

Studi Kelayakan Sistem Interkoneksi 157 MW PLTU PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap

Muhammad Rizqullah Wirasyah¹, Wahyudi Budi Pramono²

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹14524093@students.uui.ac.id

²wahyudi_budi_p@uui.ac.id

Abstrak— Sampai saat ini tingkat keandalan sistem kelistrikan guna menjamin terus terpenuhi permintaan beban sangat penting. Pembangkit (PLTU) yang beroperasi di PT. Pertamina RU IV Cilacap dengan total daya pembangkitan sebesar 157 MW masih belum terinterkoneksi. Pembangkit di area *existing* dan RFCC beroperasi secara terpisah. Karena kondisi yang masih belum terinterkoneksi tersebut selaras dengan tujuan penelitian ini yaitu meningkatkan keandalan sistem kelistrikan melalui interkoneksi. Dilakukan perancangan *one line diagram* dari data yang diperoleh dengan menginterkoneksi antara area *existing* dan RFCC di ETAP 12.6. Penggunaan *scheduling* pada generator yang *off* dan menganalisa berbagai variabel yaitu profil tegangan, *losses* total, faktor daya, dan daya yang dibangkitkan di kedua area tersebut. *Scheduling* yang unggul dari keenam studi yaitu satu generator di RFCC 15 MW *off*, pada pembangkit di RFCC sebelum interkoneksi masing-masing pembangkit mengalami *overload* sebesar 144,76% setelah dilakukan interkoneksi dengan area *existing* 2 mendapat suplai daya hingga menurunkan daya pembangkit yang *overload* di RFCC menjadi 87,26%. *Losses* total yang dihasilkan sebelum interkoneksi sebesar 872,7 kW dan 5878,6 kVAR setelah interkoneksi menghasilkan *losses* sebesar 875,9 kW dan 5883,5 kVAR. Profil tegangan mengalami peningkatan setelah interkoneksi dengan rata-rata kenaikan sebesar 0,01%. Interkoneksi yang dilakukan tidak mempengaruhi faktor daya..

Kata kunci—interkoneksi; *one line diagram*; ETAP 12.6; *design*; keandalan.

I. PENDAHULUAN

Pengolahan kilang minyak yang berada di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap memiliki kapasitas pembangkitan listrik (PLTU) dengan daya sebesar 4 x 8 MW dan 4 x 20 MW. Karena adanya penambahan beban di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap dan untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan maka diadakan perluasan industri dengan menambah jumlah kapasitas pembangkit (PLTU) di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap dengan kapasitas daya sebesar 3 x 15 MW. Sistem pembangkit (PLTU) yang berada di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap pada daerah *existing* dengan total kapasitas daya 112 MW yang sudah beroperasi puluhan tahun. Penambahan pembangkit (PLTU) di area RFCC dengan total daya 45 MW yang masih beroperasi secara terpisah dalam memasok pasokan listrik dengan area *existing*. Menilik hal tersebut dan belum ada kajian terperinci mengenai studi sistem aliran daya atau load flow interkoneksi pada

pembangkit di area *existing* dan RFCC di industri ini, maka ini merupakan dasar dalam penulisan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Literatur

Pada penelitian yang berjudul Analisis Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Aliran Daya. Di penelitian ini dilakukan pengujian studi aliran daya pada sistem 38 bus untuk mengetahui perubahan yang terjadi berupa tegangan pada bus, aliran daya saat terjadi pelepasan saluran transmisi dari sistem tenaga listrik. Pembebanan saluran transmisi yang besar menjadi dasar pertimbangan kontingensi. Efeknya yaitu turunnya tegangan pada bus hingga 0,83 kV kontingensi 1 dan 2,41 kV atau perubahan maksimum untuk kontingensi 2 sebesar 1,61%. Terlepasnya 1 saluran transmisi dari sistem berefek perubahan aliran daya yang menyebabkan meningkatnya pembebanan pada saluran dan bertambahnya drop tegangan pada beberapa bus. Semakin besar drop tegangan pada bus terjadi dekat dengan saluran yang keluar [1].

Penelitian ini membahas nilai ekonomi dari pulau yang terinterkoneksi dengan pulau terpencil dari sistem tenaga. Pengoperasian sistem tenaga untuk menutupi kehilangan setiap pembangkit yang beroperasi dan hilangnya interkoneksi antar pulau. Penelitian ini menunjukkan bagaimana kendala cadangan mendorong operasi ekonomis dari sistem tenaga dari pulau yang satu menuju pulau terpencil. Disisi lain dilakukannya interkoneksi tidak hanya membangkitkan aliran daya yang lebih murah antar pulau tetapi juga secara signifikan berkontribusi pada pemenuhan cadangan sistem tenaga dan menjadi lebih murah dan berkelanjutan [2].

Penelitian yang berjudul Studi Aliran Daya Listrik Di PT Showa Indonesia Manufacturing. Di penelitian ini dilakukan simulasi aliran daya dengan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6.0, pembebanan pada 6 transformator dengan pembebanan yang berbeda dikategorikan ideal dan aman. Efisiensi yang dihasilkan dari 6 transformator tersebut diatas 97,84%. Presentase jatuh tegangan yang tidak melewati 10% dan kondisi operasi normal, maka sistem kelistrikan di perusahaan tersebut memenuhi kriteria operasional ideal [3].

Penelitian yang membahas interkoneksi di wilayah Mediterania secara bertahap menjadi hotspot energi Eropa. Perubahan struktur energi di Eropa dan tren diversifikasi pasokan energi. Penelitian yang membahas terkait catu daya,

permintaan beban, konstruksi jaringan listrik dan situasi saat ini interkoneksi antar regional multinasional di Semenanjung Iberia dari Tur Mediterania di Eropa (Portugal dan Spanyol) dan negara di utara Afrika (Maroko dan Aljazair). Kekuatan pendorong dan faktor-faktor pengaruh regional interkoneksi jaringan listrik juga dianalisis. Hasil penelitian ini yaitu menghubungkan Semenanjung Iberia dan utara Afrika untuk memastikan pembagian sumber daya listrik di kedua sisi [4].

Pada penelitian Analisis Kontingensi Untuk Perhitungan Aliran Daya Pada Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik dengan menggunakan metode aliran daya Newton-Raphson untuk menghitung perubahan yang terjadi pada sudut fasa dan tegangan pada bus ketika terjadi kontingensi tunggal di subsistem tenaga listrik area III bus Ungaran. Kontingensi tunggal saluran transmisi 150 kV yang terjadi di subsistem tenaga listrik area III di bus Ungaran mengalami perubahan besaran tegangan melewati batasan yang ditetapkan. Dapat digunakannya hasil kontingensi tersebut dalam perencanaan secara optimal operasi subsistem tenaga listrik area III bus Ungaran [5].

Interkoneksi antara Crete dan Peloponnese sangat penting bagi ekonomi Yunani karena menyediakan catu daya yang andal dan cukup untuk Crete dan bantuan substansial untuk semua konsumen listrik melalui pengurangan PSO. Diharapkan juga menjadi bagian interkoneksi antara Yunani Siprus dan Israel sebagai koneksi pendukung meningkatkan keamanan pasokan listrik [6].

