

STUDI ALIRAN DAYA PADA PEMODELAN SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI 150 KV

Slamet Hani ¹

ABSTRACT

The design and operation of electrical power system, economic factor, environmental factor, security factor and reliability factor should be considered. Some kinds of electrical power system criterion are voltage-drop and power-loss caused by peak load.

The research conducts the contribution of 150 kV underground cable transmission line to increase Yogyakarta system voltage profile. A simple way to analysis some load flow study is using Electrical Transient Analysis Program ETAP Power Station 4.0.0. Applied to in PT. PLN (Persero) Jateng-DIY Sub System Region 3, 150 kV Transmission Line.

The results of simulation showed that using underground cable transmission line can decrease voltage-drop rate at the power system up to 0.74%, compared to using overhead transmission line which is 1.21%. Underground cable transmission line is generated of reactive power by a value of 81.48% from load reactive power. So the underground cable transmission line contribute to decrease voltage-drop and power-loss on the electrical power system.

Keyword: voltage profile, load flow, underground cable, ETAP.

INTISARI

Pada perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik, selain faktor ekonomis dan faktor lingkungan, adalah juga keamanan dan keandalan yang tinggi, salah satu kriterianya adalah perbaikan profil tegangan sistem dan pengurangan rugi daya yang kemungkinan terjadi penurunan tegangan karena beban puncak.

Dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh saluran transmisi bawah tanah 150 kV, sebagai perbaikan profil tegangan sistem di wilayah D.I Yogyakarta melalui studi aliran daya yang dieksekusikan dengan perangkat lunak *Electrical Transient Analysis Program (ETAP) Power Station 4.0.0*. Studi yang dilakukan dengan menggunakan model saluran dan data yang diambil sebagian saluran transmisi 150 kV dari konfigurasi jaringan sub sistem Jawa Tengah & DIY pada waktu kondisi beban puncak, yang kemudian disimulasikan menggantikan dua Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) yang ada dengan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kehadiran SKTT drop tegangan rata-rata pada sistem sebesar 0,74%, nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan SUTT yakni sebesar 1,21%. Dua saluran SKTT yang ada juga membangkitkan daya reaktif pada sistem 81,48% dari daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian kehadiran SKTT memberikan kontribusi tegangan pada sistem dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran.

Kata kunci : profil tegangan, aliran daya, SKTT, ETAP.

PENDAHULUAN

Penyaluran energi listrik dalam jumlah besar pada sistem tenaga listrik dilakukan dengan saluran tegangan tinggi. Pemenuhan kebutuhan energi listrik seakan sudah merupakan pemenuhan kebutuhan hajat hidup orang banyak dan merupakan pemenuhan kepentingan umum. Untuk dapat membawa energi listrik dari pusat pembangkit yang biasanya

terletak jauh di pedalaman ke pusat beban di perkotaan diperlukan suatu sarana transportasi energi listrik dengan menggunakan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau saluran kabel tegangan tinggi (SKTT).

Melihat begitu pentingnya energi listrik dalam kehidupan manusia, maka dibutuhkan pelayanan yang baik oleh PT (Persero) PLN sebagai penyedia energi

¹ Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro, ISTA, Yogyakarta

listrik. Pada perkembangannya pemakaian saluran udara kurang efektif lagi untuk jaringan listrik di kota-kota besar dan perkampungan yang sangat padat penduduknya, karena banyak kekurangan dan kerugiannya disebabkan pengaruh lingkungan sekitar. Dari segi tata kota, saluran udara kurang enak dipandang, dari segi keamanan, cuaca, perubahan iklim dan pengaruh makhluk hidup merupakan penyebab gangguan. Untuk pemenuhan kebutuhan daya listrik yang semakin besar, cara yang paling efektif adalah dengan mempertinggi tegangan karena dapat menekan rugi daya pada saluran tersebut.

Sistem saluran tegangan tinggi bawah tanah (SKTT) semakin banyak dilakukan, karena mempunyai manfaat yang lebih spesifik. Pembangunan saluran tegangan tinggi bawah tanah (SKTT) didasarkan beberapa faktor, antara lain: adanya peningkatan beban di daerah perkotaan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, tuntutan keindahan dan kenyamanan perkotaan.

