

ANALISIS KONDISI *TRANSIENT STABILITY* MENGGUNAKAN PROGRAM ETAP PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. BADAK NGL KALIMATAN TIMUR

Royb Fatkhur Rizal, Sasongko Pramono Hadi

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Yogyakarta, 55281

rizal.nm@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang analisis stabilitas sistem daya saat kondisi transient, pada studi kasus sistem kelistrikan di PT. Badak NGL saat kondisi non interkoneksi maupun kondisi interkoneksi terhadap gangguan 3 fasa pada sisi load bus. Analisis stabilitas sistem kondisi transient ini bertujuan untuk mengetahui performa profil frekuensi dan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan di sisi load bus dan sistem bus. Selain itu dilakukan analisis mengenai pengaruh yang diakibatkan pada sistem. Penelitian dan simulasi ini, didapatkan sistem daya pada saat kondisi awal maupun kondisi interkoneksi adalah tidak stabil saat terjadi gangguan tiga fasa ke tanah diterapkan pada sistem. Sistem interkoneksi memiliki performa yang kurang baik, sehingga dibutuhkan waktu pemulihan yang lebih cepat dalam pemakaian proteksi tegangan dan frekuensi dengan pengaturan yang tepat saat dibutuhkan setelah mengalami gangguan, supaya tidak mempengaruhi ke sistem dengan waktu yang lama.

Kata Kunci: *transien, stabilitas daya*

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini mengambil studi kasus di industri PT. Badak NGL yang merupakan salah satu industri di bidang pengolahan gas alam cair terbesar di dunia yang tidak lepas dari penggunaan energi listrik dalam menjalankan mesin-mesin industrinya yang mencapai ribuan unit[2]. Pada penelitian ini energi listrik yang diambil dari 8 unit generator yang bekerja pada level tegangan 13.8 kV, mulai dari generator PG-01 hingga PG-20 (1 x 30 MW) dan menghasilkan daya total sebesar 180 MW. Energi listrik yang dihasilkan digunakan sebagai pendukung pengoperasian kilang maupun ke kompleks perumahan PT Badak NGL seperti *cooling water, process plant, airport, central office, community, water pump*, dan beban lainnya[2].

Dalam memudahkan pengoperasian, maka sistem di perusahaan ini dibagi atas dua bagian yang saling berhubungan yaitu modul-1 yang membawahi unit pencairan gas yaitu Train A/B/C/D, 11 unit boiler, dan *utilities-1* yang terdiri atas 4 unit *power generation* yaitu generator unit PG-1,PG-2,PG-3 dan PG-4 (1x30 MW) serta beberapa komponen pendukung lainnya, sedangkan pada modul-2 terdiri atas unit pencairan gas yaitu Train E/F/G/H, 10 unit boiler, dan *utilities-2* yang terdiri atas 4 unit *power generation* yaitu generator unit PG-7,PG-10,PG-19 dan PG-20 (1x30 MW) serta beberapa komponen pendukung lainnya[2]. Saat interkoneksi, seluruh generator (generator ke-1 hingga 8) dalam keadaan bekerja, sedangkan untuk menghubungkan kedua modul tersebut digunakan sistem jaringan *ringbus* dengan menaikan tegangan hingga 34,5 kV menggunakan transformator tiga-fasa 2-belitan[2]. Sistem jaringan ini berfungsi untuk menyalurkan kelebihan daya pada bus satu untuk disalurkan ke bus lainnya yang membutuhkan daya[2].

Saat ini masih terdapat beberapa kendala pada sistem kelistrikan di PT. Badak NGL salah satunya adalah belum adanya analisis khusus untuk mengetahui performa sistem tersebut saat

kondisi *transient* (peralihan) sehingga apabila terjadi gangguan maka dapat dengan cepat diketahui[2]. Penelitian ini akan menganalisis kinerja sistem saat kondisi *captive* maupun interkoneksi antara modul-1 dan modul-2 serta dalam kondisi *steady-state*. Diagram sistem daya yang telah ada dimodelkan kedalam perangkat lunak, lalu disimulasikan dan dianalisis hasilnya. Gangguan yang diberikan dalam simulasi ini adalah gangguan tiga fasa ke tanah. Analisis simulasi stabilitas sistem saat kondisi *transient* ini bertujuan untuk mengetahui performa profil frekuensi dan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan di sisi *load bus* dan *system bus*. Selain itu dilakukan analisis mengenai pengaruh yang diakibatkan pada sistem.

