

## SISTEM KELISTRIKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Firman Silitonga, Gunarwan Prayitno  
Pusat Rekayasa Perangkat Bahan- BATAN

### ABSTRAK

*Sistem Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Pada sistem ini, daya listrik disuplai dari dua sistem transmisi luar yang pertama dari main transformer dan house service transformer dan kedua dari reserve transformer. Beban listrik pada sistem ini diklasifikasikan masing-masing sistem listrik dengan safety dan sistem listrik tanpa safety. Pada sistem bolak balik dengan safety dan tanpa safety masing-masing terdapat empat bus tegangan menengah 6,9 kV, dan empat bus sistem tegangan rendah 480 V. Pada sistem arus searah dengan safety terdiri empat sistem daya 125 V dan sistem tanpa safety terdiri dari dua sistem daya 125 V. Peralatan pada sistem kelistrikan ini turbin generator utama, GTG safety, GTG alternate, UPS dan sistem batere dll. Untuk melindungi peralatan dan bangunan ini terhadap gangguan sambaran langsung dan tidak langsung dipasang sistem pembumian netral dan penangkal petir dan untuk melindungi personil terhadap tegangan sentuh dipasang sistem pembumian peralatan dan pemumian stasiun. Sistem pembumian penangkal petir dihubungkan ke sistem pembumian stasiun.*

*Kata kunci : sistem kelistrikan, safety, tanpa-safety dan tegangan*

### ABSTRACT

*The electrical system of nuclear power plant. In these system, electrical power system is supplied from two offsite transmission system respectively main transformer and house service transformer; and reserve transformer. The electrical load in these system consist of safety electrical system and non-safety electrical system. The safety electrical and non safety electrical systems consist of four 6,9 kV AC medium voltage bus and 480 V AC low voltage bus system. The DC power system consist of four safety 125 V DC power system and the two non-safety 125 DC power systems. The equipment in these electrical system is main turbine-generator; GTG safety; GTG alternate; uninterrupt power supply(UPS) and battery system. To protect electrical equipment and building to direct stroke and non direct stroke disturbances is installed netral grounding system and lightning protection and protection the personnel to touch-voltage is installed equipment grounding system and station grounding. The lightning arrester system is connected to station station grounding system.*

*Key word : electrical system, safety, non-safety and voltage*

### 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi setiap tahun makin meningkat seiring juga dengan meningkatnya pertumbuhan industri yang membutuhkan daya listrik. Oleh karena itu daya listrik yang tersedia tidak mencukupi sehingga terjadi krisis energi listrik. Hal ini menyebabkan terjadinya pemadaman listrik secara bergilir. Untuk mengatasi hal ini diperlukan pasokan energi yang cukup. Salah satu alternatif untuk mengatasi hal ini adalah

pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Dalam rangka mendukung pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir tersebut perlu dipersiapkan sistem kelistrikannya.

Daya yang diperlukan pada sistem kelistrikan pembangkit ini dipasok dari sistem transmisi luar. Beban pada sistem ini dikelompokkan atas dua bagian yaitu beban safety dan non-safety. Beban safety diharapkan mampu beroperasi secara kontinu ketika terjadi gangguan pada

sistem tersebut sedangkan beban non-safety diharapkan terputus sesaat bila terjadi gangguan.

Makalah ini akan membahas sistem kelistrikan PLTN US APWR yang didesain Mitsubishi Heavy Industries LTD.

Pada sistem kelistrikan ini terdapat dua sifat tegangan yaitu tegangan bolak balik dan tegangan searah. Tegangan bolak balik digunakan sesuai tegangan peralatan listrik yang membutuh daya bolak balik sedangkan tegangan searah digunakan sesuai kebutuhan tegangan peralatan yang membutuhkan daya arus searah.

Pada sistem kelistrikan ini perlu diperhatikan bahwa setiap train (jalur) dibuat secara terpisah, hal ini untuk mengatasi bila salah satu train mengalami gangguan maka train yang lain tidak boleh terganggu. Sistem ini juga dilengkapi dengan sistem pembumian dan proteksi penangkal petir untuk melindungi peralatan dan bangunan terhadap gangguan internal dan eksternal.

