

Perbandingan Pemasangan Kapasitor Shunt dan Rekonfigurasi Jaringan pada Sistem Kelistrikan PT. PLN Subsistem Wlingi untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan Menggunakan Perangkat Lunak Digsilent

By Amirullah Amirullah

3 Perbandingan Pemasangan Kapasitor Shunt dan Rekonfigurasi Jaringan pada Sistem Kelistrikan PT. PLN Subsistem Wlingi untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan Menggunakan Perangkat Lunak Digsilent

Amirullah¹⁾ dan Faisol Sidqi²⁾

9 1,2) Program Studi 5 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara, Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya.

2) PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Jawa-Bali Region Jawa-Timur dan Bali, Bagian Operasi Real-Time, Jl. Suningrat No. 45 Taman-Sidoarjo 61257

Email Address:1) am9520012003@yahoo.com, 2) sheadky@yahoo.com

Abstrak---Peraturan jaringan 17 atau *grid code* Tahun 2007 menyatakan bahwa tegangan sistem harus dipertahankan dalam batasan sebagai berikut: (1)Tegangan nominal 500 kV toleransi $\pm 5\%$, (2) Tegangan nominal 150 kV toleransi $+5\%$, -10% , dan (3) Tegangan nominal 70 kV toleransi $+5\%$, -10% . Berdasarkan data yang didapat didalam *Logsheet Dispatcher* Region Jawa Timur dan Bali Tahun 2007 s/d 2009 di Jawa-Timur ditemukan bahwa Subsistem Wlingi merupakan titik yang memiliki kualitas tegangan rendah. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan penggunaan metode penambahan kapasitor dan rekonfigurasi jaringan untuk menjaga kualitas tegangan Subsistem Wlingi agar memenuhi persyaratan peraturan jaringan. Analisis perbaikan 5n tegangan di sistem kelistrikan Subsistem Wlingi PT. PLN (Persero) Region Jawa Timur dan 4 Bali dilakukan menggunakan Metode Analisis Aliran Daya Newton Raphson. Metode ini digunakan untuk mendapatkan suatu nilai perbaikan tegangan yang optimal dengan mempertimbangkan kondisi lapangan dan kemampuan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kapasitor shunt di Gardu Induk (GI) Tulungagung dan GI Kebonagung atau GI Wlingi dapat memperbaiki kualitas tegangan serta menurunkan pembebanan *Inter Bus Transformer* (IBT) menjadi sekitar 75 sampai 77%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa Metode Rekonfigurasi Jaringan pada Subsistem Wlingi akan mempengaruhi pembebanan IBT 150/70kV pada GI Manisrejo hingga 96% dan GI Banaran sebesar 54.71% dengan asumsi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tulungagung beroperasi minimal 1 unit. Berdasarkan hasil penggunaan kedua metode diatas, diperoleh bahwa penggunaan kapasitor shunt mampu memperbaiki kualitas tegangan dan menurunkan pembebanan IBT lebih baik dibandingkan dengan metode rekonfigurasi jaringan. Penelitian menggunakan bantuan perangkat lunak Digsilent versi 13.2.

Kata kunci---Kualitas tegangan, Kapasitor Shunt, Rekonfigurasi Jaringan, Subsistem

I. PENDAHULUAN

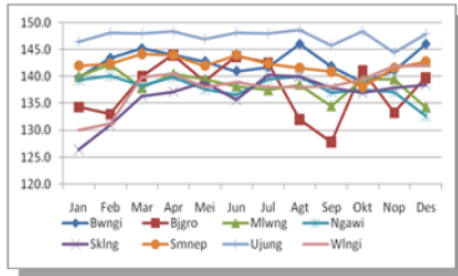
Berdasarkan peraturan jaringan yang dikeluarkan oleh Direktorat Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2007 yang

dikenal dengan *Grid Code* yang tercantum pada CC.2.1 point B bahwa dalam kondisi operasi normal kualitas tegangan pada sistem 150 dan 70 kV tidak boleh melebihi 5% dan tidak boleh kurang dari 10% dari tegangan nominal [1]. Untuk menjaga kualitas tegangan supaya memenuhi kondisi diatas, diperlukan sejumlah strategi antara-lain: (a) Kompensasi daya reaktif pembangkit; (b) Pemasukan atau pengeluaran kapasitor; (c) Pemasukan atau pengeluaran reaktor; (d) Pengoperasian *tap changer* transformator, (e) dan Pelepasan penghantar.

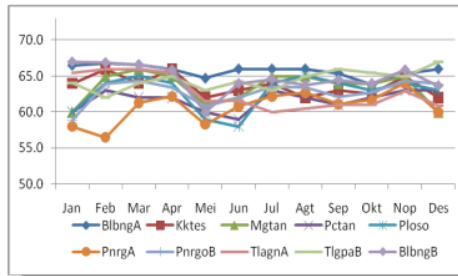
Pada sistem kelistrikan di PT. PLN (persero) 7 P3B Region Jawa Timur dan Bali ada sekitar 127 Gardu Induk (GI) kelas tegangan 70 kV, 150 kV, dan 500 kV. Untuk mendistribusikan daya pada seluruh gardu induk maka disusun konfigurasi jaringan supaya mampu meningkatkan keandalan dan menjaga kestabilan dari sistem kelistrikan. Konfigurasi jaringan pada sistem kelistrikan tersebut selanjutnya disebut dengan *island* dan subsistem [2].

Sistem kelistrikan di Region Jawa Timur dan Bali mempunyai 3 (tiga) *island* 500/150kV, yaitu: (1) *Island* Kediri, (2) *Island* Surabaya Barat (Krian) dan Gresik, (3) *Island* Paiton dan Grati. Subsistem 150/70kV terdiri dari 13 area, yaitu: (1) Subsistem Segoromadu, (2) Subsistem Manisrejo, (3) Subsistem Kertosono, (4) Subsistem Sekarputih (5) Subsistem Banaran, (6) Subsistem Wlingi, (7) Subsistem Kebon Agung, (8) Subsistem Sengkaling, (9) Subsistem Waru, (10) Subsistem Bangil, (11) Subsistem Buduran, (12) Subsistem Driyorejo, dan (13) Subsistem Manyar [3]. Berdasarkan data yang tercatat pada *logsheet dispatcher* PT. PLN Region Jawa Timur dan Bali, terdapat beberapa titik yang dijadikan perhatian, baik GI 150 kV dan 70 kV.

