

## **SPESIFIKASI DESAIN SISTEM ELEKTRIKAL PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR 1000 MWe UNTUK PLTN DI INDONESIA**

Yan Bony Marsahala, Harno Garnito, Donny Nurmayadi, Edi Karyanta  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) – BATAN  
E-mail: yanboni@batan.go.id

### **ABSTRAK**

*SPESIFIKASI DESAIN SISTEM ELEKTRIKAL PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR UNTUK PLTN 1000 MWE DI INDONESIA. Dari road map energy nasional tahun 2005 diketahui bahwa PLTN akan masuk program energi nasional pada tahun 2016 dan 2017. Pada saat itu akan dibangun 2 PLTN jenis PWR kapasitas masing-masing 1000 MWe. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk membangun pabrik elemen bakar nuklir yang diharapkan dapat memasok kebutuhan bahan bakar PLTN tersebut. Salah satu bagian dari desain fasilitas ini adalah rancangan sistem listrik, berupa rancangan dasar yang mempertimbangkan berbagai aspek, seperti aspek teknologi, aspek ekonomi dan juga aspek lingkungan dalam bentuk spesifikasi desain. Tujuannya agar sistem elektrikal untuk fasilitas ini mampu menyediakan suplai daya yang cukup, aman, handal dan selamat. Desain ini disesuaikan dengan ketentuan hukum yang berlaku di Indonesia di mana sistem, dirancang agar dapat digunakan pada kondisi lingkungan dengan temperatur udara maksimum 40°C, dan minimum 18°C, pada kelembaban relatif 80%, di lingkungan atmosfer tropis, pada ketinggian <100 m di atas permukaan laut. Kebutuhan daya utama disuplai dari jaringan distribusi PLN 20 KV melalui Gardu Induk. Rancangan sistem distribusinya fleksibel dan handal sesuai dengan persyaratan operasional, dan stabil pada semua kondisi operasi. Sistem distribusi di desain untuk dapat melayani operasional pabrik pada dua jalur proses, yaitu jalur AUK (Ammonium Uranil Karbonat), dan jalur JKT (Jalur Kering Terintegrasi). Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa beban terpasang maksimum adalah 421.5 KVA. Dengan asumsi faktor daya adalah 0.85, maka daya listrik untuk fasilitas ini dapat dipenuhi oleh satu unit transformator 500 KVA. Untuk backup power disediakan satu unit standby generator 500 KVA. Untuk keperluan sistem instrumentasi dan kendali elektrikal disediakan UPS 220 Volt 2 KVA dan sistem DC 24 Volt, 500 VA. Hasil tersebut di atas dapat dilihat pada diagram satu garis sistem kelistrikan.*

*Kata kunci: spesifikasi, elektrikal, pabrik EBN*

### **ABSTRACT**

*DESIGN SPECIFICATION FOR ELECTRIC SYSTEM OF NUCLEAR FUEL PLANT FOR 1000 MW NPP IN INDONESIA. According to national energy road map in 2005 it is known that a nuclear power plant is considered the national mix energy programs in 2016 and 2017. At that moment, two types of PWR nuclear power plant which capacity of 1000 MWe would be built. Therefore, it is necessary to build a nuclear fuel element plant which is expected to supply the needs of the nuclear fuel. One part of the design of this facility is the design of the electrical system, considering various aspects, such as technological, economic and environmental aspects. The goal of electrical systems for this facility is provide a power supply with sufficient capacity, safe, and reliable. Design is adapted to the prevailing laws in Indonesia where the system will be operated. The design specification is designed to be used in environmental conditions with a maximum air temperature of 40 ° C, and the minimum 18 ° C, at a relative humidity of 80 %, in the tropical atmosphere, at an altitude of < 100 m above sea level. The main power supply, supplied from a distribution network PLN 20 KV Serpong Substation. The design of the distribution system will do so in order to provide the flexibility and reliability in accordance with operational requirements that are stable at all operating conditions. Distribution system is designed to be able to serve the plant in two ways process, ie AUK (Ammonium Uranyl Carbonate) lines, and JKT (Integrated Dry Line) lines. From the calculation results, it can be calculated that the maximum installed load is 421.5 KVA. By assuming the power factor is 0.85, then the electrical power supply to this facility can be met by a single unit of 500 KVA transformers. The backup power provided by a standby generator of 500 KVA units. For the purposes of instrumentation and electrical control*

*systems supplied by UPS 220 Volt 2 KVA, and 24 Volt DC systems 500 VA. The results is shown in the electrical single line diagram.*