## **SISTEM Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir**

Pada sistem kelistrikan ini terdapat<sup>1)</sup> gas turbin generator safety dan gas turbin generator alternate. Kedua GTG safety dan GTG alternate dihubungkan ke bus tegangan menengah 6,9 kV. GTG safety beroperasi bila catu luar tidak tersedia.

Sistem transmisi luar terdiri dari 2 bagian terpisah, transmisi pertama dihubungkan ke beban safety melalui main transformer dan dua house service transformer. Transmisi kedua dihubungkan beban non-safety melalui reserve transformer.

Sistem operasi kelistrikan pembangkit ini sebagai berikut<sup>2)</sup>:

- Sistem operasi normal
- Sistem operasi darurat

Pada sistem operasi normal, turbin-

generator utama beroperasi untuk membangkitkan daya listrik, dan posisi sakelar pemutus beban generator ( generator load break switch) menutup, posisi pemutus sirkit transformator utama juga menutup sehingga daya listrik yang dihasilkan mencatu daya listrik /peralatan listrik di luar dan didalam sistem ini.

Pada sistem operasi darurat, gas turbin generator (GTG) beroperasi secara otomatis 60 detik setelah menerima sinyal under voltage dari bus tegangan menengah 6,9 kV. Pemutus sirkit GTG dan sirkit beban menutup secara otomatis secara berurutan sehingga beban pada sistem ini dicatu dari GTG safety.

Pada sistem kelistrikan pembangkit ini terdiri dari :

- Sistem daya kelistrikan
- Peralatan-peralatan pembangkit listrik tenaga nuklir

Sistem daya kelistrikan pembangkit listrik tenaga nuklir

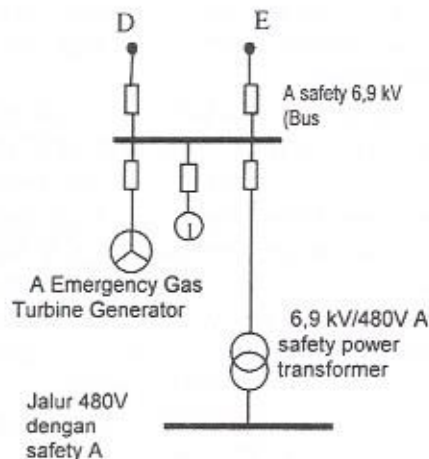
Sistem daya yang terdapat pada sistem kelistrikan pembangkit listrik tenaga nuklir ada dua sistem daya: daya arus bolak - balik (alternating current, ABB ) dan daya arus-searah (direct current, arus searah ).

Sistem ini adalah 6,9 kV, 480 volt; dan 115 volt. Tegangan bolak balik yang digunakan ditetapkan berdasarkan tegangan pengenal peralatan maupun komponen-komponen yang digunakan.

Sistem ini adalah sebagai berikut<sup>3)</sup> :

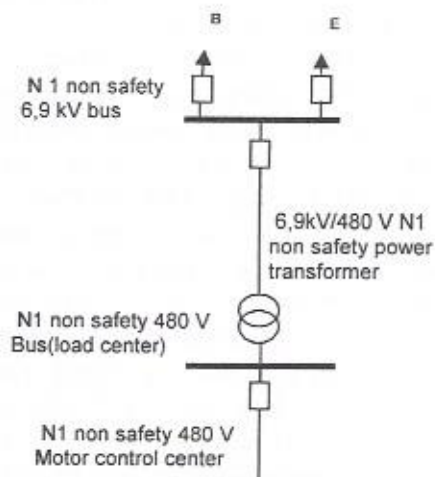
- Sistem daya bolak balik terdiri dari sistem listrik yang terkait dengan keselamatan dan sistem listrik yang tidak terkait dengan keselamatan
- Sistem listrik ini terdiri dari empat jalur terpisah (four separate trains) lihat Gambar 1. Masing-masing jalur terkait keselamatan terdiri dari bus tegangan menengah 6,9 kV dan bus-bus tegangan rendah 480 volt yang diperlukan untuk pusat beban ,dan pusat kendali motor ( load center, motor control

centers). Masing-masing bus tegangan menengah bolak balik terhubung ke gas turbine generator (GTG) terkait keselamatan seperti pada Gambar 1



