

Pemodelan Matematis Beban Tersebar Sebagai Beban Terpusat pada Sistem Distribusi 20 kV untuk Studi Aliran Daya

I Made Ginarsa dan I Made Ari Nrartha

Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram

Tel. +62-370-636126 Fax. +62-370-636126

E-mail : kadekgin@telkom.net dan nrartha@gmail.com

ABSTRAK

Studi Aliran daya pada sistem distribusi kadangkala tidak efektif untuk kasus sistem distribusi radial yang memiliki gardu distribusi cukup banyak. Ketidakefektifan ini disebabkan model bus untuk gardu distribusi merupakan bus beban dalam studi aliran daya. Diperlukan model matematis beban (gardu distribusi) tersebar sebagai beban terpusat untuk mengurangi gardu distribusi tersebar. Pada penelitian ini diusulkan pemodelan matematis beban terpusat menggunakan rumusan titik pusat massa (TPM) dengan acuan model beban terpusat, [5] Cheng dan Shirmohammadi. Model diuji dengan aliran daya MATPOWER versi 3.0.0. untuk validitas model diukur dengan % error (daya terkirim (Ps dan Qs), magnitude dan sudut tegangan terima) dengan kondisi real (beban tersebar). Sistem distribusi yang diacu adalah Sistem Distribusi Standar (SPLN) dan diimplementasikan pada Penyulang Gunung Sari, Lombok. Hasil penelitian menunjukkan untuk berbagai konfigurasi sistem distribusi 20 kV SPLN, Model TPM lebih baik dari Model CS95 karena % errornya lebih kecil yaitu TPM Ps 0.8780%, Qs 0.6860%, Vr 0.2782% dan δr 0.637375%. Model CS95 Ps 1.6222%, Qs 1.1843%, Vr 0.8080% dan δr 7.0762%. Implementasi pada Penyulang Gunung Sari, Model TPM juga juga lebih baik yaitu Ps 0.5155%, Qs 1.0417%, Vr 0% dan δr 2.0875%. Model CS95 Ps 0.5155%, Qs 1.0417%, Vr 0.3566% dan δr 25.5249%.

Kata kunci : beban tersebar, beban terpusat, titik pusat massa, sistem distribusi 20 kV dan aliran daya

ABSTRACT

Load flow study on distribution system sometime is not effective for radial power system, which have many distributed loads. This un-effectiveness caused by the bus model for distribution transformer is a load bus in a load flow study. A mathematical model for representing distributed load as lumped load is needed for reducing distributed loads. This research is subjected to make a distribution load model as lumped load by using mass center formula (TPM model) based on lumped load model, [5] Cheng and Shirmohammadi. This models are validated using MATPOWER ver. 3.0.0 load flow to compare model outputs and real condition outputs of distributed loads. Output variables of research is sending power (Ps), sending reactive power (Qs), voltage magnitude (Vr) and angle (δr). Validation of these models use standard distribution system (SPLN) and implemented on Gunung Sari Feeder, Lombok. Results of research are TPM model has better than CS95 model. TPM model has error percentage : Ps 0.8780%, Qs 0.6860%, Vr 0.2782% and δr 0.637375%. CS95 Model has error percentage: Ps 1.6222%, Qs 1.1843%, Vr 0.8080% and δr 7,0762% on standar distribution system (SPLN). Implemented these models on Gunung Sari Feeder, TPM model also has better than CS95 Model. TPM model has error percentage: Ps 0.5155%, Qs 1.0417%, Vr 0% and δr 2.0875%, CS95 model has error percentage: Ps 0.5155%, Qs 1.0417%, Vr 0.3566% and δr 25.5249%.

Keywords: distributed load, lumped load, mass center formula, 20 kV distribution system, and load flow study.

PENDAHULUAN

Sistem distribusi tegangan menengah (20 kV), pusat-pusat beban dilayani oleh gardu distribusi. Gardu distribusi merupakan sebuah trafo penurunan tegangan dari tegangan 20 kV ke tegangan 380/220 V. Gardu-gardu distribusi ini tersebar sepanjang saluran distribusi, tergantung dari jumlah dan kapasitas beban yang dilayani. Daerah-daerah yang mempunyai kepadatan beban tinggi dan tersebar akan mengakibatkan jumlah gardu sepanjang saluran distribusi menjadi banyak.

Studi aliran daya pada sistem distribusi dibutuhkan untuk mengetahui kondisi sistem distribusi saat sekarang (level tegangan, aliran daya aktif, aliran daya reaktif dan rugi-rugi saluran distribusi) dan sebagai alat indikator rencana pengembangan sistem distribusi untuk masa yang akan datang. Pada studi aliran daya, gardu distribusi dimodelkan sebagai bus beban. Sistem distribusi dengan jumlah gardu yang banyak dan tersebar baik merata maupun acak di sepanjang saluran distribusi mengakibatkan jumlah bus beban pada studi aliran daya tersebut akan sangat banyak. Kondisi ini akan mengakibatkan ketidak-kokohan aliran daya dan lama waktu konvergensinya [1]. Program aliran daya seperti Etap, *Powerworld*

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2008. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 8, nomor 2, September 2008.

dan lainnya biasanya harga lisensinya berbanding lurus dengan jumlah busnya.