Pada level tegangan 150 kV, saluran tegangan tinggi bawah tanah telah digunakan di sub sistem area III sistem tenaga listrik Jawa-Bali nilai parameter yang terkait dengan arus pemuatan cukup signifikan, sehingga besarnya daya reaktif ke sistem menampakkan pengaruh terhadap profil tegangan di Jawa Tengah bagian selatan. Pengaruh lain yang ditimbulkan adalah adanya penurunan rugi daya aktif. Pada waktu beban puncak profil tegangan di daerah Jawa Tengah bagian selatan mempunyai drop tegangan yang cukup besar walaupun sudah diantisipasi pemasangan kapasitor.

Di Yogyakarta telah menggunakan dua saluran transmisi tegangan tinggi bawah tanah (SKTT) 150 kV untuk melengkapi sistem jaringan yang telah ada. Saluran transmisi tegangan tinggi bawah tanah (SKTT) jenis *oil filled cable* dengan jarak yang cukup jauh dapat menimbulkan arus pemuatan yang berarti.

Penggunaan saluran tegangan tinggi bawah tanah akan merubah aliran daya secara nyata karena adanya arus pemuatan, dengan semakin besar arus pemuatan maka akan menaikkan daya reaktif pada sistem sehingga akan mem-

pengaruhi aliran daya. Besarnya daya reaktif yang dibangkitkan menimbulkan masalah dalam sistem, sehingga perlu dikendalikan sebaik mungkin (Mc Mahon, 1996).

Sebagai bahan-bahan kajian pada penelitian ini, diambil data-data teknis dan parameter-parameter dari SKTT/ saluran transmisi tegangan tinggi bawah tanah 150 kV khususnya di Kentungan dan Gejayan serta Wirobrajan dan Bantul Yogyakarta.

Yang dimaksud dengan Sistem Tenaga Listrik adalah beberapa unsur perangkat peralatan yang terdiri dari mulai pembangkitan, penyaluran/transmisi, distribusi sampai pelanggan, yang satu dengan yang lainnya berhubungan dan saling bekerja sama sehingga menghasilkan tenaga listrik. Tenaga listrik di konsumsi oleh masyarakat perorangan maupun industri yang berarti bahwa tenaga listrik sangat penting artinya bagi kelangsungan proses produksi baik industri kecil, menengah maupun industri besar. Perkembangan yang terjadi di masyarakat dewasa ini khususnya yang berada di daerah perkotaan telah terjadi banyak perubahan. Bentuk perubahan tersebut dari yang paling sederhana sampai yang paling kompleks.

Yang paling jelas terlihat dalam kehidupan sehari-hari adalah perubahan masyarakat yang sebelumnya bersifat agraris menuju ke masyarakat industri. Perubahan ini tidak lepas dari pengaruh titik berat pelaksanaan pembangunan jangka panjang bangsa ini yang menitik beratkan pembangunan bidang ekonomi dengan pengembangan sektor industri yang kuat dan maju serta didukung oleh sektor pertanian yang tangguh. Berkaitan dengan pengembangan sektor industri ini sebagai konsekuensinya tentu dibutuhkan penyediaan sumber energi cukup besar. Semakin lama kebutuhan energi listrik semakin meningkat sesuai dengan pertumbuhan industri yang senantiasa mengalami pertumbuhan sangat pesat.

Perkembangan saluran transmisi sistem area Jawa, Madura dan Bali dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2003 dapat dilihat dalam tabel 1 sebagai berikut (PT.PLN Persero P3B Jawa-Bali, 2003):

Tabel 1. Perkembangan Saluran Transmisi Sistem JAMALI :

Tegangan (kV)kms	Th 1999	Th 2000	Th 2001	Th 2002	Th 2003
70	4002	3985	3985	3757	3404
150	10164	10380	10475	11055	11190
500	2699	2774	2849	3556	3609

Daya listrik yang disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat-pusat beban melalui beberapa Gardu Induk. Dari setiap Gardu Induk maupun pusat-pusat pembangkit terdapat beberapa bus yang membentuk jaringan interkoneksi.

Untuk perhitungan tegangan, arus, daya dan faktor daya atau daya reaktif di berbagai bus dalam suatu sistem jaringan listrik interkoneksi, maka diperlukan dengan perhitungan aliran daya. Dalam perhitungan aliran daya perlu diketahui beban daya aktif dan beban daya reaktif yang ada pada setiap bus atau Gardu Induk dari sistem, sedangkan aliran daya yang terjadi ditentukan oleh hukum Ohm dan hukum Kirchoff. Studi aliran daya pada sistem tenaga listrik antara bus satu dengan bus yang lainnya membentuk jaringan interkoneksi.