**Gambar 1.** Sistem listrik dengan safety

- Pada sistem kelistrikan ini memungkinkan GTG terkait keselamatan mendapatkan pemeliharaan pada saat beroperasi. Beban-belan sistem yang terkait keselamatan memiliki dua jalur yang dihubungkan ke bus-bus dan dapat diberi daya dari salah satu dari dua sumber daya GTG terkait keselamatan.
- Pada sistem non safety terdapat empat sistem listrik yang tidak terkait keselamatan (lihat Gambar 2).



**Gambar 2.** Sistem listrik tanpa safety

Masing-masing sistem ini terdiri dari sistem bus tegangan menengah 6,9 kV dan sistem tegangan rendah 480 volt untuk load center dan motor control center. Beban beban - bolak balik yang tidak terkait keselamatan memperoleh catu daya dari sistem ini.

- GTG pengganti ( alternate GTG) terhubung ke empat bus-bus tegangan menengah 6,9 kV yang terkait keselamatan melalui pemutus sirkit (CB), dan semua pemutus sirkit ini terbuka pada beroperasi normal.

Pada sistem daya arus searah besarnya tegangan 125 volt dan 115 volt. Tegangan arus searah yang digunakan pada sistem ini ditetapkan berdasarkan tegangan pengenalan peralatan dan komponen-komponen listrik yang tersedia pada sistem. Sistem ini adalah berikut<sup>31</sup>:

- Sistem daya arus searah terdiri dari enam sistem, dua diantaranya bertegangan 125 volt dan tak terkait dengan keselamatan . .
  - Masing-masing sistem daya ini terdiri dari battery charger dan motor center arus searah. Jika catu daya atau battery charger tidak beroperasi , maka beban arus searah dicatu dari catu daya tak putus dari batere.
  - Sistem catu daya arus searah menncatu daya ke katup-katup motor arus searah, sirkit kendali peralatan hubung-bagi, inverter dan penerangan darurat dll.
  - Batere safety mencatu daya ke beban-belan selama dua jam dalam kondisi daya bolak balik tidak tersedia. Batere non safety mensuplai daya ke beban selama ¼ jam dalam kondisi daya bolak balik tidak tersedia. Batere secara kontinu dimuati kembali saat daya bolak balik turbin-generator tersedia atau dari GTG safety.
- Sistem catu daya instrumentasi dan kendali sebagai berikut :
- Sistem daya instrumentasi dan kendali terdiri dari empat sistem

volt bolak balik dan sistem daya tanpa safety 115 bolak balik. Sistem ini mencatu daya ke kabinet sistem instrumentasi dan kendali yang penting untuk beberapa titik-titik keselamatan dan operasi pembangkit.

- Unit inverter merupakan sumber daya utama dari masing-masing sistem. Jika ada fluktuasi daya masuk, tegangan dan frekuensi daya keluaran inverter dapat diatur. Inverter mempunyai satu penyulang sumber daya bolak balik dan satu penyulang sumber daya searah. Jika satu sumber daya tidak tersedia inverter mencatu daya tak putus ke beban instrumentasi dan kendali tersebut.

Peralatan listrik pada pembangkit listrik tenaga nuklir

Peralatan-peralatan listrik yang tersedia pada sistem pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai berikut : turbin-generator utama; gas turbin generator darurat; gas-turbin-generator alternate; generator load break switch (sakelar pemutus beban generator), transformator tertier, transformator penaik tegangan dan penurun tegangan; konverter-inverter, UPS uninterruption power supply ( catu daya tak putus), batere, pemutus sirkit (CB) dan lain-lain.