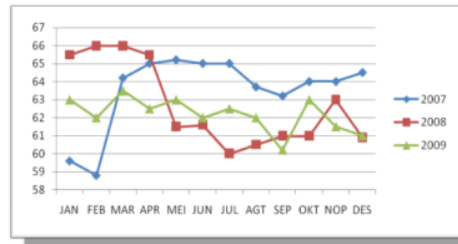
Alasan pemilihan GI tersebut adalah karena posisinya *island* sehingga tegangan pada GI tersebut, nilainya paling rendah dibanding GI di lokasi lain pada subsistem dan *island* yang sama. Pada sisi 150 kV, GI tersebut antara-lain: Banyuwangi, Bojonegoro, Mliwang, Ngawi, Sengkaling, Sumenep, Ujung dan Wlingi. Sedangkan pada sisi 70kV GI tersebut antara-lain: Blimbing, Karangates, Magetan, Pacitan, Ploso, Ponorogo, dan Tulungagung [4]



Gambar 1 Profil tegangan pada bus 70 kV Tahun 2009 di PLN P3B Region Jawa Timur dan Bali



Gambar 2 Profil tegangan pada bus 150 kV Tahun 2009 di PLN P3B Region Jawa Timur dan Bali.



Gambar 3 Profil tegangan pada bus 70 kV di GI Tulungagung Tahun 2007, 2008, dan 2009.

Gambar 1 dan 2 menunjukkan grafik tegangan terendah yang terjadi pada sejumlah GI yang dipilih dan tercatat dalam *logsheet dispatcher*. Berdasarkan Gambar 1 dan 2 maka dipilih GI Tulungagung yang kualitas tegangannya sudah tidak sesuai dengan peraturan karena berada di bawah batas toleransi yang diijinkan. Gambar 3 menunjukkan profil tegangan pada bus 70 kV di GI Tulungagung Tahun 2007, 2008, dan 2009. Berdasarkan keterbatasan sistem diatas, maka diperlukan suatu analisis untuk memperbaiki kualitas tegangan supaya memenuhi persyaratan yang dikehendaki. Metode yang digunakan adalah metode penambahan kapasitor shunt dan rekonfigurasi jaringan. Kedua metode tersebut akan

terletak pada ujung subsistem atau dibandingkan efektifitasnya dan kemungkinan untuk diaplikasikan pada kondisi sebenarnya [5].

Metode analisis aliran daya atau *load flow* dipakai untuk mengetahui nilai tegangan sistem pada masing-masing bus, daya aktif dan reaktif saluran, daya aktif dan reaktif bus beban, serta daya reaktif pada bus pembangkit [6]. Metode analisis aliran daya yang digunakan adalah Metode Newton Raphson dan dijalankan bantuan perangkat lunak Digilent versi 13.2 dengan menu pilihan analisis loadflow. Data yang digunakan adalah data dari PT. PLN (Persero) P3B Jawa Timur dan Bali yang dibuat sedemikian rupa hingga sama dengan kondisi paling kritis, yaitu kondisi beban puncak pada Tanggal 20 Oktober 2009.

II. DASAR TEORI

A. Pengaturan Tegangan

Sesuai dengan aturan jaringan bahwa kualitas tegangan yang diijinkan adalah [1]:

1. Sistem 500 kV = $\pm 5\%$ dari V
2. Sistem dibawah 500 kV = $+ 5\%$, -10% dari V

Dimana V adalah tegangan nominal sistem. Untuk menjaga tegangan sistem sesuai dengan aturan jaringan maka *Dispatcher* atau seorang pengatur sistem *realtime* harus melakukan langkah-langkah dengan tahapan berikut [7]:

1. Mengoperasikan *On Load Tap Changer*
On Load Tap Changer atau OLTC adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah rasio belitan pada IBT supaya diperoleh tegangan yang dikehendaki pada keadaan transformator berbeban. Transformator harus didesain sedemikian rupa sehingga memiliki belitan primer dan sekunder dengan jumlah tertentu dan pengaturan tap dengan tingkatan tertentu pula.
2. Mengatur peralatan yang bersifat reaktif

a. Pengoperasian kapasitor dan reaktor

Fungsi dari kapasitor adalah menginjeksikan daya reaktif ke jaringan. Apabila nilai daya reaktif jaringan rendah maka akan menimbulkan penurunan tegangan sistem. Kapasitor dipakai untuk memperbaiki kebutuhan sistem akan daya reaktif dan meningkatkan nilai tegangan sistem. Sedangkan reaktor digunakan untuk menyerap daya reaktif yang berlebih pada jaringan. Jika daya reaktif berlebihan, maka dapat menaikkan nilai tegangan atau *overvoltage*. Kejadian ini umumnya terjadi pada saat beban rendah seperti hari libur lebaran dan hari besar lainnya.

b. Mengatur daya reaktif pembangkit

Untuk menjaga kestabilan tegangan sistem, setiap pembangkit biasanya dapat mengatur penguatan arus eksitasi secara otomatis. Alat yang dapat mengatur penguatan secara otomatis tersebut disebut dengan AVR atau *Automatic Voltage Regulator*.

c. Pelepasan Penghantar

Metode ini adalah metode terakhir dari sistem pengaturan tegangan. Langkah ini dilakukan karena pelepasan penghantar akan membuat sistem menjadi tidak handal sehingga syarat N-1 penghantar tidak terpenuhi lagi. Namun demi menjaga keamanan peralatan dan kualitas tegangan dalam praktek langkah ini juga sering dilakukan oleh petugas. Persamaan daya reaktif sistem atau *line charging* adalah [8]:

$$Q = V^2 \times 2\pi fC \text{ (VAR)} \quad (1)$$

Dimana:

- V = Tegangan sistem (Volt)
- $2\pi f$ = frekuensi sistem
- C = Kapasitansi saluran (Farad)

a. Metode Aliran Daya Newton Raphson

Kondisi sistem tenaga listrik dapat diketahui jika tegangan pada semua bus diketahui. Salah satu keadaan sistem tenaga listrik yang paling sering menjadi perhatian adalah aliran daya. Aliran daya pada cabang-cabang jaringan dapat dihitung apabila tegangan pada bus diketahui. Permasalahan pada studi aliran beban adalah bagaimana menghitung tegangan pada masing-masing bus.

