

ANALISIS KEANDALAN KONFIGURASI BUSBAR UTAMA I SISTEM LISTRIK RSG-GAS

Yan Bony Marsahala

ABSTRAK

ANALISIS KEANDALAN KONFIGURASI BUSBAR UTAMA I SISTEM LISTRIK RSG-GAS. Busbar utama I RSG-GAS terdiri atas BHA, BHB, dan BHC dalam operasionalnya bekerja sendiri-sendiri padahal ketiga busbar dimaksud disuplai oleh hanya satu sumber catu daya PLN melalui jalur tunggal. Tiap busbar memasok beban redundan. Secara prosedural, kegagalan pada salah satu busbar mengakibatkan gagalnya operasi reaktor. Kelemahan ini dapat diselesaikan dengan melakukan modifikasi konfigurasi panel dengan cara menghubungkan ketiga busbar BHA, BHB, dan BHC menggunakan kabel daya sedemikian sehingga busbar utama I berubah sifatnya menjadi “three in one” yang saling melengkapi. Perubahan tersebut tentu saja akan mempengaruhi tingkat keandalannya. Dengan menggunakan laju kegagalan peralatan listrik yang mendukung konfigurasi panel dihitung keandalan panel distribusi terpasang dan keandalan panel distribusi modifikasi. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa, keandalan panel distribusi terpasang adalah 0.9728807076, dan keandalan panel distribusi modifikasi adalah 0.9996537818 dengan kata lain terjadi peningkatan keandalan busbar utama I sebesar 2.15%.

Kata kunci: keandalan, busbar utama I.

ABSTRACT

ANALYSIS FOR CONFIGURATION RELIABILITY OF MAIN DISTRIBUTION BOARDS I OF THE RSG-GAS ELECTRICAL SYSTEM. Main distribution board of the RSG-GAS consists of BHA, BHB, and BHC. Each of them is operated independently even their electrical supply power through a single line are some. Each of busbar feeds a redundant loads. Malfunction of one of busbar causing failure of reactor operation. This occurrence is solved by modifying of panel configuration. All busbars are connected together using power cables and it form three in one of main distribution board. This modification effect on its reliability. Using failure rate of electrical components supporting panel configuration calculation of both panel distribution reliability and panel distribution reliability can be determined.

Keyword: reliability, main busbar I.

PENDAHULUAN

Mengingat bahwa ketersediaan daya pada busbar utama I BHA, BHB, dan BHC pernah mengalami kegagalan serius dengan terbakarnya busbar BHA. Berdasarkan prosedural pengoperasian reaktor, maka akibat kegagalan tersebut operasi reaktor tidak dapat dilaksanakan walaupun ketersediaan daya pada busbar BHB dan BHC ada. Busbar BHA, BHB, dan BHC yang didesain untuk melakukan operasi independen dengan beban redundan sebenarnya dipasok oleh sumber catu daya satu jalur PLN. Dengan kata lain, bila sumber catu daya PLN gagal, maka semua busbar akan gagal, sehingga sifat redundan itu sendiri sebenarnya kurang maksimal. Sifat independen hanya optimal bilamana gangguan terdapat pada beban dan atau pada busbar itu sendiri. Dengan demikian melakukan kajian tentang bagaimana meningkatkan ketersediaan daya pada busbar utama I menjadi hal yang menarik.

TEORI

Sistem elektrik yang merupakan perwujudan dari suatu konfigurasi beberapa peralatan listrik yang terhubung seri maupun paralel merupakan rangkaian terintegrasi yang dirancang sedemikian rupa, sehingga mampu memberikan pasokan daya pada beban sesuai dengan keperluannya. Sistem elektrik dikatakan baik apabila dapat

menyalurkan layanan daya secara terus menerus dan dalam keadaan aman dengan seminimal mungkin mengalami gangguan pemutusan daya.

Untuk menentukan apakah suatu sistem cukup andal atau tidak perlu dilakukan 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:

1. Pemutus daya (circuit breaker, CB)
2. Sakelar Pemisah (disconnecting switch, D)
3. Transformator Daya (power transformer, T)
4. 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 tiap peralatan ditetapkan berdasarkan jam operasi tahunan yakni sebesar 8700 jam operasi per-tahun. Hasil pengujian tersebut kemudian disusun dalam suatu tabel (lihat Tabel 1). Dengan mengacu pada tabel tersebut, dapat dihitung keandalan sistem berdasarkan konfigurasi rangkaiannya.

Tabel 1. Laju kegagalan/tahun peralatan listrik pada industri.

No.	Peralatan Listrik	Simbol	Spesifikasi	Laju Kegagalan/tahun	
				λ	
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

Keandalan 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.

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

dimana:

λ = laju kegagalan

t = waktu.