*Keyword: specification, electrical, EBN plant*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat tajam. Kenaikan itu sejalan dengan kecepatan pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan pertumbuhan dalam sektor industri. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, pemerintah berusaha untuk tidak menggantungkan diri dari sumber minyak bumi yang cadangannya semakin terbatas. Dari *road map energy* nasional tahun 2005 diketahui bahwa PLTN akan masuk program energi nasional pada tahun 2016 dan 2017. Pada saat itu akan dibangun 2 PLTN jenis PWR kapasitas masing-masing 1000 MWe<sup>[1]</sup>. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk membangun pabrik elemen bakar nuklir yang diharapkan dapat memasok kebutuhan bahan bakar PLTN tersebut, karena kesinambungan operasi sebuah PLTN sangat tergantung dari ketersediaan elemen bakar nuklir dalam jangka panjang, tanpa terpengaruh atau tergantung dari pemasok luar negeri. Direncanakan bahwa pabrik bahan bakar nuklir akan dibangun di kawasan nuklir, Serpong, dengan kapasitas 1000 MWe. Pabrik bahan bakar nuklir ini dirancang dengan dua metoda pabrikasi, yaitu: jalur AUK (Ammonium Uranil Karbonat), dan jalur JKT (Jalur Kering Terintegrasi). Salah satu bagian dari desain fasilitas ini adalah rancangan sistem listrik. Pada rancangan sistem elektrikal ini, akan diperkenalkan spesifikasi desain sistem elektrikal.

Maksud penulisan spesifikasi desain ini adalah untuk mempersiapkan suatu rancangan dasar instalasi listrik yang baik yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan untuk mengembangkannya menjadi desain rinci, dan kemudian dapat digunakan untuk membangun instalasi listrik pada fasilitas tersebut. Desain dasar sistem elektrikal yang ditawarkan merupakan rancangan dasar yang mempertimbangkan berbagai aspek, seperti aspek teknologi, aspek ekonomi dan juga aspek lingkungan<sup>[2]</sup>.

Desain dasar ini disesuaikan dengan kebutuhan rekayasa dan spesifikasi teknis umum yang berkaitan dengan pembangkit tenaga listrik, dan distribusi. Desain yang detail dapat dikembangkan dari kriteria desain dasar yang terdapat dalam dokumen ini. Dengan demikian, perancangan sistem elektrikal untuk proyek ini dibuat sedemikian sehingga mampu menyediakan suatu suplai tenaga yang cukup, aman, handal, dan selamat pada fasilitas tersebut.

## 2. METODOLOGI

Kegiatan perancangan ini dimulai dengan tahapan sebagai berikut: Persiapan atau studi yaitu dilakukan dengan membaca literatur berkaitan dengan metoda yang digunakan. Kemudian menentukan kriteria desain yang sesuai dengan kebutuhan fasilitas setelah melalui konsultasi dengan divisi proses, divisi mekanik, divisi instrumentasi/kendali, dan divisi civil dan struktur. Menentukan standar desain yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Indonesia, menentukan sumber daya utama yang disesuaikan dengan lokasi tapak dimana fasilitas ini akan dibangun. Menentukan filosofi desain elektrikal yang dibuat berdasarkan pertimbangan filosofi berikut, yaitu: kinerja, kehandalan, kemudahan pemeliharaan, standardisasi peralatan, dan faktor keselamatan. Menentukan persyaratan kinerja yang dapat dicapai dengan rekayasa yang baik. Menentukan kontingensi yang layak diperhitungkan sedemikian sehingga mesin dan peralatan tidak dioperasikan pada nilai batas, ketika instalasi dimulai.

Menentukan spesifikasi teknis, gambar dan dokumentasi, agar dibuat dengan mempertimbangkan kebutuhan pemeliharaan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kriteria Desain dan Standard

Desain dan konstruksi peralatan dan instalasi listrik ini disesuaikan dengan ketentuan hukum yang bisa diterapkan, aturan dan peraturan di Indonesia di mana sistem akan dioperasikan. Dalam hal ini, standard yang diterapkan adalah Standar Nasional Indonesia (PUIL 2000)<sup>[3]</sup>, dan Publikasi Komisi Elektroteknikal Internasional (IEC).

Spesifikasi desain ini dirancang agar dapat digunakan pada kondisi lingkungan dengan temperatur udara maksimum 40°C, dan temperatur udara minimum 18°C, pada kelembaban relatif 80%, di lingkungan atmosfer tropis, pada ketinggian <100 m di atas permukaan laut. Sedangkan peralatan di area berbahaya (*hazardous area*) bila nantinya ada, sesuai dengan klasifikasi daerah berbahaya, akan ditentukan dengan mengacu pada kode dan standard IEC 60079-10<sup>[4]</sup>.