II. METODOLOGI PENELITIAN

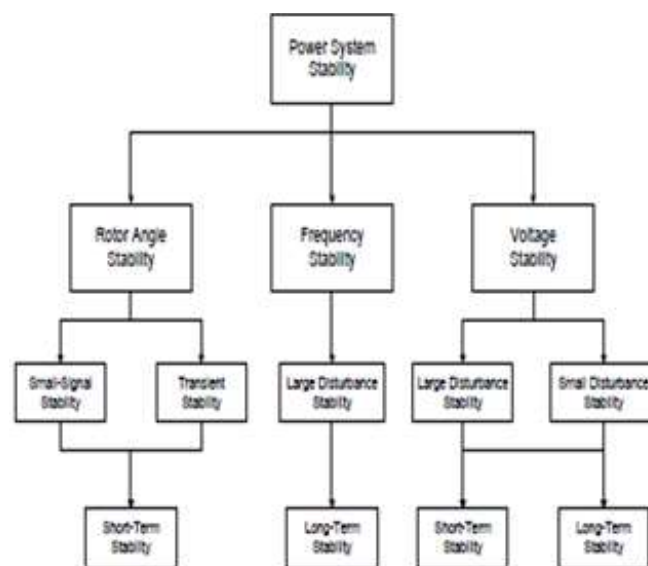
2.1. Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi yang berguna untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak (*steady-state*)[1]. Informasi ini sangat berguna dalam mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang[4]. Didalam studi aliran daya, bus-bus dibagi dalam tiga (3) macam[4], yaitu:

1. *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi
2. *Voltage controlled bus* atau bus generator (P-V bus)
3. *Load bus* atau bus beban (P-Q bus)

2.2. Klasifikasi Stabilitas Sistem Daya

Klasifikasi stabilitas secara lengkap dapat dilihat pada gambar 1. Terlampir macam-macam stabilitas yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi, dan stabilitas tegangan[4].



Gambar 2. Klasifikasi Stabilitas Sistem Daya[4]

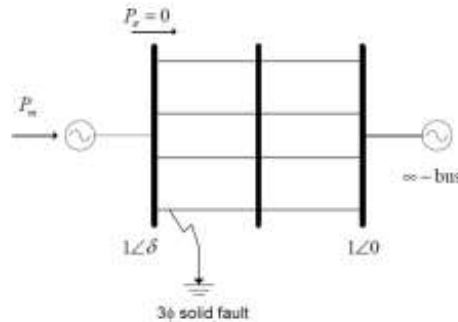
2.3. Transient Stability Analysis

Transient Stability Analysis adalah ilmu yang mempelajari tentang gejala-gejala peralihan yang ada pada sistem ketenagalistrikan. Gejala-gejala peralihan tersebut sangat memberikan efek yang luar biasa yang dapat menyebabkan goyangnya sistem dalam suatu kelistrikan industri yang ada di suatu pabrik atau jaringan[1]. *Transient stability* dibedakan pada jenis *magnitude* gangguannya[3], yaitu :

1. Steady-state
2. Stability to small disturbances
3. Stability of large disturbances

Sedangkan dalam paper ini membahas tentang stabilitas terhadap gangguan besar (*stability of large disturbances*).

2.4. Stabilitas Terhadap Gangguan Besar



Gambar 3. Sistem terjadi gangguan tiga fasa

Sebelum gangguan $t < 0$:

$$P_m = P_e(\delta) = \frac{V_1 V_2}{X} \sin(\delta) \Rightarrow \delta_0 = \sin^{-1} \left(\frac{X P_m}{V_1 V_2} \right) \quad (1)$$

waktu saat gangguan $0 \leq t \leq t_f$, dimana t_f waktu selama gangguan[3].

