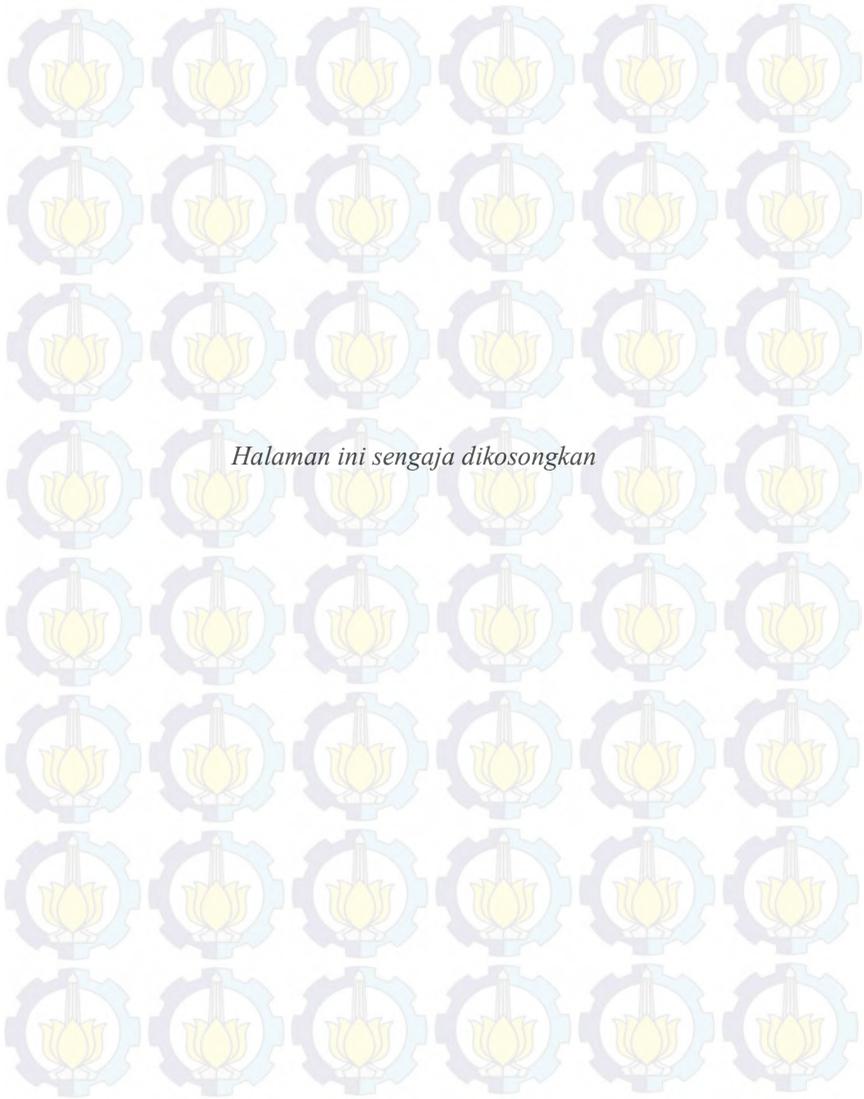
Saluran		Impedansi	
Bus Kirim	Bus Terima	r	x
3	36	1.474	0.4873
36	37	0.064	0.1565
37	38	0.1053	0.123
38	39	0.0304	0.0355
39	40	0.0018	0.0021
40	41	0.7283	0.8509
41	42	0.31	0.3623
42	43	0.041	0.0478
43	44	0.0092	0.0116
44	45	0.1089	0.1373
45	46	0.0009	0.0012
4	47	0.0034	0.0084
47	48	0.0851	0.2083
48	49	0.2898	0.7091
49	50	0.0822	0.2011
8	51	0.0928	0.0473
51	52	0.3319	0.1114
9	53	0.174	0.0886
53	54	0.203	0.1034
54	55	0.2842	0.1447
55	56	0.2813	0.1433
56	57	1.59	0.5337
57	58	0.7837	0.263
58	59	0.3042	0.1006
59	60	0.3861	0.1172
60	61	0.5075	0.2585
61	62	0.0974	0.0496
62	63	0.145	0.0738
63	64	0.7105	0.3619
64	65	1.041	0.5302
11	66	0.2012	0.0611
66	67	0.0047	0.0014
12	68	0.7394	0.2444
68	69	0.0047	0.0016

