

ANALISIS KINERJA BATERAI SISTEM CATU DAYA TAK PUTUS (BTJ21) UNTUK SISTEM KESELAMATAN REAKTOR RSG-GAS

Ferdy Triyuandika¹⁾

1) Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia
E-mail: ferdi3yuandika@gmail.com

Abstrak

Keandalan sistem catu daya tak terputus pada fasilitas nuklir merupakan faktor kritis untuk menjamin keselamatan reaktor, khususnya pada sistem proteksi reaktor (SPR) yang harus tetap beroperasi meskipun terjadi pemadaman total sistem kelistrikan distribusi utama. Penelitian ini menganalisis kinerja baterai pada sistem catu daya tak terputus (BTJ 21) yang terdiri dari 13 baterai OpzS 2-1200 (2V 1200Ah) yang dirangkai secara seri, pengujian dilakukan melalui discharge test selama pemadaman kelistrikan distribusi utama terkontrol untuk menilai kemampuan baterai dalam menopang beban sistem keselamatan reaktor RSG-GAS. Data yang dianalisis meliputi arus total beban UPS, sedangkan pengukuran tegangan baterai, suhu sel, serta densitas elektrolit dilakukan hanya pada satu baterai perwakilan dalam rangkaian. Pengukuran dilakukan selama waktu 105 menit. Hasil menunjukkan tegangan sel perwakilan stabil pada rentang 2.0 – 2.2 V, suhu berada pada 19-21°C, dan densitas elektrolit berada pada 1.28 – 1.30 Kg/L. Arus beban tercatat pada 111 – 146 A, menggambarkan total arus yang disuplai UPS kepada RPS dan beban terkait lainnya. Evaluasi dilakukan mengacu pada standar PUIL2011, IEC 60038, IEEE 450/1188 dan IAEA SSR-3. Hasil pengujian menunjukkan baterai masih layak digunakan dan dalam batas aman sebagai sumber untuk sistem distribusi darurat, meskipun pengukuran kondisi sel hanya mewakili satu dari keseluruhan baterai dalam string. Hasil pengukuran ini menjadi dasar untuk menentukan keandalan UPS dalam memastikan RPS dapat bekerja terus-menerus tanpa interupsi sehingga mendukung keselamatan operasi reaktor secara keseluruhan.

Kata Kunci : Baterai, catu daya tak terputus, Discharge test, Sistem Proteksi Reaktor, RSG-GAS

Pendahuluan

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor penelitian yang beroperasi dengan standar keselamatan tinggi yang diatur oleh badan pengawas nuklir nasional (BAPETEN) dan mengacu pada standar internasional dari International Atomic Energy Agency (IAEA). Salah satu sub sistem vital dalam reaktor adalah reactor protection system (RPS), yaitu sistem otomatis yang berfungsi menghentikan reaktor apabila parameter operasi melewati batas keselamatan.

Kehandalan RPS sangat tergantung pada suplai daya listrik yang tidak boleh padam, bahkan dalam kondisi blackout total. Oleh karena itu sistem RPS disuplai melalui 3 jalur distribusi kelistrikan, yaitu distribusi kelistrikan utama yaitu dari PLN, sistem catu daya tak putus (UPS) dan Sistem diesel generator sebagai distribusi kelistrikan darurat. Dalam sistem ini UPS memiliki peran penting dalam fase awal pemadaman karena mampu menyediakan daya instan ketika suplai utama terputus, dan diesel generator membutuhkan waktu untuk mencapai kondisi operasi stabil.

Pada reaktor RSG terdapat sistem UPS- AC 220V, UPS-DC 220V dan DC ±26 V. Sistem DC ±26 V terdiri atas 3 unit yang bekerja redundan yaitu sistem BTJ11/12, BTJ21/22, dan BTJ31/32 tiap unit terdiri dari baterai positif dan baterai negatif. UPS DC ±26 V dilengkapi 13 baterai sebagai sumber energi dimasing-masing sistem yang harus mampu menopang beban RPS selama periode transisi atau saat diesel generator gagal beroperasi agar sistem proteksi tetap fungsional tanpa interupsi. Oleh karena itu kinerja baterai UPS harus dipastikan melalui pengujian berkala, salah satunya uji pembebanan (discharge test).

