

PERHITUNGAN KEANDALAN PENGGABUNGAN JALUR DISTRIBUSI SISTEM KELISTRIKAN RSG-GAS

Yan Bony Marsahala
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) – BATAN
E-mail: yanboni@batan.go.id

ABSTRAK

PERHITUNGAN KEANDALAN PENGGABUNGAN JALUR DISTRIBUSI SISTEM KELISTRIKAN RSG-GAS. Pada sistem kelistrikan RSG-GAS, jalur distribusi dipasok dari tiga panel distribusi primer, yaitu: busbar BHA, busbar BHB, dan busbar BHC yang bekerja sendiri-sendiri. Ketiga busbar tersebut disuplai oleh hanya satu sumber catu daya PLN melalui jalur tunggal. Tiap busbar memasok beban redundan. Secara prosedural, bila terjadi kegagalan pada salah satu dari ketiga busbar, akan mengakibatkan gagalnya operasi reaktor. Kelemahan ini dapat diselesaikan dengan melakukan modifikasi pada konfigurasi busbar yaitu dengan cara menggabungkan ketiganya menggunakan kabel daya sedemikian sehingga panel distribusi primer tersebut akan berubah sifatnya menjadi “three in one” yang saling melengkapi. Perubahan tersebut akan menjadi konfigurasi baru dengan tingkat keandalan yang berbeda dibandingkan dengan konfigurasi busbar terpasang. Makalah ini akan menghitung tingkat keandalan konfigurasi busbar terpasang dan konfigurasi busbar hasil modifikasi. Perhitungan dengan rumus-rumus keandalan dan menggunakan parameter laju kegagalan peralatan listrik yang mendukung konfigurasi busbar. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa, keandalan panel distribusi primer terpasang adalah 0.9728807076, dan keandalan panel distribusi hasil modifikasi adalah 0.9996537791. Dengan kata lain terjadi peningkatan keandalan panel distribusi primer sebesar 2.75%.

Kata Kunci: penggabungan jalur distribusi, keandalan, sistem kelistrikan RSG-GAS.

ABSTRACT

CALCULATION ON RELIABILITY OF COMBINING THE DISTRIBUTION LINE OF THE MULTI PURPOSE REACTOR G.A.SIWABESSY ELECTRICAL SYSTEMS. In the RSG-GAS electrical systems, distribution lines was supplied from three primary distribution panel, they are busbar BHA, busbar BHB, and busbar BHC that are working independently. All three busbar are supplied by only one source of power supply through a single PLN. Each busbar supplies the redundant load. By procedure it is recognized that failure one of the three busbar causing failure of the reactor operation. This weakness can be resolved by modifying the busbar configuration that is by combining them using the power cable so that the primary distribution panel will change its nature be “three in one” complementary. Such changes will be a new configuration with different levels of reliability than that of the present busbar configuration. This paper calculates the reliability of both busbar configurations installed and modified busbar configuration. Calculation was carried out using reliability formulas and the electrical equipment failure rate parameters that support the busbar configuration. By calculation result gives that the reliability of the primary distribution panel installed is 0.9728807076, and reliability of the modified distribution panel is 0.9996537791. In other words there are increases in the reliability of the primary distribution panel by 2.75 %.

Keyword: combining of distribution line, reliability, RSG-GAS electric system.

PENDAHULUAN

Distribusi daya pada sistem kelistrikan RSG-GAS dilakukan melalui tiga jalur independen yang disediakan oleh tiga panel distribusi primer BHA, BHB, dan BHC. Dalam operasi normal (suplai daya PLN ada), maka pada ke tiga panel distribusi tersebut ada ketersediaan daya. Berdasarkan prosedural pengoperasian reaktor, reaktor boleh dioperasikan hanya apabila kondisi *two of three* dari ketersediaan daya listrik dipenuhi, artinya bila dua dari tiga jalur independen dioperasikan, maka jalur yang satu lainnya harus dalam kondisi *stand by*. Bila salah satu dari ke tiga panel distribusi mengalami gangguan/kerusakan, dapat dikatakan bahwa ketersediaan (*availability*) daya pada jalur yang terganggu tidak ada.

Panel distribusi primer pernah mengalami gangguan berupa kegagalan serius dengan terbakarnya busbar BHA, maka akibat kegagalan tersebut operasi reaktor tidak dapat dilaksanakan karena ketersediaan daya pada busbar BHA tidak ada, walaupun ketersediaan daya pada busbar BHB dan BHC masih tetap ada.