Menurut Grainger dan Stevenson. Jr (1994) pemecahan masalah studi aliran daya pada umumnya dikenal tiga macam bus, yang masing-masing bus mempunyai empat besaran yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan(V) dan sudut tegangan (δ), dua besaran yang sudah diketahui. Ketiga bus tersebut adalah :

1. Bus beban (Bus PQ)

Dalam bus ini, injeksi daya aktif (P) maupun daya reaktif (Q) keduanya ditentukan, sedang besarnya tegangan (V) dan sudut tegangan (δ) dihitung.

2. Bus kontrol tegangan (Bus PV)

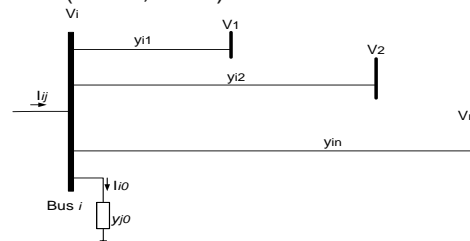
Bus untuk mengontrol nilai tegangan agar supaya tegangan menjadi konstan. Daya aktif (P) yang dibangkitkan generator dikontrol melalui setting governor turbin (*prime over*), dan tegangan diatur melalui setting *automatic voltage regulator (AVR)* pada eksitasi generator. Pada bus ini besarnya daya aktif (P) dan tegangan (V) ditentu-

kan sedangkan besar sudut tegangan dan daya reaktif (Q) dihitung.

3. Slack Bus (Swing Bus)

Bus ini daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) tidak diketahui, tetapi besarnya tegangan (V) dan sudut tegangan (δ) ditentukan, sehingga merupakan sudut referensi bagi tegangan dalam sistem.

Saluran transmisi yang digambarkan dengan model π ekuivalen seperti pada gambar 1 yang impedansinya leleh diubah dalam satuan per unit pada dasar MVA (Sadat, 1999).



Gambar 1. Model Bus dari Sistem Tenaga

Sesuai dengan Hukum Kirchoff Arus pada bus, maka besarnya arus I_i dapat diberikan persamaan :

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

atau,

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^N y_{ij} - \sum_{j=1}^N y_{ij} \cdot V_j \quad j \neq i \dots(2)$$

Besarnya daya kompleks bus i adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \dots(3)$$

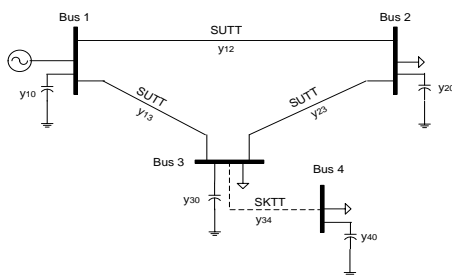
atau,

$$I_i = \frac{S_i}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots(4)$$

Substitusi dari persamaan (2) dan (4) :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^N y_{ij} - \sum_{j=1}^N y_{ij} V_j \quad j \neq i \dots(5)$$

Dalam perhitungan aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat diterangkan dengan mengambil contoh model empat bus yang terdiri tiga saluran menggunakan SUTT yang menghubungkan bus 1, 2, 3 dan satu saluran dengan kabel bawah tanah/ SKTT yang menghubungkan bus 3, 4, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Besarnya admitans pada masing-masing saluran dinyatakan y_{12} , y_{13} , y_{23} dan y_{34} , sedangkan nilai kapasitans shunt pada tiap bus y_{10} , y_{20} , y_{30} dan y_{40} .



Gambar 2. Model Saluran Transmisi Untuk Perhitungan Aliran Daya

Setelah besaran tegangan pada kedua bus telah ditentukan yaitu dengan persamaan (5), kemudian langkah berikutnya dilakukan perhitungan aliran daya yang mengalir pada saluran. Tetapi sebelumnya besarnya arus yang mengalir pada saluran dihitung terlebih dahulu dengan persamaan :

$$I_1 = y_{10}(V_1) + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3)$$

$$I_2 = y_{20}(V_2) + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3)$$

$$I_3 = y_{30}(V_3) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{23}(V_3 - V_2) + y_{34}(V_3 - V_4)$$

$$I_4 = y_{40}(V_4) + y_{34}(V_4 - V_3)$$

dengan :

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

$$Y_{14} = Y_{41} = Y_{24} = Y_{42} = 0$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23}$$

$$Y_{33} = y_{30} + y_{13} + y_{23} + y_{34}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34}$$

$$Y_{44} = y_{40} + y_{34}$$

Dalam bentuk matriks persamaan diatas adalah :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

atau :

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \dots\dots\dots(7)$$

Dari gambar 2., SKTT yang terpasang secara radial yaitu pada bus 3 ke bus 4 mempunyai nilai kapasitans shunt y_{40} dan admitans y_{34} cukup besar, maka arus pada bus 3 dan bus 4 menjadi naik.