Berdasarkan persamaan jaringan $I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$, bila I diketahui maka persamaan dapat diselesaikan untuk menghitung vektor tegangan V. Namun demikian dalam sistem tenaga listrik, khususnya dalam penyelesaian aliran daya, biasanya bukan injeksi arus yang diketahui, melainkan injeksi daya, oleh karena itu penyelesaian hanya dapat dilakukan dengan cara iterasi, yakni secara bertahap mencari tegangan bus yang akan menghasilkan injeksi daya yang sama dengan daya yang ditentukan untuk masing-masing bus.

Pada setiap bus, paling sedikit ada dua besaran yang harus diketahui. Oleh karena itu dalam penyelesaian dan perhitungan aliran daya dikenal 3 (tiga) jenis bus, yaitu [8]:

1. BUS PQ

Bus PQ disebut dengan bus beban. Pada bus ini besaran yang diketahui adalah daya aktif P dan daya reaktif Q, sedangkan magnitude tegangan, |V| dan sudut tegangan, δ harus dihitung.

2. BUS PV

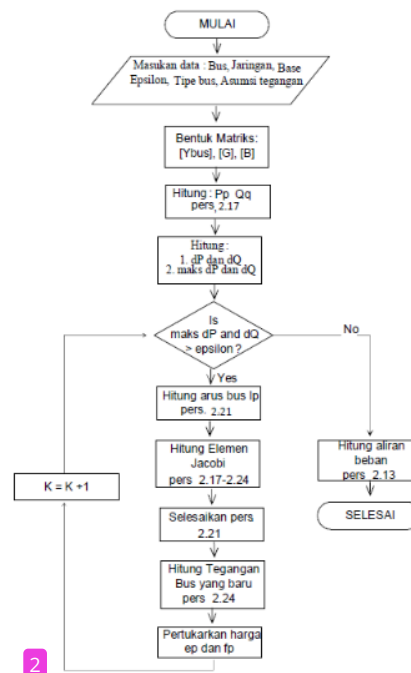
Bus PV disebut bus pengendali atau sering pula disebut bus pembangkit. Besaran yang diketahui pada bus ini adalah daya aktif P dan magnitude tegangan |V|, sedangkan sudut tegangan δ dan daya reaktif Q harus dihitung.

3. BUS Slack

Bus slack disebut bus berayun. Besaran yang diketahui pada bus ini adalah magnitude tegangan |V| dan sudut tegangan δ , sedangkan daya aktif dan reaktif harus dihitung.

Konsep bus ayun dibutuhkan karena pada bus ayun inilah semua susut daya pada jaringan ditimpakan. Konsep yang sama berlaku pula pada bus PV, karena pada bus ini susut daya reaktif ditimpakan.

Penelitian ini menggunakan analisis aliran daya Metode Newton Raphson. Diagram alir penyelesaian aliran daya dengan Metoda Newton Raphson ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penyelesaian aliran daya dengan Metoda Newton-Raphson menggunakan matriks admitansi bus

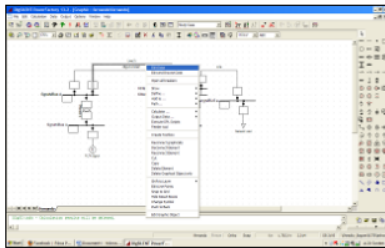
b. Digsilent

Digsilent adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Ilmuwan Jerman di bidang kelistrikan. Perangkat lunak ini memiliki lisensi yang biasa dimiliki oleh perusahaan yang bergerak dibidang konsultan dan perusahaan listrik baik di bidang pembangkitan, transmisi maupun distribusi. Dibandingkan dengan perangkat lunak yang sejenis, Digsilent memiliki sejumlah kelebihan yaitu: akurasi hasil analisis, perangkat yang dipergunakan lebih terjamin, tampilan yang sederhana dan mudah dimengerti serta memiliki berbagai macam pilihan untuk analisis sistem kelistrikan. Pilihan tersebut antara-lain: (1) Loadflow calculation, (2) Short Circuit Calculation, (3) Stability Function, (4) Modal Analysis, (5) Network Reduction, (6) Distance Protection, (7) Overcurrent Time Protection [9].

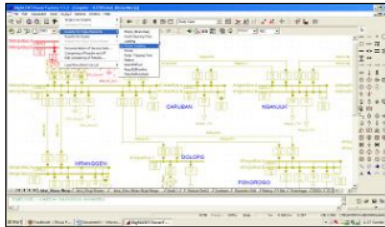
Oleh karena analisis yang dilakukan berupa aliran daya dan topologi tegangan, maka analisis yang digunakan adalah metode loadflow calculation. Dasar dari analisis loadflow calculation ini menggunakan Metode Newton-Raphson sampai dengan iterasi tertentu dan hasil yang ditampilkan adalah hasil iterasi yang terakhir. Perangkat lunak ini memiliki dua bagian utama yaitu perangkat lunak yang ter-install dalam komputer dan Hardlock yang berfungsi sebagai kunci atau lisensi yang diterima oleh pengguna. Penjelasan penggunaan perangkat lunak Digsilent dapat dilihat pada Gambar 5 sampai dengan 8.