Pengujian discharge dilakukan dengan mematikan suplai kelistrikan distribusi utama dan mencatat kinerja baterai saat menopang beban sistem RPS. Artikel ini menyajikan analisis terhadap hasil pengukuran salah satu baterai pada UPS BTJ21 berdasarkan data discharge selama 105 menit.

Studi Pustaka

Sistem UPS pada Instalasi Nuklir

UPS pada fasilitas reaktor nuklir bukan sekedar perangkat cadangan, fungsi utama UPS pada reaktor yaitu menjaga kelistrikan RPS agar tetap aktif selama kehilangan suplai utama, menjamin tidak ada gangguan, kedip tegangan atau delay daya, memberikan waktu cadangan hingga diesel generator beroperasi stabil, dan merupakan bagian dari defence in depth keselamatan reaktor. Standar internasional seperti IAEA SSR-3 dan IEC 61508 menekankan bahwa sistem keleselamatan harus memiliki suplai daya yang sangat andal dan bebas interupsi.

Baterai sebagai Penyedia Daya Darurat

Baterai yang digunakan pada sistem BTJ21 terdiri dari 13 unit baterai yang dirangkai secara seri dengan tegangan 2.23-2.25 V dan kapasitas 1200Ah @ C10 yang merupakan baterai deep-cycle berkapasitas besar, ideal untuk digunakan pada industry dan sistem keselamatan. Parameter Kesehatan baterai menentukan kemampuan UPS menopang beban kritis, parameter yang berpengaruh:

1. Tegangan sel
2. Arus discharge
3. Suhu
4. Densitas Elektrolit

Relevansi Discharge Test untuk Keamanan Reaktor

Discharge test pada baterai dilakukan untuk menentukan kemampuan baterai dalam menopang sistem proteksi reaktor minimal untuk waktu tertentu, mendukung *probabilistic safety assessment (PSA)*, mencegah *common mode failure* akibat baterai melemah, dan memenuhi standar keselamatan IAEA dan IEEE untuk fasilitas nuklir

Metodologi

Persiapan Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam kegiatan *discharge test*:

1. Multimeter untuk pengukuran tegangan baterai
2. *Thermo gun* untuk pengukuran suhu baterai
3. *Hydrometer battery* untuk pengukuran densitas elektrolit
4. Masker dan sarung tangan karet sebagai alat pelindung diri
5. *Toolset* sebagai alat bantu saat melakukan kegiatan

Prosedur Pengujian dan Pengukuran

Kegiatan *discharge test* ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lakukan pencatatan tanggal pengujian, waktu mulai pengujian, temperatur ruangan, dan tegangan awal sebelum pengujian dimulai pada formulir
2. Memilih salah satu sampel baterai yang akan diuji
3. Mematikan suplai kelistrikan distribusi utama yang menuju panel UPS
4. Mencatat nilai pengukuran (arus, tegangan, suhu, densitas) sampel baterai setelah *discharging* pada saat 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit, dan 105 menit
5. Mencatat tegangan akhir pengujian pada formulir
6. Menghidupkan kembali suplai kelistrikan distribusi utama yang menuju panel UPS

Hasil dan Pembahasan

Pengujian mulai dilakukan pada pukul 09.25 dengan data tegangan awal 27,8 V dan Suhu ruangan 20 °C. Hasil pengukuran *discharge test* untuk sistem catu daya tak putus (UPS) DC ±26 V BTJ 21 pada baterai no 6 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Baterai no 6

Durasi (menit)	Waktu Pengujian	Arus (A)	Tegangan (V)	Suhu (°C)	Densitas (Kg/L)
0	09.25	146	2,0	20,0	>1.30
15	09.40	127,1	2,2	19,6	>1.30
30	09.55	119,1	2,1	20,1	1.30
45	10.10	117,5	2,2	20,3	1.29
60	10.25	118,8	2,1	20,3	1.29
75	10.40	112,2	2,1	20,5	1.29
90	10.55	113,4	2,1	20,7	1.28
105	11.10	111,7	2,1	20,8	1.28