Penelitian yang berjudul Analisa Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus Pada Sistem Distribusi 20 kV melakukan penelitian analisa aliran daya yang menganalisa tegangan dengan metode injeksi arus. Penelitian menggunakan metode injeksi arus ini lebih efisien dalam melakukan iterasi ketimbang menggunakan metode Newton-Raphson dan didapat hasil yang sama dalam dua metode yang berbeda [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Ali Basrah Pulungan dalam penelitiannya Analisis Aliran Daya Terhadap Daya Tak Seimbang menjelaskan dengan melakukan simulasi beban tidak seimbang di sistem 14 bus IEEE. Software EDSA digunakan sebagai alat bantu dalam proses analisis unbalanced power flow analysis. Persentase total untuk masing-masing arus fase a,b, dan c secara berurutan mengalami peningkatan. Untuk persentase daya aktif total masing-masing fase juga mengalami peningkatan begitu juga dengan daya reaktifnya mengalami peningkatan secara berturut-turut [8].

B. Tinjauan Teori

Studi beban adalah perhitungan atau penentuan arus, daya, tegangan, dan faktor daya atau daya reaktif dalam sistem jaringan listrik baik dalam beroperasi normal atau sedang berjalan maupun yang diharapkan terjadi di kemudian hari. Perencanaan atau pengembangan dalam sistem jaringan listrik sangat penting mengingat pengoperasian yang baik tergantung dari diketahuinya peralatan yang baru dipasang berupa beban yang baru, saluran transmisi baru, stasiun pembangkit yang baru, serta efek interkoneksi dengan sistem tenaga yang lain, sebelum terpasang semuanya dalam satu sistem.

C. Aliran Daya

Secara umum dibutuhkan generator, transformator, saluran transmisi, dan beban untuk membentuk suatu sistem tenaga listrik seperti pada Gambar 1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik Diagram satu garis sistem tenaga listrik. Dalam menganalisis sistem tenaga diperlukan diagram yang mewakili setiap komponen untuk dapat dianalisis. Diagram satu garis atau one line diagram sering digunakan dalam menganalisis sistem tenaga listrik.



Gambar 1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Listrik yang dihasilkan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik pada generator bekerja dengan memutar kumparan dalam medan magnet yang menyebabkan timbulnya gaya gerak listrik. Selanjutnya listrik dinaikkan tegangannya di transformator penaik tegangan untuk disalurkan disalurkan transmisi dengan tujuan mengurangi jumlah arus saat melewati saluran transmisi dan mengurangi rugi-rugi daya transmisi. Sampainya dipusat beban, tegangan diturunkan dengan transformator penurun tegangan lalu didistribusikan menuju pusat-pusat beban.

D. Daya

Daya pada sebuah elemen rangkaian didefinisikan sebagai hasil perkalian dari tegangan dinyatakan dalam volt dengan arus dinyatakan dalam ampere yang mengalir pada rangkaian tersebut, hasil perkalian tersebut menghasilkan besaran yang dinyatakan dalam watt, sehingga ditunjukkan persamaannya (1).

$$P = V \times I \quad (1)$$

dengan nilai:

- P = Daya (watt)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)

Untuk pembahasan daya yang lebih mendalam, daya dipisahkan menjadi tiga bagian yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu.

Daya aktif yang dinyatakan dengan satuan watt adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor untuk melakukan energi sebenarnya. Secara matematis, daya aktif ini adalah perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan koefisien faktor daya ditunjukkan pada persamaan (2).

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (2)$$

dengan nilai:

- P = Daya aktif (watt)
- $\cos \theta$ = Faktor daya

Daya reaktif yang dinyatakan dalam satuan volt ampere reaktif (VAR) adalah daya yang muncul diakibatkan oleh komponen pasif di luar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Meminimalkan daya ini atau memperkecilnya, bagaimanapun daya ini tidak akan hilang

sama sekali tapi diperkecil faktor dayanya. Secara sistematis, daya reaktif ini adalah perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan nilai $\sin \theta$ ditunjukkan pada persamaan (3).

$$Q = V \times I \times \sin \theta \quad (3)$$

dengan nilai:

Q = Daya reaktif (VAR)

$\sin \theta$ = Faktor reaktif

Daya semu yang dinyatakan dalam satuan volt ampere (VA) merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif. Secara matematis daya semu ini merupakan perkalian antara tegangan dan arus ditunjukkan pada persamaan (4).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

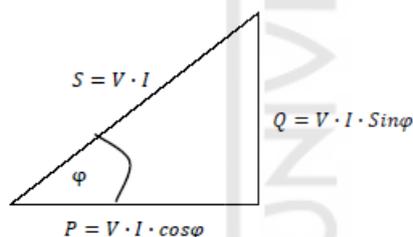
atau

$$S = V \times I \quad (4)$$

dengan nilai:

S = Daya semu (VA)

Keterkaitan antara daya nyata, daya reaktif, dan daya semu dapat dinyatakan dengan cara mempresentasikan ketiga daya menjadi vektor. Daya nyata direpresentasikan menjadi vektor vertikal. Daya reaktif dapat direpresentasikan menjadi vektor horizontal. Sisi miring adalah representasi dari vektor daya semu yang menghubungkan vektor-vektor daya nyata dan daya reaktif. Representasi tersebut dikenal sebagai segitiga daya yang dapat dilihat di Gambar 2.2 Segitiga daya.



Gambar 2. Segitiga daya

E. Faktor Daya

Faktor daya (pf) atau $\cos \phi$ adalah perbandingan daya nyata terhadap daya semu pada sistem arus bolak balik atau perbedaan fase tegangan dan arus. Berikut adalah persamaan faktor daya ditunjukkan pada persamaan (5).

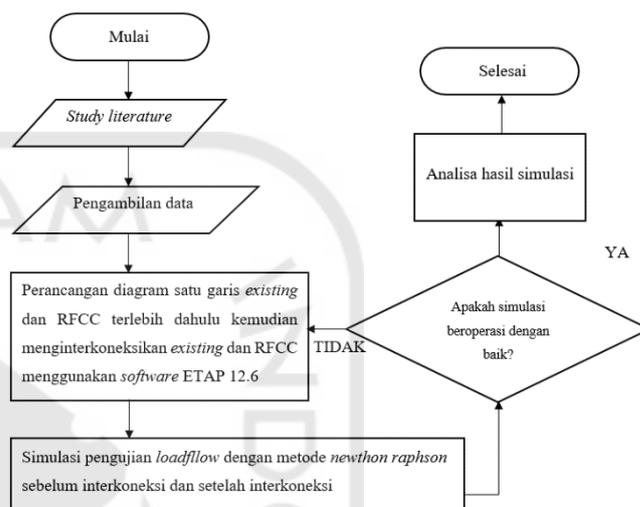
$$\begin{aligned} \text{Faktor daya (PF)} &= \frac{\text{Daya nyata (P)}}{\text{Daya semu (S)}} \\ &= \frac{V \times I \times \cos \theta}{V \times I} \\ &= \cos \theta \end{aligned} \quad (5)$$

Peningkatan faktor daya akan berpengaruh ketika nilai $\cos \theta$ mengalami perubahan mendekati 1 atau akan menurun menjadi kurang baik ketika mendekati 0.

III. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk penelitian ini merupakan data asli dan dirahasiakan untuk tidak disampaikan ke publik yang diperoleh dari PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap. Data yang diperoleh terdiri dari data pembangkit, beban, dan kebutuhan dalam merencanakan pembuatan di single line diagram di area *existing* dan RFCC, dan untuk alur penelitian bisa dilihat pada Gambar 3. *Flowchart* Metode Penelitian.