Busbar atau disebut juga sebagai rel daya BHA, BHB, dan BHC didesain untuk melakukan operasi independen dengan beban redundan, yang artinya masing-masing busbar BHA, BHB, dan BHC memasok beban berbeda yang tidak saling berhubungan secara elektrik. Namun demikian, pada kenyataannya redundansi dari ketiga busbar tersebut, dipasok oleh hanya satu jalur sumber daya dari jaringan distribusi PLN. Dengan kata lain, bila sumber daya PLN gagal, maka keseluruhan busbar BHA, BHB, dan BHC semuanya akan gagal, sehingga sifat redundan itu sendiri (*two of three*) sebenarnya kurang maksimal. Sifat independen tersebut hanya optimal bilamana gangguan yang terjadi terdapat hanya pada beban-beban yang memang terpisah, dan atau gangguan itu terjadi pada busbar itu sendiri-sendiri. Dengan demikian melakukan kajian tentang bagaimana

meningkatkan ketersediaan daya pada panel distribusi primer (BHA, BHB, dan BHC) menjadi hal yang menarik.

Salah satu cara sederhana yang dapat dilakukan adalah dengan menghubungkan ketiga busbar BHA, BHB, dan BHC tersebut menjadi satu rangkaian. Dengan penggabungan ketiganya, independensi tiap jalur tetap terjaga. Hal lainnya yang menjadi pertimbangan adalah, transformator dapat dioperasikan sesuai dengan besarnya kebutuhan daya. Pada makalah ini akan dilakukan kajian tentang perhitungan nilai keandalan jika dilakukan penggabungan busbar-busbar BHA, BHB, dan BHC. Perhitungan dilakukan dengan mengadopsi umus-rumus keandalan dan menggunakan parameter laju kegagalan peralatan listrik yang mendukung konfigurasi busbar. Diharapkan dengan penggabungan busbar akan meningkatkan nilai keandalan sistem.

TEORI

Sistem elektrik yang merupakan perwujudan dari suatu konfigurasi beberapa peralatan listrik yang terhubung seri maupun paralel merupakan rangkaian terintegrasi yang dirancang sedemikian, sehingga mampu memberikan pasokan daya pada beban sesuai dengan keperluannya. Sistem elektrik dikatakan baik apabila dapat menyalurkan layanan aman secara terus menerus dan dalam keadaan aman dengan seminimal mungkin mengalami gangguan pemutusan daya. Untuk menentukan apakah suatu sistem cukup andal atau tidak perlu diadakan perhitungan keandalannya dengan cara membagi-bagi sistem menjadi beberapa konfigurasi hubungan peralatan. Tiap bagian dapat dihitung keandalannya berdasarkan teori probabilitas dan hasil akhir dapat diperoleh dengan memasukkan harga laju kegagalan (*failure rate*) dari setiap peralatan yang membangun konfigurasi.

- Peralatan listrik yang membentuk konfigurasi rangkaian terdiri atas:
- Pemutus daya (*circuit breaker*, CB);
- Sakelar Pemisah (*disconnecting switch*, D);
- Transformator Daya (*power transformer*, T); dan
- Rel Daya (busbar, BB)

Laju kegagalan dari masing-masing peralatan tersebut di atas berbeda satu sama lain, tergantung kepada rating tegangan, arus, frekuensi, dan pabrik pembuatnya. Namun secara umum pengujian yang dilakukan untuk menentukan laju kegagalan dari setiap peralatan ditetapkan berdasarkan jam operasi tahunan, yaitu 8700 jam. Hasil pengujian tersebut kemudian disusun dalam suatu tabel (lihat lampiran). Dengan mengacu pada tabel dimaksud, kita dapat menghitung keandalan sistem berdasarkan konfigurasi rangkaiannya.

Kendalaan Rangkaian

Peralatan listrik terhubung seri.

Pada sistem seri yang terdiri dari n peralatan seperti pada Gambar 1a, masing-masing dengan laju kegagalan (λ) maka keandalan sistem seri, $R(t)_s$ diberikan oleh persamaan^[1].

$$R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \dots\dots\dots(1)$$

Peralatan listrik terhubung paralel

Hubungan paralel peralatan listrik dimaksudkan untuk menaikkan nilai keandalan sistem, dimana diharapkan sistem tetap dapat bekerja walau salah satu peralatannya gagal, seperti Gambar 1.b. Keandalan sistem paralel, $R(t)_p$ diberikan oleh persamaan^[1].

