

Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban pada PT. Sasa Inti Plant Gending Akibat Pemadaman PLN

Addarojatul Ula Syaharuddin Anshori, Margo Pujiantara, Ardyono Priyadi
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: margo@ee.its.ac.id.

Abstrak—Dalam sistem tenaga listrik, keseimbangan antara kapasitas pembangkit dan daya yang dibutuhkan untuk mensuplai beban merupakan salah satu parameter kestabilan operasi. Stabilitas suatu sistem tenaga akan selalu berubah sebagai akibat dari perubahan beban dan ketersediaan daya. Pembangkitan listrik pada suatu sistem tenaga seringkali menghadapi gangguan yang tak terhindarkan seperti pemadaman PLN. Ketidakmampuan suatu pembangkit untuk memberikan daya biasanya ditandai dengan penurunan frekuensi dengan kemungkinan terburuk yaitu terjadi pemadaman listrik pada sistem. Meskipun sistem dirancang untuk keandalan setinggi mungkin, kegagalan yang tidak dapat dihindari dapat terjadi selama proses pembangkitan, seperti terjadinya pemadaman PLN pada PT. Sasa Inti Plant Gending, yang menyebabkan generator kelebihan beban. Terjadinya kelebihan beban pada generator menyebabkan ketidakseimbangan antara daya mekanik yang dihasilkan oleh generator dengan daya elektrik yang dikonsumsi oleh beban, sehingga terjadi perlambatan putaran generator. Oleh karena itu, melalui studi ini akan dilakukan analisis stabilitas transien akibat pemadaman PLN pada PT. Sasa Inti Plant Gending, serta skema pengembalian frekuensi ketika terjadi gangguan yang tidak diinginkan dengan cara menyiapkan mekanisme pelepasan beban untuk sistem kelistrikan, sehingga diharapkan dapat memberikan rekomendasi standar mekanisme pelepasan beban yang tepat dengan pelepasan beban minimum yang sesuai dengan standar agar dapat dengan cepat memulihkan dan melindungi sistem serta menjamin stabilitas sistem kelistrikan di PT. Sasa Inti Plant Gending dapat dipertahankan.

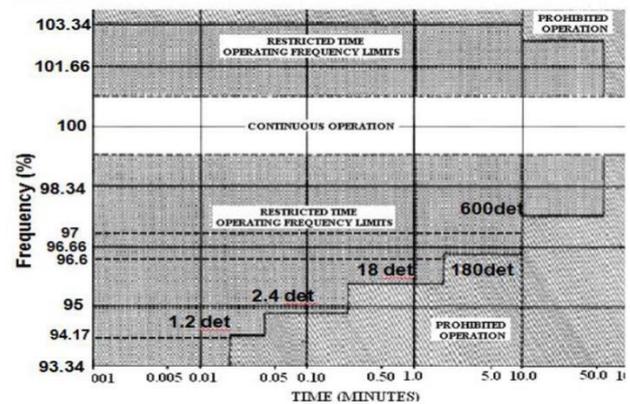
Kata Kunci—Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban.

I. PENDAHULUAN

PERUSAHAAN PT. Sasa Inti (Sasa) merupakan perusahaan makanan dan bumbu masak terkemuka dari Indonesia yang didirikan oleh Rodamas pada tahun 1968. Perusahaan ini memiliki banyak pabrik yang telah lama beroperasi di Indonesia. Salah satunya adalah Pabrik Sasa Inti di Gending Probolinggo [1].

Secara umum, pada seluruh sistem kelistrikan PT. Sasa Inti Plant Gending selain suplai dari PLN, terdapat dua pembangkit listrik (generator) dengan rincian masing-masing pembangkit berkapasitas 6 MW. Total beban yang harus disuplai sebesar 29.07 MW.

Meskipun sistem dirancang untuk keandalan setinggi mungkin, kegagalan yang tidak dapat dihindari dapat terjadi selama proses pembangkitan, seperti terjadinya pemadaman PLN pada PT. Sasa Inti Plant Gending, yang menyebabkan generator kelebihan beban. Terjadinya kelebihan beban pada generator menyebabkan ketidakseimbangan antara daya mekanik yang dihasilkan oleh generator dengan daya elektrik



Gambar 1. Standar Frekuensi IEEE Std C37.106-2003.