Gambar 3. *Flowchart* Metode Penelitian

B. Perancangan Sistem Diagram Satu Garis

Perancangan pemodelan interkoneksi dan mengevaluasi aliran daya untuk menjadi rekomendasi dalam rancangan pemodelan sistem interkoneksi yang baik dan meningkatkan keandalan sistem pada sektor tenaga listrik. Langkah pertama perancangan sistem yaitu merancang diagram satu garis *existing* yang sesuai sama data yang diterima dari perusahaan. Memasukkan nilai rating pada generator, transformator, beban, dan mengoperasikan aliran daya untuk memastikan bahwa sistem operasi aliran daya berjalan normal. Selanjutnya merancang sistem diagram satu garis pada area RFCC dan memasukkan rating generator, transformer, beban sesuai dengan data yang diterima dari perusahaan dan mengoperasikan aliran daya untuk melihat sistem berjalan normal.

C. Perancangan Sistem Diagram Satu Garis Existing

Langkah awal perancangan diagram satu garis di area *existing* memasukkan rating generator sesuai dengan data perusahaan 4X8 MW dan 4X20 MW yang masing-masing generator membangkitkan tegangan 13,8 kV. Generator tersebut terinterkoneksi dengan 8 bus yang disalurkan melalui 8 kabel transmisi utama menuju transformator penurun tegangan (step down) menjadi 3,45 kV dan 0,45 kV yang terhubung dengan jaringan (network). Pada sistem diagram satu garis di kawasan *existing* memiliki 31 network yang terhubung dengan 8 bus utama *existing*. Jaringan (network) merupakan gabungan sistem untuk meringkas gambar pada sistem

diagram satu garis dilayar dan juga didalam network telah dilakukan penyederhanaan berupa bus bar, trafo dan beban. Kabel terhubung dengan transformator step down sebanyak 94 trafo yang dibebani oleh beban berupa motor induksi, lumped load, dan static load. Masing-masing berjumlah 61 motor induksi, 1 lumped load, dan 5 static load. Terdapat keterangan berupa gambar di lampiran untuk memperlihatkan bahwa sistem diagram satu garis di area *existing* beroperasi normal dikeadaan loadflow aktif.

D. Perancangan Sistem Diagram Satu Garis RFCC

Perancangan sistem diagram satu garis di kawasan RFCC menempatkan 3 generator sebagai pembangkit dengan setiap kapasitas pembangkit yaitu 15 MW membangkitkan tegangan 13,8 kV dan di *couple* ketiga generator tersebut dengan satu bus utama RFCC dan salurkan melalui kabel transmisi utama menuju transformator *step down* 3,45 kV dan *network*. Di dalam *network* sistem diagram satu garis yang telah mengalami penyederhanaan sistem berupa busbar, transformator *step down*, dan beban. Transformator *step down* yang terhubung dengan beban berjumlah 18 unit disalurkan melalui kabel distribusi menuju *network* yang berjumlah 13 *network* yang didalamnya terdapat 19 beban motor induksi dan 12 *lumped load*. Terdapat keterangan berupa gambar untuk menunjukkan bahwa sistem diagram satu garis area RFCC beroperasi normal saat *loadflow* aktif.

E. Perancangan Sistem Diagram Satu Garis Interkoneksi

Perancangan sistem diagram satu garis interkoneksi dilakukan di area *existing* dan RFCC bertujuan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Apabila sistem kelistrikan di salah satu area mengalami perawatan berkala pada peralatan distribusi baik trafo atau pembangkit tenaga maka permintaan beban dimasing-masing area sistem tenaga tetap terpenuhi baik wilayah *existing* atau wilayah RFCC untuk menjaga kestabilan sistem aliran daya untuk saling menyokong sistem tenaga listrik dan tetap beroperasi. Dilakukan penyederhanaan peralatan sistem tenaga di setiap wilayah area *existing* dan RFCC baik itu bus bar, transformator, kabel transmisi dan beban untuk memudahkan dalam analisis aliran daya, beberapa peralatan sistem tenaga yang telah mengalami penyederhanaan masih berdasarkan parameter yang sesuai sistem kelistrikan dan tetap mengikuti data sebenarnya.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengoperasian Aliran Daya Sebelum Interkoneksi

Pembuatan diagram satu garis berdasarkan data yang telah diperoleh dari perusahaan. Selanjutnya data yang telah diperoleh perusahaan dibuatkan dalam bentuk single line diagram di aplikasi ETAP 12.6. Sistem operasi pada PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap memiliki dua sistem lokasi pengoperasian berbeda, area *existing* dan RFCC. Masing-masing lokasi menggunakan pembangkit listrik tenaga uap milik perusahaan yang memiliki kapasitas sebesar 112 MW untuk area *existing* dan 45 MW untuk area RFCC dengan tegangan yang sama yaitu 13,8 kV. Di tahap ini pengoperasian aliran daya sebelum interkoneksi untuk melihat daya generator

yang dibangkitkan, losses, power faktor dan nantinya variabel tersebut akan dibandingkan setelah interkoneksi dilakukan.

B. Daya Generator Yang Dibangkitkan Normal

Setelah pengoperasian simulasi aliran daya sebelum interkoneksi dimasing-masing pembangkit di wilayah *existing* dan RFCC untuk mengetahui karakteristik yang dibangkitkan generator untuk memenuhi permintaan beban. Studi aliran daya ini bisa mengetahui daya nyata (watt), daya semu (VA), dan daya reaktif (VAR). Generator yang digunakan untuk membangkitkan daya berkapasitas 4X8 MW dan 4X20 MW di wilayah *existing* dan 3X15 MW area RFCC. Berikut data generator yang dioperasikan di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap sebelum interkoneksi antara *existing* dan RFCC.

Tabel 1 Rating Generator Sebelum Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%P F	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
8	Gen 8 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,593	96,50
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,593	96,50
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,593	96,50

Melalui data yang ditampilkan pada Tabel 1 Rating Generator Sebelum Interkoneksi terlihat nilai daya pembangkitan yang dibangkitkan dimasing-masing pembangkit di kedua wilayah untuk memenuhi demand beban yang terkoneksi. Untuk area *existing* pada generator *existing* 1, *existing* 2, *existing* 3, dan *existing* 4 dengan kapasitas pembangkit 8 MW terhubung di Bus Primer *existing* 1 seperti yang terlihat pada Gambar 4 Pembangkit Generator Di Bus Primer *Existing* 1 membangkitkan daya output sebesar 30,272 MW, 13,156 MVAR, dan 33,2 MVA yang terhubung dengan bus primer *existing* 1.



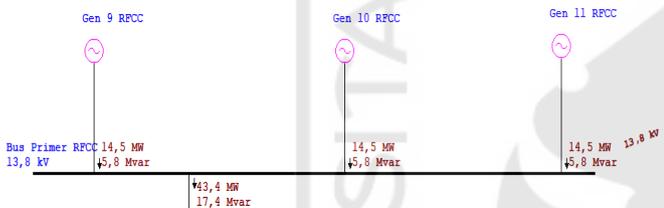
Gambar 4 Pembangkit Generator Di Bus Primer Existing 1 Bus Primer *Existing* 2 yang terhubung dengan 4 generator berkapasitas 20 MW yang terhubung dengan bus primer *existing* 2 menghasilkan output seperti yang ditampilkan pada

Tabel 1 Rating Generator Sebelum Interkoneksi. Terlihat pada lokasi pembangkit *existing 5, existing 6, existing 7* dan *existing 8* pada Tabel 1 Rating Generator Sebelum Interkoneksi menghasilkan output total sebesar 57,548 MW, 24,884 MVAR, dan 62,8 MVA yang terhubung dengan bus primer *existing 2* seperti yang terlihat pada Gambar 5 Pembangkit Generator Di Bus Primer *Existing 2*.