Turbin-generator utama terdiri dari turbin, generator dan peralatan bantu dan lain lain. Turbin adalah sistem konversi daya yang didesain untuk mengubah energi termal dari uap yang mengalir ke turbin untuk memutar generator sehingga membangkitkan daya listrik.

Transformator tertier ini terdiri dari tiga kumparan masing-masing kumparan primer, kumparan sekunder dan kumparan tertier. Pembebanan transformator tertier ini tidak boleh sama dengan transformator distribusi yang mempunyai primer dan sekunder.

## 2. SISTEM PEMBUMIAN DAN PROTEKSI PENANGKAL PETIR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

### Sistem Pembumian pembangkit listrik tenaga nuklir

Sistem pembumian pembangkit listrik ini terdiri dari 4 subsistem sebagai berikut<sup>4,51</sup>:

- Grid (jaringan) pembumian stasiun
- Pembumian sistem
- Pembumian peralatan
- Pembumian instrumen/komputer

Subsistem grid pembumian stasiun terdiri dari konduktor-konduktor tembaga telanjang yang saling terinterkoneksi satu dengan lainnya yang dibumikan dalam tanah, dan batang tembaga pembumian (tembaga yang dilas) membentuk suatu matriks jaringan pembumian instalasi. Subsistem pembumian ini mempertankan potensial pembumian yang sama dan membatasi tegangan langka dan tegangan sentuh hingga nilai yang aman dalam semua kondisi gangguan.

Subsistem pembumian sistem menyediakan pembumian titik-titik netral transformator utama, transformator penaik-tegangan utama, transformator bantu, transformator pusat beban (load center transformer) dan diesel generator standby. Netral diesel-generator dibumikan terhubung ke pembumian transformator dengan impedansi-tinggi. Netral-netral transformator penaik tegangan dan transformator pusat beban dibumikan dengan tembaga telanjang secara kokoh. Netral-netral belitan sekunder transformator bantu dan transformator cadangan (reserve transformer) dibumikan dengan pembumian resistansi.

Subsistem pembumian peralatan memberikan pembumian terhadap

penutup(casing) peralatan,yang terbuat dari struktur logam,tangki logam, pembumian bus rakitan peralatan hubung-bagi,,pusa-pusat beban, motor control centers,dan kabinet kendali dibumikan dengan dua sambungan pembumian ke jaringan pembumian stasiun.

Subsistem pembumian instrumen /komputer dengan sistem pembumian radial terpisah yang terdiri atas bus-bus pembumian instrumentasi terisolasi dan kabel-kabel berisolasi. Sistem pembumian radial tersambung ke jaringan pembumian stasiun hanya dengan satu titik dan diisolasi dari semua sirkuit pembumian yang lain.

### **Proteksi petir pada pembangkit listrik tenaga nuklir**

Sistem proteksi penangkal petir terdiri dari konduktor terminal udara dan konduktor-konduktor pembumian yang disediakan untuk proteksi terhadap struktur terbuka, rumah-rumah bangunan terkait-keselamatan (safety-related) dan peralatan proteksi kebakaran. Penangkal petir disediakan pada masing-masing fasa saluran-saluran transmisi dan pada terminal-terminal tegangan tinggi dari transformator pasangan luar. Bus tegangan fasa yang sama menghubungkan generator utama dan transformator utama serta peralatan hubung bagi tegangan-menengah dilengkapi dengan penangkal petir. Selain itu dedaikan juga surge suppressor untuk memproteksi instrumentasi pembangkit dan sistem pemantau dari gelombang yang terinduksi dari petir dalam sinyal dan kabel-kabel daya terhubung ke piranti yang ditempatkan diluar.