Mengingat bahwa fasilitas ini akan dibangun di kawasan nuklir Serpong, maka kebutuhan catu daya listriknya didesain agar disuplai dari jaringan distribusi PLN 20 KV yang tersedia, yaitu dari Gardu Induk Serpong, melalui saluran distribusi kabel bawah tanah. Perancangan sistem distribusi, akan dilakukan sedemikian agar dapat memberikan fleksibilitas dan keandalan sesuai dengan persyaratan operasional, seperti:

- sistem stabil pada semua kondisi operasi.
- semua sistem di desain untuk kemudahan operasi,
- pemeliharaan dengan fitur gagal-aman, dan
- kesederhanaan yang sesuai dengan kinerja maksimum.

Sistem tenaga didesain dan ditentukan ukurannya seperti motor yang paling besar, tiap level tegangan, dapat sukses dioperasikan pada semua tingkat beban utilisasi tanpa menyebabkan kerusakan pada beban lain yang terhubung.

Sistem pembangkitan dan distribusi didesain sedemikian sehingga gangguan listrik dan hilangnya penggerak generator dengan tepat dan dengan aman terisolasi dengan gangguan yang minimum kepada sistem yang sehat dan memastikan stabilitas transien dan posisi mantap<sup>[3]</sup>.

#### 3.2. Kebutuhan dan Distribusi Daya

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa fasilitas ini dirancang dengan dua jalur proses, yaitu AUK dan JKT, dan satu jalur digunakan untuk proses peletisasi. Dalam operasionalnya, baik jalur AUK, jalur JKT, maupun jalur peletisasi, daya listrik digunakan untuk suplai motor-motor listrik sebagai penggerak pompa, katup-katup *selenoide*, dan sebagian digunakan untuk *heater*. Dari hasil perhitungan berdasarkan jumlah penggunaan motor listrik, dan heater yang menjadi beban dari masing-masing jalur distribusi di atas, diperoleh beban terpasang sebesar 202,593 KW untuk jalur JKT<sup>[5]</sup>; 70,729 KW untuk jalur AUK<sup>[6]</sup>; dan 220 KW untuk jalur proses peletisasi. Total beban terpasang untuk jalur proses menjadi 202,593 KW + 70,729 KW + 220 KW = 493,322 KW.

Bila perkiraan kebutuhan daya listrik untuk beban penerangan dan sistem bantu lainnya sebesar 10 KW, dan daya cadangan untuk pengembangan beban adalah 8.5 KW, maka total daya beban terpasang,  $P_t$  untuk fasilitas ini adalah hasil penjumlahan dari daya untuk proses, daya untuk penerangan, daya untuk sistem bantu, dan daya cadangan, sebagai berikut:

$$P_t = 493,322 \text{ KW} + 10 \text{ KW} + 8.5 \text{ KW} = 511.822 \text{ KW}.$$

Dengan asumsi bahwa faktor daya ( $pf$ ) = 0,85, maka total daya beban terpasang pada fasilitas ini,  $P_t = 511.822 / 0,85 = 602.14$  KVA.

Untuk mensuplai beban terpasang tersebut, akan disediakan sumber catu daya melalui satu unit transformator distribusi, Tr. Daya ini disebut dengan daya tersedia,  $P_s$ . Untuk menentukan apakah kapasitas daya tersedia  $P_s$ , mampu memenuhi sumber catu daya pada beban maksimum  $P_{maks}$ , dapat dilihat dari persyaratan berikut<sup>[7]</sup>, yaitu:

$$P_{mak} \leq P_s \dots\dots\dots 1)$$

Sedangkan,

$$P_{mak} = P_t \times K_d \dots\dots\dots 2)$$

dimana:

$P_t$  = total daya beban terpasang.

$P_{maks}$  = beban maksimum,

$K_d$  = *demand factor*, koefisien yang menunjukkan ketidak bersamaan waktu operasi, besarnya (untuk industri) = 0,7.

Dengan persamaan 2, diperoleh bahwa:  $P_{maks} = 0.7 \times 511.822$  KVA = 421.5 KVA

Untuk mensuplai daya maksimum beban di atas, desain dasar elektrik ini menyiapkan satu unit transformator distribusi dengan kapasitas tersedia,  $P_s = 500$  KVA. Dari hasil di atas, dapat dilihat bahwa: persyaratan seperti disebut pada persamaan 1, terpenuhi.

Diketahui bahwa tingkat efisiensi tertinggi transformator pada operasi kontinu dicapai bila dioperasikan pada kisaran daya 60% s/d 85% dari kapasitasnya<sup>[2]</sup>. Maka beban maksimum ( $P_{maks}$ ) 421.5 KVA bila dilayani oleh satu unit transformator dengan kapasitas tersedia ( $P_s$ ) 500KVA, dapat dilakukan dengan baik dan cukup efisien.