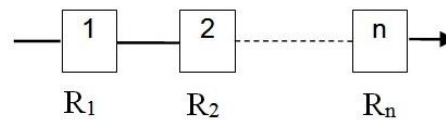
$$R(t)_p = 1 - \{1 - R(t)_1\}1 - (t)_2\} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

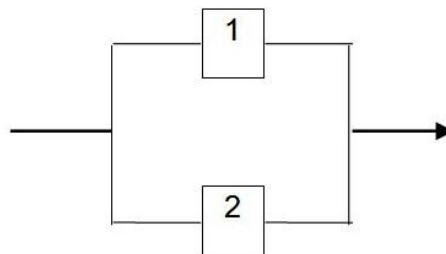
$$R(t)_1 = \text{keandalan peralatan 1}$$

$$R(t)_2 = \text{keandalan peralatan 2}$$

Untuk sistem yang diparalel lebih dari dua, maka keandalannya dapat dihitung dua-dua.



a. Hubung seri



b. Hubung paralel

Gambar1. Hubungan Peralatan Listrik

Konfigurasi rel daya.

Konfigurasi rel daya, pada umumnya direncanakan sesuai dengan keperluan penyaluran daya dan oleh jenis saluran masuk, saluran keluar, maupun rangkaian transformator yang akan digunakan.

Untuk perhitungan keandalan, maka rangkaian rel daya diasumsikan sebagai satu unit peralatan listrik dengan harga keandalan sebagai berikut.

$$R(t)_{BB} = e^{-\lambda_{BB} t} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- $R(t)_{BB}$ = keandalan rangkaian busbar,
- λ_{BB} = laju kegagalan busbar.

Rangkaian transformator

Transformator yang dimaksud dalam tulisan ini adalah transformator daya dengan peralatan lainnya yang mendukung kerja rangkaian transformator. Rangkaian transformator diasumsikan sebagai satu unit peralatan listrik dengan keandalan $R(t)_T$. Berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomi rangkaian transformator dapat dibedakan berdasarkan jumlah pemakaian CB, saklar pemisah (D) dan sistem rangkaiannya. Perbedaan ini akan membedakan keandalan dan biaya dari rangkaian transformator. Keandalan rangkaian transformator dihitung sebagai berikut:

$$R(t)_T = e^{-\lambda_T t} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

λ_T = laju kegagalan rangkaian transformator

METODOLOGI

Ruang Lingkup

Jaringan distribusi beban sistem listrik reaktor, dikelompokkan menjadi seperti berikut, yaitu: konfigurasi panel distribusi primer terpasang, konfigurasi panel distribusi primer modifikasi, peralatan listrik yang membangun konfigurasi, laju kegagalan peralatan listrik yang digunakan, rangkaian saluran keluar, rangkaian busbar, dan rangkaian saluran masuk.

Rancangan dan Metode

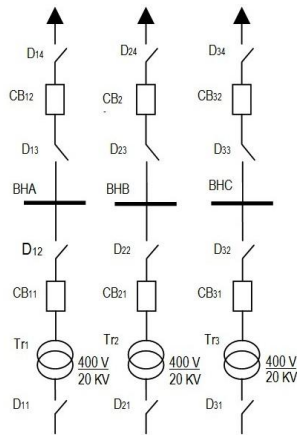
Konfigurasi Panel Distribusi Primer Terpasang

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada konfigurasi bagian ini adalah^[3]: 1. terdiri atas 3 jalur distribusi independen yang bekerja sendiri-sendiri, 2. kegagalan pada salah satu jalur tidak berpengaruh pada jalur lainnya, 3. tiap satu jalur meyuplai satu set beban redundan. Peralatan yang terhubung pada masing-masing busbar adalah identik, sehingga diasumsikan bahwa keandalan busbar BHA sama besarnya dengan

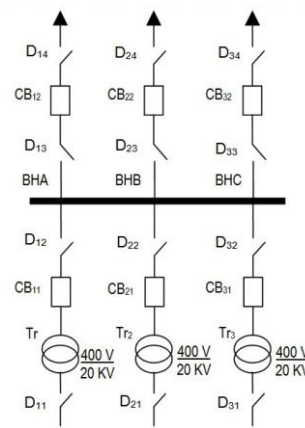
busbar BHB, dan BHC. Dengan demikian perhitungan keandalan dari panel distribusi primer dapat diwakili oleh perhitungan keandalan busbar BHA. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa setiap jalur dibangun dari satu saluran masuk, satu rel daya, dan satu saluran keluar. Peralatan listrik yang mendukung busbar terdiri atas: Satu set rel daya (BB), satu unit trafo (Tr_1), dua unit pemutus daya yaitu CB_{11} dan CB_{12} , empat unit sakelar pemisah yaitu D_{11} , D_{12} , D_{13} , dan D_{14} .