Proteksi petir sambaran langsung untuk fasilitas diselesaikan dengan memberikan jalur impedansi-rendah dengan melepaskan sambaran petir yang dapat memasuki bumi secara langsung. Sistem proteksi petir sambaran langsung terdiri atas

konduktor-konduktor terminal udara, konduktor terinterkoneksi dan konduktor-konduktor bawah (down conductor) yang terhubung ke bumi,yang dipasang pada bagian luar fasilitas . Sistem penangkal petir ini tersambung secara langsung ke pembumian stasiun untuk memudahkan membuang arus yang besar dari sambaran petir langsung. Penangkal petir dan surge suppressor tersambung secara langsung ke pembumian yang memberikan jalur impedansi rendah ke pembumian untuk gelombang-gelombang yang ditimbulkan petir atau induksi petir..Dengan demikian kebakaran atau kerusakan terhadap fasilitas dan peralatan yang ditimbulkan oleh sambaran langsung dapat dihindari.

### **3. PEMBAHASAN**

Pada sistem ini terdiri dari sistem listrik terkait safety dan tanpa safety. Pada sistem listrik ini mempunyai empat jalur terpisah yang masing-masing terdiri dari bus tegangan tegangan menengah 6,9kV,bus tegangan rendah 480 volt, empat sistem daya arus searah 125 volt dan dua sistem daya arus searah 125 volt tidak terkait safety. Emergency GTG dan alternate GTG terhubung kr bus 6,9 kV lihat Gambar 3 dan Gambar 4.

Pada sistem terkait safety jika terjadi gangguan misalnya pembangkit tidak beroperasi maka beban listrik yang terhubung dengan jalur (train) A,B,C dan D langsung dicatu sistem batere atau UPS selama dua jam, dalam hal ini sakelar pemutus beban generator dalam posisi terbuka dan beban-beban tanpa safety akan terputus sesaat. Kemudian GTG safety beroperasi secara otomatis dan setelah mencapai tegangan pengenalnya dalam 60 detik dari penerimaan sinyal tegangan dari bus tegangan menengah safety. Pemutus sirkuit dari setiap GTG menutup secara otomatis dan pemutus

sirkuit beban safety menutup secara otomatis berurutan.

Jika terjadi pemadaman total misalnya pembangkit / sumber daya luar dan GTG safety diasumsikan tidak beroperasi sehingga terjadi pemadaman total yang disebut stasiun black out maka GTG alternate beroperasi secara otomatis dari salah satu sinyal bus-bus tegangan menengah yang terhubung dengan GTG-safety, pemutus sirkuit GTG tersebut menutup secara manual dan bus tegangan menengah diberi daya kembali serta beban dioperasikan secara manual untuk memungkinkan pembangkit untuk mencapai dan mempertahankan kondisi shutdown yang aman

Pada sistem kelistrikan dilengkapi dengan pembumian dan penangkal petir untuk memproteksi tegangan sentuh yang aman dan melindungi peralatan listrik dan instrumentasi dan kontrol terhadap sambaran langsung dan tidak langsung .