Gambar 5 Pembangkit Generator Di Bus Primer *Existing 2*

Terlihat pada lokasi pembangkit di area RFCC 9, RFCC 10, dan RFCC 11 daya yang dibangkitkan oleh generator tampak pada Gambar 6 Pembangkit RFCC Terhubung dengan Bus Primer RFCC memiliki 3 pembangkit berkapasitas masing-masing 15 MW membangkitkan output daya aktif sebesar 43,428 MW, daya reaktif 17,385 MVAR, dan daya semu sebesar 46,779 MVA yang di supply oleh generator RFCC.



Gambar 6 Pembangkit RFCC Terhubung dengan Bus Primer RFCC

C. Scheduling Daya Generator Yang Dibangkitkan Sebelum Interkoneksi

Terdapat Enam *scheduling* daya generator yang dibangkitkan sebelum interkoneksi yaitu satu generator RFCC 15 MW *off*, satu generator *existing 20 MW off*, satu generator *existing 20 MW* dan RFCC 15 MW *off*, dua generator *existing 8 MW off*, dua generator *existing 20 MW off*.

D. Satu Generator RFCC 15 MW Off

Studi kasus ini jika di pembangkit di RFCC mengalami perbaikan dan tidak adanya backup daya untuk memenuhi permintaan beban yang ada. Terlihat pada Tabel 2 Rating Satu Generator *Off* RFCC mengalami perbaikan sehingga dua generator RFCC masing-masing mengalami peningkatan kinerja operasional daya aktif overload hingga 144,76% yang apabila terjadi dilapangan maka akan otomatis trip karena ketidakmampuan generator memenuhi permintaan beban.

Tabel 2 Rating Satu Generator *Off* RFCC

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%P F	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%P F	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
4	Gen 4 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
6	Gen 6 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
7	Gen 7 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
8	Gen 8 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
9	Gen 9 RFCC	15	13,8					
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	21,714	8,693	23,4	144,76
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	21,714	8,693	23,4	144,76

E. Satu Generator *Existing 20 MW Off*

Studi kasus yang kedua yaitu generator 8 *existing 20 MW* mengalami maintenance dan belum adanya interkoneksi dengan area RFCC dan terlihat pada Tabel 3 Rating Satu Generator 20 MW *Existing* 4X20 MW masih terpenuhi permintaan beban di masing-masing area dengan peningkatan daya pembangkitan sebesar 24%.

Tabel 3 Rating Satu Generator 20 MW *Existing*

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
6	Gen 6 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
7	Gen 7 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
8	Gen 8 <i>Existing</i>	20	13,8					
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066

F. Satu Generator *Existing 20 MW* Dan RFCC 15 MW *Off*

Satu generator masing-masing area *existing 20 MW* dan RFCC 15 MW mengalami maintenance. Dua generator dalam keadaan *off* yaitu Gen 8 *Existing* dan Gen 9 RFCC. Terlihat pada Tabel 4 Rating Generator *existing 20 MW* Dan RFCC 15 MW *Off* untuk area *existing* masih bisa memenuhi permintaan beban akan tetapi di area RFCC mengalami peningkatan di kedua pembangkit yaitu Gen 10 RFCC dan Gen 11 RFCC sebesar 144,76% dimasing-masing pembangkit.

Tabel 4 Rating Generator *existing 20 MW* Dan RFCC 15 MW *Off*

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%PF	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	19,182	8,295	20,9	95,91
8	Gen 8 Existing	20	13,8					
9	Gen 9 RFCC	15	13,8					
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	21,714	8,693	23,4	144,76
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	21,714	8,693	23,4	144,76

G. Dua Generator Existing 8 MW Off

Asumsi bahwa Gen 1 Existing dan Gen 2 Existing mengalami perbaikan sehingga tidak bisa beroperasi terlebih dahulu dan seperti tampak pada Tabel 5 Rating Dua Generator Existing 8 MW Off terjadi kenaikan persentase daya aktif sebesar 189,1875% di Gen 3 Existing dan Gen 4 Existing.

Tabel 5 Rating Dua Generator Existing 8 MW Off

No	Lokasi	Rating Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%PF	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8					
2	Gen 2 Existing	8	13,8					
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	15,135	6,578	16,5	189,1875
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	15,135	6,578	16,5	189,1875
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
8	Gen 8 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667

H. Dua Generator Existing 20 MW Off

Tabel 6 Rating Dua Generator Existing 20 MW Off

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%PF	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%PF	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	28,774	12,442	31,3	143,87
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	28,774	12,442	31,3	143,87
7	Gen 7 Existing	20	13,8					
8	Gen 8 Existing	20	13,8					
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667

Gen 7 Existing dan Gen 8 Existing dalam keadaan tidak beroperasi sehingga Bus Primer Existing 2 yang terlihat pada Gambar 5 Pembangkit Generator Di Bus Primer Existing 2 hanya disuplai oleh dua generator yaitu Gen 5 Existing dan Gen 6 Existing tampak pada Tabel 6 Rating Dua Generator Existing 20 MW Off beban yang seharusnya didistribusikan oleh keempat generator hanya di suplai oleh dua generator akibatnya terjadi peningkatan persentase daya aktif sebesar 143,87% di kedua pembangkit Gen 5 Existing dan Gen 6 Existing.

I. Tiga Generator Existing 20 MW Off

Tabel 7 Rating Tiga Generator Existing 8 MW Off

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%PF	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8					
2	Gen 2 Existing	8	13,8					
3	Gen 3 Existing	8	13,8					
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	30,271	13,157	33	378,3875
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
8	Gen 8 Existing	20	13,8	91,8	14,387	6,221	15,7	71,935
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,476	5,795	15,6	96,5066667

Asumsi bahwa ada tiga generator di area existing mengalami perbaikan sehingga hanya satu generator yang terhubung dengan Bus Primer Existing 1 seperti yang terlihat pada Gambar 4 Pembangkit Generator Di Bus Primer Existing 1 apabila beban yang terhubung tetap meminta penyaluran daya lihat pada Tabel 7 Rating Tiga Generator Existing 8 MW Off yaitu Gen 4 Existing beroperasi melebihi kemampuan

overload menjadi 378,4% yang sudah pasti tidak mungkin dilakukan karena overload.

J. Pengoperasian Aliran Daya Setelah Interkoneksi

Sistem operasi pada PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap memiliki sistem tenaga *existing* dan area RFCC. Area tersebut memiliki sistem tenaga yang beroperasi secara terpisah untuk memenuhi permintaan beban yang terpasang di area masing-masing. Untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap dilakukanlah studi keandalan sistem aliran daya interkoneksi di dua sistem pembangkit tersebut. Pengoperasian sistem tenaga setelah diinterkoneksi di kedua area *existing* dan RFCC sebagai peningkatan keandalan sistem saling support untuk menjaga kestabilan aliran daya saat adanya perawatan berkala peralatan sistem tenaga. Pembangkit sistem tenaga di sistem RFCC dari 3 pembangkit salah satunya mengalami perawatan berkala sehingga 2 pembangkit yang beroperasi dan agar permintaan suplai beban tetap terpenuhi maka sistem tenaga di area *existing* membantu menyuplai daya yang kurang dari sistem RFCC.

K. Daya Generator Yang Dibangkitkan Setelah Interkoneksi

Daya Generator yang dibangkitkan setelah interkoneksi menggunakan enam *scheduling* yang sama dengan sebelum interkoneksi.