Stabilitas Tegangan Baterai

Hasil pengukuran menunjukkan tegangan per sel berada pada rentang 2,0 – 2,2 V, dan tidak terdapat *voltage drop*, hasil ini masih sesuai dengan PUIL 2011 dan IEC 60038 yang mana tegangan masih berada di atas batas bawah dan dalam rentang aman yang mengindikasikan tidak adanya kegagalan sel, menunjukkan sel dalam kondisi sehat. Tegangan yang stabil ini juga menunjukkan UPS memenuhi standar IAEA SSR-3 kriteria *reliability of power sources* untuk kategori keselamatan reaktor.

Arus Discharge

Hasil pengukuran menunjukkan antara 111-146 A, arus awal yang tinggi adalah respon normal saat beban UPS mengambil alih suplai, arus menurun secara bertahap setelah sistem stabil, sesuai dengan PUIL 2011 penurunan arus yang bertahap menunjukkan tidak ada lonjakan beban yang membahayakan sistem, hasil ini menunjukkan arus discharge tidak melebihi batas aman untuk durasi singkat

Suhu Operasional Baterai

Hasil pengukuran selama pengujian suhu baterai terukur pada 19,6-20,8 °C, kondisi ini menunjukkan hasil yang sangat baik karena tidak terdapat pembentukan panah berlebih, ini juga menandakan tidak ada indikasi kenaikan resistansi abnormal. Hasil ini juga menunjukkan hasil terukur masih dibawah batas PUIL 2011 yang mana berada pada 30 °C dan juga masih sesuai dengan standar IEEE dan panduan IAEA yang mana suhu stabil menandakan resistansi internal tidak meningkat dan tidak ditemukan tanda *thermal divergence*.

Densitas Elektrolit

Hasil pengukuran densitas elektrolit berada pada 1.28-1.30 Kg/L, menunjukkan kondisi elektrokimia masih sesuai dengan karakteristik baterai deep cycle, hal ini juga menunjukkan tidak ada stratifikasi berbahaya dan tidak ada tanda-tanda sulfasi berat.

Kesimpulan

Dari hasil pengukuran menunjukkan performa baterai yang konsisten dan stabil sesuai standar PUIL, IEC, IEEE dan IAEA, tidak ada indikasi anomali seperti penurunan tegangan drastis, lonjakan suhu, ataupun densitas kritis. Stabilitas ini sangat penting karena RPS harus tetap dapat melakukan SCRAM otomatis kapan pun dibutuhkan. Kegagalan suplai UPS dapat berakibat pada kegagalan fungsi keselamatan tingkat pertama dalam hirarki pertahanan reaktor, yang mana UPS merupakan *last line of electrical defense* sebelum *fail-safe* mekanis bekerja. Dengan hasil ini dapat nyatakan bahwa baterai dinilai layak dan aman digunakan untuk memastikan kelistrikan RPS

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tim Perawatan sistem elektrik RSG GAS yang telah membantu dalam mengambil data pengukuran catu daya tak putus di Reaktor.
2. Tim Operasi RSG GAS yang telah mengoperasikan reaktor.

Daftar Pustaka

- [1] Pusat Reaktor Serba Guna. Blue print Manual sistem proteksi Reaktor RSG-GAS. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
- [2] International Atomic Energy Agency. (2016). Safety of Research Reactors : Spesific Safety Requirements SSR-3. Vienna: IAEA
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers.(2010) IEEE standard 450- 2010: maintenance, Testing and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications. New York: IEEE
- [4] International Electrotechnical Commission. (2019). IEC 60038: Standard Voltages. Geneva: IEC.
- [5] SOP Perawatan catu daya tak putus Instalasi Reaktor Serba Guna-GAS, Laporan Teknis Nomer T.005 – P.003 / II.6.5 / IRSG 2.2- IV / RN 00 02 / 2024 BRIN.