

SIMULASI *LOAD FLOW* PADA SISTEM DISTRIBUSI DAYA BANGUNAN RUMAH SAKIT TIPE C

Fuad Galih Pambudi, Ma'un Budiyo*

Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro, Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

**Corresponding Author E-mail : m.budiyo@ugm.ac.id*

Abstract

Hospitals are public facilities with a critical dependence on electrical energy to ensure patient safety and the 24-hour operational continuity of medical devices. This study aims to design a reliable hospital electrical distribution system in accordance with the standards of Permenkes No. 40 of 2022. The methodology involves developing a Single Line Diagram (SLD) and validating performance through load flow simulations using DigSILENT PowerFactory software. The results indicate that the total load is optimally served by a 1250 kVA transformer with a loading level of 75% under the grid scenario, supported by a 1250 kVA generator set with 74% loading under the backup scenario. Line loading analysis across all distribution panels remains within safe limits (50%–78%), while the voltage profile remains stable in the range of 0.988 pu to 1.00 pu. The simulation results prove that the designed electrical system meets the required continuity and power quality criteria for healthcare infrastructure.

Keywords : Power Distribution, Load Flow, Hospital

Abstrak

Rumah sakit merupakan fasilitas publik dengan ketergantungan kritis terhadap energi listrik untuk menjamin keselamatan pasien dan keberlangsungan operasional perangkat medis 24 jam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem distribusi kelistrikan rumah sakit yang andal sesuai dengan standar Permenkes No. 40 Tahun 2022. Metodologi yang digunakan meliputi perancangan dalam bentuk Single Line Diagram (SLD) dan validasi performa melalui simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak *DigSILENT PowerFactory*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total beban dapat terlayani secara optimal oleh transformator 1250 kVA dengan tingkat pembebanan 75% pada skenario PLN, serta didukung oleh generator set 1250 kVA dengan pembebanan 74% pada skenario cadangan. Analisis pembebanan penghantar pada seluruh panel distribusi berada dalam batas aman (tertinggi 78%), sementara profil tegangan stabil pada kisaran 0,988 pu hingga 1,00 pu. Hasil simulasi membuktikan bahwa rancangan sistem kelistrikan ini memenuhi kriteria kontinuitas dan kualitas daya yang disyaratkan untuk infrastruktur kesehatan.

Kata Kunci : Distribusi Daya, *Load Flow*, Rumah Sakit

1. PENDAHULUAN

Sebagai institusi pelayanan 24 jam, rumah sakit memiliki ketergantungan kritis terhadap energi listrik untuk mengoperasikan perangkat medis sensitif seperti monitor jantung dan CT-Scan [1]. Keandalan sistem kelistrikan lebih krusial dibandingkan gedung komersial lainnya karena kegagalan daya berdampak langsung pada keselamatan pasien di area kritis seperti ruang operasi dan ICU [10]. Selain itu, risiko kebakaran akibat kegagalan instalasi pada area penyimpanan gas medis menuntut perancangan yang ketat sesuai regulasi Permenkes No. 40 Tahun 2022 [2].