L. Satu Generator RFCC 15 MW Off

Setelah pengoperasian simulasi aliran daya interkoneksi dilakukan di kedua sistem pembangkit diketahui karakteristik generator di kedua sistem tersebut dalam memenuhi permintaan beban. Terlihat pada Tabel 8 Rating Satu Generator RFCC 15 MW Off Interkoneksi data hasil sistem yang telah terinterkoneksi sehingga beban pada area RFCC di *support* oleh pembangkit dari area *existing* 4X20 MW untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga. Terjadi peningkatan total *output* daya aktif, reaktif, semu dan PF pada generator *existing* 5, *existing* 6, *existing* 7, dan *existing* 8 yaitu sebesar 74,776 MW, 31,728 MVAR, 81,2 MVA dan kenaikan persentase daya aktif masing-masing generator tersebut sebesar 93,47% dari sebelum interkoneksi persentasenya yaitu 71,935% terdapat selisih kenaikan persentase sebesar 21,53%. Selanjutnya pada bus primer *existing* 2 terjadi kenaikan *output* daya disebabkan karena kabel interkoneksi 2 yang menghubungkan bus primer *existing* 2 yang menghantarkan aliran daya aktif sebesar 17,5 MW dan daya reaktif sebesar 7 MVAR menuju sistem kelistrikan RFCC. Tidak beroperasinya pembangkit Gen 9 RFCC maka menghasilkan pengurangan total pembangkitan daya pada generator RFCC 10, dan RFCC 11 untuk daya aktif sebesar 26,2 MW, daya reaktif 10,6 MVAR, dan daya semu sebesar 28,2 MVA. Terjadi pengurangan daya aktif pada pembangkitan sistem RFCC dengan selisih daya aktif 17,23 MW, daya reaktif 6,847 MVAR, dan daya semu sebesar 18,579 MVA. Selisih daya tersebut terjadi disebabkan terinterkoneksinya sistem kelistrikan di kedua area dengan kabel interkoneksi 2 yang menyuplai antara bus swing primer *existing* 2 dan bus 10 di

RFCC, dan disuplai juga dari bus 8 di *existing* dengan kabel interkoneksi 1 menuju bus 10 di RFCC.

Tabel 8 Rating Satu Generator RFCC 15 MW Off Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%P F	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 Existing	20	13,8	92,1	18,694	7,932	20,3	93,47
6	Gen 6 Existing	20	13,8	92,1	18,694	7,932	20,3	93,47
7	Gen 7 Existing	20	13,8	92,1	18,694	7,932	20,3	93,47
8	Gen 8 Existing	20	13,8	92,1	18,694	7,932	20,3	93,47
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	0	0	0	0	0
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	13,09	5,269	14,1	87,2666667
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	13,09	5,269	14,1	87,2666667

M. Satu Generator Existing 20 MW Off

Tabel 9 Rating Satu Generator Existing 20 MW Off Interkoneksi

No	Lokasi	Rating Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	%P F	MW	MVAR	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 Existing	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	19,61	8,438	21,3	98,05
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	19,61	8,438	21,3	98,05
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	19,61	8,438	21,3	98,05
8	Gen 8 Existing	20	13,8					0
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333

Selanjutnya perhatikan pada Tabel 9 Rating Satu Generator Existing 20 MW Off Interkoneksi satu unit generator di *existing* 20 MW mengalami perbaikan sehingga harus dimatikan. Asumsi bahwa Gen 8 Existing tidak beroperasi. Bus interkoneksi 1 yang menghantarkan daya aktif dan daya reaktif sebesar 1,3 MW dan 0,4 MVAR menuju area RFCC mengurangi tingkat kinerja daya pada generator RFCC menjadi sebesar 2,85%. Peningkatan daya aktif pada area *existing* 2 setelah dilakukan interkoneksi menjadi sebesar 2,14%. Walaupun pembangkit Gen 8 Existing dalam keadaan

mati tetapi masih bisa menyuplai daya kebutuhan beban di *existing* sendiri dan juga bisa menyalurkan ke area RFCC.

N. Satu Generator Existing 20 MW Dan RFCC 15 Off

Tabel 10 Rating Generator *Existing* 20 MW Dan 15 MW *Off* Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
2	Gen 2 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
3	Gen 3 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
4	Gen 4 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	7,568	3,289	8,3	94,6
5	Gen 5 <i>Existing</i>	20	13,8	91,9	19,61	8,438	21,3	98,05
6	Gen 6 <i>Existing</i>	20	13,8	91,9	19,61	8,438	21,3	98,05
7	Gen 7 <i>Existing</i>	20	13,8	91,9	19,61	8,438	21,3	98,05
8	Gen 8 <i>Existing</i>	20	13,8					0
9	Gen 9 RFCC	15	13,8					0
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	21,073	8,478	22,7	140,4866667
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	21,073	8,478	22,7	140,4866667

Studi kasus selanjutnya yaitu apabila kedua generator di area *existing* dan RFCC mengalami perbaikan sehingga 2 generator mati seperti yang terlihat pada Tabel 10 Rating Generator *Existing* 20 MW Dan 15 MW *Off* Interkoneksi. Gen 8 *Existing* dan Gen 9 RFCC mengalami perbaikan sehingga harus dalam keadaan *off*. Dilakukan interkoneksi *existing* dengan RFCC menggunakan kabel interkoneksi 1 tidak terlalu membantu dalam menyuplai daya ke beban karena besarnya daya yang dibutuhkan di area RFCC hingga mengalami peningkatan sebesar 144,78% untuk Gen 10 RFCC dan Gen 11 RFCC. Untuk bisa tetap mengoperasikan generator di area RFCC maka perlu dikurangi beban yang terhubung dengan pembangkit RFCC.

O. Dua Generator Existing 8 MW Off

Tabel 11 Rating Dua Generator *Existing* 8 MW *Off* Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 <i>Existing</i>	8	13,8					
2	Gen 2 <i>Existing</i>	8	13,8					
3	Gen 3 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	6,6	2,879	7,2	82,5
4	Gen 4 <i>Existing</i>	8	13,8	91,7	6,6	2,879	7,2	82,5
5	Gen 5 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	18,975	8,178	20,7	94,875
6	Gen 6 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	18,975	8,178	20,7	94,875
7	Gen 7 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	18,975	8,178	20,7	94,875
8	Gen 8 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	18,975	8,178	20,7	94,875

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333

Selanjutnya perhatikan Tabel 11 Rating Dua Generator *Existing* 8 MW *Off* Interkoneksi apabila dua generator mati yaitu Gen 1 *Existing* dan Gen 2 *Existing*. Dua generator yang mati ini tidak bisa menyuplai daya ke beban mendapat bantuan cadangan daya yang berasal dari generator *existing* 4X20 MW. Bus 1 dan Bus 4 dihubungkan dengan swing Bus Primer *Existing* 2 yang menyalurkan daya semu sebesar 8,4 Mva untuk bus 1 dan 10,9 Mva untuk bus 4. Pembangkit pada swing bus *existing* 1 terbantu dengan adanya suplai dari pembangkit *existing* 2 menurunkan tingkat daya aktif pada generator setelah interkoneksi menjadi sebesar 82,5% per masing-masing pembangkit di *existing* 1. Dengan bantuan suplai daya dari swing bus primer *existing* 2 bisa dikatakan bahwa sistem tersebut andal.