Sesudah gangguan, $t > t_f$ [3]:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\omega_s}{2H} [P_m - P_e'(\delta)]$$

$$P_e'(\delta) = \frac{V_1 V_2}{X'} \sin(\delta) \quad (2)$$

Apabila sistem kelistrikan di pabrik itu goyang maka dapat menyebabkan tegangan dan frekuensi dari sistem akan mengalami drop. Dropnya tegangan dan frekuensi yang ada pada sistem kelistrikan yang ada pada suatu pabrik akan menyebabkan rusaknya peralatan yang ada pada suatu pabrik karena dropnya tegangan dan dropnya frekuensi[5]. Drop tegangan yang masih diperbolehkan adalah +/- 5% sedangkan drop frekuensi yang masih diperbolehkan adalah +/- 2%.

Apabila nilai dari tegangan dan frekuensi telah melewati standar yang telah ditentukan PLN, maka sistem yang ada pada suatu industri sudah dapat dikatakan tidak baik untuk mengoperasikan suatu peralatan yang ada di pabrik tersebut. Karena apabila peralatan tetap dioperasikan dalam suatu sistem yang kurang baik maka peralatan dapat rusak dan mengakibatkan kerugian pada suatu industri.

Dalam melakukan analisis stabilitas *transient* yang ada di suatu industri dapat dilakukan perancangan dan permodelan sistem yang ada di suatu pabrik dengan menggunakan *software ETAP 12.6.0*. Dengan melakukan permodelan sistem yang ada maka program ini akan memberikan respon *machine* seperti Generator, Syn. Motor, Ind. Motor, Bus dan lain-lain berdasarkan domain waktu sesuai dengan *event* yang terjadi[2].

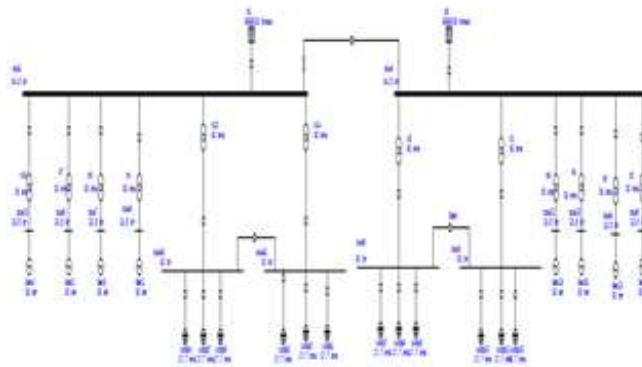
Dari respon-respon yang dihasilkan, *user* dapat menentukan karakteristik *transient* dari sistem, memberikan penilaian terhadap kestabilan sistem, mencari *setting* proteksi peralatan

yang tepat, dan memberikan perbaikan/ rekomendasi yang diperlukan untuk meningkatkan kestabilan sistem[5].

2.5. Metode Simulasi

Pelaksanaan simulasi dan pemodelan sistem daya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ETAP* versi 12.6.0 yang berfungsi untuk memodelkan kondisi sistem daya yang ada untuk analisis sistem pada keadaan *steady-state* dan dinamik. Simulasi ini dilakukan dua jenis simulasi yaitu: Simulasi kondisi awal sebelum maupun sesudah interkoneksi dan simulasi stabilitas sebelum maupun sesudah interkoneksi saat kondisi *steady-state* pada sistem di PT Badak NGL.