Pada desain dasar ini, ditentukan bahwa tipe transformator yang disiapkan adalah satu unit Transformator daya 500 KVA, hubung “delta-bintang” dengan netral ditanahkan, tegangan pada sisi primer 20 KV dan tegangan pada sisi sekunder adalah 380 V, dengan frekuensi 50 Hz. Transformator daya akan dihubungkan ke panel utama melalui MCCB. Transformator daya step-down tipe *mineral oil immersed, hermetically sealed*, cocok untuk digunakan di luar ruangan daerah tidak berbahaya (aman), sistem pendinginan ONAN, kenaikan temperatur kelas A, tapping 2 x 2,5% (5 taps) dan jenis koneksi Dyn5. Transformator sesuai dengan standar IEC Pub.76<sup>[6]</sup>. Daya disalurkan ke beban dengan sistem distribusi radial, melalui terminal daya berupa satu set panel distribusi lima pintu. Beban akan dilayani menggunakan jalur distribusi sistem 4 kawat, yang terdiri atas 3 kawat fase, satu kawat netral. Untuk perlindungan ditambah satu jalur kawat tanah (*Protective Earth*). Jaringan distribusi dibuat pada level 380 V, melalui switchboard (panel distribusi tegangan rendah) dan motor control center (MCC). Desain konstruksinya disesuaikan dengan kode dan standard yang disebutkan di atas. Adapun karakteristik konstruksi utama desain adalah sebagai berikut:

- Tipe : Berdiri bebas, berpenutup logam dan *draw out*.
- Jalur masuk kabel : dari bawah, sisi depan
- Possible extension* : di kedua ujung
- Klasifikasi MPC : 644 (incomer & motor starter)
- Tingkat perlindungan : IP 41 and IK08

Sedangkan Switchboards/MCC didesain dengan akses dari bagian depan (semua komponen termasuk busbar, kabel, CTs, dll.). Masing-masing bagian vertikal terdiri dari modul yang dikelompokkan bersama-sama *switchboard*, alat kendali lokal dan *monitoring*. Bila dilakukan intervensi pada bagian panel tetap atau bagian bergerak, maka tidak akan menghentikan operasi modul. Direncanakan pula bahwa faktor daya beban pada sistem

elektrikal ini lebih besar dari 0.85, sehingga diperlukan pemasangan *capacitor bank* pada panel distribusi. Kapasitas dari *capacitor bank* tersebut, akan ditentukan kemudian pada desain rinci.

### 3.3. Standby generator

Sesuai dengan perencanaan operasional fasilitas ini, bahwa kontinuitas operasi diperlukan agar proses pabrikasi yang sedang berjalan tidak berhenti bilamana catu daya PLN gagal. Sebagai antisipasi kejadian tersebut, maka desain dasar system elektrikal ini menyiapkan satu unit *Standby Generator*, yang berfungsi sebagai *back up power*. Kapasitas *standby generator* dirancang sama besarnya dengan kapasitas transformator, yaitu 500 KVA. Operasional *standby generator* ini dibuat *interlock* dengan transformator, menggunakan automatic transfer switch (ATS) yang dikendalikan oleh PLC (*programmable logic control*), dengan waktu alih maksimum 20 detik. Perancangan kebutuhan sistem ATS agar dapat berfungsi optimal adalah sebagai berikut:

- Pemutus daya untuk saluran masuk normal (saluran PLN/Transformator), dilengkapi dengan mekanisme bermotor dan kontak bantu.
- Pemutus daya untuk saluran masuk darurat (saluran *standby generator*) dilengkapi dengan mekanisme bermotor and kontak bantu.
- Modul interlok elektrikal
- Kontrol bantu beserta pengendalinya
- Tegangan suplai untuk pemutus daya peralatan bantu dan peralatan kontrol otomatis, dibuat sama besar.

Ketika sumber normal terputus, selain memindah pemutus daya saluran masuk, sistem interlok ATS juga akan men-start up *standby generator* secara bersamaan.

### 3.4. UPS dan Sistem DC

Pada desain dasar ini, sistem elektrikal dilengkapi dengan UPS satu fase 220V, 50 Hz dengan kapasitas 2 KVA, dan sistem dc 24 volt dengan kapasitas 500 VA yang diperuntukkan untuk kebutuhan daya listrik pada sistem instrumentasi dan kendali. Waktu back-up : 1 jam pada beban penuh dengan variasi maksimum tegangan output :  $\pm 2\%$  Selain untuk kebutuhan di atas, peruntukan lainnya dirancang untuk keperluan sebagai berikut:

- Penerangan dan daya kecil: 220 V, 50 Hz- 1 fasa- 3 kawat ( 2P+E)
- LV motor anti-condensasi alat pemanas: 220 V, 50 Hz- 1 fasa ( fasa ke netral)
- Peralatan instrumentasi yang membutuhkan suatu baterai suplai daya yang tidak-terputus akan dialiri daya pada 220 VAC, 50 Hz, (tidak ditanahkan), dari sistem suplai UPS.
- Sistem 24 VDC untuk kebutuhan kendali elektrik akan disediakan dari baterai charger di ruang kontrol.

