



Pemodelan dan Simulasi Sistem *Automatic Battery Charging* pada *Emergency Diesel Generator* PLTU Sebalang.

Lungguk Sibuea¹, Dikpride Despa², Ratna Widyawati³

¹PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Lampung - Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Pringsewu

²Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

³Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima : 28 Oktober 2024

Direvisi : 18 November 2024

Diterbitkan : 31 Desember 2024

Kata Kunci:

pengisian ulang otomatis daya baterai kapasitas pengisian baterai, charging discharging.

Penelitian ini menjelaskan tentang pemodelan dan simulasi *charging* otomatis pada baterai untuk keandalan *Emergency Diesel Generator* (EDG) PLTU Sebalang menggunakan Simulink Matlab. Penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan keandalan dengan cara membuat sistem *charging* otomatis pada baterai EDG, sehingga baterai selalu dalam kondisi *standby* saat digunakan. Konsep yang disampaikan berbentuk perancangan sistem *charging* otomatis untuk baterai EDG PLTU Sebalang berupa sistem *switching* pada *automatic battery charging*. Penelitian ini dilakukan dengan cara mempersiapkan studi literatur terkait *automatic battery charging*, mengidentifikasi masalah pada baterai yang tidak dapat berfungsi secara optimal sehingga berdampak pada kegagalan proses *starting* EDG, menentukan model *improvement charging system*, serta merancang simulasi pemodelan. Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data *state of charge* (SOC) pada saat proses pengisian baterai berlangsung. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketika baterai terpakai hingga persentase SOC senilai 95%, maka sistem *automatic battery charging* akan aktif sampai persentase SOC dalam kondisi *full charge* (terisi penuh), sementara proses *charging* akan berhenti saat baterai sudah mencapai kondisi *full charge*. Kesimpulan dari penelitian ini ialah sistem *automatic battery charging* dapat menjaga keandalan kinerja EDG PLTU Sebalang, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan untuk pengembangan lebih lanjut pada pemodelan dan simulasi *automatic battery charging* dengan kapasitas yang lebih besar di industri lain.

I. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah suatu pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama (prime mover). Secara umum PLTU hampir sama dengan pembangkit listrik lainnya yaitu generator yang dihubungkan ke turbin dimana letak perbedaannya dalam PLTU untuk memutar turbin dibutuhkan uap panas atau kering dari proses energi kinetik. Energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk menyuplai peralatan dan beban yang menggunakan listrik secara kontinyu. Dalam sistem kelistrikan kontinuitas pasokan listrik sangat dibutuhkan untuk menjaga kestabilan sistem tenaga listrik terutama saat terjadi gangguan diharapkan bisa penormalan sistem kelistrikan secepat mungkin. Gangguan transmisi merupakan hal yang dianggap sebagai masalah yang perlu ditangani segera untuk menghindari terjadinya pemadaman listrik secara massal di wilayah Indonesia tentunya dengan

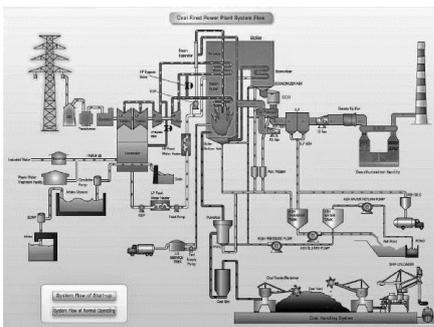
mitigasi risiko yang matang dan tepat sasaran. Gangguan yang menimbulkan pemadaman listrik secara menyeluruh atau yang biasa disebut dengan *blackout sistem*, merupakan kondisi abnormal yang paling dihindari dalam sistem kelistrikan dimana sistem jaringan listrik mengalami pemadaman total dikarenakan terjadi gangguan pada sistem transmisi yang menimbulkan pembangkit melepaskan diri dari sistem [1]. Dampak dari situasi tersebut yaitu suplai listrik untuk pemakaian sendiri pada pembangkit listrik tenaga uap akan terputus, sehingga dalam situasi seperti ini suplai listrik untuk pemakaian sendiri pada PLTU akan terputus, maka diperlukannya sistem berupa EDG (*Emergency Diesel Generator*) sebagai sarana untuk memberikan cadangan *suplai* listrik. PLTU memerlukan suplai listrik yang bersumber dari *Emergency Diesel Generator* (EDG) yang merupakan sumber energi eksternal untuk menormalkan pengoperasian peralatan pada PLTU. Pada kasus yang sama, PLTU Sebalang rentan mengalami kendala teknis seperti