Permasalahan utama dalam perencanaan ini adalah kompleksitas sistem yang membutuhkan akurasi tinggi agar tidak terjadi jatuh tegangan atau ketidakseimbangan beban [3]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem distribusi daya dalam bentuk Single Line Diagram (SLD). SLD merupakan grafik atau gambar yang menampilkan hubungan koneksi antara sumber daya, transformator, saluran, panel distribusi, dan beban [7]. Selanjutnya, hasil SLD divalidasi menggunakan *software DigSILENT PowerFactory*. Fokus penelitian diarahkan pada analisis aliran daya untuk menentukan kapasitas optimal perangkat distribusi serta memastikan kualitas tegangan tetap stabil. Melalui pendekatan simulasi ini, diharapkan tercipta konfigurasi sistem kelistrikan yang efisien, andal, dan sesuai dengan standar teknis fasilitas kesehatan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan untuk merancang dan menganalisis sistem kelistrikan rumah sakit dan disimulasikan menggunakan *software DigSILENT PowerFactory*. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan sistem kelistrikan rumah sakit, standar instalasi listrik, serta metode simulasi pada *DigSILENT PowerFactory*. Literatur diperoleh dari buku, jurnal ilmiah, standar nasional, dan sumber referensi lainnya sebagai dasar teoritis penelitian.
2. Pengumpulan Data
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang meliputi data beban listrik, kapasitas transformator, sistem distribusi tenaga listrik, serta data pendukung lain yang diperlukan dalam perancangan sistem kelistrikan rumah sakit.
3. Perancangan Sistem Kelistrikan
Tahap perancangan dilakukan dengan membuat sistem kelistrikan rumah sakit dalam bentuk *single line diagram* (SLD). Perancangan mencakup konfigurasi sistem distribusi, penentuan kapasitas peralatan, dan pembagian beban sesuai kebutuhan operasional rumah sakit.
4. Pemodelan dan Simulasi Sistem
Sistem kelistrikan yang telah dirancang kemudian dimodelkan menggunakan *software DigSILENT PowerFactory*. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk menganalisis karakteristik sistem, seperti aliran daya (*load flow*), profil tegangan, serta kondisi operasi sistem pada berbagai skenario.
5. Analisis dan Evaluasi Hasil
Hasil simulasi dianalisis dan dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk mengevaluasi kinerja sistem kelistrikan yang dirancang. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem telah memenuhi aspek keandalan, keamanan, dan kebutuhan operasional rumah sakit. Tahapan yang dilalui dalam penelitian, pembangunan konsep, atau penyelesaian kasus, dituliskan pada bagian metodologi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rekapitulasi Beban Kelistrikan Rumah Sakit Tipe C

Tahap awal dalam evaluasi sistem distribusi adalah melakukan rekapitulasi beban untuk mengetahui total kebutuhan daya listrik pada seluruh area bangunan. Beberapa beban khusus yang dihitung berdasarkan kebutuhan fasilitas kesehatan. Contohnya untuk beban kesehatan didasarkan pada SNI 6197 tahun 2020 yang mengatur mengenai konservasi energi pada sistem pecahayaannya[8]. Selain itu, terdapat beban HVAC atau *Heating Ventilation Air Conditioning* dengan menghitung beban pendinginan lalu disesuaikan dengan spesifikasi rumah sakit[9]. Data rekapitulasi ini menjadi parameter krusial dalam menentukan kapasitas transformator, generator set (genset), serta ukuran penampang penghantar agar mampu memikul beban puncak secara aman. Hasil perhitungan rekapitulasi daya untuk seluruh kelompok beban ditampilkan secara detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Beban Kelistrikan Rumah Sakit

Jenis Beban	Daya (kW)	Persentase
Beban Pencahayaan	19.02	2.4
Beban HVAC	371.23	47.1
Beban Peralatan Medis	198.65	25.2
Beban Daya Umum (Stop Kontak)	68.24	8.7
Beban Sistem Elektronik	2.80	0.4
Beban Pompa	52.40	6.7
Beban Lift	33.00	4.2

Beban Gas Medis	42.20	5.4
Total	787.54	100.0

(Sumber: AAADAA, 2020)

Berdasarkan Tabel 1, total beban aktif (kW) dikonversi menjadi daya semu (kVA) dengan mempertimbangkan faktor daya (power factor). Sesuai dengan regulasi PermenESDM No. 9 Tahun 2011, perhitungan ini menggunakan asumsi faktor daya terendah sebesar 0,85 guna menjamin margin keamanan dan efisiensi sistem[4]. Sehingga daya semu total beban kelistrikan rumah sakit adalah sebagai berikut :

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{787.54}{0.85} = 926,514 \quad (1)$$

Dengan :