Untuk menghitung aliran daya yang mengalir pada saluran dari bus satu yang diasumsikan bus i menuju bus yang lain diasumsikan bus j dapat dijelaskan sebagai berikut :

- I_{ij} = arus saluran pada bus i ke bus j
- y_{i0} = admitans shunt pada bus i
- y_{j0} = admitans shunt pada bus j
- y_{ij} = admitans cabang saluran antara bus i dan bus j
- V_i = tegangan pada bus i
- V_j = tegangan pada bus j

Maka arus saluran pada sistem dapat dinyatakan sebagai berikut :

Aliran arus I_{ij} pada sisi bus i :

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \dots\dots\dots(8)$$

dan begitu juga aliran arus I_{ji} pada sisi bus j adalah :

$$I_{ji} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \dots\dots\dots(9)$$

Sehingga aliran daya dari bus i -j (S_{ij}) :

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots(10)$$

dan aliran daya dari bus j-i (S_{ji}) :

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^* \dots\dots\dots(11)$$

Dalam sistem yang mempunyai banyak bus, maka model aliran daya pada seluruh sistem adalah sebuah sistem persamaan yang terdiri dari n buah simultan, dengan nilai-nilai daya aktif dan reaktif pada setiap saluran yang dibangkitkan dengan beban diketahui, dan parameter setiap saluran diketahui. Dalam penyelesaian ini akan diketahui besarnya rugi-rugi daya pada setiap saluran.

Metode penyelesaian tentang aliran daya dapat digunakan dengan tiga cara yaitu : metode Gaus Seidel, metode Newton Raphson dan metode Fast Decouple, dalam penelitian ini digunakan metode Newton Raphson.

Metodologi dan prosedur simulasi pada makalah ini menggunakan perangkat lunak dengan pemrograman ET AP. *Electrical Transient Analysis Program (ETAP) Power Station 4.0.0* menyediakan secara lengkap representasi peralatan yang digunakan dalam simulasi sistem tenaga listrik, dengan menggunakan metode Newton Raphson setelah dieksekusi sehingga menghasilkan aliran daya pada masing-masing saluran, profil tegangan pada masing-masing bus serta nilai-nilai lain yang telah dimodifikasi.

Simulasi diawali dengan membuat diagram satu garis (*One Line Diagram*) sistem jaringan transmisi 150 kV yang terdiri dari 9 bus dan dua bus sebagai *swingbus* kedalam program ETAP, dengan memasukkan parameter saluran, panjang saluran serta pembeban puncak, sistem jaringan tersebut semuanya menggunakan saluran SUTT. Program dapat dijalankan setelah semua data-data parameter dan variabel dimasukkan dengan benar, pada hasil eksekusi program dilakukan pencetakan (printer) pada *Project File* dan data yang lain yang dibuka melalui menu *complete*, selanjutnya dilakukan analisis.

Simulasi kedua seperti pada simulasi yang dilakukan pertama di atas tetapi ada dua saluran SUTT digantikan dengan saluran SKTT yaitu pada saluran bus Kentungan ke bus Gejayan dan saluran bus Bantul ke bus Wirobrajan dengan panjang saluran yang sama dan parameter saluran yang berbeda, kondisi ini merupakan kondisi yang sebenarnya.

Dari kedua simulasi tersebut di atas kemudian dibandingkan tentang pengaruh saluran SKTT terhadap, aliran daya, rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif serta kontribusi untuk perbaikan profil tegangan sistem.

Dalam penelitian ini dikaji pengaruh dari saluran transmisi bawah tanah terhadap profil tegangan sistem khususnya pada level tegangan 150 kV atau sering disebut dengan "Saluran Kabel Transmisi Tegangan Tinggi (SKTT)", data-data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan program *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*. Pembuktian adanya SKTT untuk perbaikan profil tegangan sistem akan dilakukan ujicoba dengan cara simulasi, selanjutnya dianalisis.

Pada waktu beban puncak yang diambil data penelitian yang diperoleh dari PT PLN (persero) Unit Pelayanan Transmisi Yogyakarta yang berlokasi di Bantul (lihat tabel 2 dan 3). Adapun data yang dipakai merupakan bagian dari sub-sistem Region III, yaitu saluran transmisi yang ada di wilayah D.I.Y yang terdiri 8 bus ditambah bus Sanggrahan, dan Klaten dipakai sebagai *slack bus*. Konfigurasi saluran transmisi terdiri dari saluran udara SUTT dan SK TT, khusus di wilayah D.I.Y ada dua SK TT yang telah terpasang yaitu pada bus Kentungan ke Gejayan dan bus Bantul ke Wirobrajan dalam bulan Februari 2006 setiap jam 19.00.