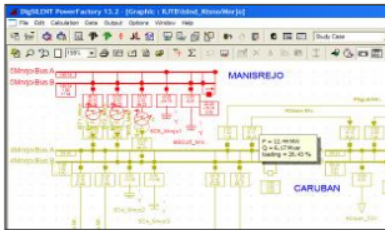
Gambar 5. Instalasi hardlock



Gambar 6. Membuat instalasi



Gambar 7. Merubah format hasil analisis

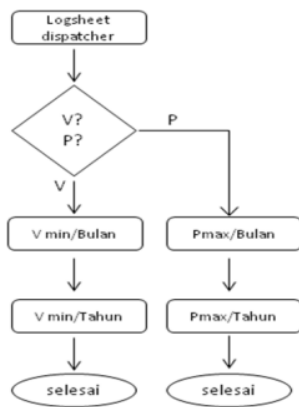


Gambar 8. Melihat hasil aplikasi loadflow

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

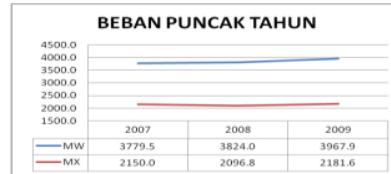
a. Pemilihan Kasus

Untuk mengetahui daerah yang memerlukan perbaikan tegangan pada sistem kelistrikan Jawa Timur peneliti mengambil data dari *Logsheet Dispatcher* Region Jawa-Timur dan Bali mulai tahun 2007 sampai dengan 2009. Pada *Logsheet* tersebut semua data mengenai sistem kelistrikan di Jawa Timur tersimpan baik mulai data pembebanan, pembangkitan dan aliran daya pada saat terjadi beban puncak siang maupun beban puncak malam.



Gambar 9. Diagram alir pemilihan kasus

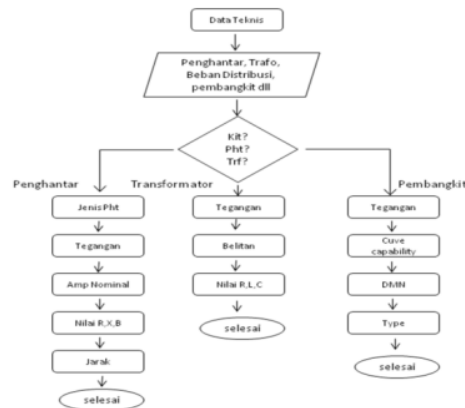
Berdasarkan data tersebut maka diperoleh lokasi dimana profil tegangan pada tempat tersebut setiap tahunnya terjadi *ekskursi* dan berada di bawah toleransi yang ditetapkan oleh peraturan jaringan sistem Jawa-Madura-Bali. Lokasi tersebut berada di GI Tulungagung Bus A dan profil tegangan bus-nya telah ditunjukkan pada Gambar 3. Selain profil tegangan, dari *logsheet* juga dapat diketahui waktu beban puncak Region Jawa Timur dan Bali yaitu pada Tanggal 20 Oktober 2009. Gambar 10 menunjukkan beban puncak PT PLN Region Jawa-Timur dan Bali periode Tahun 2007 sampai dengan 2009.



Gambar 10. Beban puncak PT PLN Region Jawa-Timur dan Bali periode Tahun 2007 sampai dengan 2009

b. Pengolahan Data Digsilent

Untuk membuat suatu perangkat lunak yang baik maka persyaratan yang harus dipenuhi adalah akurasi data. Data ini akan diolah oleh perangkat lunak, sehingga apabila data yang tersaji tidaklah akurat, maka akan mempengaruhi hasil analisis. Data yang dipakai dalam penelitian ini memiliki akurasi yang cukup baik karena data tersebut merupakan data yang dikeluarkan oleh PT. PLN (persero) P3B Jawa Bali dan digunakan sebagai acuan untuk studi dalam berbagai permasalahan sistem.



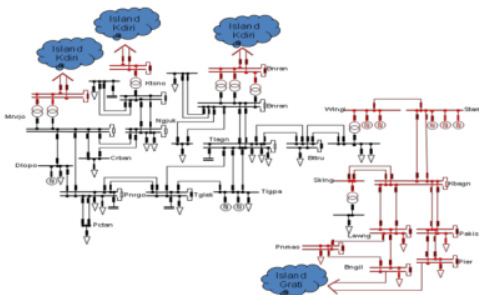
Gambar 11. Diagram alir data teknis yang diperlukan dalam analisis menggunakan Digsilent

Gambar 11 adalah diagram alir data-data teknis yang diperlukan pada saat analisis menggunakan perangkat lunak Digsilent. Tanpa satu data atau parameter, maka analisis tidak dapat dilakukan.

c. Hasil Analisis Menggunakan Digsilent

Analisis menggunakan perangkat lunak Digsilent membutuhkan data pembangkitan dan data distribusi. Studi yang dihasilkan oleh perangkat lunak Digsilent harus disesuaikan terlebih dahulu dengan kondisi yang

sebenarnya pada aliran daya milik *Logsheet Dispatcher*. Setelah kondisi normal tercapai seperti pada *logsheet*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan berbagai kondisi dan hasilnya masing-masing dibandingkan satu dengan yang lainnya sampai dengan tercapai kondisi yang paling ideal. Gambar 12 menunjukkan diagram segaris Subsistem Wlingi.



Gambar 12. Diagram segaris Subsistem Wlingi

d. Hasil Analisis

i. Kondisi Normal

Kondisi normal adalah kondisi dimana sistem kelistrikan sebelum dilakukan analisis dan perbaikan kualitas tegangan listrik oleh PT PLN (Persero) P3B Jawa Bali Region Jawa Timur dan Bali. Tabel 1 menunjukkan profil tegangan kondisi normal yang diperoleh dari *Loadflow Logsheet Dispatcher* Region Jawa Timur dan Bali pada tanggal 20 Oktober 2009.