P. Dua Generator Existing 20 MW Off

Tabel 12 Rating Dua Generator *Existing* 20 MW *Off* Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MV AR	MV A	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 <i>Existing</i>	8	13,8	91,8	9,833	4,241	10,7	122,9125
2	Gen 2 <i>Existing</i>	8	13,8	91,8	9,833	4,241	10,7	122,9125
3	Gen 3 <i>Existing</i>	8	13,8	91,8	9,833	4,241	10,7	122,9125
4	Gen 4 <i>Existing</i>	8	13,8	91,8	9,833	4,241	10,7	122,9125
5	Gen 5 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	24,884	10,753	27,1	124,42
6	Gen 6 <i>Existing</i>	20	13,8	91,8	24,884	10,753	27,1	124,42
7	Gen 7 <i>Existing</i>	20	13,8					
8	Gen 8 <i>Existing</i>	20	13,8					
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,6533333

Perhatikan Tabel 12 Rating Dua Generator *Existing* 20 MW *Off* Interkoneksi, dua generator di *existing* 20 MW dalam keadaan tidak beroperasi dan bus 5 diinterkoneksi dengan swing bus primer *existing* 1. Daya aktif sebesar 9,1 MW dan daya reaktif sebesar 3,8 MVAR yang disuplai oleh Bus Primer *Existing* 1 meningkatkan daya aktif pembangkitan 4X8 MW meningkat menjadi 122,9% yang sebelum diinterkoneksi masih 94,6%. Dalam hal ini interkoneksi dengan pembangkit *existing* 1 bukanlah hal yang tepat, pengurangan beban pada *existing* 2 bisa menjadi solusi apabila dua pembangkit mengalami perbaikan dikarenakan sudah dilakukan

interkoneksi masih belum membantu maka dari itu sistem ini belum cukup andal setelah dilakukannya interkoneksi.

Q. Tiga Generator Existing 8 MW Off

Tabel 13 Rating Tiga Generator Existing 8 MW Off Interkoneksi

No	Lokasi	Daya Generator (MW)	Tegangan (kV)	% PF	MW	MVA R	MVA	% Daya Pembangkitan
1	Gen 1 Existing	8	13,8					
2	Gen 2 Existing	8	13,8					
3	Gen 3 Existing	8	13,8					
4	Gen 4 Existing	8	13,8	92,2	9,996	4,189	10,8	124,95
5	Gen 5 Existing	20	13,8	91,8	19,776	8,57	21,6	98,88
6	Gen 6 Existing	20	13,8	91,8	19,776	8,57	21,6	98,88
7	Gen 7 Existing	20	13,8	91,8	19,776	8,57	21,6	98,88
8	Gen 8 Existing	20	13,8	91,8	19,776	8,57	21,6	98,88
9	Gen 9 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,65333
10	Gen 10 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,65333
11	Gen 11 RFCC	15	13,8	92,8	14,048	5,652	15,1	93,65333

Perhatikan Tabel 13 Rating Tiga Generator Existing 8 MW Off Interkoneksi asumsi tiga pembangkit Gen 1 Existing, Gen 2 Existing, Gen 3 Existing off. Pembangkit yang terhubung dengan Bus Primer Existing menyuplai beban yang terhubung dengan bus 1, bus 2, bus 3 dengan daya aktif yang disuplai yaitu 7,6 MW, 7,4 MW, 5,8 MW. Setelah diinterkoneksi Gen 4 mengalami penurunan persentase daya aktif sebesar 124,95% yang sebelum diinterkoneksi persentase dayanya sebesar 378,4%. Penurunan nilai tersebut baik dari sisi persentase daya aktifnya akan tetapi nilai tersebut masih cukup besar sehingga otomatis sistem akan trip karena melebihi 100% daya mampu kerja generator tersebut. Perlu dilakukan pengurangan beban pada sistem existing 1 untuk tetap bisa beroperasi dengan tetap terinterkoneksi dengan existing 2.

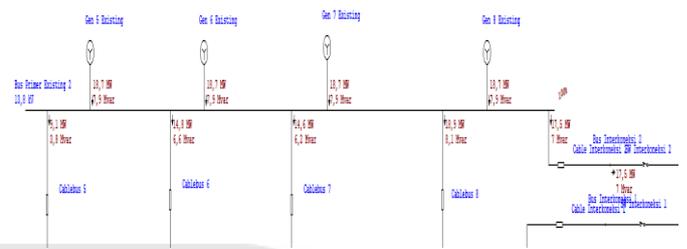
R. Losses Sebelum Interkoneksi

Nilai total losses ini meliputi semua nilai losses studi kasus yang menjadi perhatian penulis yaitu satu generator RFCC 15 off, satu generator existing 20 MW off, satu generator existing 20 MW dan di RFCC 15 MW off, dua generator existing 8 MW off, dua generator existing 20 MW off, tiga generator existing 8 MW off. Susut daya atau kehilangan pasokan daya yang dikirim dari daya yang dibangkitkan dari generator existing dan RFCC tidak bisa dihindari. Kerugian yang dihasilkan pada kabel dan transformator sebelum interkoneksi terlampir pada lampiran. Diketahui total kerugian yang dihasilkan sistem kelistrikan sebelum interkoneksi daya untuk keseluruhan studi kasus aktif sebesar 875,9 kW dan daya reaktif sebesar 5883,5 kVAR.

S. Losses Setelah Interkoneksi

Menggunakan enam scheduling dalam menentukan losses total setelah interkoneksi.

T. Satu Generator RFCC 15 MW Off



Gambar 7 Bus Primer Existing 2

Pada sistem kelistrikan di area RFCC mengalami perawatan pada peralatan sistem tenaga salah satunya yaitu generator sehingga hanya dua pembangkit yang beroperasi maka dari itu agar permintaan daya pada area RFCC tetap terpenuhi dilakukan suplai daya di area existing. Pada sistem kelistrikan area existing dan RFCC yang sudah terinterkoneksi dengan kabel interkoneksi 1 dan kabel interkoneksi 2 maka area RFCC di support oleh area existing dalam memenuhi permintaan beban. Perhatikan Gambar 7 Bus Primer Existing 2 pada kabel interkoneksi 2 menghantarkan daya aktif sebesar 17,465 MW dan daya reaktif sebesar 7,025 MVAR dan menghasilkan losses pada kabel sebesar 1,9 kW dan 2,6 kVAR sehingga daya aktif dan reaktif yang di backup oleh area existing tanpa losses pada kabel sebesar 17,463 MW dan 7,023 MVAR dan losses total yang dihasilkan sebesar 872,7 kW dan 5878,6 kVAR.

U. Satu Generator Existing 20 MW Off

Kerugian total pada studi kasus satu generator existing 20 MW off. Apabila satu pembangkit mengalami kondisi tidak beroperasi dan pembangkit 20 MW lainnya tetap terinterkoneksi dengan area RFCC untuk mensuplai daya menghasilkan losses total sebesar 875,8 kW dan 5883,4 kVAR. Perubahan losses terjadi diberbagai lokasi yaitu lokasi T47 Network 16A, Cable Interkoneksi 1, Cablebus 8, Cablebus 10. Perbedaan losses menunjukkan bahwa ada perubahan daya aktif dan daya reaktif sebelum dan setelah interkoneksi. Lokasi T47 Network 16A (transformator) mengalami perubahan nilai daya reaktif sebesar 0,0565 kVAR menjadi 307 kVAR lebih tinggi losses yang terjadi setelah interkoneksi. Cable Interkoneksi 1 yang menghantarkan daya yang dikirimkan dari existing menuju RFCC sebelum interkoneksi tidak memiliki rugi-rugi daya karena belum terhubung dengan area RFCC setelah interkoneksi memiliki rugi-rugi daya yaitu 0,05782801 kW dan 0,08173627 kVAR. Cablebus 8 yang menghantarkan daya dari generator terhubung dengan Bus 8 memiliki rugi-rugi setelah interkoneksi 2,59869 kW dan 3,67309 kVAR mengalami peningkatan 0,304742 kW dan 0,430734 kVAR. Cablebus 10 yang terhubung dengan Bus Primer RFCC memiliki losses setelah interkoneksi 7,25796 kW dan 10,25867 kVAR, rugi-

rugi tersebut mengalami penurunan 0,437666 kW dan 0,61861 kVAR.