Tabel 2. Data Parameter dan Jenis Saluran

Nama Bus Dari ke	Jarak (km)	Jenis	R Ohm/km	X Ohm/km	B μ S/km
Bantul – Wates	25,25	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Bantul – Wirobrajan I	6,4	CU 240	0,087	0,132	73
Bantul – Wirobrajan II	6,4	CU 240	0,087	0,132	73
Bantul – Porworjo	48,51	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Porworjo – Wates	23,26	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Bantul – Klaten I	34,76	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Bantul – Klaten II	34,76	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Bantul – Semanu	39,54	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Godean – Bantul	12,25	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Kentungan – Bantul	19,96	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Kentungan – Godean	7,71	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Kentungan – Gejayan I	5,95	CU 240	0,087	0,132	73
Kentungan – Gejayan II	5,95	CU 240	0,087	0,132	73
Medari – Kentungan	10,64	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Sanggrahan – Medari	27,27	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880
Sanggrahan- Kentungan	37,91	ACSR 240/40	0,1370	0,3966	2,880

Tabel 3. Beban Puncak Bulan Februari 2006

Nama Bus	Type	Tanggal	Jam	Beban	
				MW	MVAR
Bantul I	Load	24	19.00	29,5	17
Bantul II		26		29,7	16,4
Godean I	Load	11	19.00	9,7	4,7
Godean II		3		11,1	6
Gejayan I	Load	17	19.00	23	13
Gejayan II		5		18	9
Kentungan I	Load	24	19.00	56	21,5
Kentungan II		23		18,7	4,1
Medari	Load	3	19.00	13	6,7
Wirobrajan	Load	19	19.00	20,8	9
Semanu I	Load	14	19.00	20,5	8,8
Semanu II		1		12	6,4
Wates I	Load	3	19.00	10,5	5,3
Wates II		8		6,6	3,4
Purworejo I	Load	3	19.00	17,7	6,6
Purworejo II		26		12,8	6
Sanggrahan	Swing	-	-	-	-
Klaten	Swing	-	-	-	-
Beban total				309,6	143,9

PEMBAHASAN

Dari data-data saluran dan pembebanan yang diperoleh pada tabel 2 dan 3 dimasukkan ke dalam program *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) yang menggunakan solusi aliran daya dengan metode Newton Raphson.

Pertama dilakukan simulasi percobaan dengan model saluran, dua SKTT yang terpasang pada saluran dari bus Kentungan ke bus Gejayan dengan panjang saluran 5,96 km dan bus Bantul ke bus Wirobrajan dengan panjang 6,4 km digantikan dengan saluran SUTT, dari hasil eksekusi program menunjukkan profil tegangan yang tertinggi pada bus Medari yaitu sebesar 145,928 kV. Dan pada bus Semanu mempunyai profil tegangan yang paling rendah yaitu 142,002 kV, profil tegangan tersebut masih memenuhi syarat atau memenuhi standart yang telah diizinkan dari aturan jaringan JAMALI yaitu +5%, -10%. (CC21). Drop tegangan yang paling besar terjadi pada saluran bus Klaten ke bus Bantul dan bus Sanggrahan ke bus Kentungan yaitu sebesar 3.7 % dan 3.6 %.

Simulasi percobaan yang kedua, saluran SKTT yang menghubungkan bus Kentungan ke bus Gejayan dan bus Bantul ke bus Wirobrajan dipasangkan kembali, dari eksekusi akan menghasilkan penurunan tegangan yang signifikan pada beberapa bus, yang berarti terjadi kenaikan tegangan pada beberapa bus. Dari hasil dua simulasi yang telah dilakukan dapat ditampilkan besaran-besaran profil tagangan, aliran daya dan rugi-rugi daya pada tabel 4, tabel 5 dan tabel 6.