Tabel 1. Profil Tegangan Kondisi Normal

NORMAL					
Station	Name	Nom.L-L kV	UI, Mag kV	U, Mag p.u.	U,Angle deg
4Bltru	Bus A	70	65.42	0.93	6.68
4Bltru	Bus B	70	65.42	0.93	6.68
4Tleng	Bus A	70	62.45	0.89	4.53
4Tleng	Bus B	70	68.05	0.97	7.41
4Wlingi	Bus 1	70	67.81	0.97	8.33
5Kbagn	Bus A	150	140.51	0.94	11.00
5Kbagn	Bus B	150	143.35	0.96	14.23
5Lwang	Bus A	150	142.67	0.95	12.46
5Lwang	Bus B	150	142.67	0.95	12.46
5Sklng	Bus A	150	139.67	0.93	10.44
5Sklng	Bus B	150	139.67	0.93	10.44
5Stami	Bus 1	150	142.59	0.95	14.72
5Wlingi	Bus 1	150	137.62	0.92	13.43

Tabel 1 menunjukkan tegangan kondisi normal hasil analisis menggunakan perangkat lunak Digilent dan telah di bandingkan dengan kondisi *real time* yang ada di *logsheet Dispatcher* Region Jawa Timur dan Bali. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan di GI. Tulungagung Bus A yang merupakan ujung dari Subsistem Wlingi adalah 62.45 kV. Sesuai dengan peraturan jaringan bahwa batas terendah kualitas tegangan sistem 70 kV adalah 63 kV, maka tegangan pada GI Tulungagung Bus A sudah dibawah ambang batas yang ditoleransikan oleh Aturan Jaringan. Selain di GI Tulungagung Bus A, tegangan pada sistem 150 kV di beberapa Gardu Induk juga mengalami *ekskursi* yang hampir mendekati toleransi ambang batas tegangan sistem 150 kV yaitu pada GI Sengkaling Bus A dan B serta GI Wlingi.

ii. Pemasangan Kapasitor Shunt 70 kV-10 Mvar di GI. Tulungagung

Perbaikan kualitas tegangan pada Sistem 70 kV Subsistem Wlingi dilakukan dengan menambah Kapasitor Shunt 10 MVar di GI Tulungagung Bus A. Alasan utama memasang Kapasitor Shunt karena GI Tulungagung Bus A merupakan ujung Subsistem Wlingi dan sesuai dengan Tabel 1 di lokasi tersebut mempunyai tegangan paling rendah yaitu 62.45 kV. Tabel 2 menunjukkan profil tegangan setelah dipasang Kapasitor Shunt pada GI Tulungagung Bus A menggunakan perangkat lunak Digilent.

Tabel 2. Profil tegangan setelah dipasang Kapasitor Shunt 70 kV-10 MVar pada GI Tulungagung Bus A

Pemasangan Kapasitor Shunt 70kV-10Mvar di GI. Tulungagung					
Station	Name	Nom.L-L kV	UI, Mag kV	U, Mag p.u.	U,Angle Deg
4Bltru	Bus A	70	68.61	0.98	6.95
4Bltru	Bus B	70	68.61	0.98	6.95
4Tleng	Bus A	70	66.64	0.95	4.64
4Tleng	Bus B	70	68.10	0.97	7.46
4Wlingi	Bus 1	70	70.57	1.01	8.60
5Kbagn	Bus A	150	141.63	0.94	11.13
5Kbagn	Bus B	150	145.26	0.97	14.30
5Lwang	Bus A	150	143.75	0.96	12.57
5Lwang	Bus B	150	143.75	0.96	12.57
5Sklng	Bus A	150	140.80	0.94	10.58
5Sklng	Bus B	150	140.80	0.94	10.58
5Stami	Bus 1	150	144.99	0.97	14.74
5Wlingi	Bus 1	150	140.94	0.94	13.35

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh bahwa terjadi kenaikan tegangan setelah pemasangan kapasitor shunt 10 MVar di GI. Tulungagung bus A dari 62,45 kV menjadi 66,64 kV.

iii. Pemasangan Kapasitor Shunt 150 kV-25 MVar di GI Wlingi

Analisis perbaikan lain adalah dengan memasang kapasitor shunt 25 MVar di GI Wlingi. Alasannya adalah karena pada sistem 150 kV di GI Wlingi sesuai dengan Tabel 1 sudah mendekati batas bawah toleransi aturan jaringan dan merupakan ujung dari Subsistem Wlingi di sisi 150 kV.

Tabel 3. Profil tegangan setelah Pemasangan SC di GI. Wlingi

Pemasangan Kapasitor Shunt 150kV-25Mvar di GI. Wlingi.					
Station	Name	Nom.L-L kV	UI, Mag kV	U, Mag p.u.	U,Angle Deg
4Bltru	Bus A	70	69.40	0.99	7.13
4Bltru	Bus B	70	69.40	0.99	7.13
4Tleng	Bus A	70	66.63	0.95	5.23
4Tleng	Bus B	70	68.16	0.97	7.50
4Wlingi	Bus 1	70	71.64	1.02	8.60
5Kbagn	Bus A	150	142.82	0.95	11.23
5Kbagn	Bus B	150	147.33	0.98	14.33
5Lwang	Bus A	150	144.91	0.97	12.65
5Lwang	Bus B	150	144.91	0.97	12.65
5Sklng	Bus A	150	142.01	0.95	10.69
5Sklng	Bus B	150	142.01	0.95	10.69
5Stami	Bus 1	150	147.61	0.98	14.69
5Wlingi	Bus 1	150	144.54	0.96	13.17

Dengan pemasangan kapasitor shunt dapat dilihat bahwa ada perubahan tegangan di sistem 70 kV GI Tulungagung Bus A dan Sistem 150 kV GI Wlingi dan GI Sengkaling. Pada ketiga GI yang dijadikan acuan analisis perbaikan tegangan ini, ternyata mengalami perbaikan tegangan yang cukup signifikan dibandingkan kondisi sebelum dipasang kapasitor shunt.

iv. Pemasangan Kapasitor Shunt 150 kV-25 Mvar di GI Kebon Agung

Pemasangan kapasitor shunt di GI Kebon Agung Bus B mempunyai keuntungan yaitu memiliki fleksibilitas tinggi yaitu selain bisa digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan di Island Grati, secara tidak langsung juga akan memperbaiki kualitas tegangan di Subsistem Wlingi. Kapasitor shunt ini juga bisa dijadikan cadangan apabila ada kerusakan atau perbaikan kapasitor shunt di GI Sengkaling dengan memindah posisi pemisah bus ke bus A karena antara bus A dan bus B di GI Kebon Agung beroperasi normal terpisah dengan cara membuka PMT kopel. Tabel 4 menunjukkan profil tegangan setelah pemasangan kapasitor shunt di GI Kebon Agung.