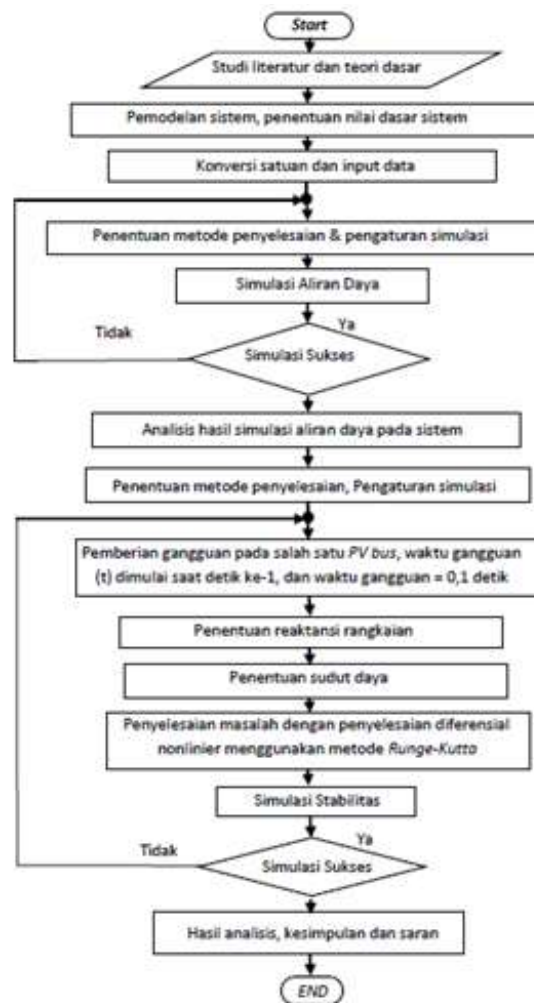
Simulasi ini menggunakan frekuensi 50 Hz, daya dasar 35.295 MVA dengan tegangan dasar 13,8 kV. Waktu gangguan dimulai dari detik ke-10 dengan durasi simulasi selama 30 detik, dan waktu gangguan 1 detik. Gangguan yang diberikan ialah gangguan tiga fasa. Selain itu, saat gangguan, batas frekuensi yang dianjurkan tidak lebih tinggi dari 51,25 Hz dan lebih rendah dari 48.75 Hz ($\pm 2,5$ % dari frekuensi nominal).



Gambar 4. *Single line* simulasi

Dalam simulasi ini, gangguan pada modul-1 terjadi pada *bus-81*, sedangkan gangguan pada modul-2 tidak diberikan. Analisis dilakukan sebelum dan setelah interkoneksi, gangguan terjadi pada sisi *load bus-81*. Penentuan bus ini dikarenakan bus ini yang paling krusial dan paling memberikan dampak dinamik terhadap tegangan maupun frekuensi.

Dibawah ini ditampilkan diagram alur simulasi gambar. 5 dimulai saat kondisi awal hingga pemberian gangguan pada sistem.



Gambar 5. Diagram Alur Simulasi

2.6. Langkah Simulasi dan Analisis

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, langkah selanjutnya ialah melakukan simulasi dan analisa, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

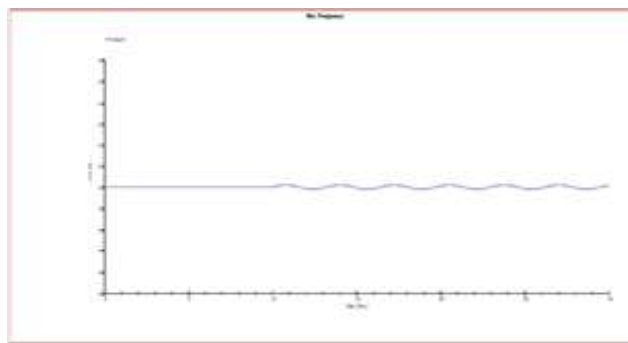
1. Penentuan jumlah bus yang akan disimulasikan.
2. Menentukan nilai tegangan dasar (kV base) dan daya dasar (MVA base).
3. Memodelkan sistem sesuai *single-line* diagram.
4. Memberikan nilai tiap komponen sesuai data.
5. Menentukan metode penyelesaian aliran dayayang diinginkan.
6. Melakukan simulasi aliran daya pada model awal sistem daya dan memberikan gangguan pada bus .
7. Melakukan simulasi kondisi *non* interkoneksi keadaan *open*.
8. Melakukan simulasi kondisi *non* interkoneksi keadaan *close*.
9. Melakukan simulasi keadaan interkoneksi *open*.
10. Melakukan simulasi keadaan interkoneksi *close*.
11. Melakukan analisis terhadap hasil simulasi kondisi *transient*.
12. Pengambilan kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan studi kasus 8 unit generator yang bekerja pada level tegangan 13.8 kV, mulai dari generator PG-01 dan PG-20 (1 x 30 MW) dan menghasilkan daya total sebesar 180 MW. Frekuensi yang digunakan pada sistem ini ialah 50 Hz. Selain itu, dalam memudahkan pengoperasian, maka sistem di perusahaan ini dibagi atas dua yaitu modul-1 dan modul-2. Pada masing-masing modul terdapat 4 unit generator (1x 30 MW).