kegagalan pada pengoperasian pada EDG. EDG (*Emergency Diesel Generator*) adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk menghasilkan listrik saat keadaan darurat, serta sebagai sumber data listrik untuk peralatan-peralatan bersifat *Essential*, khususnya pada sistem pelumasan turbin dan generator serta peralatan kontrol yang otomatis dapat bekerja jika terjadi *black out sistem*. Permasalahan EDG yang sering terjadi dalam dunia pembangkitan yaitu pada *battery starting* membuat proses blackstart pembangkit gagal beroperasi. Dimana saat proses blackstart pembangkit mengalami kegagalan untuk pengoperasian sistem kelistrikan kembali normal membutuhkan paling tidak 5 jam sampai 8 jam setelah pembangkit mengalami proses pendinginan. Tercatat bahwa kegagalan yang paling sering terjadi pada *Emergency Diesel Generator (EDG)* adalah kegagalan baterai starter, yang dihitung setidaknya 30% dari total kegagalan yang mengakibatkan proses recovery time untuk penormalan sistem kelistrikan mengalami keterlambatan. [2], [3].

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu pembangkit Listrik yang menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin untuk memproduksi listrik dengan tenaga uap adalah dengan mengambil energi panas yang terkandung dalam bahan bakar, untuk memproduksi uap kemudian dipindahkan kedalam turbin dan turbin tersebut merubah energi panas menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar kemudian Karena poros turbin dan poros generator dikopel maka generator akan ikut berputar sehingga bisa menghasilkan listrik. Dalam pembangkit pembangkit listrik tenaga uap ada 4 komponen utama yaitu Boiler, turbin, kondensor dan pompa (Kurniawan 2012) [9].



Gambar 1. Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Secara singkat urutan siklusnya adalah sebagai berikut:

- Air diisi ke *boiler* sampai terisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- Uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.

2.2. Blackstart

Black Start adalah proses *recovery time* yang dilakukan untuk menormalkan sebuah pembangkit listrik atau bagian dari sistem kelistrikan agar dapat beroperasi kembali tanpa memerlukan jaringan transmisi listrik eksternal dan pulih dari terjadinya padam listrik total ataupun Sebagian akibat terjadinya gangguan pada sistem ketenagalistrikan. *Black-out* (padam total) merupakan keadaan pembangkit listrik yang mengalami gangguan total membuat pembangkit melepaskan diri dari sistem karena *Under Frequency Relay (UFR)* dan *Under Voltage Load Shedding (ULVS)* sehingga pasokan listrik ke ke seluruh beban konsumen tidak dapat dialiri arus listrik.

Black-out berdampak besar pada kerugian materi maupun non materi. Operasi *black start* dapat meminimalisir dampak dari *black out*. *Black start* merupakan suatu kondisi pengoperasian unit tanpa beban yang bertujuan untuk mempertahankan putaran generator agar tidak terjadi keadaan yang lebih parah. Pada kondisi ini generator dalam keadaan FSNL (*Full Speed No Load*). Pada sistem *black start* ini menggunakan supply utama EDG untuk mempertahankan putaran generator.