Tabel 4. Profil tegangan setelah Pemasangan SC di GI. Kebon Agung

Pemasangan Kapasitor Shunt 150kV-25Mvar di GI. Kebon Agung.					
Station	Name	Nom.L-L	Ul, Mag	u, Mag	U.Angle
		kV	kV	p.u.	Deg
4Bltru	Bus A	70	67.84	0.97	7.23
4Bltru	Bus B	70	67.84	0.97	7.23
4Tlgn	Bus A	70	64.99	0.93	5.24
4Tlgn	Bus B	70	68.16	0.97	7.49
4Wlgn	Bus 1	70	70.14	1.00	8.77
5Kbagn	Bus A	150	142.75	0.95	11.21
5Kbagn	Bus B	150	147.21	0.98	14.30
5Lwang	Bus A	150	144.84	0.97	12.63
5Lwang	Bus B	150	144.84	0.97	12.63
5Skln	Bus A	150	141.94	0.95	10.67
5Skln	Bus B	150	141.94	0.95	10.67
5Stami	Bus 1	150	146.54	0.98	14.76
5Wlgn	Bus 1	150	141.81	0.95	13.53

v. Pemasangan Kapasitor Shunt di GI Tulungagung dan GI Kebon Agung

Permasalahan pada Subsistem Wlingi selain pada kualitas tegangan, yaitu beban yang dipikul oleh IBT 150/70kV-100MVA di GI Wlingi. Dengan menggunakan analisis Digsilent dapat dilihat bahwa ada perubahan pembebanan pada saat dipasang kapasitor shunt dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Pembebanan IBT 150/70kV-100MVA. GI. Wlingi

Kondisi	Pembebanan
Normal	86,65%
SC Tulung Agung	78,81%
SC Wlingi	81,41%
SC Kebon Agung	83,38%

Pemasangan kapasitor shunt di GI Tulungagung dan GI Wlingi juga dimaksudkan agar kualitas tegangan 150 kV juga dapat diperbaiki terutama di Island Grati. Tabel 6. menunjukkan profil tegangan setelah pemasangan kapasitor shunt di GI Kebon Agung dan GI Tulungagung.

Tabel 6. Profil tegangan setelah Pemasangan SC di GI. Kebon Agung dan Tulung Agung

Pemasangan Kapasitor Shunt di GI Tulung Agung dan Kebon Agung					
Station	Name	Nom.L-L	Ul, Mag	U, Mag	U.Angle
		kV	kV	p.u.	Deg
4Bltru	Bus A	70	69.85	1.00	7.24
4Bltru	Bus B	70	69.85	1.00	7.24
4Tlgn	Bus A	70	67.95	0.97	5.00
4Tlgn	Bus B	70	68.22	0.97	7.53
4Wlgn	Bus 1	70	71.76	1.03	8.84
5Kbagn	Bus A	150	143.81	0.96	11.33
5Kbagn	Bus B	150	149.04	0.99	14.36
5Lwang	Bus A	150	145.86	0.97	12.73
5Lwang	Bus B	150	145.86	0.97	12.73
5Skln	Bus A	150	143.01	0.95	10.79
5Skln	Bus B	150	143.01	0.95	10.79
5Stami	Bus 1	150	148.84	0.99	14.76
5Wlgn	Bus 1	150	144.97	0.97	13.44

Selain dapat diperbaiki profil tegangan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6., pemasangan kapasitor shunt di GI Kebon Agung dan GI Tulungagung terjadi perubahan pembebanan IBT 150/70kV-100MVA GI. Wlingi menjadi 76,26%.

vi. Pemasangan Kapasitor Shunt di GI Tulungagung dan GI Wlingi

Sebagaimana pada analisis subbab 3.4.5, adanya permasalahan pembebanan pada IBT 150/70kV-100MVA pada GI Wlingi juga akan dijadikan referensi untuk analisis perbaikan profil tegangan. Pemasangan kapasitor shunt di GI Tulungagung dan GI Wlingi diharapkan akan memperbaiki kualitas tegangan di Subsistem Wlingi dan Island Grati serta menurunkan pembebanan IBT 150/70kV-100MVA di GI Wlingi. Tabel 7 menunjukkan profil tegangan setelah pemasangan kapasitor shunt di GI Wlingi dan GI Tulungagung.

Tabel 7. Profil tegangan setelah pemasangan kapasitor shunt di GI Wlingi dan GI Tulungagung

Pemasangan Kapasitor Shunt di GI. Tulungagung dan Wlingi					
Station	Name	Nom.L-L	Ul, Mag	U, Mag	U.Angle
		kV	kV	p.u.	Deg
4Bltru	Bus A	70	69.08	0.99	6.72
4Bltru	Bus B	70	69.08	0.99	6.72
4Tlgn	Bus A	70	67.14	0.96	4.44
4Tlgn	Bus B	70	68.21	0.97	7.53
4Wlgn	Bus 1	70	71.02	1.01	8.35
5Kbagn	Bus A	150	143.77	0.96	11.33
5Kbagn	Bus B	150	148.97	0.99	14.36
5Lwang	Bus A	150	145.83	0.97	12.73
5Lwang	Bus B	150	145.83	0.97	12.73
5Skln	Bus A	150	142.97	0.95	10.79
5Skln	Bus B	150	142.97	0.95	10.79
5Stami	Bus 1	150	149.68	1.00	14.67
5Wlgn	Bus 1	150	147.40	0.98	13.06

Dengan menggunakan analisis yang sama di dapat bahwa pembebanan IBT 150/70kV-100MVA GI. Wlingi adalah sebesar 75,21%.

vii. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan adalah merubah jaringan sistem tenaga listrik agar aliran daya menjadi lebih efektif seperti yang diinginkan. Untuk memperbaiki kualitas tegangan di Subsistem Wlingi, selain dengan penambahan kapasitor shunt ada juga cara lain yang dapat dilakukan yaitu dengan rekonfigurasi jaringan dengan cara mengalihkan beban ke beberapa island di sekitar Subsistem Wlingi.