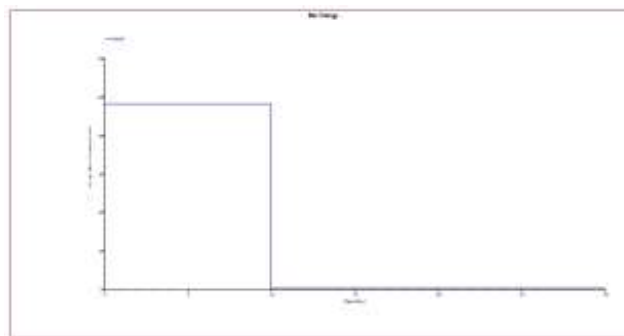
Studi kasus ini didapatkan nilai beban pada masing-masing modul ialah 90.27 MW dan 55.944 MVAR. Beban pada kedua modul terdiri atas beban induktif, beban motor, lampu, dan beban lainnya. Simulasi ini pada bus-81 sisi beban diberi gangguan 3 fasa, data hasil simulasi yang diambil adalah profil frekuensi dan tegangan sisi *load bus* dan *system bus* sedangkan mulai gangguan pada detik ke-10 selama 30 detik simulasi kondisi *transient*.

3.1. Kondisi *Transient* Saat *Non Interkoneksi*

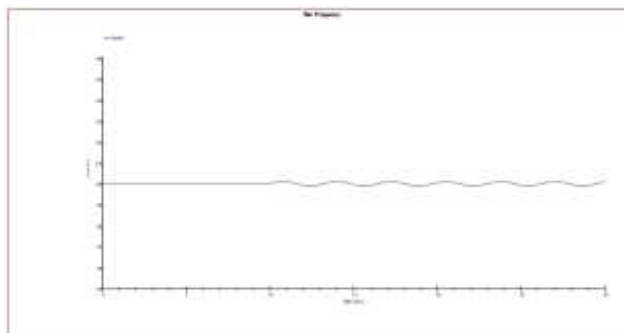


Gambar 6 . Kondisi Frekuensi sisi *load bus*-81

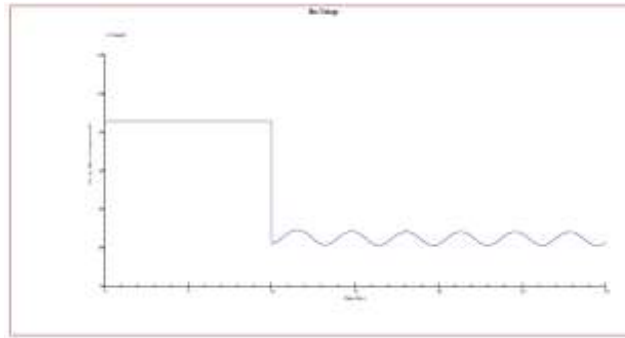
Kemudian pengaruh tegangan saat kondisi *transient* sisi *load bus*.



Gambar 7 . Kondisi Tegangan sisi *load bus*-81



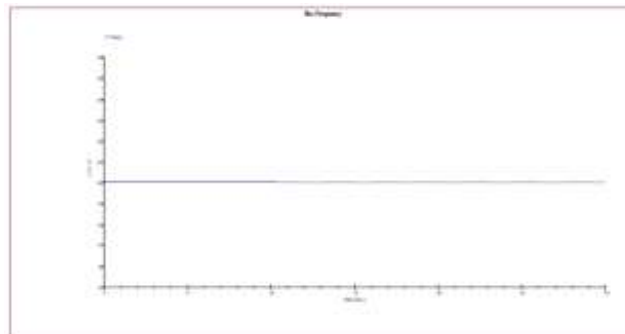
Gambar 8 . Kondisi Frekuensi sisi *load bus*-80