Baterai charger DC yang direncanakan akan mempunyai karakteristik utama sbb:

- Tipe penyearah: pengatur tegangan dengan tipe silikon gelombang penuh.
- Duti penyearah : 100% duti dasar
- Tipe baterai : Nickel cadmium (NiCd), bebas pemeliharaan
- Input tegangan : 380V - 50Hz - 3 fasa
- Output tegangan untuk kontrol/otomatisasi : 24V DC  $\pm 1\%$  (*steady state*)
- Kapabilitas beban lebih adalah 125% untuk dua jam pada suhu max 30°C, dan 150% untuk satu siklus pada suhu max 40°C.

Baterai akan dipasang di ruang control, dengan peralatan listrik dan instrumen lain yang tidak disertifikasi, baterai dari jenis nickel-cadmium disegel dan bebas pemeliharaan dan memiliki tingkat kombinasi yang tinggi  $\geq 95\%$ .

### 3.5. Starting dan Kontrol Motor

Jenis starting motor adalah jenis direct-on-line (DOL) dan merupakan kombinasi dari pemutus daya motor, kontaktor magnetis 600 VAC dan peralatan untuk *overload*.

Desain yang ditawarkan untuk mode starting motor, adalah sebagai berikut:

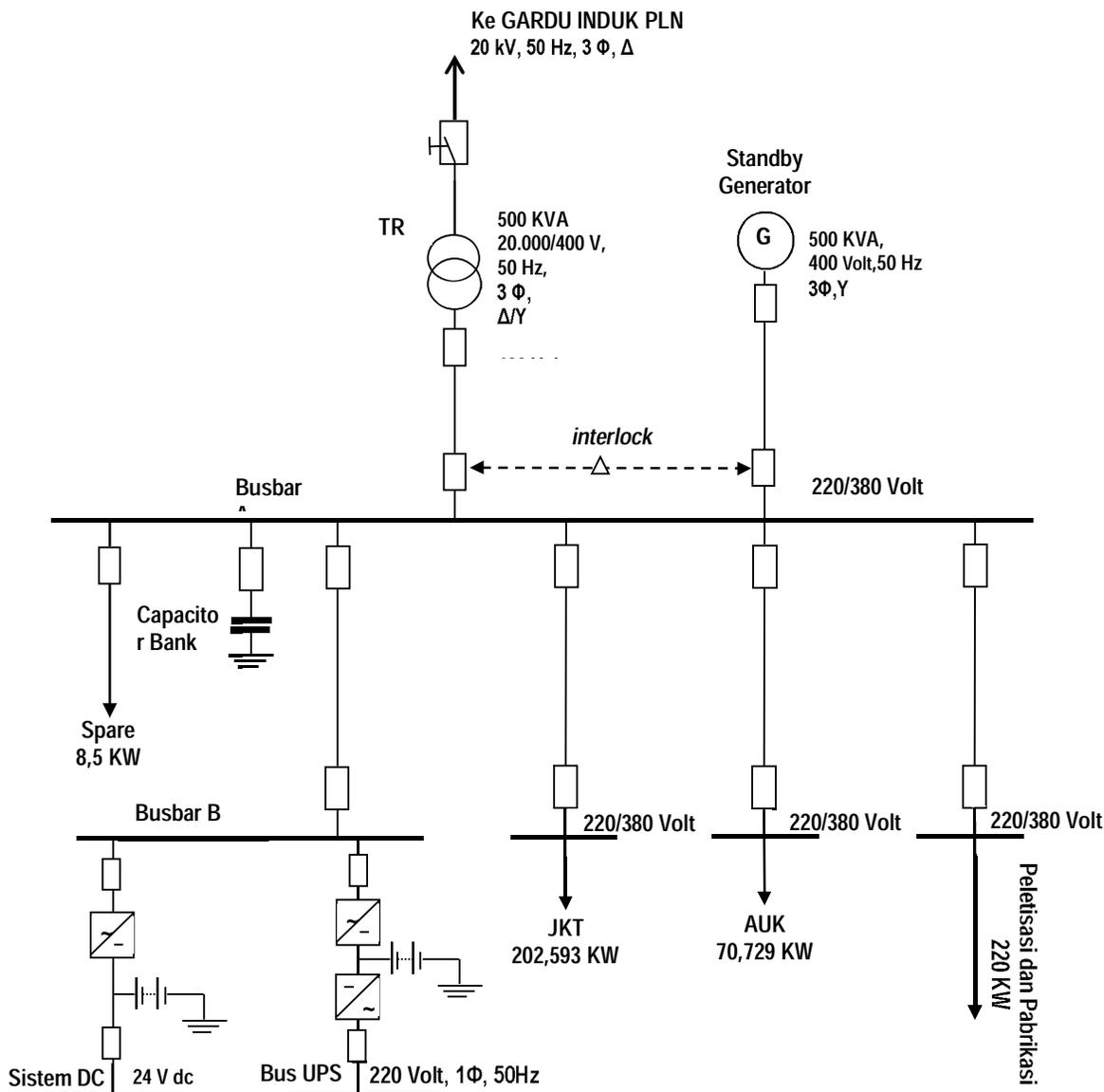
- a. *Remote dan fully-automatic*  
Pada mode ini, *starting* dan *stopping* semua motor dikendalikan sepenuhnya secara otomatis oleh Sistem Terminal Otomasi (TAS) sebagai bagian dari proses otomatisasi fasilitas.
- b. *Remote dan semi-automatic*  
Pada mode ini, *starting* dan *stopping* semua motor dikendalikan oleh pengontrol lokal (*operator interface*) pada ruang kontrol sebagai backup, ketika Sistem Terminal Otomasi (TAS) gagal.
- c. Manual dan lokal  
Ketika kedua mode operasi di atas gagal, maka *starting* dan *stopping* semua motor dapat dikendalikan secara manual dan lokal dari tombol tekan *start-stop* yang tersedia pada motor (dekat motor). Tombol selektor yang bisa dikunci disediakan untuk mencegah *starting motor* lebih dari satu lokasi kontrol dan untuk memilih kontrol manual/otomatis.