Pada penelitian ini dikaji pemodelan matematis beban tersebar yaitu berupa gardu-gardu distribusi sebagai beban terpusat untuk mengurangi jumlah bus beban dalam studi aliran daya. Pemodelan ini memperhitungkan jarak antar gardu distribusi, jenis saluran yang digunakan dan kapasitas dari masing-masing gardu distribusi.

Dari segi ilmu pengetahuan, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk acuan pada perbaikan konvergensi dan kekokohan aliran daya dan keterbatasan perangkat lunak aliran daya yang sifatnya *trial* yaitu perangkat lunak aliran daya yang dapat menyelesaikan studi aliran daya dengan jumlah bus terbatas.

TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi operasi dan rencana pengembangan sistem distribusi merupakan hal penting untuk kelangsungan pelayanan listrik pada konsumen oleh produsen listrik, dalam hal ini PT. PLN (Persero). Kondisi operasi dan rencana pengembangan dapat diperoleh dari studi aliran daya [2].

Pada studi aliran daya diperlukan representasi pembangkit dan beban sebagai bus-bus meliputi bus beban, bus kontrol tegangan, dan bus referensi. Penyelesaian aliran daya bisa dengan berbagai metoda seperti Newton Raphson, Gauss Seidel, Fast Decouple, dan kecendrungan konvergensi aliran daya untuk berbagai jumlah bus [1]. Pada sistem distribusi, gardu distribusi bisa diasumsikan sebagai bus beban [3]. Penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi membawa kecenderungan jumlah bus beban jauh lebih banyak dari jumlah bus kontrol tegangan. Jumlah bus beban yang banyak pada sistem distribusi radial menyebabkan tegangan diujung saluran distribusi akan terlalu rendah, sehingga akan mungkin diluar standar tegangan pelayanan yaitu sebesar -10% dan +5% [4].

Penyelesaian aliran daya dengan bantuan *software* kadang dibatasi oleh keterbatasan *software* yaitu jumlah bus maksimum yang dapat diselesaikan. Etap versi 4.0 mempunyai keterbatasan jumlah bus yaitu 1000 bus, sehingga untuk sistem distribusi lebih dari 1000 bus membutuhkan perhitungan integrasi untuk pendistribusian beban terpusat yang dapat mewakili beban tersebar [5].

Cheng and Shirmohammadi [3], memodelkan beban tersebar sebagai beban terpusat dengan asumsi penurunan tegangan sangat kecil sehingga tegangan

kirim dan tegangan terima hampir sama. Pemodelan ini menghasilkan beban total dari beban tersebar dibagi dua dan diletakkan pada ujung kirim dan ujung terima. Pemodelan beban terpusat yang diusulkan oleh Cheng and Shirmohammadi [3] tidak memperhitungkan keacakan letak beban dan ketidakaturan kapasitas beban di setiap pusat-pusat beban. Beberapa titik massa sepanjang garis dapat ditentukan pusat titik massanya berdasarkan metoda integrasi penentuan titik pusat massa [6]. Beban-beban yang terdistribusi secara acak pada sistem distribusi bisa dianggap sebagai titik-titik massa yang tersebar dan dapat digantikan dengan sebuah titik pusat beban sehingga pemodelan beban tersebar sebagai beban terpusat bisa didapatkan.

Beberapa standar PLN yang perlu menjadi pertimbangan untuk perhitungan beban terpusat dari beban tersebar pada sistem distribusi 20 kV radial yaitu panjang maksimum saluran distribusi 20 kV adalah 50 km [7], pemakaian konduktor saluran distribusi 20 kV berdasarkan [8], rugi maksimum saluran distribusi 20 kV sebesar 5% [7]. Pemakaian pertimbangan ini diharapkan perhitungan pendistribusian terpusat yang dihasilkan adalah valid untuk sistem distribusi 20 kV.

Pemodelan matematis beban terpusat dari beban tersebar [3]

Sistem distribusi 20 kV, setiap penyulang menyuplai beban melalui gardu distribusi pada sejumlah lokasi sepanjang saluran. Jika setiap titik dari beban dimodelkan sebagai *node*, jumlah *node* dalam sistem akan menjadi sangat banyak. Untuk mengeliminasi permasalahan ini diperlukan pemodelan matematis beban terdistribusi dengan pendekatan efek beban terdistribusi pada *node magnitude* tegangan melalui beban terpusat.