Kapasitas daya black start (EDG) harus memenuhi persyaratan beban listrik berbagai tahap *black start*. Pertama, kapasitas set generator diesel harus cukup untuk memenuhi input dari beban motor yang diperlukan untuk start unit tanpa kemampuan start sendiri. Kedua, Sifat generator diesel yang dinamis harus tetap memenuhi *start-up* untuk menurunkan fluktuasi tegangan dan frekuensi yang disebabkan oleh input dari beban yang berat.

FSNL (*Full Speed No Load*) merupakan suatu kondisi generator berputar secara penuh namun tidak mensupply beban. Dalam artian generator berputar dengan bantuan *motor prime*

over. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses starting saat kondisi sistem mulai berjalan.

2.3. Battery Charging

Baterai terdiri dari dua elektroda, anoda negatif dan katoda positif, dengan pemisah berpori di antaranya. Jika elektroda bersentuhan satu sama lain, baterai akan korsleting. Untuk memaksimalkan kinerja baterai isi ulang, sistem pengisian harus bekerja dengan proses elektrokimia untuk memastikan konsentrasi ion yang seragam tinggi pada elektroda yang mengkonsumsi ion. Sebagian besar peralatan elektronik akan berhenti beroperasi sebelum baterai mencapai tegangan per sel yang cukup rendah untuk memulihkan penurunan tegangan [5].

Battery Management Sistem (BMS) diperlukan untuk menghindari kerusakan dan kegagalan baterai. *State of Charge* (SOC) dan *State of Health* (SOH) baterai merupakan bagian informasi yang diberikan oleh BMS. SOC merupakan persentase kapasitas baterai sedangkan SOH adalah ukuran kesehatan baterai [6].

Namun, SOC dapat mengakibatkan kesalahan besar karena kapasitas pengisian penuh (FCC) mungkin jauh lebih kecil daripada kapasitas desain yang menunjukkan FCC baterai baru. Dengan pertimbangan efek penuaan, SOH baterai didefinisikan sebagai rasio FCC baterai usia siklus dengan kapasitas desainnya. Pemodelan analitik baterai dapat digunakan untuk mendapatkan nilai yang akurat secara teoritis untuk SOC dan SOH [7].

Pada sirkuit pengisian ulang daya baterai memiliki dua tahap penting yaitu tahap konverter AC to DC converter (*Rectifier*) dan tahap konverter DC to DC (*Chopper*) [8]. Dalam charging baterai stabilitas supply tegangan dan arus sangat dibutuhkan terutama saat kondisi emergency menjadi sangat vital dalam proses *blackstart* untuk percepatan *recovery time* saat terjadi gangguan total (*blackout*)

2.4. Emergency Diesel Generator

Sistem tenaga darurat dengan genset diesel dipasang di fasilitas di mana hilangnya daya utilitas akan mengakibatkan dampak yang tidak dapat diterima terhadap kemampuan operasional atau menimbulkan risiko terhadap kehidupan, keselamatan, atau properti. Genset ini biasanya dikonfigurasi untuk memulai secara otomatis pada kegagalan utilitas listrik dan mengasumsikan beban fasilitas penting sampai daya utilitas dipulihkan. Untuk pemadaman paling lama beberapa jam,

generator ini terbukti efektif dan mudah digunakan. Tetapi untuk pemadaman yang lebih lama, keandalan dan konfigurasinya menjadi masalah kritis. [10].

Kegagalan generator dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kegagalan *start*, kegagalan berjalan dan kegagalan siaga. Kegagalan *start* dapat mencakup kegagalan baterai, kegagalan *start* motor, kegagalan solenoid/relai start, kegagalan pompa bahan bakar, solenoida bahan bakar dan kegagalan kontrol *start*, dan lain-lain. Kegagalan pengoperasian dapat mencakup kegagalan pengatur tegangan, kegagalan pengatur kecepatan, kegagalan sistem pendingin, suplai bahan bakar kegagalan sistem, kegagalan sistem oli pelumas, dan lain-lain [2].