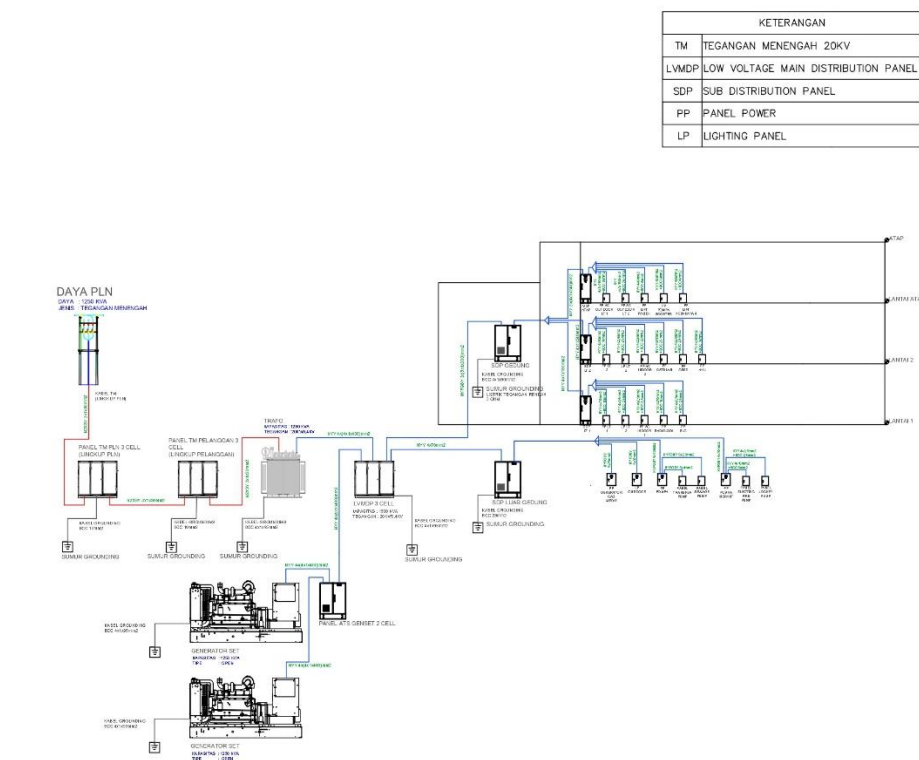
S : daya semu (kVA)

P : daya aktif (kW)

$\cos \phi$: faktor daya

3.2 SLD Desain Sistem Kelistrikan Rumah Sakit Tipe C

Daya semu sesuai persamaan 1 menjadi dasar perancangan sistem distribusi tenaga listrik. Sistem distribusi listrik pada gedung rumah sakit ini dimodelkan dalam bentuk Single Line Diagram (SLD) untuk memberikan gambaran mengenai aliran daya, mulai dari sumber utama hingga ke beban. Konfigurasi menggunakan sistem jaringan radial. Konfigurasi radial memiliki keunggulan yang murah, perawatan yang mudah, dan sederhana[6]. SLD sistem distribusi terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. SLD Sistem Distribusi Kelistrikan Rumah Sakit Tipe C

Sumber daya utama berasal dari jaringan TM PLN 20 kV dengan kapasitas 1250 kVA. Tegangan 20 kV diturunkan oleh transformator 1250 kVA menjadi 400/230 V untuk menyuplai Low Voltage Main