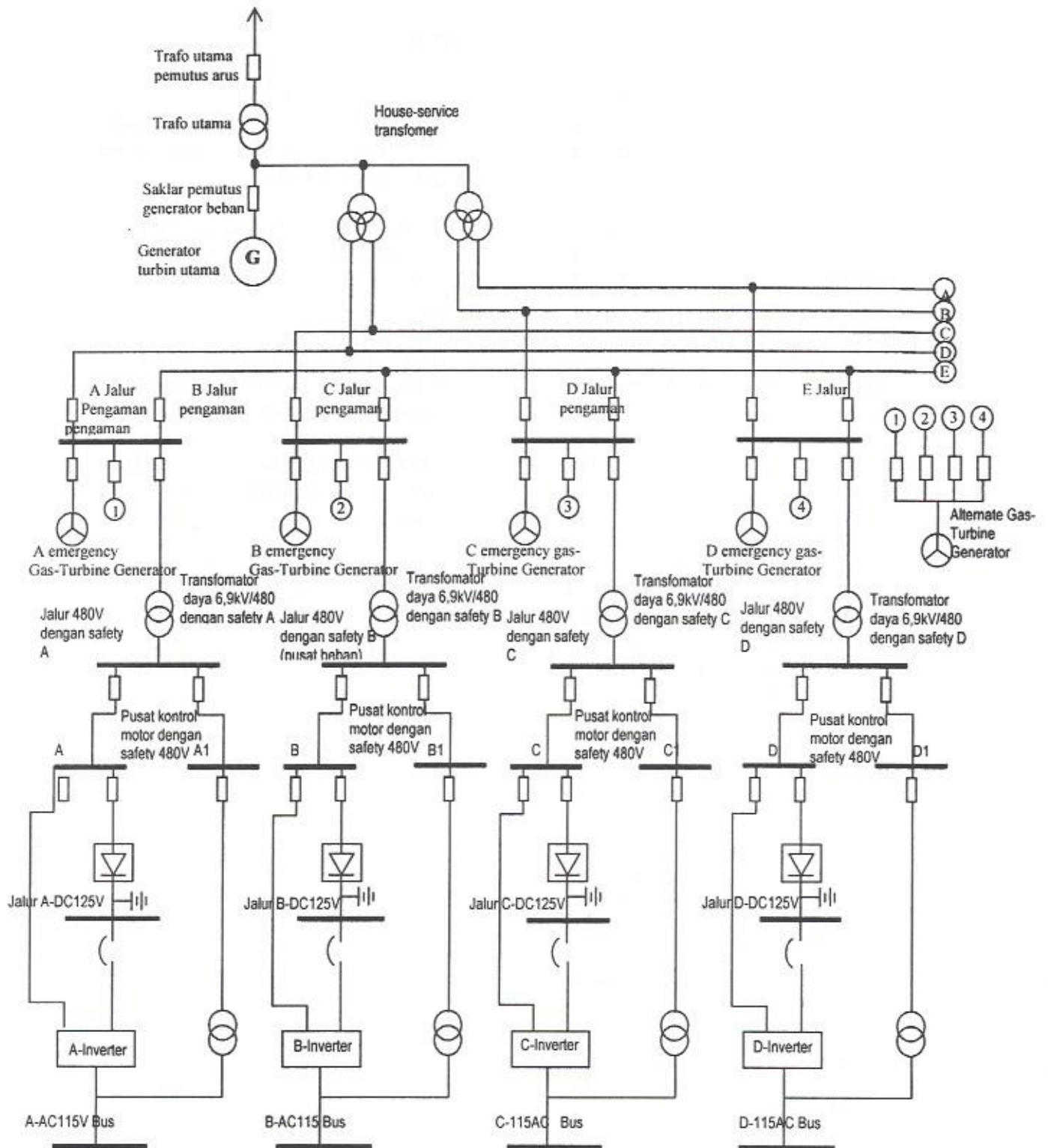
#### 4. KESIMPULAN

Pada sistem kelistrikan pembangkit ini tersedia sistem catu daya luar yang merupakan sistem daya pembangkit sendiri. Sistem ini memiliki catu daya sistem listrik bolak balik empat jalur terkait safety, empat jalur tanpa safety, dan untuk arus searah empat jalur terkait safety dan dua jalur tanpa safety. Beban beban yang dicatu dari sistem safety tidak terjadi pemutusan daya sedangkan beban yang dicatu dari non safety akan mengami pemutusan daya sesaat.