2.5. Switching Power Supply

Switching Power Supply atau *Switched Mode Power Supply* (SMPS) adalah catu daya elektronik yang terdiri dari sebuah regulasi *switching* yang disediakan sesuai kebutuhan pada tegangan keluaran.

SMPS adalah daya pengubah yang meneruskan daya dari sebuah sumber untuk beban yang ideal tanpa rugi-rugi. Fungsi dari pengubah adalah untuk menyediakan tegangan keluaran pada level berbeda dibandingkan tegangan masukan.

Sebuah regulator linier dapat mempertahankan tegangan keluaran yang dikehendaki dengan menghilangkan kelebihan daya pada rugi-rugi tahanan (seperti dalam sebuah resistor atau pada kolektor-emitor dari transistor modus aktif).

Sebuah regulator linier mengatur keluaran baik tegangan atau arus dengan menghilangkan kelebihan daya listrik dalam bentuk panas. Sebaliknya mode yang diaktifkan catu daya untuk mengatur keluaran baik tegangan ataupun arus dengan beralih kepada unsur-unsur *switching* ideal, seperti induktor dan kapasitor yang masuk dan keluar dari konfigurasi listrik yang berbeda [11].

Regulator pensaklaran menggunakan transistor daya dalam ragam *switching* (sebagai saklar) untuk menyimpan energi ke dalam induktor dan kapasitor yang kemudian disalurkan kepada beban.

Catu daya dengan regulator pensaklaran yang beroperasi frekuensi tinggi lebih efisien, lebih ringan, dan mempunyai volume yang lebih kecil dibanding catu daya dengan regulator linier yang terdangeng trafo 50 Hz. Namun regulator pensaklaran mempunyai riak yang lebih besar pada keluarannya bila dibandingkan dengan regulator linier. Hal ini disebabkan operasi *switching* di dalam rangkaian itu sendiri [12].

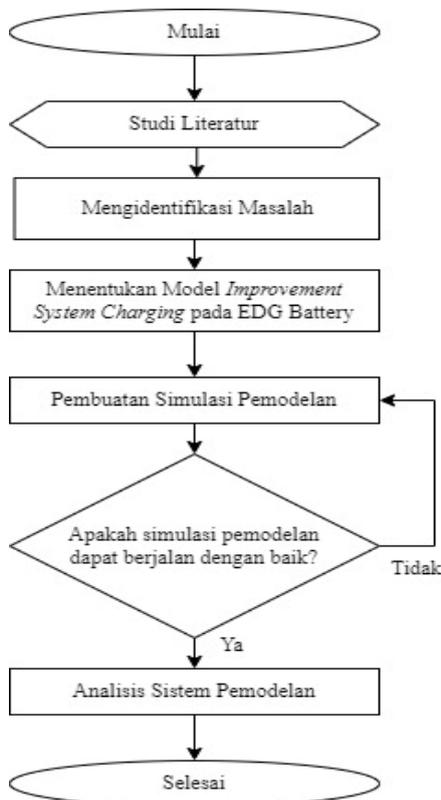
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahapan persiapan penelitian (studi literatur), identifikasi masalah, pengumpulan data (menentukan model *improvement charging system*), pengolahan data (pembuatan simulasi pemodelan), dan analisis data (analisis sistem pemodelan). Kegiatan penelitian dilaksanakan di PLTU Sebalang kapasitas 2x100 MW yang terletak di desa Sebalang Kecamatan Katibung Kabupaten Lampung Selatan. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data kapasitas EDG, data peralatan *auxiliary* EDG, dan data kapasitas baterai dari PLTU Sebalang.