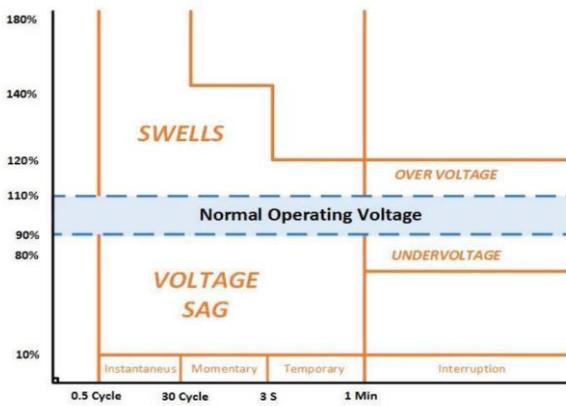
yang dikonsumsi oleh beban, sehingga terjadi perlambatan putaran generator. Jika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak segera sesuai dengan jumlah daya elektrik pada beban listrik, maka frekuensi dan tegangan akan berubah dari nilai setting. Oleh karena itu, perubahan beban harus diikuti dengan perubahan daya penggerak generator. Hal ini untuk menciptakan keseimbangan antara daya beban dan daya suplai.

Dari latar belakang tersebut, melalui studi ini akan dilakukan analisis stabilitas transien akibat pemadaman PLN, serta skema pengembalian frekuensi ketika terjadi gangguan yang tidak diinginkan dengan cara menyiapkan mekanisme pelepasan beban untuk sistem kelistrikan. Perencanaan sistem pelepasan beban dilakukan dengan menggunakan mekanisme standar frekuensi dengan mempertimbangkan aliran daya dan berbagai studi kasus stabilitas transien dari sistem kelistrikan PT. Sasa Inti Plant Gending, sehingga diharapkan dapat memberikan rekomendasi standar mekanisme pelepasan beban yang tepat dengan pelepasan beban minimum yang sesuai dengan standar agar dapat dengan cepat memulihkan dan melindungi sistem serta menjamin stabilitas sistem kelistrikan di PT. Sasa Inti Plant Gending dapat dipertahankan.

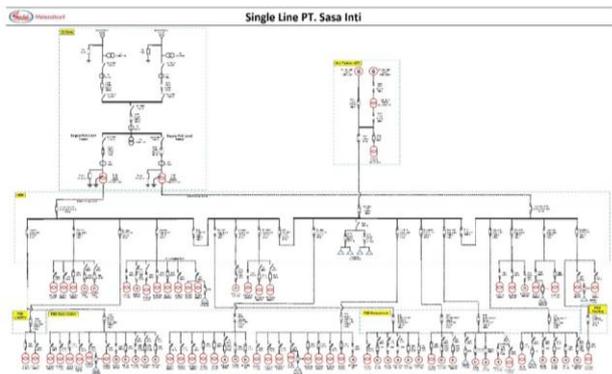
II. KESTABILAN TRANSIEN

A. Kestabilan Sistem Tenaga

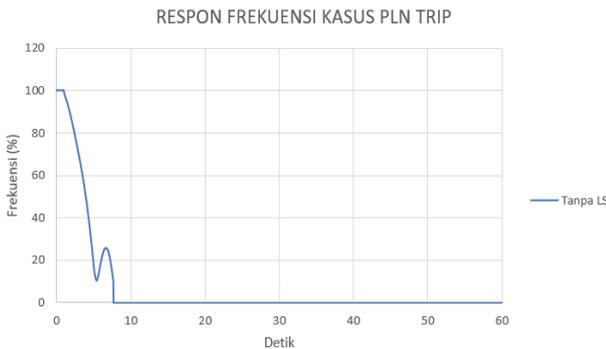
Sistem tenaga listrik yang kompleks memiliki banyak beban dinamis yang kapasitasnya berfluktuasi sepanjang waktu. Beban dinamis dalam suatu sistem kelistrikan cenderung mengalami perubahan pada setiap detiknya, yang berarti generator harus terus menerus menghitung dan menyesuaikan jumlah energi listrik yang disalurkan untuk memenuhi kebutuhan beban. Untuk menjalankan sistem



Gambar 2. Standar Tegangan IEEE 1159-1995.



Gambar 3. Single Line Diagram PT Sasa Inti Plant Gending.

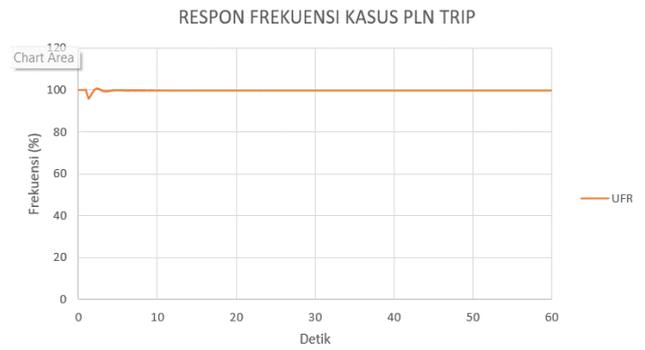


Gambar 4. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN.