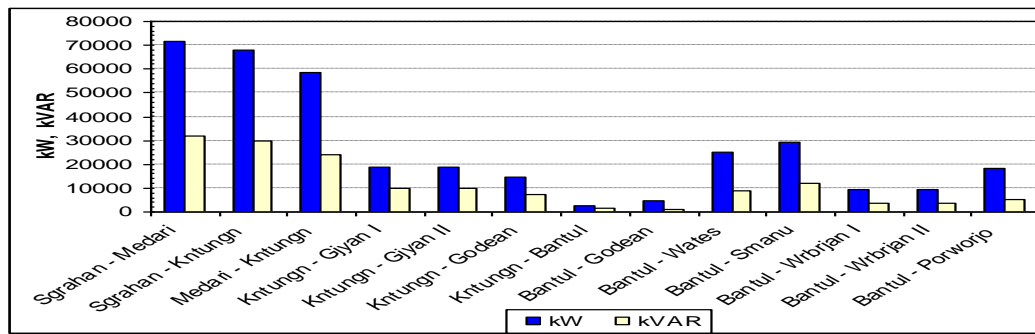
Dari hasil simulasi pada percobaan sistem saluran transmisi D.I.Y yang terdiri dari sembilan bus dan dua bus Sanggrahan dan bus Klaten sebagai *swing bus*, simulasi dilakukan dua percobaan yakni saluran tanpa SKTT (semua saluran transmisi menggunakan SUTT), dan saluran dengan dua SKTT yang terpasang pada bus Kentungan ke bus Gejayan dengan jarak 5,95 km dan bus Bantul ke bus Wirobrajan dengan jarak 6,4 km, maka profil tegangan pada beberapa bus dengan pembebanan yang sama dapat ditampilkan pada tabel 6.

Tabel 4. Profil Tegangan, Aliran Daya dan Rugi Daya Saluran Tanpa SKTT.

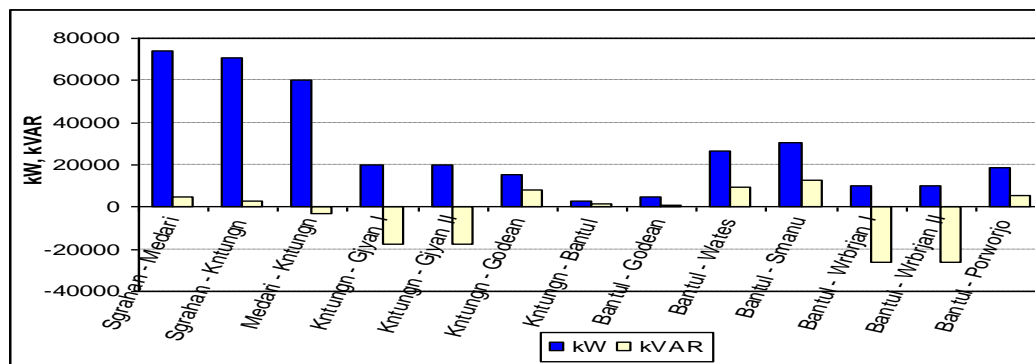
Nama Bus		Tegangan Bus		Drop Tegangan (%)	Aliran Daya		Rugi Daya	
Dari	Ke	kV	kV		MW	MVAR	MW	MVAR
Sanggrahan	Medari Kentungn	150	145,928	2,7	71,658	31,733	1,029	1,259
			144,646	3,6	68,151	29,787	1,294	1,376
Medari	Kentungn	145,928	144,646	0,9	58,325	24,132	0,274	0,146
Kentungan	Gjayan I Gjayan II Godean Bantul	145,928	144,375	0,2	19,010	9,883	0,018	-0,306
			144,375	0,2	19,010	9,883	0,018	-0,306
			144,376	0,2	14,632	7,473	0,014	-0,424
			144,486	0,1	2,792	1,355	0,002	-1,197
Bantul	Godean	144,376	144,486	0,1	4,642	1,287	0,002	-0,730
Wates	Porworjo	143,213	142,775	0,3	9,585	2,217	0,017	-1,438
Klaten	Bantul I Bantul II	150	144,486	3,7	75,946	33,932	1,481	2,116
			144,486	3,7	75,946	33,932	1,481	2,116
Bantul	Wates Smanu Wrbrjan I Wrbrjan II Porworjo	144,486	143,213	0,9	25,295	8,994	0,122	-1,152
			142,002	1,7	29,392	12,088	0,266	-1,536
			144,358	0,1	9,637	3,796	0,005	-0,371
			144,358	0,1	9,637	3,792	0,005	-0,371
			142,775	1,1	18,183	5,227	0,119	-2,536
Rugi – rugi Daya Total							6,146	-3,354

Tabel 5. Profil Tegangan, Aliran Daya dan Rugi Daya Saluran Dengan SKTT.