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.

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

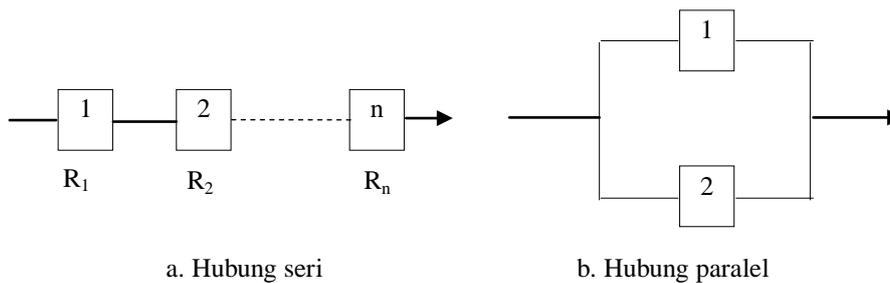
dimana :

$R(t)_1$ = keandalan peralatan 1

$R(t)_2$ = keandalan peralatan 2

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

Peralatan listrik terhubung paralel



Gambar1. Hubungan Peralatan Listrik

Konfigurasi rel daya.

Konfigurasi rel daya, pada umumnya direncanakan sesuai 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

rangkaiannya. 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

t = waktu.

METODOLOGI

Ruang Lingkup

- Konfigurasi Busbar utama I Terpasang
- Konfigurasi Busbar utama I Modifikasi
- Peralatan listrik yang membangun konfigurasi
- Laju kegagalan peralatan listrik yang digunakan.
- Rangkaian Saluran Keluar
- Rangkaian Busbar
- Rangkaian Saluran masuk

Rancangan dan Metode

Konfigurasi Busbar utama I Terpasang

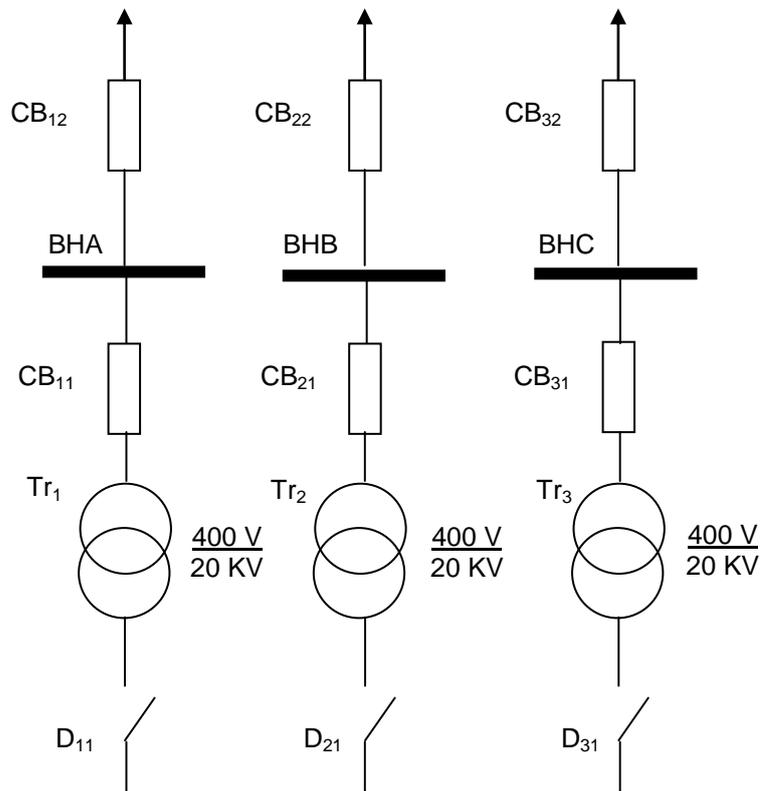
1. Terdiri atas 3 jalur distribusi independen, yang bekerja sendiri-sendiri.
2. Kegagalan pada salah satu jalur tidak mempengaruhi jalur lainnya.

3. Tiap satu jalur meyuplai satu set beban redundan.

Mengingat peralatan pada masing-masing busbar adalah identik, maka dapat diasumsikan bahwa keandalan busbar BHA sama besarnya dengan busbar BHB, dan BHC. Dengan demikian perhitungan keandalan dari busbar utama I 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}
- Satu unit sakelar pemisah yaitu D_{11} .