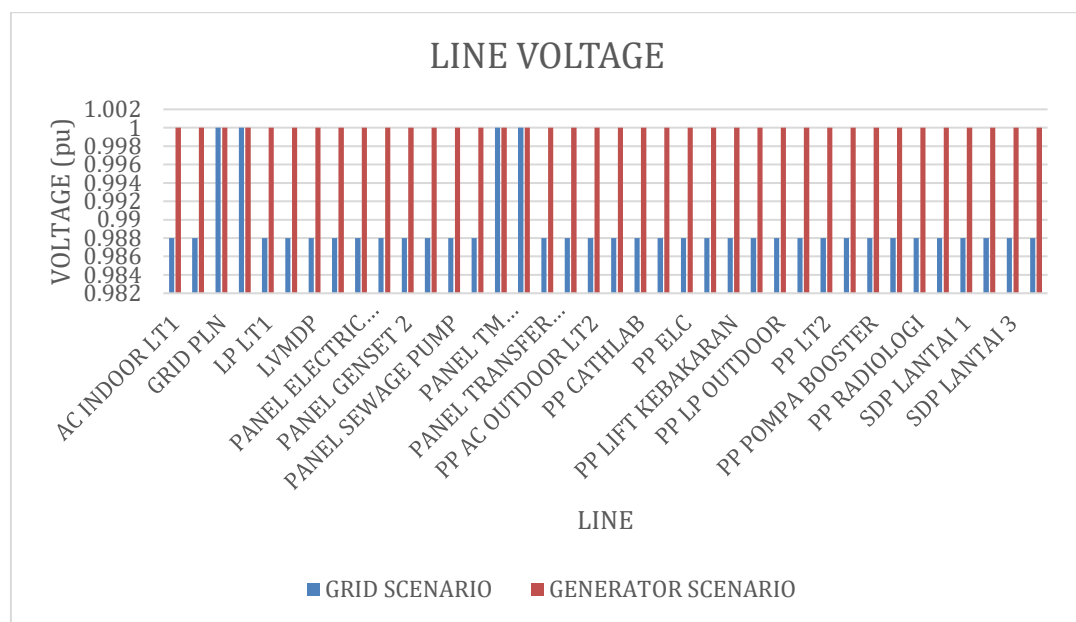
Distribution Panel (LVMDP). Sumber cadangan menggunakan dua unit Genset 1250 kVA sesuai regulasi Permenkes No. 40 Tahun 2022, dua unit genset terkoneksi melalui panel sinkron otomatis guna menjamin kontinuitas daya saat suplai utama terganggu[2]. Distribusi beban dari LVMDP dibagi menjadi dua jalur utama:

1. SDP Gedung: Menyuplai beban interior di Lantai 1 dan 2 (penerangan, daya umum, AC indoor) dan beban spesialis medis seperti Radiologi, Cathlab, CSSD, dan AHU. Serta atap yang menyuplai Lift, Pompa, dan AC Outdoor.
2. SDP Luar Gedung: Menyuplai instalasi di luar gedung utama termasuk sistem gas medis, penerangan outdoor, serta pompa (kebakaran, air bersih, dan air kotor).

3.3 Simulasi *Load Flow* pada Desain Sistem Kelistrikan Rumah Sakit Tipe C

Validasi rancangan dilakukan melalui simulasi aliran daya menggunakan dua skenario utama yaitu, suplai dari jaringan PLN (*Grid Scenario*) dan suplai dari cadangan (*Generator Scenario*). Berdasarkan hasil simulasi, performa sistem dianalisis dari aspek pembebanan perangkat dan kualitas tegangan.