### 3.6. Diagram Satu Garis

Berdasarkan uraian spesifikasi desain yang dijelaskan pada bagian terdahulu, dibuat gambar diagram satu garis sistem elektrik pada fasilitas Pabrik Elemen Bakar Nuklir, seperti pada Gambar 1

### 3.7. Desain Sistem Proteksi, Pentanahan dan Penangkal petir

Dalam rangka membatasi kerusakan peralatan listrik dan kecelakaan personil, serta untuk memaksimalkan kesinambungan suplai daya, disediakan suatu sistem



Gambar 1. Diagram satu garis sistem elektrik pabrik elemen bakar nuklir.

proteksi bertingkat dan mencukupi, untuk memberikan suatu sistem yang mengatasi gangguan secara selektif yang akan mengoperasikan dengan cepat saklar rangkaian terdekat dari lokasi gangguan, dalam batas rating peralatan.

Pemutus daya yang akan digunakan bertipe *moulded case*, dioperasikan secara manual, dan dilengkapi dengan proteksi terhadap beban lebih dan hubung singkat. Proteksi arus lebih didesain dengan tipe *instantaneous* atau waktu minimum tertentu invers (IDMT), sedangkan proteksi gangguan tanah di atasi dengan proteksi gangguan tanah yang sesuai.

Sistem pentanahan bertujuan untuk memberikan perlindungan pada peralatan elektronik dan kehandalan sistem kelistrikan. Sistem netral untuk setiap bagian instalasi ditanahkan secara solid dan dihubungkan ke sistem pentanahan bersama. Netral dari sistem tegangan rendah tiga fasa empat kawat dihubungkan ke tanah melalui bar pentanahan *switchboard* utama yang sesuai. Semua bagian instalasi dan peralatan yang bersifat konduktif, yang dapat membangkitkan listrik dan menyebabkan ledakan, kebakaran dan/atau tegangan kejut ke personel, dsb. harus ditanahkan.

Elektroda pentanahan mempunyai konduktivitas yang bagus dan anti korosi. Untuk kinerja sistem pentanahan yang efisien, elektroda berimpedansi rendah. Jumlah dan panjang elektroda memberikan resistansi kombinasi ke tanah 5-Ohm<sup>[7]</sup> atau kurang, sesuai dengan kondisi tanah. Elektroda pentanahan *copper-clad steel rod* diameter  $\frac{3}{4}$ " , dengan panjang 3.04 m (10 ft), dan kotak kontrol untuk pengukuran tahanan pembumian . Elektroda dipasang di tanah dan sambungan ke elektroda menggunakan konduktor 70 mm<sup>2</sup> dan 50 mm<sup>2</sup>.