Setiap cabang atau saluran utama penyulang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, mempunyai panjang L , beban terdistribusi merata sepanjang saluran dengan nilai total beban $P_t + jQ$. Beban terdistribusi merata sepanjang saluran dapat dimodelkan secara terpusat di ujung saluran dan di pangkal seperti pada Gambar 2, penurunan tegangan pada *node* dua sama dengan penurunan tegangan dari beban terdistribusi. Asumsi yang perlu diambil dan kondisi yang umum dari sistem distribusi yaitu beda sudut tegangan antara dua *node* pada penyulang tidak lebih dari beberapa derajat, sehingga dapat diasumsikan penurunan tegangan sepanjang saluran adalah linear dan dapat dirumuskan:

$$v(x) = \frac{V_2 - V_1}{L} x + V_1 \quad (1)$$

Keterangan: x adalah setiap titik sepanjang saluran diukur dari *node* pertama seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Arus yang mengalir pada saluran sebagai fungsi x dapat dituliskan sebagai berikut:

$$i(x) = \int_x^L \left(\frac{P + jQ}{Lv(y)} \right)^* dy \quad (2)$$

Penurunan tegangan sepanjang saluran dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta V = \int_0^L i(y)(r_l + jx_l) dy \quad (3)$$

dengan $r_l + jx_l$, adalah impedansi perpanjang saluran (ohm/meter).

Penurunan tegangan akan sama, yang disebabkan oleh ekuivalen beban terpusat pada *node* 2, $\eta(P + jQ)$, dapat dituliskan:

$$\int_0^L i(y)(r_l + jx_l) dy = \eta \left(\frac{P + jQ}{V_2} \right)^* (R_l + jX_l) \quad (4)$$

dengan

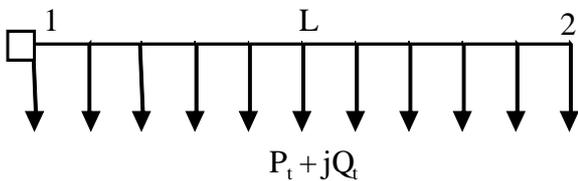
$$0.0 < \eta < 1.0,$$

$R_l + jX_l$ adalah impedansi total saluran.

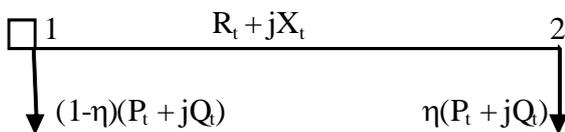
Persamaan 2 disubstitusikan pada persamaan 4, dan mengintegrasikan sisi kiri sehingga η dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V_1}{(V_1 - V_2)^2} \left[V_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + (V_1 - V_2) \right] \quad (5)$$

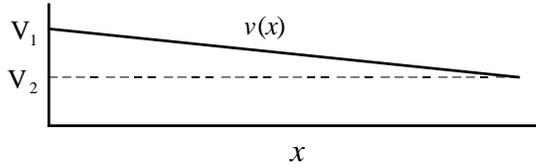
Variasi η dengan nilai V_1 dan V_2 yang berbeda-beda, η berbeda-beda sekitar 0.5 dalam *range* terbatas. Untuk penurunan tegangan sepanjang saluran kecil ($V_1 \cong V_2$). Berdasarkan pengamatan ini, pada saluran distribusi beban yang terdistribusi merata sepanjang saluran dapat dimodelkan dengan beban terpusat pada pangkal sebesar $(1-\eta)*(P_t + jQ_t)$ dan pada ujung sebesar $\eta(P_t + jQ_t)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Kondisi real beban pada sistem distribusi



Gambar 2. Pemodelan beban terpusat



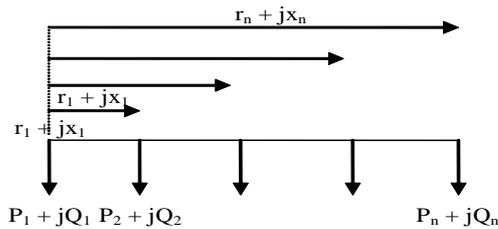
Gambar 3. Ekuivalen pemodelan penurunan tegangan terhadap jarak beban