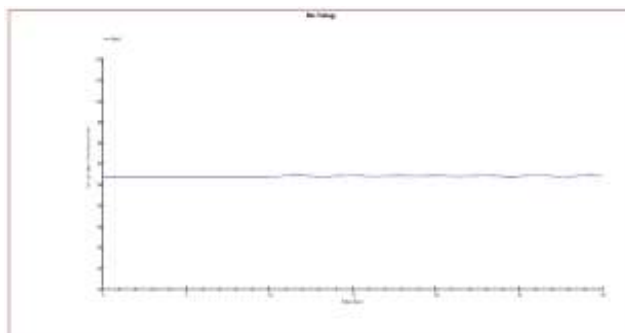
Gambar 9 . Kondisi Tegangan sisi *load bus-80*

Salah satu sisi *bus load* terjadi gangguan yaitu di *bus-81* berpengaruh pada sisi *bus load* lainnya yaitu di *bus-80* dikarenakan sistem pada *bus load* terhubung secara *islanding* atau terkoneksi *load bus* lainnya. Grafik diatas menjelaskan saat terjadi gangguan di sisi *load bus-81* stabilitas aliran daya terjadi pengaruh yang sangat besar, nilai aliran tegangan dan frekuensinya mengalami fluktuatif dikarenakan mengalami gangguan tiga fasa, Sedangkan di sisi *load bus-80* menerima pengaruh yang mengakibatkan frekuensi dan tegangannya, saat terjadi gangguan di sisi *load bus-81*.

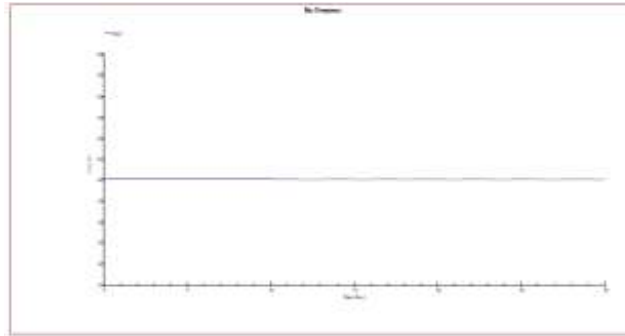
3.2. Kondisi *Transient* Saat Interkoneksi



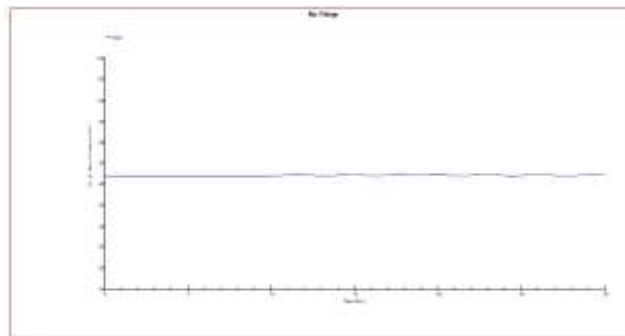
Gambar 10 . Kondisi Frekuensi sisi *load bus-2*



Gambar 11 . Kondisi Tegangan sisi *load bus-2*



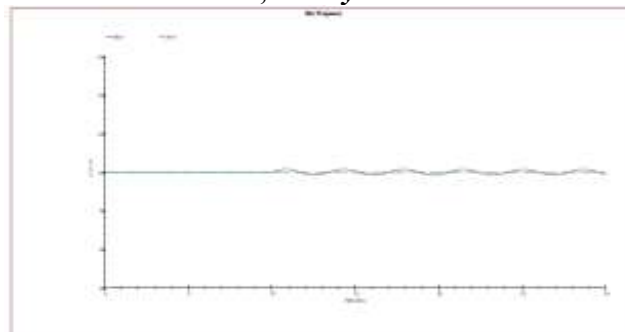
Gambar 12 . Kondisi Frekuensi sisi *load bus-3*