Konfigurasi Panel Distribusi Primer Modifikasi

Pada modifikasi panel distribusi primer, terdapat beberapa hal yg diperhitungkan, yaitu: terdiri atas 3 set jalur distribusi yang bekerja saling melengkapi; rel daya BHA, BHB, dan BHC menjadi satu unit busbar; kegagalan pada salah satu jalur tidak mempengaruhi jalur lainnya; dan tiap satu jalur meyuplai satu set beban redundan. Keandalan busbar BHA sama besarnya dengan keandalan busbar BHB, dan BHC. Konfigurasi panel distribusi dibangun dari tiga saluran masuk, satu set rel daya, dan tiga saluran keluar. Peralatan listrik yang mendukung busbar terdiri atas: Satu set rel daya (BB); tiga unit trafo yang bekerja paralel (Tr_1 , Tr_2 , dan Tr_3); enam unit pemutus daya (CB_{11} , CB_{12} , CB_{21} , CB_{22} , CB_{31} , dan CB_{32}); dua belas unit sakelar pemisah (D_{11} , D_{12} , D_{13} , D_{14} , D_{21} , D_{22} , D_{23} , D_{24} , D_{31} , D_{32} , D_{33} , dan D_{34}). Modifikasi konfigurasi panel distribusi tersebut di atas dapat di lihat seperti pada Gambar 3. Keandalan modifikasi panel distribusi primer diperoleh dari hasil perhitungan keandalan ketiga jalur yang bekerja secara paralel.



Gambar 2. Konfigurasi Rangkaian Dasar Panel Distribusi Primer



Gambar 3. Modifikasi Konfigurasi Rangkaian Dasar Panel Distribusi Primer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Kegagalan

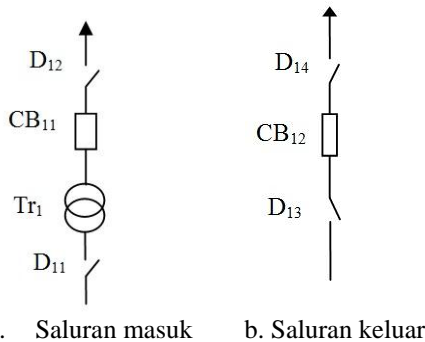
Dari Gambar 2 dan Gambar 3 di atas, dapat dilihat bahwa peralatan listrik yang membangun konfigurasi panel distribusi, terdiri atas transformator (Tr), pemutus daya (CB), sakelar pemisah (D), dan busbar (BB). Untuk keperluan perhitungan keandalan, maka harus diketahui laju kegagalan dari tiap unit peralatan yang digunakan. Laju kegagalan peralatan yang digunakan dapat dilihat seperti pada Tabel 1, dikutip dari *IEEE Transaction on industry applications, march/April 1974.*)

Tabel 1. Laju kegagalan/tahun peralatan listrik pada industri^[lampiran 1].

No.	Peralatan Listrik	Simbol	Spesifikasi	Laju kegagalan/tahun	
				λ_{Tr}	λ_{CB}
1	Transformator	Tr	20.000/400 V, 50 Hz, 1600 KVA	λ_{Tr}	0.01300
2	Pemutus Daya	CB	Ruang tertutup	λ_{CB}	0.00270
3	Sakelar Pemisah	D	Ruang tertutup	λ_D	0.00290
4	Busbar	BB	Dalam ruang tertutup	λ_B	0.00034

Saluran masuk

Saluran masuk pada sistem panel distribusi RSG-GAS terdiri atas rangkaian seri dari satu transformator (Tr), satu pemutus daya (CB) dan satu sakelar pemisah (D), seperti Gambar 4.a.