V. Satu Generator Existing 20 MW Dan RFCC 15 MW Off

Kerugian total pada saat dua pembangkit *off*, satu di *existing* 20 MW dan satu pembangkit di RFCC 15 MW setelah interkoneksi memiliki rugi-rugi yang sama seperti studi kasus satu generator di *existing* 20 MW *off* karena pada kedua studi kasus tersebut memiliki desain yang sama yaitu menghubungkan area *existing* dan RFCC dengan menginterkoneksi Cable Interkoneksi 1. Desain yang sama dengan studi kasus yang berbeda memiliki hasil rugi-rugi daya total yang sama yaitu 875,8 kW dan 5883,4 kVAR.

W. Dua Generator Existing 8 MW Off

Interkoneksi yang dilakukan dengan keadaan dua pembangkit 8 MW *existing* tidak beroperasi dan beban yang terhubung dengan bus 1 dan bus 4 mendapat cadangan daya dari *existing* 20 MW. Cadangan daya dari *existing* 20 MW yang terhubung dengan bus 1 dan bus 4 membuat perubahan nilai daya reaktif pada berbagai lokasi meningkat sebesar 0,1 kVar. Total nilai losses pada percobaan ini sebesar 874,8 kW dan 5881,9 kVAR berkurang sebesar 1,1 kW dan 1,6 kVAR dengan percobaan sebelum interkoneksi.

X. Dua Generator Existing 20 MW Off

Menginterkoneksi pembangkit *existing* 4X8 MW untuk membantu mensuplai daya untuk beban yang terhubung dengan pembangkit *existing* 4X20 MW tidak menghasilkan hasil yang bagus mengingat dua generator yang tidak beroperasi sebesar 40 MW untuk memenuhi permintaan beban dibantu oleh generator dengan rating yang lebih kecil tidak akan bisa memenuhi permintaan beban di area *existing* 4X20 MW yang terhubung dengan bus 5, bus 6, bus 7, dan bus 8. Interkoneksi yang dilakukan mengalami perubahan losses pada berbagai lokasi dengan nilai rugi-rugi total sebesar 875,3 kW dan 5882,6 kVAR.

Y. Tiga Generator Existing 8 MW Off

Tiga generator 8 MW tidak beroperasi untuk memenuhi permintaan beban dilakukan backup cadangan daya dengan menghubungkan bus 1, bus 2, dan bus 3 ke swing bus primer *existing* 2. Cablebus 1, 2, dan 3 yang sebelumnya terdapat losses setelah diinterkoneksi tidak menghasilkan losses karena terputusnya aliran daya yang mengalir di ketiga Cablebus tersebut. Aliran daya dari generator *existing* 20 MW langsung terhubung dengan bus 1, bus 2, bus 3. Interkoneksi yang dilakukan menghasilkan losses total sebesar 874,9 kW dan 5882,0 kVAR.

Z. Profil Tegangan

AA. Satu Generator RFCC 15 MW Off

Jatuh tegangan yaitu hilangnya tegangan dalam suatu penghantar. Pengujian simulasi aliran daya yang dilakukan di ETAP dapat melihat profil tegangan dan selanjutnya dapat dibandingkan profil tegangan yang dihasilkan sebelum dan setelah interkoneksi. Dengan begitu dapat dilihat pada kedua area yang sistem kelistrikkannya saling terinterkoneksi.

Perubahan tegangan terjadi di 51 lokasi terdapat 24 lokasi yang mengalami kondisi marginal. Profil tegangan yang beroperasi sebelum dan setelah interkoneksi terjadi peningkatan tegangan operating pada bus, terlihat bahwasanya peningkatan terjadi pada area RFCC yang telah terinterkoneksi dengan area *existing*.

BB. Satu Generator Existing 20 MW Off

Asumsi satu generator di *existing* 20 MW tidak beroperasi dan dihubungkan dengan area RFCC. Terdapat dua lokasi yang mengalami kondisi marginal yaitu Busnetwork 34.1 dan Busnetwork 35.2 dan terdapat 4 lokasi yang mengalami peningkatan profil tegangan yaitu Bus 10.1, Busnetwork 34.1, Busnetwork 35.2, Busnetwork 37.1. Kedua lokasi yang mengalami kondisi marginal dan peningkatan profil tegangan tersebut berada di area RFCC dengan peningkatan profil tegangan sebesar 0,01%.

CC. Satu Generator Existing 20 MW Dan RFCC 15 MW Off

Asumsi satu generator di *existing* 20 MW dan di RFCC 15 MW tidak aktif. Dengan perancangan yang serupa dengan satu generator di *existing* 20 MW *off* menghasilkan profil tegangan yang serupa.

DD. Dua Generator Existing 8 MW Off

Selanjutnya melihat profil tegangan pada saat dua generator di *existing* 8 MW *off* dan dilakukan interkoneksi dengan bus swing *existing* 2. Terdapat 6 lokasi yang mengalami kondisi marginal yaitu Busnetwork 8.2, Busnetwork 13.2, Busnetwork 17.1, Busnetwork 17.2, Busnetwork 34.1, dan Busnetwork 35.2. Keenam lokasi tersebut mengalami peningkatan profil tegangan dan 36 lokasi yang lainnya juga mengalami peningkatan persentase profil tegangan setelah interkoneksi sebesar 0,01%.

EE. Dua Generator Existing 20 MW Off

Dua generator di *existing* 20 MW tidak aktif terdapat 4 lokasi yang mengalami kondisi marginal diantaranya dua lokasi di *existing* dan dua lokasi di RFCC yaitu Busnetwork 13.2, Busnetwork 17.1 di area *existing* dan Busnetwork 34.1, Busnetwork 35.2 di area RFCC. Keempat lokasi marginal tersebut mengalami peningkatan profil tegangan begitu pula terdapat 20 lokasi yang mengalami peningkatan profil tegangan, 19 di area *existing* dan 1 di area RFCC dengan peningkatan profil tegangan sebesar 0,01%.

FF. Tiga Generator Existing 8 MW Off

Tiga generator di *existing* 8 MW tidak aktif dan bisa dilihat profil tegangan yang mengalami perubahan sebanyak 41 lokasi baik itu di *existing* maupun RFCC dan terdapat 41 lokasi yang mengalami perubahan profil tegangan dengan 3 lokasi yang mengalami kondisi marginal, satu lokasi di *existing* yaitu Busnetwork 8.2 dan dua lokasi di RFCC Busnetwork 34.1, Busnetwork 35.2 ketiga lokasi tersebut mengalami peningkatan profil tegangan. Terdapat 28 lokasi di *existing* dan dua lokasi di RFCC yang juga mengalami peningkatan profil tegangan sebesar 0,01%.