Titik pusat massa sebagai pembanding Model CS95

Beban-beban tersebar pada sistem distribusi dapat diasumsikan sebagai beban terpusat pada titik tertentu. Beban-beban yang distribusinya tidak terpusat dapat berupa beban yang tersebar maupun tidak seragam pada suatu daerah, meskipun beban-beban tersebut distribusinya tidak murni seragam, namun demikian selalu diasumsikan pendistribusian beban-beban seragam. Beban-beban pada sistem distribusi dapat dinyatakan atau diwakili oleh kelompok beban terpusat pada suatu titik, atau sekelompok beban distribusinya tersebar pada bagian tertentu dari sistem tersebut. Dengan beban terpusat ini, memudahkan kita dalam menyelesaikan suatu persoalan dari suatu sistem. Beban-beban terpusat berdasarkan pengamatan ini, pada saluran distribusi beban yang terdistribusi merata sepanjang saluran dapat dimodelkan dengan beban terpusat pada pangkal sebesar $(1-\eta)*(P_t + jQ_t)$ dan pada ujung sebesar $\eta(P_t + jQ_t)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Jika setiap titik dari beban dimodelkan sebagai node, jumlah node dalam sistem akan menjadi sangat banyak. Dianggap titik-titik tersebut berlangsung terus menerus maka pendistribusian beban sulit diketahui secara pasti. Permasalahan dapat diatasi dengan pemodelan beban terdistribusi dengan pendekatan integrasi efek beban terdistribusi pada *node magnitude* tegangan melalui beban terpusat. Misalnya beban-beban, $P_1 + jQ_1, P_2 + jQ_2, \dots, P_n + jQ_n$ mempunyai panjang saluran untuk setiap beban adalah $r_1 + jx_1, r_2 + jx_2, \dots, r_n + jx_n$, maka asumsi yang perlu diambil didefinisikan sebagai berikut:

$$(P_1 + jQ_1) + (P_2 + jQ_2) + \dots + (P_n + jQ_n) = \sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k) = P_t + jQ_t \quad (6)$$



Gambar 4. Implemetasi titik pusat masa pada pemodelan

Sehingga dipusatkan disatu titik $\overline{r + jx}$, maka :
 $(P_1 + jQ_1)(r_1 + jx_1) + (P_2 + jQ_2)(r_2 + jx_2) + \dots$
 $+ (P_n + jQ_n)(r_n + jx_n) = \sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k)(r_k + jx_k)$ (7)

dengan demikian didapatkan titik pusat massa $\overline{r + jx}$ sebagai berikut:

$$\overline{(r + jx)} = \frac{\sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k)(r_k + jx_k)}{\sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k)}$$
 (8)

dengan:

$(P_k + jQ_k)$ = beban setiap bus,
 $(r_k + jx_k)$ = panjang saluran antara beban.

Model matematis yang ditunjukkan pada persamaan 8 dapat dibuatkan hubungan dengan model yang direkomendasikan oleh Cheng [3], untuk mendapatkan rumusan model matematis beban terpusat berdasarkan titik pusat massa.

$$\overline{(r + jx)} \sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k) = (r_n + jx_n)(P_{ut} + jQ_{ut}) + 0 * (P_{pt} + jQ_{pt})$$
 (9)

dengan:

$(P_{ut} + jQ_{ut})$ = beban pada ujung/hilir saluran,
 $(P_{pt} + jQ_{pt})$ = beban pada pangkal/hulu saluran.

maka:

$$\eta = \frac{\overline{(r + jx)}}{(r_n + jx_n)} = \frac{\overline{(r + jx)}}{R_t + jX_t}$$
 (10)

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan data SPLN mengacu pada batas atas dan batas bawah sistem 20 kV pada pemilihan konduktor, rugi maksimum yang diijinkan, panjang penghantar maksimum, dan tegangan pelayanan untuk menguji validitas model.

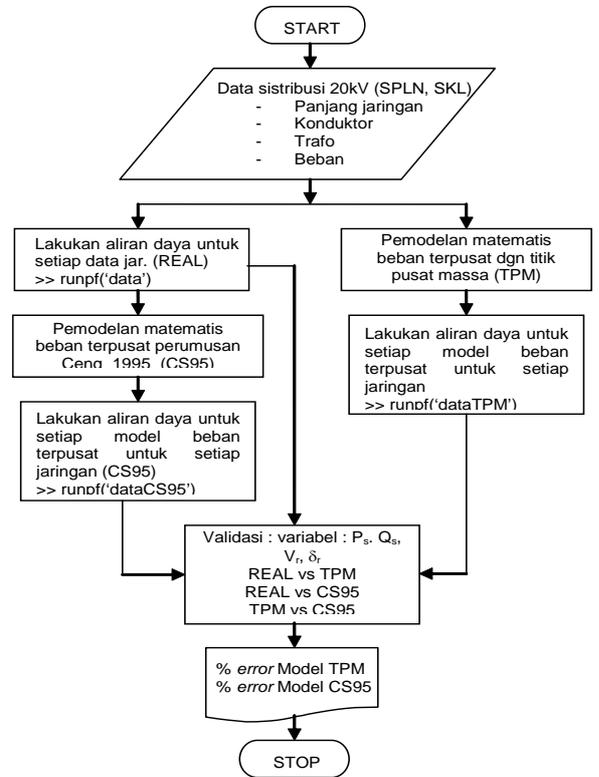
Model yang diusulkan (Model TPM) dan Model CS95 akan diimplementasikan pada sistem real yaitu Sistem Kelistrikan Lombok (Penyulang Gunung Sari)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