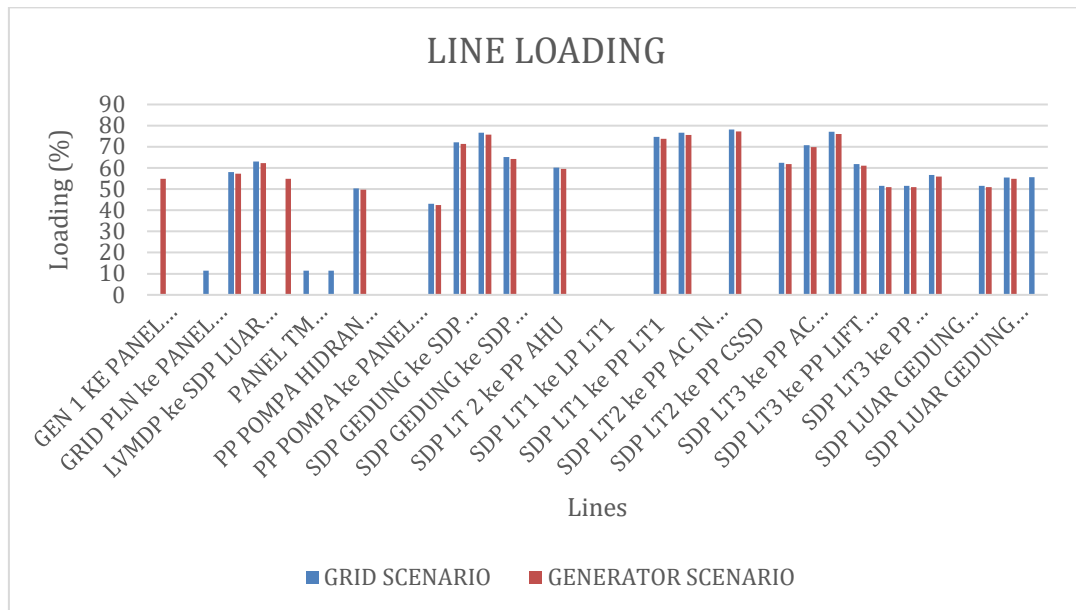
1. Analisis Tegangan Panel



Gambar 2. Grafik Tegangan Panel

Kualitas daya pada titik beban dianalisis melalui profil tegangan dalam satuan per-unit (pu) yang tertampil pada Gambar 2. Pada skenario PLN, profil tegangan berada di angka 0,988 pu, sedangkan pada skenario generator, tegangan stabil di angka 1,00 pu. Hasil ini menunjukkan bahwa jatuh tegangan (voltage drop) yang terjadi sangat minimal dan masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan ($\pm 5\%$ menurut standar PUIL 2020), sehingga operasional perangkat elektronik sensitif di rumah sakit tetap terjaga[5].