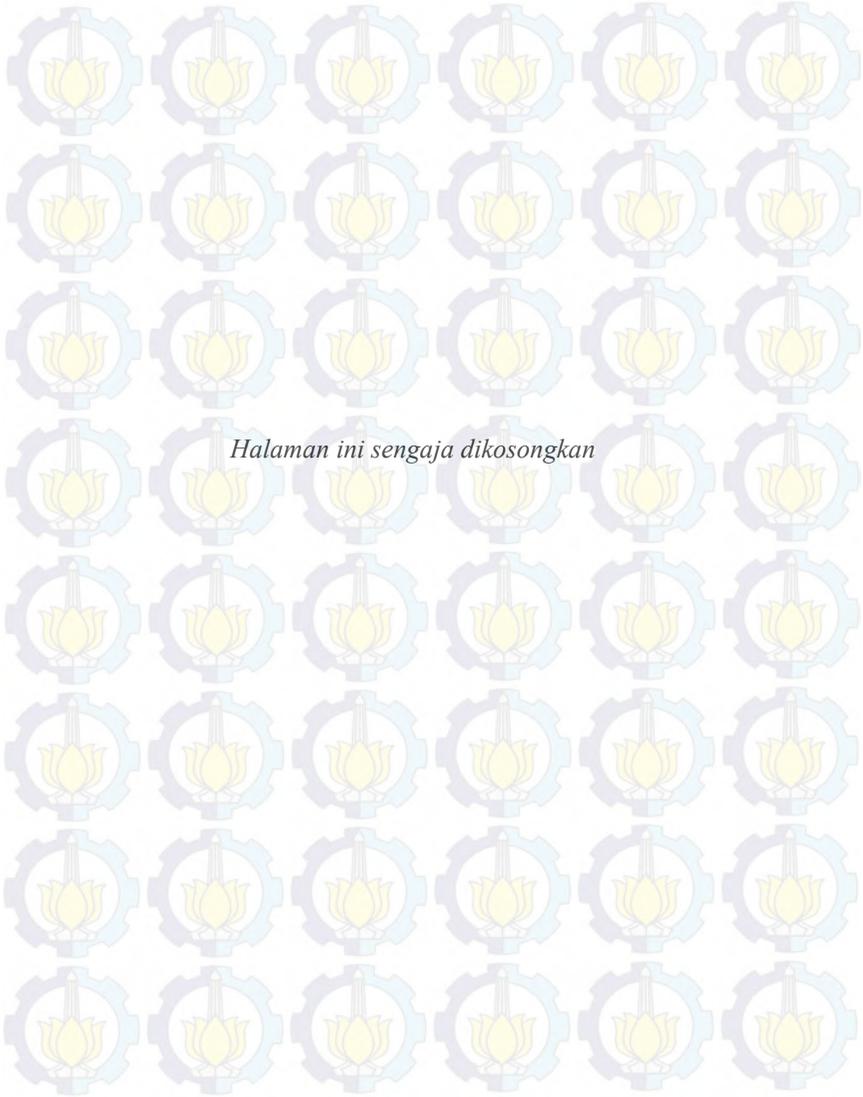
6. Data Beban IEEE 69 Bus

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0.0026	0.0022
7	0.0404	0.03
8	0.075	0.054
9	0.03	0.022
10	0.028	0.019
11	0.145	0.104
12	0.145	0.104
13	0.008	0.005
14	0.008	0.0055
15	0	0
16	0.045	0.03
17	0.06	0.035
18	0.06	0.035
19	0	0
20	0.001	0.0006
21	0.114	0.081
22	0.005	0.0035
23	0	0
24	0.028	0.02
25	0	0
26	0.014	0.01
27	0	0
28	0.026	0.0186
29	0.026	0.0186
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0.014	0.01
34	0.019	0.014
35	0.006	0.004

6. Data Beban IEEE 69 Bus (lanjutan)

Bus	Beban	
	P (MW)	Q(MVAR)
36	0.026	0.01855
37	0.026	0.01855
38	0	0
39	0.024	0.017
40	0.024	0.017
41	0.001	0.001
42	0	0
43	0.006	0.0043
44	0	0
45	0.039	0.0263
46	0.039	0.0263
47	0	0
48	0.079	0.0564
49	0.384	0.2745
50	0.384	0.2745
51	0.04	0.0283
52	0.003	0.0027
53	0.004	0.0035
54	0.026	0.019
55	0.024	0.0172
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0.1	0.072
60	0	0
61	1.244	0.888
62	0.032	0.023
63	0	0
64	0.227	0.162
65	0.059	0.042
66	0.018	0.013
67	0.018	0.013
68	0.028	0.02
69	0.028	0.02





Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Alief Amanullah, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Dilahirkan pada 25 Agustus 1994 di Kota Cirebon oleh pasangan Ibu Komariah dan Bapak Suhartono. Penulis besar di Jerman karena harus mengikuti sang Ayah yang berprofesi sebagai seorang diplomat. Sejak 2001 penulis dan keluarga kembali ke Indonesia dan menetap di Jakarta. Mengawali pendidikan di SDIT Al-Hikmah Jakarta sampai dengan 2006 kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengahnya di SMPN 41 Jakarta sampai dengan 2009 dan melanjutkan pendidikan menengah atasnya di SMAN 28 Jakarta hingga lulus pada tahun 2012. Sejak tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa sebagai bagian dari PSDM HIMATEKTRO selama dua kepengurusan dan juga aktif pada gerakan anti korupsi yang dinaungi oleh komunitas FLAC Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email alief.amanullah@gmail.com.