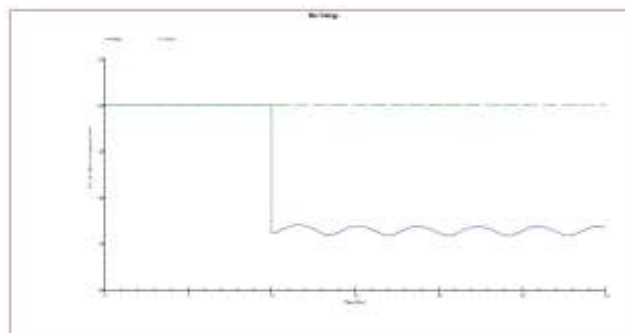
Gambar 13 . Kondisi Tegangan sisi *load bus-3*

Salah satu *load bus* saat interkoneksi tidak berpengaruh pada *load bus* lainnya walaupun pada gambar grafik profil tegangan terjadi kondisi *transient* namun sangat kecil masih masuk dalam toleransi tegangan sistem.

3.3. Kondisi *Transient* Saat Interkoneksi, Sisi *System Bus*



Gambar 14 . Kondisi frekuensi sisi *system bus-1* dan *bus-4*



Gambar 15. Kondisi Tegangan sisi *system bus-1* dan *bus-4*

System bus terjadi kondisi *transient* di bus-1 dan di bus 4 tidak terjadi, dapat dilihat di grafik profil frekuensi dan tegangan pada sisi *system bus* 1 dan 4. Pengaruh ini sangat tidak baik untuk *system bus* terutama di bus-1, maka diperlukan proteksi yang tepat untuk mengurangi pengaruh saat terjadi kondisi *transient* di sisi *load bus*. Sedangkan untuk stabilitas sistem aliran daya sangat berkurang karena dapat mengurangi kestabilan. Simulasi ini dapat dihasilkan penilaian terhadap suatu *system bus* pada saat kondisi *transient*, bus mana yang perlu ditingkatkan proteksinya.

Grafik diatas menjelaskan kondisi *transient* interkoneksi di *system bus*-1 dan 4. Stabilitas aliran daya yang berpengaruh adalah di *system bus*-1 terjadinya nilai frekuensi dan aliran tegangannya mengalami fluktuatif, sedangkan sisi *load bus*-2 dan 3 hampir tidak mengalami pengaruh akibat kondisi *transient* di sisi *system bus* tersebut.

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi didapatkan penjelasan bahwa pada saat terjadi gangguan 3 fasa dapat berpengaruh ke sistem yang mengakibatkan kondisi *transient*. Sisi *load bus* paling berdampak terutama di dekat titik gangguan yaitu bus-80. Sedangkan sisi *system bus* yang paling parah berdampak adalah bus-1. Sistem interkoneksi mempengaruhi *system bus*-4 namun tidak mempengaruhi sisi *load bus*-2 dan 3. Keandalan sistemnya mengakibatkan berkurang, maka dari itu perlunya peningkatan *setting* proteksi supaya dapat mengurangi dampak kondisi *transient* tersebut. Penilaian suatu sistem dapat berpengaruh dalam meningkatkan stabilitas suatu sistem, dalam penelitian ini dapat dijelaskan peningkatan proteksi frekuensi dan tegangan sangat penting untuk meningkatkan keandalan terutama di sistem kelistrikan industri.

V. REFERENSI

- [1] Allan L. While. (2004). Transient Faults and Network Reliability. IEEE Aerospace Conference Proceedings. Hampton.
- [2] Dwi Indra Kusumah, H. S. (2013). Analisis Kondisi Steady-State dan Dinamik pada Sistem Kelistrikan PT.BADAK NGL, Bontang Kaltim . 1-7.
- [3] J. Overby, K. S. (2012). Validation of Power System Transient Stability Results. IEEE, 978-1-4577-1683-6/12(Power System), 1-8.
- [4] Kundur, P. (2004). Definition and Classification of Power system Stability .IEEE Transaction On Power System(Power System), 1-15.
- [5] Liang Wang, L. L. (2008). Stability and Security Assessment for an Industrial Electric Grid with Enterprise owned Power Plant. IEEE , 978-7-900714-13-8/08(Power System stability), 1559-1563.