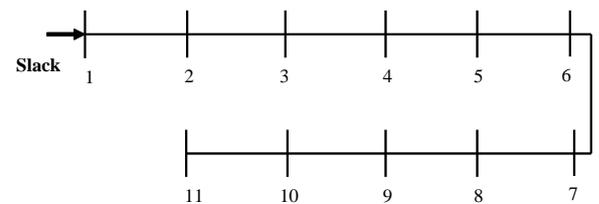
Hasil validitas model dan pembahasan pada data standar PLN (SPLN)

Sistem Distribusi 20 kV dari data SPLN ditunjukkan pada diagram segaris seperti Gambar 6. Gambar 6 mempunyai berbagai konfigurasi dalam penggunaan jenis penghantar, panjang perseksi saluran, distribusi

beban dengan panjang saluran maksimum 50 km [7]. Hasil-hasil aliran daya sistem ini digunakan untuk memperoleh Model CS95 seperti yang dirumuskan secara matematis pada persamaan 5. Model beban terpusat yang didapat tersebut dipergunakan sebagai pengganti beban tersebar (kondisi real) pada sistem distribusi radial.



Gambar 5. Alur penelitian



Gambar 6. Diagram segaris sistem distribusi radial

Model CS95 ditinjau dari % error pemodelan dengan membandingkan hasil keluaran aliran daya kondisi real dengan Model CS95% error untuk penghantar ACSR 16/2.5 didapatkan hasil : Ps adalah 0.6711% sampai 7.5%, Qs adalah 0% sampai 2.8571%, Vr adalah 0.1183% sampai 5.4795%, dan δr adalah 0.5083% sampai 24.7706 %.

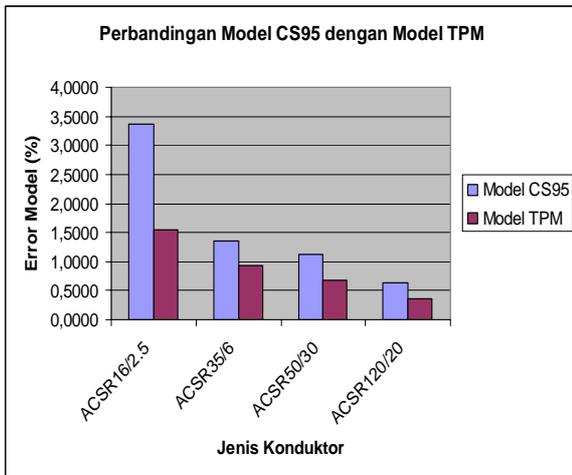
Penghantar ACSR 120/20 % error pemodelan Model CS95 didapatkan hasil: Ps adalah 0% sampai 0.7299%, Qs adalah 0% sampai 1.4706%, Vr adalah 0% sampai 0.40899%, dan δr adalah 0.9958% sampai 15.8596%.

Model TPM (model yang usulkan) didapatkan tanpa terlebih dahulu harus melakukan aliran daya kondisi real. Perumusan untuk mendapatkan model matematis beban terpusat TPM ditunjukkan pada persamaan 10. Hasil-hasil % *error* pemodelan untuk penghantar ACSR 16/2.5 yaitu: Ps 1.25% sampai 2%, Qs 0% sampai 1.4493%, Vr 0.5741% sampai 1.2453% untuk dan δr 1.0014% sampai 1.7693%.

Penghantar ACSR 120/20 menunjukkan % *error* pemodelan Model TPM:Ps 0% sampai 0.7299%, Qs 0% sampai 1.4706%, Vr 0% sampai 0.1024% dan δr 0% sampai 0.3155%.

Kedua model, Model CS95 dan Model TPM sama-sama menunjukkan untuk penggunaan konduktor berdiameter kecil pada sistem distribusi maka % *error* model cukup besar sedangkan untuk konduktor berdiameter besar % *error* pemodelan cukup kecil.

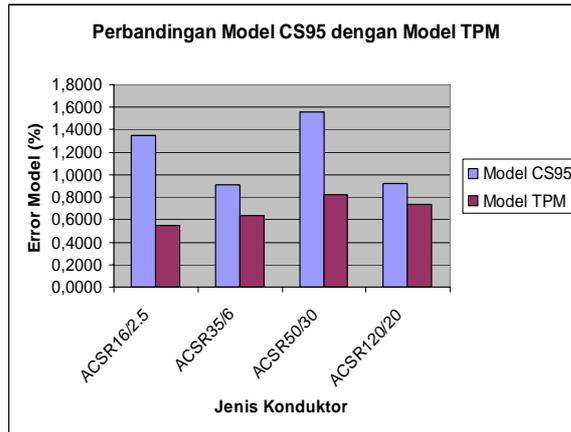
Hasil validasi (% *error* pemodelan) menunjukkan model TPM lebih baik dari model CS95 seperti hasil-hasil di atas. Secara grafik perbandingan validasi ini dapat ditunjukkan pada Gambar 7 sampai Gambar 10.



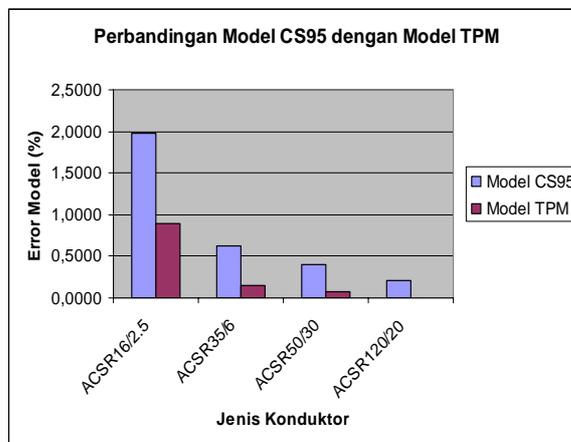
Gambar 7. Perbandingan validitas model-model terhadap real untuk daya aktif Ps kirim

Gambar 7. menunjukkan untuk berbagai jenis konduktor, Model TPM mempunyai *error* model lebih kecil dari Model CS95 ditinjau dari daya aktif kirim (Ps) yang dihasilkan oleh aliran daya model dengan aliran daya kondisi real.

Gambar 8. menunjukkan untuk berbagai jenis konduktor, Model TPM mempunyai *error* model lebih kecil dari Model CS95 ditinjau dari daya reaktif kirim (Qs) yang dihasilkan oleh aliran daya model dengan aliran daya kondisi real.

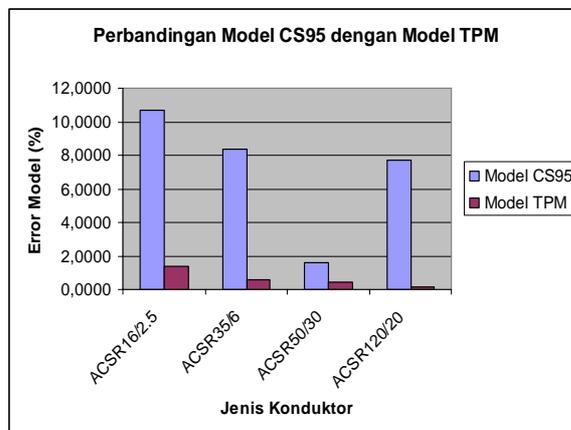


Gambar 8. Perbandingan validitas model-model terhadap real untuk daya reaktif Qs kirim



Gambar 9. Perbandingan validitas model-model terhadap real untuk magnitudo tegangan terima

Gambar 9 menunjukkan untuk berbagai jenis konduktor, Model TPM mempunyai *error* model lebih kecil dari Model CS95 ditinjau dari *magnitudo* tegangan terima (Vr) yang dihasilkan oleh aliran daya model dengan aliran daya kondisi real.



Gambar 10. Perbandingan validitas model-model terhadap real untuk sudut tegangan terima

Gambar 10 menunjukkan untuk berbagai jenis konduktor, Model TPM mempunyai *error* model lebih kecil dari Model CS95 ditinjau dari sudut tegangan terima (δr) yang dihasilkan oleh aliran daya model dengan aliran daya kondisi real.

Validasi Model CS95 dan Model TPM dapat dirata-ratakan untuk semua konfigurasi dan jenis konduktor yang digunakan pada sistem distribusi standar menggunakan model CS95 yaitu: Ps sebesar 1,6222%, Qs 1,1843%, Vr 0,8080% dan δr 7,0763%. Menggunakan model TPM didapatkan Ps sebesar 0.8780%, Qs 0.6860%, Vr 0.2782% dan δr 0.6374%.

Hasil implemetasi model dan pembahasan pada Penyulang Gunung Sari

Hasil-hasil aliran daya untuk penyulang Gunung sari untuk kondisi real dan kondisi kedua model beban terpusat dapat dirangkum dalam Tabel 1 untuk saluran seksi I Model CS95 dan Tabel 2 untuk saluran seksi I Model TPM.

Tabel 1. Perbandingan kondisi real vs model CS95 saluran seksi I

L tot (km)	No. Jen. Kond.	Beban real (tersebar)				Model CS95 (terpusat)				η
		Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	
2.0631	7	0.61	0.30	0.997	-0.114	0.61	0.30	0.998	-0.083	0.4995
	2									

Tabel 2. Perbandingan kondisi real vs model TPM saluran seksi I

L tot (km)	No. Jen. Kond.	Beban real (tersebar)				Model TPM (terpusat)				η
		Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	
2.0631	7	0.61	0.30	0.997	-0.114	0.61	0.30	0.997	-0.114	0.6857
	2									

Keterangan:

No. Jen. Kond.	R(ohm/km)	L(ohm/km)	Jenis penghantar
7	0.216	0.33	AAAC 3 x 150
2	0.174	0.324	AAAC 3 x 2/0

Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukan hasil-hasil aliran daya kondisi real vs Model CS95 dan kondisi real vs Model TPM saluran seksi II.

Tabel 3. Perbandingan kondisi real vs model CS95 saluran seksi II

L tot (km)	No. Jen. Kond.	Beban real (tersebar)				Model CS95 (terpusat)				η
		Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	
7	6	0.97	0.48	0.979	-0.503	0.96	0.47	0.985	-0.383	0.4965
	5									
	2									

Tabel 4. Perbandingan kondisi real vs model TPM saluran seksi II

L tot (km)	No. Jen. Kond.	Beban real (tersebar)				Model TPM (terpusat)				η
		Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	
7	6	0.97	0.48	0.979	-0.503	0.96	0.47	0.979	-0.524	0.6748
	5									
	2									

Keterangan:

No. Jen. Kond.	R(ohm/km)	L(ohm/km)	Jenis penghantar
7	0.216	0.33	AAAC 3 x 150
6	0.275	0.34	AAAC 3 x 95
5	0.461	0.357	AAAC 3 x 70
2	0.174	0.324	AAAC 3 x 2/0

Tabel 5 menunjukkan rangkuman % *error* model-model beban terpusat (Model CS95 dan Model TPM) untuk kedua seksi saluran.

Tabel 5. Perbandingan implementasi model pada penyulang Gunung Sari

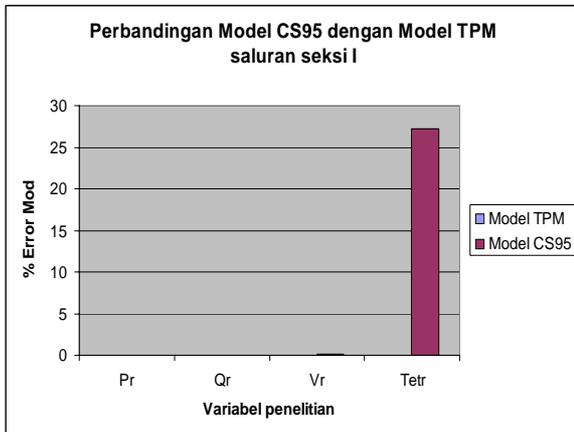
Seksi Sal. bus	% error Beban real (tersebar) terhadap Model CS95				% error Beban real (tersebar) terhadap Model TPM			
	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)	Ps (pu)	Qs (pu)	Vr (pu)	δr (pu)
Seksi I (1-2)	0	0	0.1003	27.1930	0	0	0	0
Seksi II (1-2)	1.0309	2.0833	0.6129	23.8569	1.0609	2.0833	0	4.1750

Hasil implemetasi Model CS95 dan Model TPM pada penyulang Gunung sari diperoleh % *error* Model TPM tetap lebih kecil dari Model CS95. Hasil ini menunjukkan pemodelan beban terpusat TPM (Pemodelan yang diusulkan) sangat layak, dari model CS95 yang pernah diusulkan sebelumnya. Perbandingan persen *error* untuk masing-masing seksi adalah seksi saluran I untuk Model TPM : Ps, Qs, Vr dan δr sebesar 0%, sedangkan untuk Model CS95 : Ps dan Qs sebesar 0 %, Vr sebesar 0.1003%, dan δr sebesar 27.1929%. Saluran seksi II untuk Model TPM mempunyai % *error*: Ps sebesar 1.030928%, Qs sebesar 2.0833%, Vr sebesar 0% dan δr sebesar 4.1749%. Sedangkan untuk Model CS95 mempunyai % *error*: Ps sebesar 1.0309%, Qs sebesar 2.0833%, Vr sebesar 0.6129% dan δr sebesar 23.8569%.

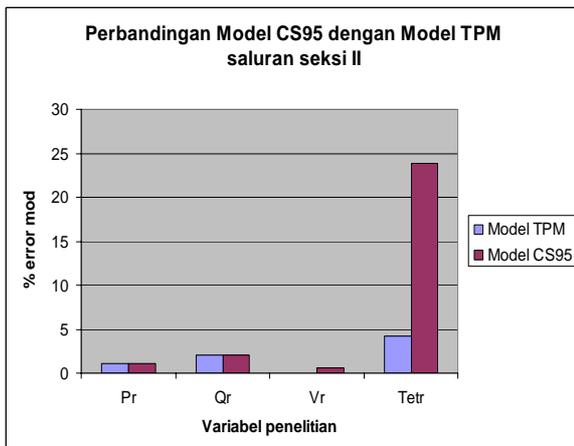
Persen *error* ini dapat ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12 untuk memperjelas validitas Model CS95 dan Model TPM.

Gambar 11 dan Gambar 12. menunjukkan secara jelas model yang diusulkan yaitu Model TPM mempunyai % *error* yang lebih kecil dari Model CS95 untuk berbagai konfigurasi jaringan yang digunakan pada penelitian ini.

Implementasi kedua model dapat ditarik % error rata-rata untuk setiap variabel yang diteliti yaitu untuk Model CS95 % error rata-rata: Ps sebesar 0.5155%, Qs sebesar 1.0417%, Vr sebesar 0.3566% dan δr sebesar 25.5249%. Sedangkan untuk Model TPM % error rata-rata: sebesar Ps 0.5155%, Qs 1.0417%, Vr sebesar 0% dan δr 2.0875%.



Gambar 11. Validitas model CS95 vs model TPM untuk penyulang gunung sari saluran seksi I



Gambar 12. Validitas model CS95 vs model TPM untuk penyulang gunung sari saluran seksi II

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dan pembahasan hasil pemodelan matematis beban tersebar sebagai beban terpusat pada sistem distribusi 20 kV untuk studi aliran daya dapat ditarik beberapa simpulan yaitu:

1. Data sistem distribusi 20 kV yang digunakan untuk validasi adalah sistem distribusi 20 kV SPLN dan implementasi model digunakan data Sistem Kelistrikan Lombok (Penyulang Gunung Sari).

2. Hasil validasi menunjukkan Model TPM lebih baik dari Model CS95, hal ini ditunjukkan dengan besar % error rata-rata yang lebih kecil untuk Model TPM yaitu: sebesar Ps sebesar 0.8780%, Qs sebesar 0.6860%, Vr sebesar 0.2782% dan δr sebesar 0.6374%. Untuk Model CS95 didapatkan % error lebih besar yaitu: Ps sebesar 1,6222%, Qs sebesar 1,1843%, Vr sebesar 0,8080% dan δr sebesar 7,0762%.
3. Implementasi Model TPM dan Model CS95 pada penyulang Gunung Sari juga menunjukkan Model TPM memiliki % error lebih kecil dari Model CS95 yaitu untuk Model TPM % error rata-rata yaitu: Ps sebesar 0.5155%, Qs sebesar 1.0417%, Vr sebesar 0% dan δr sebesar 2.0875%. Sedangkan untuk Model CS95 % error rata-rata : Ps sebesar 0.5155%, Qs sebesar 1.0417%, Vr sebesar 0.3566% dan δr sebesar 25.5249%.

Saran

Disarankan pengembangan pemodelan matematis atau pemodelan-pemodelan lain untuk beban-beban distribusi radial dengan banyak percabangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nnarrtha, I.M.A. *Perbandingan Unjuk Kerja Berbagai Metoda untuk Studi Aliran Daya*. Oryza, Universitas Mataram, 2006.
- [2] Stevensen, W. D. Jr.. *Analisa Sistem Tenaga Listrik: Studi Aliran Daya*. Jakarta: PT Erlangga, 1994.
- [3] Cheng, C.S., and Shirmohammadi, D. "A Three Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis", *IEEE Transaction On Power System*, Vol. 10. No. 2, 1995.
- [4] *Tegangan-tegangan Standar PLN, SPLN 1*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1995.
- [5] *Master Plan Sistem Kelistrikan Lombok*. Mataram: PT. PLN (Persero) Wilayah NTB, 2005.
- [6] Thomas, G., B., Jr., and Finney, R., L. *Calculus and Analyic Geometry*, 6th Edition, Adison-Wesley, 1984.
- [7] *Kriteria Dasar Bagi Perencanaan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV serta Tegangan Tinggi 66 kV dan 150 kV, SPLN 14*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1979.
- [8] *Pedoman Pemilihan Jenis dan Ukuran Penghantar Alumunium bagi Saluran Udara 20 kV, 66 kV dan 150 kV, SPLN 15*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1979.
- [9] Fogiel, M. *The Numerical Analysis Problem Solver, A Complete Solution Guide to Any*

- Textbook*. New Jersey: Research and Education Association, 1993.
- [10] Gonen, T. *Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill, Inc., USA, 1986.
- [11] Hanselman, D., and Littlefield, B. *Mastering MATLAB, A Comprehensive Tutorial and Reference*, New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- [12] Stevenson, W.D., and Grainger, J.J., *Power System Analysis*, Singapore: MCGraw-Hill, Inc., 1994.
- [13] Hutauruk, T.S., *Transmisi Daya Listrik: Kemampuan Penyaluran Daya Untuk Level Tegangan Maksimum*. Jakarta: PT Erlangga, 1993.