Gambar 2. Kapasitas baterai di PLTU Sebalang

Langkah pengerjaan digambarkan dalam diagram alur pada gambar berikut:



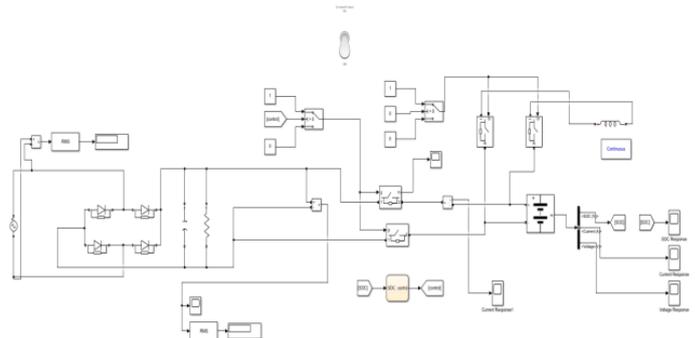
Gambar 3. Diagram alur penyelesaian penelitian.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis pemodelan untuk merancang model *improvement sistem charging* pada baterai EDG. Analisis pemodelan penelitian ini menggunakan program Simulink pada Matlab tipe R2021.

Pada simulasi pemodelan *automatic battery charging* yang dirancang pada penelitian ini memiliki rangkaian pengisian baterai untuk melakukan *charging* dan beban untuk pemodelan kondisi *discharging*. Dalam *charging* dan pengosongan baterai, ada beberapa parameter yang menjadi pertimbangan bagus atau tidaknya sebuah baterai. Parameter tersebut antara lain adalah tegangan, kapasitas baterai, State of Charge, resistansi internal, dan pelepasan muatan atau self-Discharge [13], [14].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan rangkaian disimulasikan dengan menggunakan Simulink pada Matlab tipe R2021 menghasilkan *output* berupa grafik yang dijadikan sebagai acuan utama dalam menggambarkan kondisi *automatic charging* pada baterai.



Gambar 4 Pemodelan pengisian baterai otomatis.

Berdasarkan gambar 4, Dalam paper ini membuat rangkaian pemodelan pengisian baterai otomatis melalui beberapa langkah, antara lain:

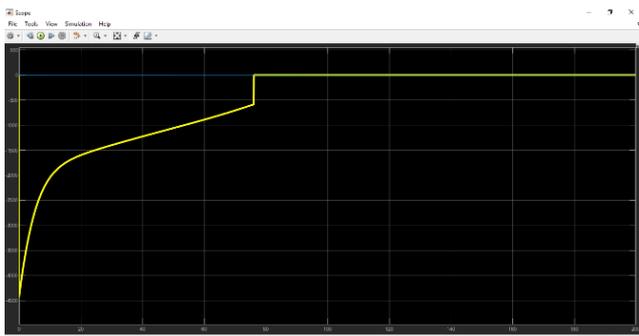
- (1) Mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan seperti sumber tegangan 220 VAC, jembatan dioda sebagai penyearah tegangan, baterai sebagai penyimpan daya listrik, *switch* yang dibutuhkan sebagai pensaklaran, induktor sebagai beban pada baterai, dan *scope* untuk melihat fenomena rangkaian yang dibuat.
- (2) Menghubungkan sumber tegangan dengan jembatan dioda untuk kemudian hubungkan *switch* sebagai kontrol *charger* baterai.
- (3) Menghubungkan baterai dengan *switch* pada beban dan diberi konstanta sebagai kontrol untuk mengaktifkan beban.

(4) Menghubungkan *scope* sebagai pembacaan kapasitas baterai dan sebagai pembacaan untuk mengontrol baterai.

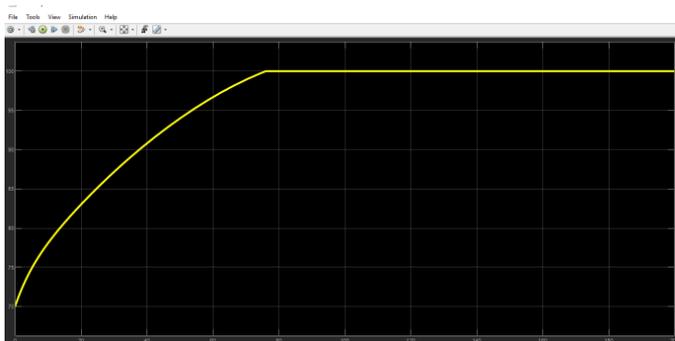
Dari langkah-langkah diatas sesuai paramater-parameter yang ada akan dilakukan simulasi menggunakan simulink matlab dengan 2 kondisi yaitu: Kondisi beban tidak diaktifkan dan kondisi beban yang diaktifkan.