Gambar 4. Konfigurasi Rangkaian

Selanjutnya saluran tersebut di atas diasumsikan sebagai satu unit peralatan listrik, dengan keandalan R_{sm} dihitung dengan menggunakan persamaan (1) berikut^[2]:

$$R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$$

$$R_{sm}(t) = e^{-(\lambda_{Tr} t + \lambda_{CB} t + \lambda_D t)} \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- $R_{sm}(t)$ = keandalan saluran masuk , dan
- λ_{Tr} = laju kegagalan transformator/tahun
- λ_{CB} = laju kegagalan pemutus daya/tahun
- λ_D = laju kegagalan sakelar pemisah/tahun
- t = 1 (waktu pengamatan satu tahun)

Sehingga dengan mansubtitusikan nilai laju kegagalan dari peralatan listrik yang digunakan ke dalam persamaan 5), diperoleh:

$$R_{sm}(t) = e^{-(0.0130 + 0.0027 + 0.0029) t}$$

$$R_{sm}(1) = e^{-(0.0186)}$$

$$= 0.981571912$$

Saluran Keluar

Saluran keluar pada sistem panel distribusi terdiri atas rangkaian seri dari satu pemutus daya (CB), dan dua sakelar pemisah (D) seperti pada Gambar 4.b.

Saluran keluar seperti di atas diasumsikan sebagai satu unit peralatan listrik dengan keandalan R_{sk} , dihitung dengan menggunakan persamaan (1) seperti berikut^[2]:

$$R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$$

$$R_{sk}(t) = e^{-(\lambda_{CB} t + \lambda_{D13} t + \lambda_{D14} t)} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

- $R_{sk}(t)$ = keandalan saluran keluar,
- λ_{CB} = laju kegagalan pemutus daya,
- λ_D = laju kegagalan sakelar pemisah/tahun,
- $t = 1$ (jangka waktu pengamatan satu tahun).

Sehingga dengan mensubtitusikan nilai laju kegagalan yang digunakan ke dalam persamaan 6), diperoleh:

$$R_{sk}(t) = e^{-(0.0027 + 0.0029 + 0.0029) t}$$

$$R_{sk}(1) = e^{-(0.0085)}$$

$$R_{sk} = 0.991536022$$

Busbar

Busbar merupakan satu unit peralatan listrik yang keandalannya ditentukan oleh laju kegagalannya, dapat dihitung berdasarkan rumus yang terdapat pada persamaan (3). Dengan mensubstitusikan nilai laju kegagalan busbar ke dalam persamaan 3), diperoleh:

$$R_{BB}(1) = e^{-0.00034} \dots\dots\dots(7)$$

$$R_{BB} = 0.9996600577,$$

dimana:

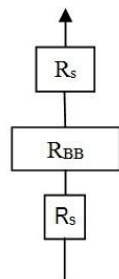
R_{BB} = keandalan busbar,

λ_B = laju kegagalan busbar/tahun,

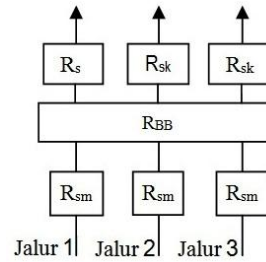
t = 1 (waktu pengamatan satu tahun).

Konfigurasi Panel Distribusi Primer

Dengan keandalan dari unit peralatan listrik yang diperoleh sebelumnya, maka dapat digambarkan konfigurasi panel terpasang dan modifikasi disertai dengan keandalan dari tiap unit peralatan dimaksud, masing-masing seperti pada Gambar 5.



a. Konfigurasi Terpasang
Satu saluran masuk dan satu saluran keluar



b. Konfigurasi Modifikasi
Tiga saluran masuk dan tiga saluran keluar

Gambar 5. Rangkaian Ekivalen Panel Distribusi Primer

Perhitungan Keandalan

- Keandalan Panel Distribusi Terpasang

Berdasarkan Gambar 5 , dapat dilihat bahwa keandalan panel distribusi primer terpasang R_{PDT} merupakan keandalan dari tiga unit peralatan listrik yang terhubung seri, sehingga perhitungannya dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{PDT} &= R_{sm} \times R_{BB} \times R_{sk} \dots\dots\dots(8) \\ &= 0.981571912 \times 0.991536022 \times 0.999660067 \\ &= 0.9728807076 \end{aligned}$$

- Keandalan Panel Distribusi Modifikasi

Berdasarkan Gambar 5 , dapat dilihat bahwa keandalan panel distribusi primer modifikasi R_{PDM} merupakan keandalan dari tiga saluran paralel, satu rangkaian busbar, dan tiga saluran keluar paralel. Perhitungan keandalannya dilakukan sebagai berikut:

Saluran masuk:

R_{sm} jalur1 paralel dengan R_{sm} jalur2, sehingga ekivalen keandalannya adalah:

$$R_{e1} = 1 - \{1 - R_{sm1}\} \{1 - R_{sm2}\}$$

$$= 1 - \{1 - R_{sm2} - R_{sm1} + R_{sm1} \times R_{sm2}\};$$

karena : $R_{sm1} = R_{sm2} = R_{sm}$

maka: $R_{e1} = 2R_{sm} - R_{sm}^2$

Selanjutnya, R_{e1} paralel dengan R_{sm} jalur3, sehingga keandalannya menjadi:

$$R_e = 1 - \{1 - R_{e1}\} \{1 - R_{sm3}\}$$

karena $R_{sm} = R_{sm}$, maka:

$$R_e = 1 - \{1 - (2R_{sm} - R_{sm}^2)\} \{1 - R_{sm}\}$$

$$= 1 - \{1 - 2R_{sm} + R_{sm}^2\} \{1 - R_{sm}\}$$

$$= 1 - (1 - R_{sm} - 2R_{sm} + 2R_{sm}^2 + R_{sm}^2 - R_{sm}^3)$$

$$= 1 - (1 - 3R_{sm} + 3R_{sm}^2 - R_{sm}^3)$$

$$= 1 - 1 + 3R_{sm} - 3R_{sm}^2 + R_{sm}^3$$

$$R_{sme} = 3 (R_{sm} - R_{sm}^2 + 1/3 R_{sm}^3)$$

Dengan mensubstitusi $R_{sm} = 0.981571912$ ke dalam persamaan di atas, diperoleh:

$$R_{sme} = 3 \{0.981571912 - (0.981571912)^2 + 1/3 \times (0.981571912)^3\}$$

$$R_{sme} = 0.99999374239$$

Saluran Keluar

R_{sk} jalur 1 paralel dengan R_{sk} jalur 2, dan paralel dengan R_{sk} jalur 3, sehingga ekivalen keandalannya dapat dihitung seperti perhitungan keandalan saluran masuk, yaitu:

$$R_{ske} = 3 (R_{sk} - R_{sk}^2 + 1/3 R_{sk}^3) \dots \dots \dots (9)$$

Dengan mensubstitusi R_{sk} ke dalam persamaan di atas, diperoleh:

$$R_{sk} = 3 \{0.991536022 - (0.991536022)^2 + 1/3 (0.991536022)^3\}$$

$$R_{ske} = 0.9999999776$$

Rangkaian Rel Daya

$$R_{BB} = 0.999660057$$

Keandalan panel distribusi primer modifikasi, diperoleh dari perhitungan tiga unit rangkaian ekivalen seperti Gambar 5.b. di atas yang terhubung seri, yaitu R_{sme} , R_{BB} dan R_{ske} , maka keandalannya diperoleh seperti berikut:

$$R_{PDPM} = R_{sme} \times R_{BB} \times R_{ske} \dots \dots \dots (10)$$

$$= 0.99999374239 \times 0.999660057 \times 0.9999999776$$

$$R_{PDPM} = 0.9996537791$$

Persentase peningkatan keandalan

Peningkatan persentase keandalan

$$= \frac{R_{PDPM} - R_{PDPT}}{R_{PDPT}} \times 100\%$$

$$= \frac{0.9996537791 - 0.9728807076}{0.9728807076} \times 100\%$$

$$= 2.75 \%$$

KESIMPULAN

Untuk mendapatkan keandalan yang lebih baik, dapat dilakukan modifikasi panel distribusi primer RSG-GAS. Modifikasi dilakukan dengan cara menghubungkan busbar BHA dengan BHB, dan BHC menggunakan kabel daya. Dari hasil perhitungan keandalan diperoleh bahwa keandalan panel distribusi bila dimodifikasi seperti di atas akan memberikan nilai keandalan sebesar 0.9996537791. Dibandingkan terhadap keandalan panel distribusi primer terpasang, maka dengan modifikasi akan meningkatkan keandalan sebesar 2.75 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Billinton Roy; "Power System Reliability Evaluation", Gordon and Breach, Science Publishers, New York 1976.
2. Davenport, F. W, Magison, E. M. Yakub. Yu. A ; "Substation Bus Switching Arrangement Their Essential Requirements and Realiability", Electra, Oct. 1969.
3. Yan Bony Marsahala, "Implementasi Laju Kegagalan Komponen Pada Instalasi Listrik Reaktor", Laporan Teknis, TRR.SR.32.01.51.05
4. Yan Bony Marsahala, "Keandalan Configurasi Circuit Breaker Pada Busbar", Laporan Teknis, TRR/BSR/016/2000.
5. Yan Bony Marsahala, Yayan Andriyanto, "Kondisi Terkini Sistem Listrik RSG-GAS", TRR.SR.25.01.51.05.