Konduktor pembumian di dalam tanah *bare copper cable*. Di dalam bangunan, konduktor pembumian menggunakan kabel tembaga 1 x 35 mm<sup>2</sup> dengan isolasi PVC hijau/kuning (pentanahan peralatan). Pengikatan permanen menggunakan konduktor berdiameter 10 mm<sup>2</sup> dan pengikatan fleksibel menggunakan konduktor berdiameter 6 mm<sup>2</sup>. Konfigurasi pengikatan *grid* digunakan, semua *loop ring* disambung. Sambungan ke peralatan, mesin, barang dan struktur menggunakan sekrup dan ring yang tidak mudah mengendur yang dibaut pada *stud* pentanahan atau menggunakan klem derivasi tipe C untuk lokasi luar ruangan. Pengikatan untuk pipa proses dan flange kopling yang melintang tidak dibutuhkan. Struktur baja yang besar ditanahkan minimum pada dua titik, dengan interval maksimum 30 m sepanjang gais luar.

Desain perlindungan terhadap petir ini berhubungan dengan perlindungan terhadap bahaya kebakaran dan ledakan material yang mudah terbakar, yang disebabkan oleh surja petir. Desain ini sesuai dengan standard IEC 1024<sup>[7]</sup> dan/atau NFPA-78. Untuk melindungi fasilitas dari sambaran petir langsung, maka struktur tertinggi di fasilitas ini langsung ditanahkan sedekat mungkin dengan minimum dua elektroda dan resistansi individualnya tidak lebih dari 3 Ohm<sup>[3]</sup>.

Struktur yang terbuat dari logam dan yang memiliki sambungan kontinyu secara elektrik, tidak membutuhkan konduktor bawah untuk perlindungan terhadap petir; cukup dengan persambungan ke tanah pada titik terdekat. Struktur yang terbuat dari material non konduktif, seperti tembok atau beton, dan yang mudah terserang sambaran petir disediakan dengan terminal udara dan konduktor bawah.

### 3.8. Desain Penerangan

Desain penerangan dibuat sedemikian sehingga menjamin fasilitas penerangan yang cukup dan efisien untuk operasi dan pemeliharaan yang aman dan efisien. Desain penerangan dibagi menjadi dua kategori, yaitu penerangan normal, dan penerangan darurat. Penerangan didistribusikan secara rata ke semua jaringan tiga fasa untuk memastikan bahwa semua fasa adalah seimbang.

Suplai *fitting* tunggal 220V-50Hz. Distribusi penerangan diatur sedemikian untuk menghindari kegelapan total dari tiap area apabila terjadi gangguan pada satu sirkit.

*Fitting* lampu yang berdekatan disuplai dari saluran terpisah. Kontrol dari sistem penerangan luar disediakan pada panel distribusi penerangan. Pensaklaran penerangan luar dan penerangan jalan (penerangan *outdoor*) menggunakan sel fotolistrik. Sel-sel foto listrik ini dipasang dengan saklar manual dan ditempatkan di tempat yang tidak terpengaruhi oleh cahaya lampu. Penerangan dalam ruangan menggunakan lampu jenis fluorescent 220 VAC, 50 Hz. Lampu penerangan luar menggunakan lampu jenis *mercury vapor* 220 VAC, 50 Hz.

### 3.9. Kabel dan Rute Kabel

Rute kabel bawah tanah didesain untuk menghindari persimpangan dan penarikan secara paralel terlalu dekat, dijaga minimum 300-mm. Rute kabel yang bersilangan dengan jalan dipasang di dalam jembatan/pipa beton. Jembatan akan ditutup dengan pasir. Jika *trench* tegangan rendah kecil, penggunaan pipa baja sebagai pengganti diperbolehkan. Kabel *outdoor* (kabel tegangan medium dan tegangan rendah) menggunakan rute bawah-tanah yang dipendam langsung dan diletakkan dalam pasir bersih atau lembut sedalam 100 mm, yang ditutupi bahan yang sejenis dengan kedalaman yang sama, kemudian dilindungi dengan lapisan beton atau ubin yang *interlock* dengan bahan dari tanah. Terakhir parit diuruk kembali sampai tingkat permukaan semula serta menjamin bahwa urukan dipadatkan dengan baik.

Kabel kontrol bertegangan rendah/arus rendah (kabel instrumen) dipisahkan dari kabel daya dan penerangan. Spasi minimum antara kabel instrumen dan kabel daya 600 mm. Kabel tegangan tinggi bisa diletakkan pada parit yang sama dengan kabel tegangan rendah, dengan jarak minimum 70 mm<sup>[9]</sup>. Kabel yang mempunyai level tegangan sama, disusun dalam lapisan dengan minimum 50 mm pasir bersih atau tanah lembut antara masing-masing lapisan. Jumlah lapisan minimum yang digunakan sebaiknya tidak melebihi tiga lapis. Kabel yang berdekatan dalam lapisan yang sama dapat diletakkan bersentuhan asal kondisi termalnya memungkinkan.