Kondisi beban tidak diaktifkan

Ketika konstanta beban diberi nilai 0 maka daya pada baterai tidak akan mengaktifkan beban seperti di tunjukkan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Baterai *charger* tanpa beban

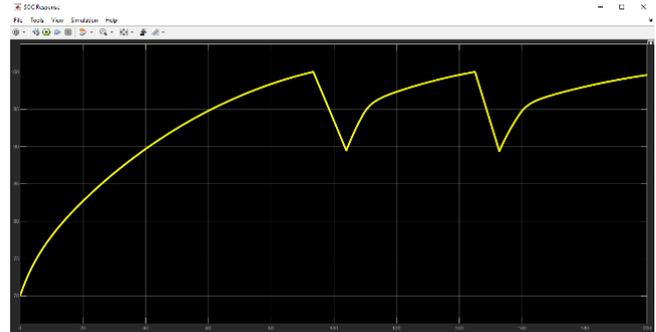


Gambar 6. Arus pada *switch* charger

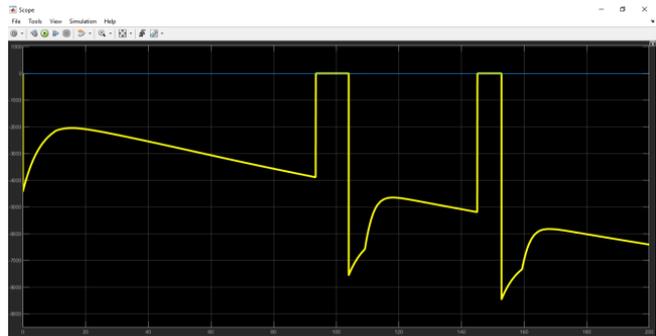
Pada gambar 5 menunjukkan baterai mengisi daya sampai kapasitas maksimum yaitu 100%, setelah daya mencapai maksimum *switch* yang menghubungkan sumber tegangan dengan baterai akan terputus seperti di tunjukkan pada gambar 6 dan daya baterai tidak keluar ke beban dikarenakan konstanta *switch* pada rangkaian bernilai 0 mengakibatkan daya baterai akan tetap berada di kapasitas maksimum seperti di tunjukkan gambar 5 selama *switch* konstanta bernilai 0

Kondisi beban diaktifkan

Ketika konstanta pada *switch* beban diubah menjadi 1, maka daya baterai akan keluar untuk mengalir arus listrik ke beban, sehingga mengalami penurunan daya baterai yang di tunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7 Kondisi baterai saat diberi beban.



Gambar 8. Arus pada *switch* charger keadaan baterai dibebani.

Pada gambar 7 diatas menunjukkan fenomena dimana baterai akan mencharging sampai batas maksimum baterai dan *switch* pada sumber akan terputus, dikarenakan konstanta pada *switch* beban bernilai 1 maka daya baterai akan mengaktifkan beban sehingga daya baterai akan berkurang mencapai kurang dari 90% membuat *switch* pada sumber akan aktif, sehingga baterai akan mengisi daya hingga 100% kembali.