Nama Bus		Tegangan Bus		Drop Tegangan (%)	Aliran Daya		Rugi Daya	
Dari	ke	kV	kV		MW	MVAR	MW	MVAR
Sgrahan	Medari Kntungn	150	147,848	1,4	74,090	4,643	0,917	0,912
			147,331	1,8	70,550	2,659	1,152	0,923
Medari	Kntungn	147,848	147,331	0,3	60,544	-2,777	0,245	-2,777
Kntungn	Gjayan I Gjayan II Godean Bantul	147,331	147,314	0,0	19,777	-17,668	0,003	-28,276
			147,314	0,0	19,777	-17,668	0,003	-28,276
			147,052	0,2	15,179	7,953	0,014	-0,439
			147,157	0,1	2,898	1,607	0,002	-1,241
Bantul	Godean	147,052	147,157	0,1	4,827	1,135	2	-0,758
Wates	Porworjo	145,846	145,426	0,3	10,148	2,435	0,017	-1,372
Klaten	Bantul I Bantul II	150	147,157	1,9	78,574	4,496	1,314	1,592
			147,157	1,9	78,574	4,496	1,314	1,592
Bantul	Wates Smanu Wrbrjan I Wrbrjan II Porworjo	147,157	145,846	0,9	26,443	9,470	0,128	-1,189
			144,627	1,7	30,489	12,539	0,276	-1,593
			147,165	0,0	10,013	-26,020	0,002	-30,351
			147,165	0,0	10,013	-26,020	0,002	-30,351
			145,426	0,1	18,657	5,401	0,121	-2,638
Rugi – rugi Daya Total							5,512	-121,426



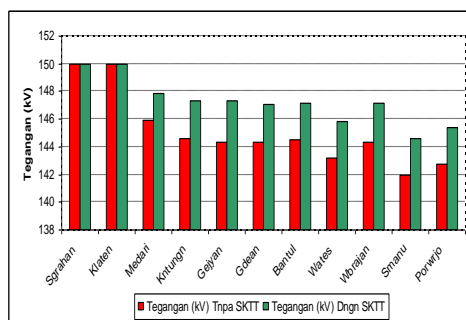
Gambar 3. Grafik aliran daya tanpa SKTT



Gambar 4. Grafik aliran daya dengan SKTT

Tabel 6. Profil Tegangan Beberapa Bus dari dua simulasi percobaan.

Nama Bus	Tegangan (kV)	
	Tanpa SKTT	Dengan SKTT
Sanggrahan	150	150
Klaten	150	150
Medari	145,928	147,848
Kentungan	144,646	147,331
Gejayan	144,375	147,314
Godean	144,376	147,052
Bantul	144,486	147,157
Wates	143,213	145,846
Wirobrajan	144,358	147,165
Semanu	142,002	144,627
Porworo	142,775	145,426



Gambar 5. Grafik profil tegangan pada masing-masing bus dari dua percobaan simulasi.

Dalam simulasi tanpa SKTT yakni semua sistem saluran menggunakan saluran udara SUTT dengan beban total daya aktif sebesar 309,6 MW dan daya reaktif 143,9 MVAR, beban ini diambil pada beban puncak. Hasil eksekusi menunjukkan bahwa rugi total daya aktif sebesar 61,462 MW dan daya reaktif sebesar -3,354 MVAR, drop tegangan yang terjadi pada bus rata-rata sebesar 1,21%. Nilai-nilai penting dalam system jaringan tanpa SKTT dan dengan SKTT dapat ditabelkan pada tabel 7 dan 8.

Subsistem saluran dari bus Kentungan ke bus Gejayan dengan panjang saluran 5,95 km, impedans saluran $0,518 + j0,785$ ohms dan suseptans $2,88 \times 10^{-6}$ S/km, tegangan bus pangkal kirim 144,646 kV dan tegangan bus ujung kirim 144,375 kV yang dihasilkan dari program ETAP dengan beban 46,53 MV A. Besarnya arus pemuatan dan kapasitas saluran dari Kentungan ke Gejayan dan Bantul ke Wirobrajan dapat dihitung dan ditabelkan pada tabel 9. SKTT yang dipasang dalam simulasi percobaan ini pada dua saluran yaitu bus Kentungan