Rute dari kabel yang ditanam langsung ditandai dengan sarana tonggak yang terbuat dari beton permanen yang menunjukkan lebar total jalur letak kabel. Sebaiknya dua tonggak atau lebih dapat mudah dilihat dari setiap titik pada setiap rute. Tanda juga diletakkan dari setiap perubahan arah<sup>[10]</sup>.

Kabel *trays/ladders* (bila ada) dibuat dari *hot dip galvanized* (HDG) dan bila terbuka secara langsung ke cahaya matahari mempunyai tutup yang dapat dipindahkan. Rute kabel di dalam ruangan disusun sedemikian sehingga ada pemisahan dan jarak sejauh mungkin antara kabel daya listrik dan kabel instrumen yang sensitif. Semua kabel luar ruangan untuk daya, penerangan, dan kontrol terdiri dari konduktor ganda dengan isolasi PVC, *PVC inner sheath*, *galvanized steel plate steel wire*, *galvanized plate steel tape* and *PVC outer sheath*. Kabel tahan terhadap tekanan mekanis untuk instalasi "direct buried".

Kabel yang dipasang di dalam ruangan jenis bukan armour, berisolasi dan berpelindung luar PVC. Konduktor kawat tunggal dalam ruangan dan penerangan dengan isolasi PVC dipasang didalam *conduit*. Ukuran kabel ditentukan sedemikian sehingga jatuh tegangan maksimum antara sumber daya dan beban tidak lebih dari 5% selama arus beban penuh.

## 4. KESIMPULAN

Desain dasar elektrik yang ditawarkan ini dibuat dengan mempertimbangkan berbagai aspek, seperti aspek teknologi, aspek ekonomi dan juga aspek lingkungan. Spesifikasi ini diharapkan dapat memenuhi syarat atas kebutuhan dasar layanan kepada konsumen yaitu: dapat memenuhi beban puncak, memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum, menjamin urutan phase yang benar, menjamin distorsi gelombang tegangan dan harmonik yang minimum dan bebas dari surja tegangan, menjamin suplai sistem tegangan dalam keadaan setimbang, dan mampu memberikan suplai daya dengan keandalan tinggi dengan prosentase waktu layanan yang tinggi dimana sistem dapat melayani beban secara efektif.

Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa beban terpasang maksimum adalah 421.5 KVA. Dengan asumsi factor daya adalah 0.85, maka catu daya listrik untuk fasilitas ini dapat dipenuhi oleh satu unit transformator 500 KVA. Untuk *backup power* disediakan satu unit standby generator 500 KVA. Untuk keperluan sistem instrumentasi dan kendali

elektrikal disediakan UPS 2 KVA dan sistem DC 24 Volt dengan kapasitas 500 VA. Hasil tersebut digambarkan dalam bentuk diagram satu garis.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BUDI SANTOSO, *Program Manual Desain Dasar Pabrik Elemen Bakar Nuklir 1000 MWe Untuk PLTN di Indonesia*, No.Dok.PM.01.0.0.RPN.2013.45
- [2]. YAN BONY MARSASHALA, *Desain Manual Pabrik Elemen Bakar Nuklir 1000 MWe Untuk PLTN di Indonesia*, No.Dok. RPN.DM.01.26.80.13
- [3]. STANDAR NASIONAL INDONESIA, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Badan Standardisasi Nasional, ICS 91.140.50, 2000.
- [4]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60079 part: 10; *Peralatan Elektrik Untuk Atmosfir Yang Berisi Gas Mudah Meledak*, 2008
- [5]. MARLIADI PANCOKO, *Estimasi Power Consumption-Sub Unit Proses JKT, Design Pabrik Elemen Bakar Nuklir Type 1000 MW*, No. Dok. RPN.KD.92.26.41.13
- [6]. MARLIADI PANCOKO, *Estimasi Power Consumption-Sub Unit Proses AUK, Design Pabrik Elemen Bakar Nuklir Type 1000 MW*, No. Dok. RPN.KD.91.26.41.13
- [7]. B.L. THERAJA, *Electrical Technology*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi 110055, 1979.
- [8]. YAN BONY MARSASHALA, *Engineering Manual Pabrik Elemen Bakar Nuklir 1000 MWe Untuk PLTN di Indonesia*, No.Dok. RPN.EM.01.26.80.13
- [9]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 1024, *Perlindungan Struktur Terhadap Sambaran Petir*, 2009.
- [10]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60034, *Mesin Elektrik Yang Berputar*, 2009.
- [11]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60076, *Transformator Daya*, 2009.
- [12]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60364, *Instalasi Elektrik Bangunan*, 2009.