Adapun perubahan jaringan yang dimaksud adalah:

1. Menutup PMT 150 kV bus kopel di GI. Kebon Agung.
2. Memindah beban di GI. Tulungagung dari konfigurasi bus A Transformator 1 dan 2 70/20 kV dengan total beban 32.2 MW/12.5 MVar ke bus B.
3. Memindah beban di GI. Tulung Agung dari konfigurasi bus B Transformator 4 70/20kV dengan total beban 10.8 MW/2.7 MVar ke bus A.
4. Memindah beban di GI. Ponorogo dari konfigurasi Bus A Transformator 170/20kV dengan total beban 19.5 MW/5.8 MVar ke Bus B.

Tabel 8. Profil tegangan setelah rekonfigurasi jaringan

Profil tegangan setelah rekonfigurasi jaringan					
Station	Name	Nom.L-L	U _{l, Mag}	U _{l, Mag}	U _{l, Angle}
		kV	kV	p.u.	Deg
4Bltru	Bus A	70	69.02	0.99	9.43
4Bltru	Bus B	70	69.02	0.99	9.43
4Tlgn	Bus A	70	68.28	0.98	8.73
4Tlgn	Bus B	70	66.05	0.94	7.30
4Wlgni	Bus 1	70	70.48	1.01	10.51
5Kbagn	Bus A	150	146.24	0.97	13.95
5Kbagn	Bus B	150	146.24	0.97	13.95
5Lwang	Bus A	150	147.25	0.98	14.51
5Lwang	Bus B	150	147.25	0.98	14.51
5Skln	Bus A	150	145.47	0.97	13.43
5Skln	Bus B	150	145.47	0.97	13.43
5Stami	Bus 1	150	146.55	0.98	14.69
5Wlgni	Bus 1	150	143.88	0.96	13.85

Tabel 8 merupakan hasil analisis menggunakan perangkat lunak Digsilent dengan rekonfigurasi jaringan sistem kelistrikan Region Jawa Timur dan Bali. Namun perlu dicermati juga dengan perubahan konfigurasi jaringan akan membuat aliran daya dan pembebanan IBT juga berubah, hal ini ditunjukkan pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Distribusi beban setelah rekonfigurasi jaringan

Lokasi	Bay	Normal	Rekonfigurasi
GI. Mnrjo	IBT 2	65.93%	96.24%
	IBT 3	65.93%	96.24%
GI. Bnran	IBT 1	40.65%	42.94%
	IBT 2	51.79%	54.71%
	IBT 3	40.65%	42.94%
GI. Wlgni	IBT 1	86.65%	81.41%
	Mnrjo-Pnrgo	39.58%	58.17%
Pehantar 70kV	Mnrjo-Dlopo	48.82%	67.28%

Tabel 9 menunjukkan bahwa adanya perubahan yang signifikan pada pembebanan IBT 150/70kV di Gardu Induk Manisrejo, yang menunjukkan hampir mencapai 100% dan kondisi tersebut tidaklah menguntungkan bagi peralatan maupun penyaluran. Apabila kondisi ini terjadi dikhawatirkan proteksi pada IBT 2 dan 3 di GI. Manisrejo akan bekerja. Dampaknya adalah lepasnya secara otomatis penghantar 70 kV Manisrejo arah Dlopo dan penghantar 70 kV Manisrejo arah Ponorogo yang berarti melepas semua beban yang dipikul oleh IBT 2 dan 3 GI Manisrejo sebesar 67MW oleh Rele OLS atau *Over Load Sheeding* yang di-setting bekerja pada arus 315 A dengan delay waktu 3 detik. Selain IBT 150/70kV 2 dan 3 di GI. Manisrejo, ada sejumlah pedoman yang harus dipenuhi untuk melakukan rekonfigurasi jaringan pada Subsistem Wlgni adalah:

1. OLS penghantar 70kV Tulung Agung arah Banaran 1,2 dengan seting arus 440A dan delay 3 detik memiliki target pelepasan:
 - a. PMT 20 kV Incoming Trf-1 70/20kV-30MVA di GI. Tulungagung.
 - b. PMT 20 kV Incoming Trf-2 70/20kV-16MVA. di GI. Tulungagung.
2. OLS GI Banaran IBT 1 dan 3 150/70kV dengan setting arus 320A delay 3 detik serta IBT-2 150/70kV 2 dengan seting arus 516A delay 5detik memiliki target pelepasan:
 - a. PMT 20kV Incoming Trf-1 70/20kV-30MVA di GI. Tulung Agung.
 - b. PMT 20kV Incoming Trf-2 70/20kV-16MVA di GI. Tulung Agung.
3. OLS penghantar 70 kV Blitar arah Wlgni 1,2 dengan setting arus 440A dan delay 3 detik memiliki target pelepasan:
4. PMT 20 kV Incoming Trf-2 70/20kV-30MVA di GI. Blitar.
5. Alternatif lain rekonfigurasi jaringan dan pembebanan pada Subsistem Wlgni dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan 20 kV, tetapi karena topografi dilapangan dan distribusi beban sudah merata, maka cara ini sulit untuk dilakukan oleh Area Pelayanan dan Distribusi.

Tabel 10 menunjukkan perbandingan hasil analisis pemasangan kapasitor shunt dan rekonfigurasi jaringan.