ke bus Godean dan bus Bantul ke bus Wirobrajan dengan beban total dan pembebanan yang sama pada simulasi percobaan tanpa SKTT. Dari hasil eksekusi menunjukkan bahwa rugi total daya aktif sebesar 5,512 MW dan daya reaktif sebesar -121,462 MVAR, drop tegangan yang terjadi pada bus rata-rata sebesar 0,74 %. Pada SKTT Kentungan dan Gejayan membangkitkan daya reaktif sebesar 56,553 MVAR yang disumbangkan ke sistem sebesar 35,336 MVAR, dan pada SKTT Bantul – Wirobrajan membangkitkan daya reaktif 60,702 MVAR yang disumbangkan ke sistem sebesar 52,04 MVAR. Disamping itu, satu bus yang lain penyumbang daya reaktif yaitu bus Medari sebesar 2,777 MVAR, sehingga daya reaktif total yang disumbangkan ke sistem 90,153 MVAR. Besarnya arus pemuatan dan kapasitansi saluran dari Kentungan ke Gejayan dan Bantul ke Wirobrajan dapat dihitung dan ditabelkan pada tabel 10.

Tabel 7. Nilai-nilai penting dalam sistem jaringan tanpa SKTT

Tinjauan		Nilai
Beban Sistem	Daya Aktif	309,6 MW
	Daya Reaktif	143,9 MVAR
Rugi Daya	Daya Aktif	6,146 MW
	Daya Reaktif	-3,354 MVAR
Daya Reaktif yang dibangkitkan	SUTT	10,37 MVAR
	SKTT	0
Tegangan diujung Bus	Kentungan	144,646 kV
	Gejayan	144,375 kV
	Bantul	144,486 kV
	Wirobrajan	144,358 kV

Tabel 8. Nilai-nilai penting dalam sistem jaringan dengan SKTT

Tinjauan		Nilai
Beban Sistem	Daya Aktif	309,6 MW
	Daya Reaktif	143,9 MVAR
Rugi Daya	Daya Aktif	5,512 MW
	Daya Reaktif	- 121,426 MVAR
Daya Reaktif yang dibangkitkan	SUTT	9,231 MVAR
	SKTT	117,255 MVAR
Tegangan diujung Bus	Kentungan	147,331 kV
	Gejayan	147,314 kV
	Bantul	147,157 kV
	Wirobrajan	147,165 kV

Tabel 9. Nilai Arus Pemuatan dan Kapasitansi Saluran dari Hasil Perhitungan Tanpa SKTT

Saluran	Panjang (km)	Arus Pemuatan (Amper)	Kapasitansi F/phase
Kentungan - Gejayan	5,95	1,429	$0,054 \times 10^{-6}$
Bantul – Wirobrajan	6,4	1,536	$0,058 \times 10^{-6}$

Tabel 10. Nilai Arus Pemuatan dan Kapasitansi Saluran dari Hasil Perhitungan dengan SKTT

Saluran	Panjang (km)	Arus Pemuatan (Amper)	Kapasitansi F/phase
Kentungan - Gejayan	5,95	36,94	$1,382 \times 10^{-6}$
Bantul – Wirobrajan	6,4	39,696	$1,487 \times 10^{-6}$

KESIMPULAN

Hasil penelitian ketiga percobaan simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Dari hasil perhitungan saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) memberikan nilai kapasitansi saluran yang lebih besar dibanding saluran udara tegangan tinggi (SUTT), dengan adanya nilai kapasitansi saluran akan menaikkan arus pemuatan, semakin panjang saluran nilai arus pemuatan semakin besar. Dengan adanya saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) drop tegangan rata-rata pada sistem 0,74% untuk pemasangan dengan dua SKTT, nilai-nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan drop tegangan pada sistem tanpa SKTT yaitu sebesar 1,21%. Sehingga dengan saluran kabel tegangan tinggi akan memberikan kontribusi tegangan dan memperbaiki profil tegangan sistem pada bus yang ada disekitarnya.

Saluran transmisi 150 kV dengan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) tanpa menggunakan SKTT hanya memberikan daya reaktif ke sistem 7,2 % dari daya reaktif yang dibutuhkan beban, dan dengan dua SKTT yang terpasang membangkitkan daya reaktif pada sistem 81,48%, dengan demikian adanya SKTT rugi-rugi daya pada beberapa saluran akan megecil karena adanya pasokan daya reaktif ke sistem.

DAFTAR PUSTAKA

Mc Mahon, M, 1996, "Guidelines for the Comparison of high Voltage Overhead Lines and Underground Cables", Cigre Technical Brchure, Electra, France

Sadat, Hadi, 1999, Power System Analysis, Mc.Graw-Hill, Inc, Singapore.

Stevenson, W.D., Jr., 1996, *Power System Analysis*, International Edition Singapore.

PT. PLN (Persero), 2003, Rencana Penyediaan Tenaga Listrik Sistem Jamali Thn 2004-2013, PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali.