

Rancang Bangun Scaled-Down Model Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Herris Yamashika¹, Mahyessie Kamil²

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat^{1,2}

email: herrisyamashika@umsb.ac.id¹, mahyessiekamil@umsb.ac.id²

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v5i1.3069>

Abstrak: Artikel ini membahas rancang bangun perangkat keras scaled down model sistem distribusi tenaga listrik. Sistem distribusi sistem tenaga yang dimodelkan adalah tipikal saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV PLN. Penentuan nilai impedansi scaled-down model menggunakan metode per unit. Jaringan distribusi yang menggunakan penghantar AAAC 240 mm² memiliki kapasitas hantar arus 525 ampere, dan penghantar AAAC 150 mm² memiliki kapasitas hantar arus 400 A diskalakan dengan kapasitas 0,1 ampere. Tegangan operasi 20 kV akan diskalakan menjadi tegangan 3 V. Impedansi saluran disesuaikan dengan SPLN 64:1985, dimana impedansi urutan positif SUTM adalah $0,2162 + j0,3305$ ohm/km untuk penghantar 150 mm² dan $0,1344 + j0,3158$ ohm/km untuk penghantar 240 mm², sementara impedansi urutan nol adalah $0,3631 + j1,6180$ ohm/km untuk penghantar 150 mm² dan $0,2824 + j1,6034$ ohm/km untuk penghantar 240 mm². Hasil perhitungan scaled-down model penghantar 150 mm² diperoleh impedansi urutan positif sebesar $0,2471 + j0,3778$ ohm/km, dan impedansi urutan nol adalah $0,4151 + j1,8496$ ohm/km. Sedangkan hasil perhitungan scaled-down model penghantar 240 mm² diperoleh impedansi urutan positif sebesar $0,1833 + j0,4307$ ohm/km, dan impedansi urutan nol adalah $0,3852 + j2,187$ ohm/km. Sebelum dilakukan pengerjaan perangkat keras, dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada scaled-down model sistem menggunakan ATPDraw untuk memastikan bahwa arus gangguan yang terjadi saat kondisi peralihan bisa diakomodir oleh komponen yang akan digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus tertinggi yang terjadi adalah 1,12 ampere pada gangguan 3 fasa.

Keywords: scaled-down model, model sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik

PENDAHULUAN

Capaian pendidikan sarjana teknik atau sesuai KKN level 6 adalah kemampuan mengidentifikasi, memformulasi, dan memecahkan masalah-masalah teknis. Salah satu metode pembelajaran sarjana teknik elektro adalah laboratorium, oleh karena itu laboratorium menjadi bagian penting dalam proses pembelajaran. Saat ini telah banyak dikembangkan metode pembelajaran di laboratorium dengan tujuan menyediakan pemahaman teoritis dan pengalaman praktis. Beberapa dekade lalu, laboratorium teknik elektro, terdiri dari peralatan-peralatan tegangan tinggi [1] dan digunakan untuk pengajaran keahlian praktikal. Namun, membangun sistem aktual di dalam laboratorium membutuhkan biaya besar dan instalasi yang kompleks. Pilihan lain adalah menggunakan simulasi komputer, yang merupakan pilihan yang saat ini banyak digunakan [2-4]. Di lain sisi, kekurangan dari simulasi komputer adalah kurangnya pemahaman terhadap fenomena, serta sedikitnya pengalaman yang diperoleh [5]. Mengatasi kelemahan tersebut, simulasi yang

menggabungkan platform fisik dan digital dikembangkan untuk memberikan pengalaman dan memperlihatkan fenomena fisik peralatan tertentu [6]. Pengujian karakteristik operasi relay untuk meningkatkan pemahaman terhadap kinerja relay proteksi dilakukan oleh [7] melalui pengujian karakteristik relay proteksi dilaboratorium. Meskipun metode tersebut menggunakan relay proteksi aktual, namun sinyal parameter berasal dari simulator komputer. Pengamatan fenomena pada sistem tenaga, dapat dilakukan menggunakan perangkat keras scaled-down model di laboratorium [8-9].

Scaled-down model sistem tenaga tidak membutuhkan instalasi yang kompleks, dan biaya lebih rendah. Beberapa produk komersial scaled-down model telah dikembangkan oleh beberapa pabrikan produsen peralatan laboratorium, diantaranya Terco [10], De Lorenzo [11], dan Lucas Nuelle [12]. Produk komersial tersebut membutuhkan daya yang cukup besar (puluhan sampai ratusan kVA), dan rating tegangan yang digunakan 120 V – 1000 V. Peralatan tersebut membutuhkan biaya yang

cukup besar bagi beberapa institusi pendidikan tinggi. Dalam pelaksanaan percobaan, diperlukan rangkaian kabel-kabel untuk menghubungkan masing-masing komponen. Proses seperti ini membutuhkan waktu dan kadang membosankan, serta berisiko terhadap keselamatan. Kekurangan lain dari produk komersial tersebut adalah kurangnya pemahaman terhadap prinsip kerja dan karakteristik masing komponen karena komponen tersebut terdapat di dalam peralatan, sehingga tidak terlihat oleh mahasiswa.

Penelitian ini akan merancang dan membangun sebuah perangkat keras scaled-down model sistim distribusi tenaga listrik yang terdiri dari sumber jala-jala, model saluran, simulator gangguan hubung singkat, model beban, peralatan pensaklaran, dan alat ukur. Model ini akan digunakan untuk mengamati fenomena gangguan hubung singkat, diantaranya gangguan satu fasa ketanah, gangguan fasa-fasa, gangguan tiga fasa, dan gangguan tiga fasa ke tanah. Agar fenomena aktual bisa diwakili oleh model ini, maka impedansi saluran dimodelkan sebagai impedansi urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.

TINJAUAN PUSTAKA

Rangkaian model saluran distribusi tenaga listrik terlihat seperti pada gambar 1. Perangkat keras *scaled-down* model dirancang dan dibangun sesuai rangkaian ini, dimana parameter impedansi terdiri dari impedansi urutan positif, negatif dan nol. Jika panjang saluran distribusi adalah l , maka nilai dari masing parameter impedansi tersebut dapat dihitung sesuai [13]

$$R_1 = R_2 = R_3 = r_+ \cdot l$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_+ \cdot l$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_5 = C_6 = C_7 = C_+ \cdot l/2$$

$$R_4 = (r_0 - r_+) \cdot l/3$$

$$L_4 = (L_0 - L_+) \cdot l/3$$

$$C_4 = C_8 = 1,5 C_+ C_0 / (C_+ - C_0)$$

dimana,

r_+ = tahanan urutan positif

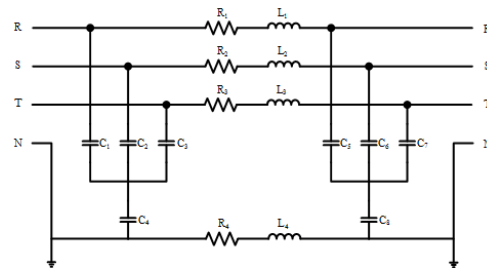
L_+ = Induktansi urutan positif

C_+ = Kapasitansi urutan positif

R_0 = Tahanan urutan nol

L_0 = Induktansi urutan nol

C_0 = Kapasitansi urutan nol



Gambar 1. Model Saluran Distribusi

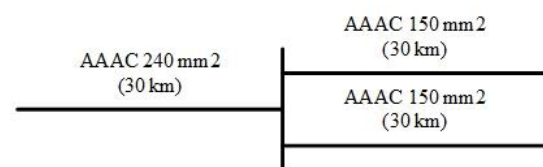
METODE PENELITIAN

Parameter jaringan distribusi yang akan dibuatkan *scaled-down* model adalah penghantar AAAC (*All Aluminum Alloy Conductor*) 240 mm² untuk penyulang *incoming*, dan AAAC 150 mm² untuk penyulang *outgoing*. Sesuai SPLN 64:1985 Data impedansi jaringan terdiri dari impedansi urutan positif, dan impedansi urutan nol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Impedansi Penghantar AAAC 20 kV sesuai SPLN 64:1985

A (mm ²)	Z _{+/-} (Ohm / km)	Z ₀ (Ohm / km)
150	0,2162 + j0,3305	0,3631 + j1,6180
240	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6034

Konfigurasi sistem yang akan dimodelkan terdiri dari satu penyulang *incoming* dan dua penyulang *outgoing*, dan masing-masing sepanjang 30 km. Impedansi masing-masing penyulang dimodelkan setiap 10 km, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Jaringan

HASIL DAN PEMBAHASAN

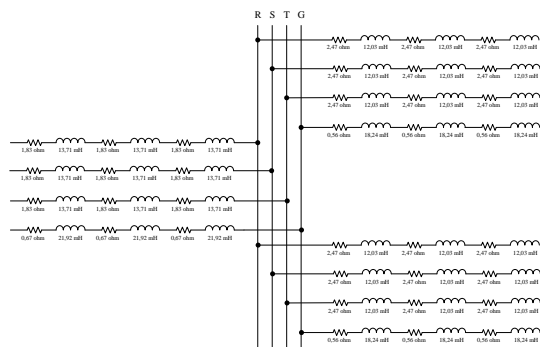
Penentuan nilai impedansi scaled-down model menggunakan metode per unit. Jaringan distribusi yang menggunakan penghantar AAAC 240 mm² memiliki kemampuan hantar arus 525 ampere, dan akan diskalakan dengan kapasitas arus 0,1 Ampere. Sementara itu, untuk penghantar AAAC 150 mm² memiliki kapasitas hantar arus 400 A akan diskalakan dengan kapasitas 0,1 ampere. Tegangan

operasi 20 kV akan diskalakan menjadi tegangan 3 V. Hasil perhitungan impedansi untuk *scaled-down* model dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter *scaled-down* model

A (mm ²)	Z+/- (Ohm / km)	Z0 (Ohm / km)
150	0,2162 + j0,3305	0,3631 + j 1,6180
240	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6034

Berdasarkan nilai parameter impedansi *scaled down* model pada tabel 2, maka tahapan selanjutnya dilanjutkan dengan pengerjaan perangkat keras Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Sesuai dengan uraian sebelumnya, impedansi saluran distribusi dimodelkan per 10 km panjang saluran. Gambar 3 memperlihatkan konfigurasi sistem *scaled-down* model.



Gambar 3. Konfigurasi Jaringan Sistem Scaled Down Model

Tahanan dimodelkan menggunakan resistor yang terdiri dari satu resistor atau beberapa resistor yang dirangkai seri, sehingga diperoleh nilai yang diinginkan. Reaktansi induktif dimodelkan oleh induktor tunggal yang dibuat menggunakan kawat enamel dan dililit pada ferrit core toroid. Tabel 3 menyajikan perbandingan nilai target resistansi dengan nilai resistansi yang diperoleh berdasarkan ketersediaan komponen di pasaran. Sedangkan Tabel 4 memberikan perbandingan nilai target induktor dengan nilai induktor yang dibuat.

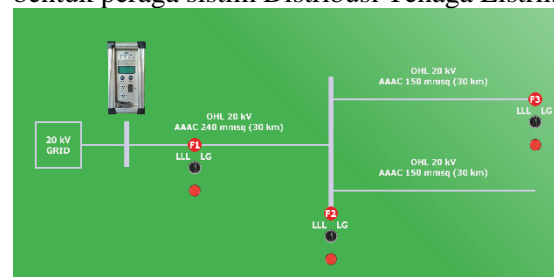
Tabel 3. Perbandingan Nilai Target Resistor Terhadap Nilai Aktual

No	Target (ohm)	Aktual (ohm)	Deviasi (%)	Rangkaian
1	2,47	2,53	2,37	2,2 + 0,33
2	1,83	1,8	1,81	1,8
3	0,67	0,68	1,05	0,67
4	0,56	0,56	0	0,56

Tabel 4. Perbandingan Nilai Target Induktor Terhadap Nilai Aktual

No	Target (mH)	Aktual (mH)	Deviasi (%)
1	13,71	14,6	6,49
2	21,92	20,2	7.85
3	12,03	12,8	6.4
4	18,24	18,6	1.97

Rangkaian komponen impedansi yang selesai dirakit pada peraga yang terbuat dari bahan akrilik. Peraga ini juga dilengkapi dengan rele proteksi numerik dan simulator gangguan hubung singkat yang dapat mensimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa dan fasa tanah. Gambar 4 menunjukkan bentuk peraga sistem Distribusi Tenaga Listrik.



Gambar 4. Peraga Sistem Distribusi Tenaga Listrik

PENUTUP

Nilai parameter *scaled-down* model pada penelitian ini dihitung menggunakan metode faktor skala. Parameter aktual diambil dari SUTM yang menggunakan penghantar AAAC 150 mm² dan 240 mm². Nilai yang diperoleh akan diimplementasikan membuat *scaled-down* model sistem distribusi tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Karady, G.G. Roll of laboratory education in electrical power engineering education. In Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting, Pittsburgh, PA, USA, 20–24 July 2008.
- Strasser, T.; Stifter, M.; Andren, F.; Palensky, P. Co-simulation training platform for smart grids. *IEEE Trans. Power Syst.* 2014, 29, 1989–1997.

3. Georgilakis, P.S.; Orfanos, G.A.; Hatziaargyriou, N.D. Computer-assisted interactive learning for teaching transmission pricing methodologies. *IEEE Trans. Power Syst.* 2014, 29, 1972–1980.
4. Donadel, C.B.; Fardin, J.F.; Encarnacao, L.F. Educational tool for radial electrical distribution networks analysis and optimization studies involving distributed generation units. *Int. J. Elec. Eng. Educ.* 2018, 55, 3–13.
5. Fehr, R.E. A model curriculum for power engineering. In Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting, Pittsburgh, PA, USA, 20–24 July 2008.
6. Mao, C.X.; Leng, F.; Li, J.L.; Zhang, S.T.; Zhang, L.D.; Mo, R.; Wang, D.; Zeng, J.; Chen, X.; An, R.R.; et al. A 400-V/50-kVA digital-physical hybrid real-time simulation platform for power systems. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2018, 65, 3666–3676.
7. Pires, V.F.; Martins, L.S.; Amaral, T.G.; Marçal, R.; Rodrigues, R.; Crisóstomo, M.M. Distance-learning power-system protection based on testing protective relays. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2008, 55, 2433–2438.
8. Jose, M.M.; Manuel, B.V.; Francisco, P.G.; Juan, J.; Juan, M.M.; Lazaro, A.B.; Antonio, G.E. A multi-platform lab for teaching and research in active distribution networks. *IEEE Trans. Power Syst.* 2017, 32, 4861–4870.
9. Coleman, N.S.; Ogawa, K.L.; Hill, J.; Miu, K.N. Reconfigurable distribution automation and control laboratory: Solar microgrid experiments. *IEEE Trans. Power Syst.* 2018, 33, 6379–6386.
10. Transmission Line, Transformer & Protective Relays. Available online: <https://www.tercosweden.com/products/electrical-power-systems/transmissions-line/> (diakses pada 15 Oktober 2019).
11. De Lorenzo Group Power Transmission and Distribution. Available online: <https://www.delorenzoglobal.com/electrical-power/distribution/> (diakses pada 15 Oktober 2019).
12. Lucas Nülle-EDP Protection for Busbars Systems. Available online: <http://www.lucas-nuelle.us/2768/apg/8506/EDP-Protection-for-Busbars-systems.htm> (diakses pada 15 Oktober 2019).
13. Ghassan, B.; Pablo, G.; Reynaldo, S.; Juan, M.V. Electromagnetic transient studies of large distribution systems using frequency domain modeling methods and network reduction techniques. *Int. J. Electr. Power* 2019, 110, 11–20.