GG. Faktor Daya

Dilakukan pengujian aliran daya untuk mengetahui apakah ada perubahan dibagian faktor daya disistem kelistrikan. Setelah dilakukan operasi aliran daya sebelum dan setelah interkoneksi dengan keenam studi kasus dihasilkan perbandingan faktor daya pada lokasi yang terhubung dengan sistem seperti terlihat pada Tabel 14 Sampel Perbandingan Faktor Daya Keenam Studi Sebelum Dan Setelah Interkoneksi. Pengujian aliran daya yang dilakukan dengan keenam studi dan di kedua sistem kelistrikan daerah *existing* dan RFCC pada lokasi beban tidak mengalami perubahan faktor daya karena demand beban pada kedua area tercukupi.

Tabel 14 Sampel Perbandingan Faktor Daya Keenam Studi Sebelum Dan Setelah Interkoneksi

No.	lokasi	Rating tegangan (kV)	Faktor Daya (PF) Sebelum Interkoneksi	Faktor Daya (PF) Setelah Interkoneksi
1	mtr1	3,3	92,99	92,99
2	mtr2	0,4	92,08	92,08
3	mtr3	3,3	92,99	92,99
4	mtr4	0,4	92,31	92,31
5	mtr5	3,3	92,99	92,99
6	mtr6	0,4	91,96	91,96
7	mtr7	3,45	92,99	92,99
8	mtr8	0,4	91,8	91,8
9	mtr9	3,3	92,99	92,99
10	mtr10	0,4	92,25	92,25
11	mtr11	3,3	93,16	93,16
12	mtr12	0,4	92,25	92,25
13	mtr13	3,3	92,99	92,99
14	mtr14	0,4	91,51	91,51
15	mtr15	3,3	92,99	92,99
16	mtr16	0,4	91,8	91,8
17	mtr17	3,3	92,99	92,99
18	mtr18	0,4	92,25	92,25
19	mtr19	3,3	92,99	92,99
20	mtr20	0,4	92,08	92,08
21	mtr21	3,3	92,99	92,99
22	mtr22	0,4	91,8	91,8
23	mtr23	3,3	92,99	92,99
24	mtr24	0,4	92,08	92,08
25	mtr25	3,3	92,99	92,99
26	mtr26	0,4	92,08	92,08
27	mtr27	3,3	92,99	92,99
28	mtr28	0,4	91,8	91,8

No.	lokasi	Rating tegangan (kV)	Faktor Daya (PF) Sebelum Interkoneksi	Faktor Daya (PF) Setelah Interkoneksi
29	mtr29	3,3	92,99	92,99
30	mtr30	0,4	91,8	91,8

V. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan dari segi perancangan, pengujian, dan pembahasan analisis yang telah dilakukan dipenelitian ini bisa diambil kesimpulan berdasarkan variabel yang menjadi pertimbangan pada penelitian ini yaitu bagaimana profil tegangan, losses, faktor daya, dan besarnya daya yang dibangkitkan pada pembangkit sebelum dan setelah interkoneksi dengan rincian sebagai berikut :

- Dari keenam studi kasus yang telah disimulasikan, dihasilkan tiga simulai yang unggul dengan persentase daya aktif pembangkitan dibawah 100%, simulasinya yang pertama satu generator RFCC 15 MW *off* dengan peningkatan pembangkit *existing* 4X20 MW sebesar 21,535% dan pengurangan persentase daya pembangkitan pada generator di RFCC yang sebelumnya overload setelah disuplai dari *existing* 4X20 MW menuju area RFCC 3X15 MW berkurang sebesar 57,493%, studi kedua yaitu satu generator di *existing* 20 MW *off* menghasilkan peningkatan daya aktif pembangkitan 4X20 MW sebesar 2,14% untuk membantu menyuplai di area RFCC dan pada pembangkit area RFCC 3X15 MW menurun persentase daya pembangkitnya sebesar 2,85%, ketiga yaitu dua generator di *existing* 8 MW *off* menurunkan persentase daya pembangkitan untuk area *existing* 1 kapasitas 4X8 MW berkurang sebesar 106,7% yang sebelum interkoneksi mengalami overload setelah interkoneksi disuplai area *existing* 2 kapasitas 4X20 MW sebesar 22,94% menjadi 82,5% untuk setiap pembangkit di *existing* 1. Untuk ketiga scheduling lainnya yaitu satu generator *existing* 20 MW *off* dan RFCC 15 MW *off* menghasilkan persentase daya pembangkitan pada area *existing* 4X20 MW meningkat 2,14% dan pada area RFCC menurun sebesar 4,28%, dua generator *existing* 20 MW *off* mengalami peningkatan kinerja generator di *existing* 4X8 MW sebesar 28,312% dan pada *existing* 4X20 MW menurun sebesar 21,45%, dan terakhir yaitu tiga generator di *existing* 8 MW *off* pada area *existing* 4X8 MW mengalami penurunan sebesar 253,43% dan pada area *existing* 4X20 MW meningkat sebesar 26,95%.

- Terinterkoneksinya sistem pembangkit dalam menyuplai permintaan beban menghasilkan losses yang lebih sedikit setelah diinterkoneksi dengan simulasi losses terkecil dari keenam simulasi yaitu satu generator RFCC *off* dengan menghasilkan losses total setelah interkoneksi sebesar 872,7 kW dan 5878,6 kVAR dan sebelum interkoneksi sebesar 875,9 kW dan 5883,5 kVAR. Terjadi pengurangan losses sebesar 3,2 kW dan 4,9 kVAR.

- Terjadi peningkatan persentase profil tegangan setelah dilakukannya interkoneksi dan dilakukan perbandingan sebelum dan setelah interkoneksi seperti yang tercantum pada sub bab perbandingan profil tegangan. Peningkatan persentase profil tegangan sebelum dan setelah

interkoneksi yang dihasilkan rata-rata meningkat sebesar 0,01%.

- Interkoneksi yang dilakukan pada simulai studi kelayakan sistem interkoneksi tidak berpengaruh pada faktor daya yang dihasilkan di kedua area sudah tercukupi dengan baik, baik sebelum dan setelah interkoneksi..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hermawan, A. Kontingensi, P. Sistem, and T. Listrik, "Analisis kontingensi pada sistem tenaga listrik dengan metode aliran daya," pp. 1–6.
- [2] E. Lobato, L. Sigrist, and L. Rouco, "Value of electric interconnection links in remote island power systems: The Spanish Canary and Balearic archipelago cases," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 91, pp. 192–200, 2017.
- [3] F. T. Industri and U. I. Indonesia, "STUDI ALIRAN DAYA LISTRIK DI PT . SHOWA INDONESIA MANUFACTURING Tugas Akhir Oleh : Kamil Rusdi Abstrak."
- [4] H. Shen *et al.*, "The state-of-the-arts of the study on grid interconnection between Iberian Peninsula and West Maghreb region," *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–28, 2018.
- [5] i-lib Perpustakaan UGM, "Analisis Kontingensi Untuk Perhitungan Aliran Daya Pada Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik," *J. i-lib UGM*, 2003.
- [6] D. Piromalis, C. D. Tsirekis, C. S. Psomopoulos, S. Biza, and D. Barkas, "Crete – Peloponnese 150kV AC Interconnection. Simulation Results for Transient Phenomena in Main Switches," *Energy Procedia*, vol. 157, no. 2018, pp. 1366–1376, 2019.
- [7] I. B. G. Manuaba, K. A. Yasa, A. Daya, D. Metode, and I. Arus, "Analisa aliran daya dengan metode injeksi arus pada sistem distribusi 20 kv," vol. Vol. 8 No.
- [8] I. K. Idris, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Ke 4. Jakarta: Erlangga, 1990.