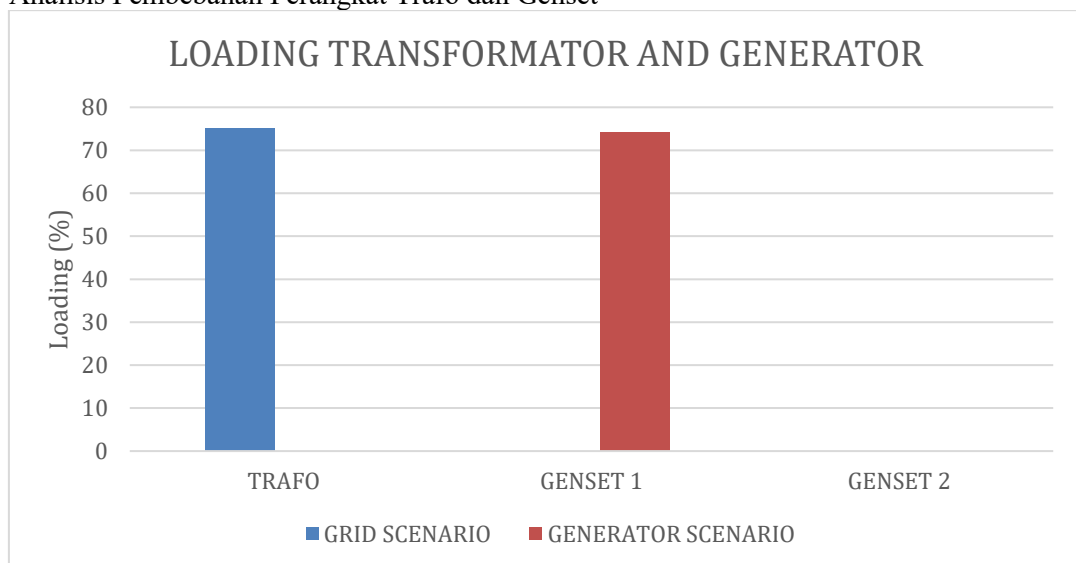
2. Analisis Pembebanan Saluran



Gambar 3. Grafik Pembebanan Saluran

Data dari Gambar 3 memperlihatkan distribusi beban pada berbagai panel distribusi SDP dan panel beban. Sebagian besar saluran menunjukkan profil pembebanan yang stabil di kisaran 50% hingga 78%. Saluran menuju SDP *Cathlab* dan SDP Radiologi tercatat memiliki persentase pembebanan tertinggi (mendekati 78%), hal ini sesuai dengan karakteristik beban medis pada area yang bersifat padat daya. Tidak ditemukan adanya saluran yang mengalami *overload*, sehingga dimensi penghantar yang dirancang dinyatakan aman.

3. Analisis Pembebanan Perangkat Trafo dan Genset



Gambar 4. Grafik Pembebanan Trafo dan Genset

Berdasarkan Gambar 4, transformator menunjukkan tingkat pembebanan sebesar 75% pada Grid Scenario. Sementara itu, pada Generator Scenario, Genset 1 memikul beban sebesar 74%. Genset 2 pada Generator Scenario tidak memikul beban karena seluruh beban sudah cukup dipikul Genset 1, Genset 2 sebagai cadangan tesier sumber listrik rumah sakit. Nominal loading trafo dan genset menunjukkan bahwa pemilihan kapasitas 1250 kVA untuk kedua jenis sumber daya sudah optimal, dikarenakan masih berada di bawah ambang batas aman (80-85%) untuk mengantisipasi lonjakan beban atau starting current peralatan medis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

Sistem kelistrikan rumah sakit dirancang dalam SLD dengan konfigurasi jaringan radial. Total beban daya yaitu 787,54 kW.

Hasil simulasi load flow menunjukan hasil rancangan dapat menjaga stabilitas tegangan dan keseimbangan beban.

Kapasitas perangkat distribusi Transformator dan Generator adalah 1250 kVA, Kapasitas penghantar disesuaikan dengan nilai beban dan KHA penghantar.

5. DAFTAR PUSTAKA (Minimal 10

- [1] V. V. Mihut, M. Panoiu, C. Panoiu, and I. Baci, "Methods for maintaining the continuity of power supply in hospitals," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 294, no. 1, p. 012008, 2018.
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan menteri kesehatan republik indonesia nomor 40 tahun 2022 tentang persyaratan teknis bangunan, prasarana, dan peralatan kesehatan rumah sakit," 2022.
- [3] D. Mirzoev, A. Rakhimov, F. Jalilov, and S. Rajabova, "Analysis of quality and electricity loss in 0.4 kv networks using machine learning algorithms," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 13279, 2024, p. 1327909.
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor 9 tahun 2011 tentang kaidah teknik ketenagalistrikan," Peraturan Menteri ESDM RI, Jakarta, 2011.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, SNI 0225:2020 - Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2020 (PUIL 2020), Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [6] A. Danyal, "Pemodelan sistem distribusi radial untuk studi aliran daya harmonisa tiga fasa," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, pp. B128–B130, 2013.
- [7] B. Zhou et al., "A method of single line diagram layout and optimization for regional distribution system based on ga," in *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2018, pp. 5303–5307.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, "Sni 6197:2020 konservasi energi pada sistem pencahayaan," Jakarta, 2020.
- [9] D. P. Kolago and D. Zebua, "Analisa beban pendinginan dalam perencanaan bangunan gedung," *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, vol. 3, no. 2, pp. 32–36, 2023.
- [10] P. A. Scarpino and F. Grasso, "Analisis of complex hospital electrical systems," in *2017 AEIT International Annual Conference: Infrastructures for Energy and ICT: Opportunities for Fostering Innovation (AEIT)*, 2017, pp. 1–4.