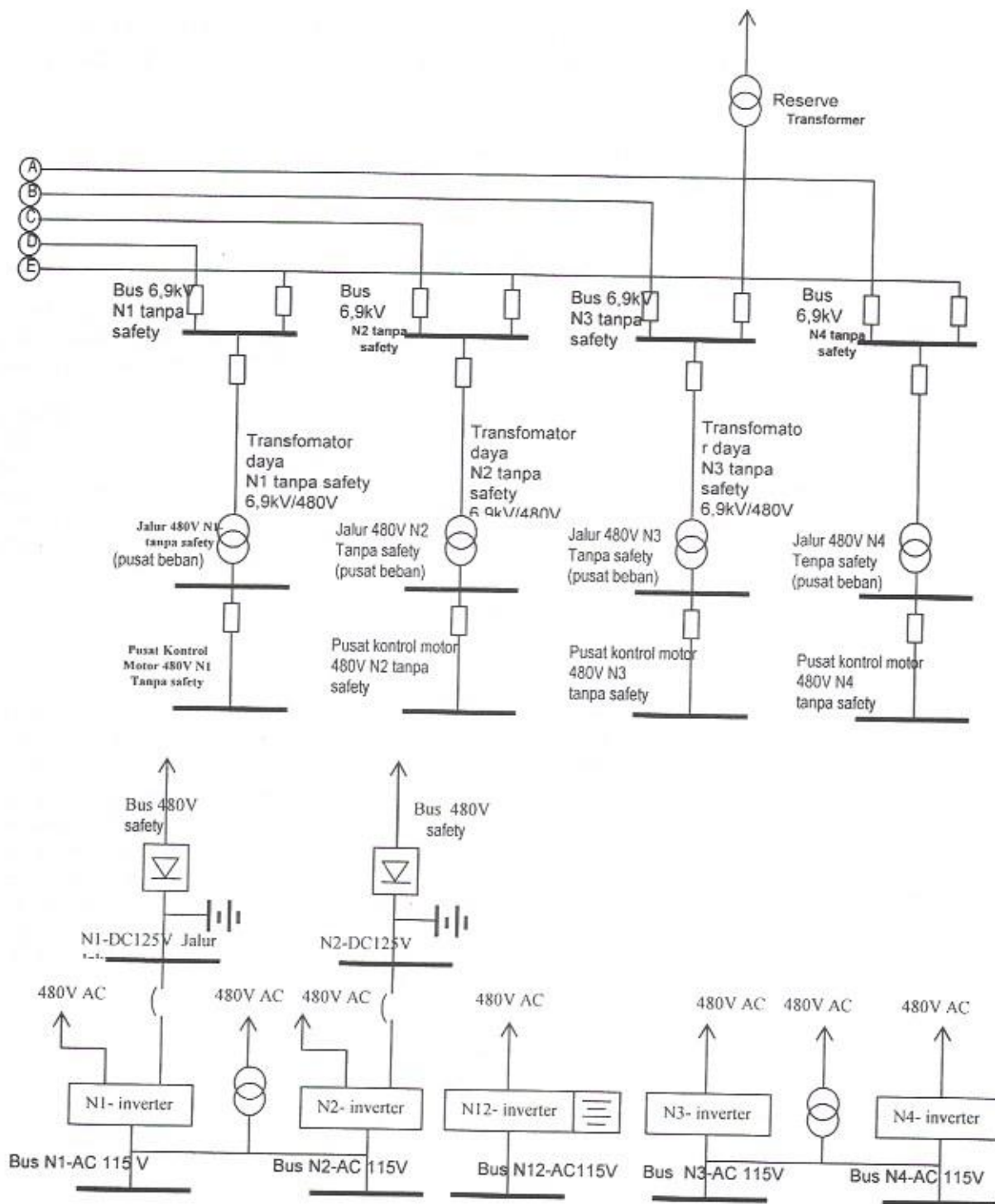
Sistem ini dilengkapi dengan pembumian titik netral transformator, pembumian peralatan, pembumian instrumentasi & kendali serta pembumian sistem grid. Juga sistem ini dilengkapi penangkal petir untuk memproteksi bangunan dan peralatan listrik dll.

#### 5. ACUAN

- [1]. IEEE, 1991. standard 946 "IEEE standard criteria for class 1E power system for nuclear power generating system".
- [2]. NUREG/CR-0660, Pebruari 1979. "Enhancement of on-site emergency diesel generator reliability".
- [3]. IEEE 1981. standard 384, "IEEE standard criteria for indepenence of class 1E equipment and circuit.
- [4]. IEEE, 1995. standard 665, " IEEE guide for generating station grounding".
- [5]. NFPA 780, 2000. "standard for the Installation protection system".



**Gambar 3.** Diagram Sistem Satu Garis Dengan Safety



Gambar 4. Diagram sistem satu garis non-safety