V. KESIMPULAN

Rangkaian listrik *charging battery cut off-on* telah dimodelkan dan disimulasikan menggunakan Matlab/ Simulink dengan modul pengisian baterai, pemodelan dilakukan dengan mengubah kapasitas pada baterai yang menghasilkan karakteristik tegangan dan arus pada baterai. Formulasi yang disimulasikan dan dihitung berdasarkan data baterai pada EDG PLTU Sebalang, kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik, hasil simulasi ini menunjukkan kapasitas minimum pengisian baterai mencapai kurang dari 90%, sedangkan maksimum pengisian baterai mencapai 100%. Pengembangan lebih lanjut membutuhkan metode dan aplikasi yang lebih nyata di lapangan dan terhubung dengan sistem kapasitas yang lebih besar.

REFERENSI

[12]

- [1] H. H. Alhelou, M. E. Hamedani-Golshan, T. C. Njenda, dan P. Siano, "A survey on power system blackout and cascading events: Research motivations and challenges," *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 4, hlm. 1–28, 2019, doi: 10.3390/en12040682.
- [2] Y. Du, J. Burnett, dan S. M. Chan, "Reliability of standby generators in Hong Kong buildings," dalam *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344)*, 2002, hlm. 1100–1104. doi: 10.1109/IAS.2002.1042697.
- [3] P. Y. Du, J. Burnett, dan S. M. Chan, "Reliability of standby generators in Hong Kong buildings," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 39, no. 6, hlm. 1592–1595, 2003, doi: 10.1109/TIA.2003.818978.
- [4] A. D'Orazio, S. Elia, E. Santini, dan M. Tobia, "Success system and failure indication for the starter batteries of emergency gensets," *Periodica polytechnica Electrical engineering and computer science*, vol. 64, no. 4, hlm. 412–421, 2020, doi: 10.3311/PPee.15274.
- [5] R. C. Cope dan Y. Podrazhansky, "The art of battery charging," dalam *Fourteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of the Conference (Cat. No.99TH8371)*, 1999, hlm. 233–235. doi: 10.1109/BCAA.1999.795996.
- [6] M. N. Ramadan, "Estimasi State Of Charge (SOC) dan State Of Health (SOH) dengan Algoritme Kalman Filter pada Baterai Lithium Polymer," Universitas Gajah Muda, Yogyakarta, 2016.
- [7] Peng Rong dan M. Pedram, "An analytical model for predicting the remaining battery capacity of lithium-ion batteries," *IEEE Trans Very Large Scale Integr VLSI Syst*, vol. 14, no. 5, hlm. 441–451, Mei 2006, doi: 10.1109/TVLSI.2006.876094.
- [8] N. Trivedi, N. S. Gujar, S. Sarkar, dan S. P. S. Pundir, "Different fast charging methods and topologies for EV charging," dalam *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*, Mar 2018, hlm. 1–5. doi: 10.1109/ETECHNXT.2018.8385313.
- [9] ABIMANYU, Abimanyu; GAFFAR, Ahmad; PRANOTO, Sarwo. Analisis Baterai Dalam Mempertahankan Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Punagaya 2x100MW. In: *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. 2021. p. 185-191.
- [10] J. Marqusee dan D. Jenket, "Reliability of emergency and standby diesel generators: Impact on energy resiliency solutions," *Appl Energy*, vol. 268, hlm. 114918, Jun 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114918.
- [11] Y. Du, J. Burnett, dan S. M. Chan, "Reliability of standby generators in Hong Kong buildings," dalam *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344)*, 2002, hlm. 1100–1104. doi: 10.1109/IAS.2002.1042697.
- A. I. Pressman, *Switching Power Supply Design*. McGraw-Hill, 1998. R.J. Haver, "A New Approach to Switching Regulator, AN-719," <http://onsemi.com/>. Motorola Inc, Denver, 1975.
- B. Chauhan, "MATLAB/SIMULINK BASED MODEL AND SIMULATION OF A BATTERY CHARGING & DISCHARGING," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2020, [Daring]. Available: www.irjet.net
- B. S dkk., "Simulation of Li-ion Battery using MATLAB-Simulink for Charging and Discharging," *E3S Web of Conferences*, vol. 353, hlm. 03001, Jun 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202235303001.