Tabel 10. Perbandingan hasil analisis pemasangan kapasitor shunt dan rekonfigurasi jaringan

Kondisi Sistem	GI. Tlagn		GI. Wlgni	GI. Skln	GI. Kbagn		GI. Wlgni	GI. Mnrjo
	Tegangan Bus A	Tegangan Bus B	Tegangan Bus A	Tegangan Bus A	Tegangan Bus A	Tegangan Bus B	%beban IBT	%beban IBT
Normal	62.45	68.05	137.62	139.67	140.51	143.35	86.65	65.93
SC Tlagn	66.64	68.1	140.94	140.80	141.63	145.26	78.81	65.93
SC Wlgni	66.63	68.16	144.54	142.01	142.82	147.33	81.41	65.93
SC Kbagn	64.99	68.16	141.81	141.94	142.75	147.21	83.38	65.93
SC Kbagn dan Tlagn	67.95	68.22	144.97	143.01	143.81	149.04	76.23	65.93
SC Wlgni dan Tlagn	65.1	68.42	147.40	142.97	143.77	148.97	75.21	65.93
Rekonfigurasi	68.28	66.05	143.88	145.47	146.24	146.24	52.45	86.24

Berdasarkan 6 (enam) alternatif perbaikan kualitas tegangan pada Tabel 10, dapat dilihat bahwa perbaikan tegangan dengan penambahan kapasitor shunt cukup efektif dilakukan, karena apabila kapasitor shunt dipasang maka akan memperbaiki faktor daya di jaringan. Pemasangan kapasitor shunt di GI Wlgni dan GI. Tulungagung menghasilkan pembebanan IBT 150/70kV-100MVA terendah dan kualitas tegangan yang baik. Namun demikian dari segi operasional dengan memasang kapasitor shunt di Gardu Induk Wlgni beresiko mempengaruhi arus eksitasi pembangkit PLTA Wlgni Unit 1,2, bila kapasitor shunt dioperasikan tiba-tiba oleh Dispatcher ketika unit tersebut dalam kondisi beroperasi, sehingga diperlukan analisis dan pengujian lebih lanjut.

IV. PENUTUP

a. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan:

1. Tegangan sistem 70 kV di GI Tulungagung Bus A yang merupakan jaringan Subsistem Wlgni di bawah ambang batas toleransi yang di tetapkan oleh aturan jaringan.

2. Tegangan di Sistem 150 kV di Island Grati seperti di GI. Sengkaling, GI. Wlingi dan GI. Sutami sudah mendekati batas toleransi.
3. Pembebanan IBT 150/70kV-100MVA GI Wlingi sudah mencapai 86%.
4. Pemasangan kapasitor shunt di GI Tulungagung dan GI Kebonagung atau GI Wlingi dapat memperbaiki kualitas tegangan serta menurunkan pembebanan Inter Bus Transformator menjadi sekitar 75-77%.
5. Rekonfigurasi jaringan pada Subsistem Wlingi akan mempengaruhi pembebanan IBT 150/70 kV pada GI Manisrejo hingga mencapai 96% serta di GI Banaran sebesar 54.71% dengan catatan PLTA Tulungagung beroperasi minimal 1 unit. Kondisi tersebut membuat metode rekonfigurasi memiliki resiko relatif besar.

b. Saran

Untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sistem Wlingi, peneliti merekomendasikan supaya PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Region Jawa Timur dan Bali

memasang kapasitor sebesar 70 kV-10 MVar di GI Tulungagung bus A dan 150 kV-25 MVar di GI Kebon Agung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2007, "Aturan Jaringan Sistem Kelistrikan Jawa-Madura-Bali", Dikjen SDM, Jakarta.
- [2] P3B Jawa-Bali, 2008, "RSJPP 2009 – 2013", P3B Jawa-Bali, Jakarta.
- [3] P3B Jawa-Bali, 2007, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Jawa-Bali 2008-2017", P3B Jawa-Bali, Jakarta.
- [4] P3B Jawa-Bali, 2005, "Teori Dasar Listrik (Bahan Pelatihan Operator Gardu Induk)", P3B Jawa-Bali, Jakarta.
- [5] Prof. Ir. Abdul Kadir, 1998, "Transmisi Tenaga Listrik", UI-Press, Jakarta.
- [6] Nagrath and D.P. Kothari, 1991, "Modern Power System Analysis", McGraw-Hill, Singapore.
- [7] William D. Stevenson, John J. Grainger, 1994, "Power System Analysis", McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- [8] Deshpande, 1982, "Electrical Power System Design", McGraw-Hill, Singapore.
- [9] DigSILENT GmbH, 2001, "Getting Started Tutorial DigSILENT

Perbandingan Pemasangan Kapasitor Shunt dan Rekonfigurasi Jaringan pada Sistem Kelistrikan PT. PLN Subsistem Wlingi untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan Menggunakan Perangkat Lunak Digsilent

ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	123dok.com Internet	209 words — 4%
2	es.scribd.com Internet	82 words — 2%
3	docslide.us Internet	37 words — 1%
4	repository.its.ac.id Internet	23 words — < 1%
5	www.inovasipln.co.id Internet	23 words — < 1%
6	www.ejurnal.bunghatta.ac.id Internet	19 words — < 1%
7	zh.scribd.com Internet	19 words — < 1%
8	text-id.123dok.com Internet	18 words — < 1%

9	docplayer.info Internet	12 words — < 1%
10	www.scribd.com Internet	12 words — < 1%
11	jurnal.uisu.ac.id Internet	11 words — < 1%
12	repository.itk.ac.id Internet	11 words — < 1%
13	repository.ub.ac.id Internet	11 words — < 1%
14	Arya Wiguna B, Dikpride Despa, Herri Gusmedi, Abdul Haris. "Penempatan SVC (Static Var Compensator) Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Jaringan Transmisi PT. PLN Lampung", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2016 Crossref	10 words — < 1%
15	ifgoiano.edu.br Internet	10 words — < 1%
16	id.scribd.com Internet	8 words — < 1%
17	pt.scribd.com Internet	8 words — < 1%
18	repo.unand.ac.id Internet	8 words — < 1%
19	www.alsoj.com Internet	6 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE MATCHES OFF