Gambar 2. Konfigurasi Rangkaian Dasar Busbar utama I

Konfigurasi Busbar utama I Modifikasi

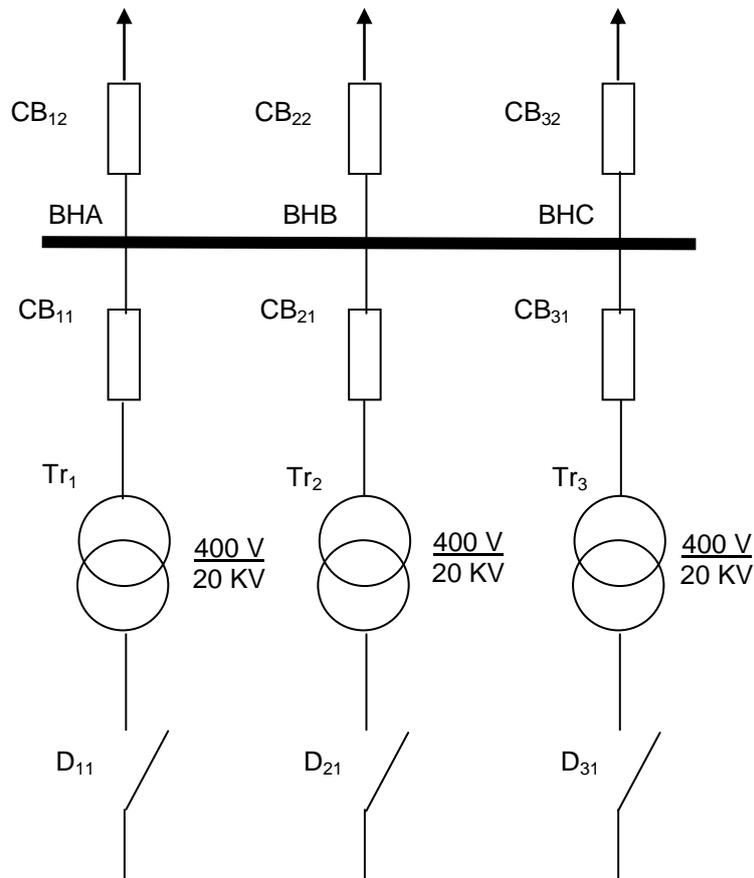
1. Terdiri atas 3 set jalur distribusi yang bekerja saling melengkapi.
2. Rel daya BHA, BHB, dan BHC menjadi satu unit busbar.
3. Kegagalan pada salah satu jalur tidak mempengaruhi jalur lainnya.
4. Tiap satu jalur menyuplai satu set beban redundan.

Keandalan busbar BHA adalah juga merupakan 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 yaitu, Tr_1 , Tr_2 , dan Tr_3
- Enam unit pemutus daya yaitu, CB_{11} , CB_{12} , CB_{21} , CB_{22} , CB_{31} , dan CB_{32} .
- Tiga unit sakelar pemisah yaitu, D_{11} , D_{21} , dan D_{31} .

Keandalan modifikasi busbar utama I diperoleh dari hasil perhitungan keandalan ketiga jalur yang bekerja secara paralel.



Gambar 3. Modifikasi Konfigurasi Rangkaian Dasar Busbar utama I

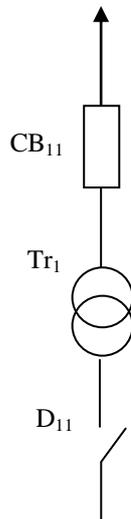
HASIL DAN PEMBAHASAN

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.*)

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.



Gambar 4. Konfigurasi Saluran masuk

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

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

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

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 mensubstitusikan nilai laju kegagalan dari peralatan listrik yang digunakan seperti pada Tabel 1 ke dalam persamaan 5), diperoleh:

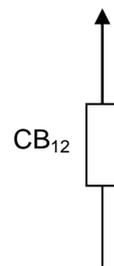
$$R_{sm}(t) = e^{-(0.0130 + 0.0027 + 0.0029) t}$$

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

$$R_{sm} = 0.981571912$$

Saluran Keluar

Saluran keluar pada sistem panel distribusi terdiri atas rangkaian seri dari hanya satu pemutus daya (CB).



Gambar 5. Konfigurasi saluran keluar

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

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

$$R_{sk}(t) = e^{-(\lambda_{CB12} t)} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

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

Sehingga dengan mensubstitusikan nilai laju kegagalan yang digunakan seperti pada Tabel 1 ke dalam persamaan 6), diperoleh:

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

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

$$R_{sk} = 0.9973036417$$

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 pada Tabel 1 ke dalam persamaan 3), diperoleh:

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

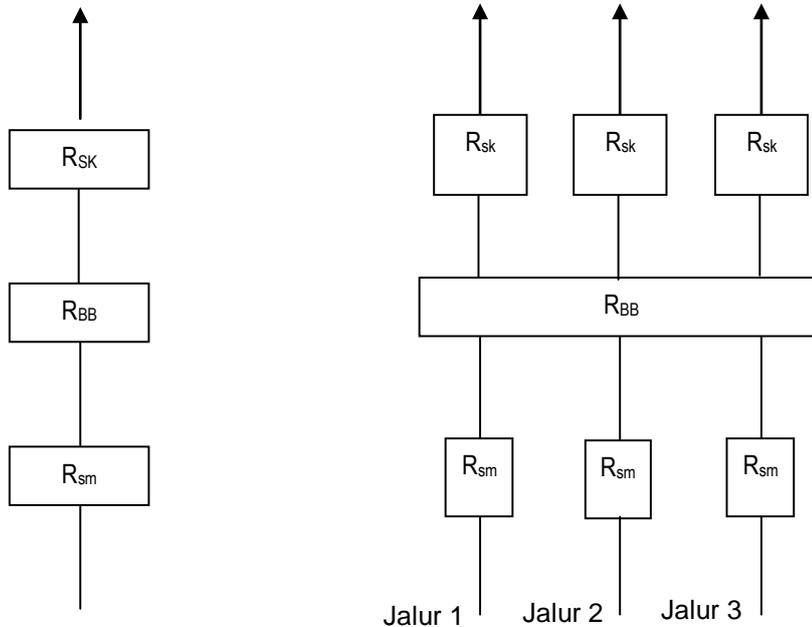
$$R_{BB} = 0.9996600577$$

dimana:

- R_{BB} = keandalan busbar,
- λ_B = laju kegagalan busbar/tahun,
- t = 1 (waktu pengamatan satu tahun).

Konfigurasi Busbar utama I

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 6.



a. Konfigurasi Terpasang
 Satu saluran masuk dan satu saluran keluar

b. Konfigurasi Modifikasi
 Tiga saluran masuk dan tiga saluran keluar

Gambar 6. Rangkaian Ekvivalen Busbar utama I

Perhitungan Keandalan

1. Keandalan Panel Distribusi Terpasang
 Berdasarkan Gambar 6 , dapat dilihat bahwa keandalan busbar utama I terpasang R_{PDT} merupakan keandalan dari tiga unit peralatan listrik yang terhubung seri, sehingga perhitungannya dilakukan sebagai berikut:

$$R_{PDT} = R_{sm} \times R_{BB} \times R_{sk} \dots \dots \dots (8)$$

$$= 0.981571912 \times 0.9996600577 \times 0.9973036417$$

$$= 0.9785924643$$

PEMBAHASAN

Keandalan Panel Distribusi Modifikasi
 Berdasarkan Gambar 6 , dapat dilihat bahwa keandalan busbar utama I 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 ekuivalen 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 keandalan ekuivalennya menjadi:

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

karena $R_{sm3} = R_{sm}$,

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} jalur1 paralel dengan R_{sk} jalur2, dan paralel dengan R_{sk} jalur 3, sehingga ekuivalen 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:

$$R_{sk} = 3 \{0.9973036417 - (0.9973036417)^2 + 1/3 (0.9973036417)^3\}$$

$$R_{ske} = 0.9999999803$$

Rangkaian Rel Daya

$$R_{BB} = 0.999660057$$

Keandalan busbar utama I modifikasi, diperoleh dari perhitungan tiga unit rangkaian ekuivalen seperti Gambar 6.b. di atas yang terhubung seri, yaitu R_{sme} , R_{BB} dan R_{ske} , maka keandalannya diperoleh seperti berikut:

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

$$= 0.99999374239 \times 0.999660057 \times 0.9999999803$$

$$R_{PDPM} = 0.9996537818$$

Persentase peningkatan keandalan

Peningkatan persentase keandalan

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

Peningkatan % keandalan =

$$\left(\frac{0,9996537818 - 0,9785924643}{0,9785924643} \right) \times 100 \%$$

$$= 2.15 \%$$

KESIMPULAN

- Keandalan busbar utama I sistem listrik RSG-GAS dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi hubungan konfigurasi busbar BHA dengan BHB, BHC menggunakan kabel daya.
- Dari hasil perhitungan keandalan diperoleh bahwa keandalan panel distribusi bila dimodifikasi seperti di atas akan memberikan nilai keandalan sebesar 0.9996537818.

- Dibandingkan terhadap keandalan busbar utama I terpasang, dengan modifikasi akan meningkatkan keandalan sebesar 2.15 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Davenport, F. W, Magison, E. M. Yakub. Yu. A ; “Substation Bus Switching Arrangement Their Essential Requirements and Realiability”, *Electra*, Oct. 1969.
2. Billinton Roy; “Power System Reliability Evaluation”, Gordon and Breach, Science Publishers, New York 1976.
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 Konfigurasi Circuit Breaker Pada Busbar”, Laporan Teknis, TRR/BSR/016/2000.