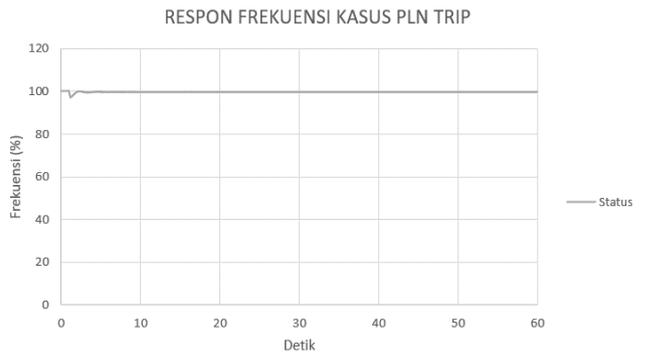
penyediaan tenaga listrik secara optimal, harus memenuhi berbagai persyaratan yang diperlukan.

Keseimbangan antara tenaga mekanik prime mover dan daya listrik yang disalurkan ke beban merupakan faktor penting yang menentukan kestabilan sistem. Jika terjadi kelebihan daya maka rotor generator akan semakin terbebani sehingga menyebabkan kecepatan putaran rotor menjadi lambat. Sebaliknya jika terjadi kelebihan daya mekanik maka akan terjadi percepatan putaran rotor karena beban generator menjadi lebih ringan. Perubahan terus menerus dalam menambah dan mengurangi kecepatan putaran rotor dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi. Jika tidak segera diatasi, ketidakstabilan ini dapat menjadi lebih parah dan berpotensi merusak sistem atau bahkan menyebabkan pemadaman total (blackout) [2].

Ketidakstabilan sistem adalah akibat dari gangguan. Jika digolongkan, ada dua jenis gangguan yang mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil dapat berupa perubahan beban yang terjadi secara terus menerus, sedangkan



Gambar 5. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Berbasis Frekuensi.



Gambar 6. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Status.

gangguan besar berupa lepasnya generator dan hubung singkat.

B. Kestabilan Transien

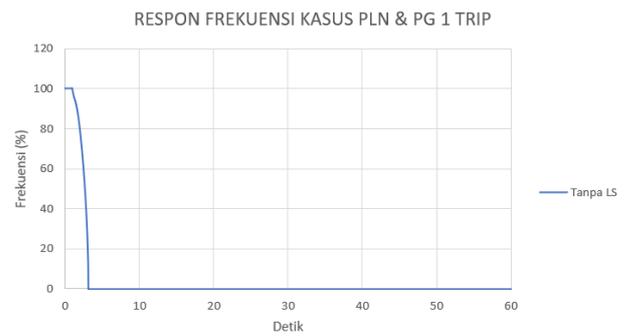
Kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga untuk tetap sinkron ketika mengalami gangguan transien yang besar. Gangguan ini dapat mencakup kegagalan elemen transmisi, kehilangan beban, kehilangan pembangkitan, atau penghentian komponen sistem seperti transformator atau saluran transmisi. Idealnya, saat sistem tenaga berjalan normal, daya mekanis pada primeover dan daya elektrik seimbang. Dalam keadaan ini, gaya mekanis dan elektrik bergerak bersama dengan kecepatan konstan. Ketika terjadi gangguan, ada perbedaan kinerja elektrik dan mekanik dari generator. Kelebihan daya elektrik menyebabkan kecepatan rotor generator menurun akibat beban yang bertambah. Namun ketika kondisi yang ditemukan adalah kelebihan daya elektrik, terjadi percepatan putaran rotor karena beban yang ditopang oleh generator lebih rendah. Jika gangguan tidak segera diperbaiki, maka perlambatan atau percepatan putaran rotor generator akan menyebabkan sistem menjadi tidak sinkron.

C. Standar

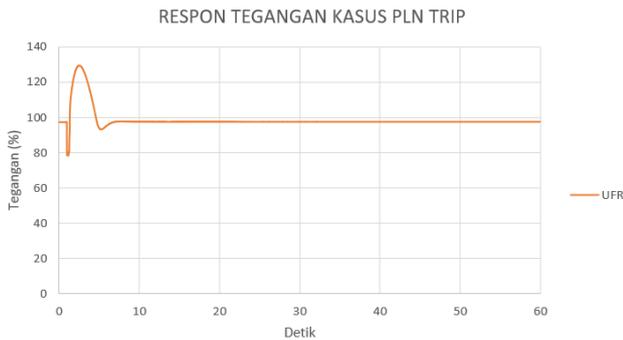
Berdasarkan IEEE, perubahan sudut rotor yang menyebabkan sudut rotor dalam kondisi steady state paling puncak melebihi 90 derajat atau sudut rotor beresilasi melebihi 180 derajat akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi mesin. Jika kelebihan sudut rotor sementara tidak melebihi 180° atau jika gangguan yang menyebabkan putaran rotor teratasi dengan cepat, mesin dapat tetap sinkron dengan sistem. Sudut rotor kemudian beresilasi ke bawah hingga mencapai kondisi steady state (kurang dari 90 derajat). Osilasi tersebut teredam oleh beban dan rugi-rugi mekanis



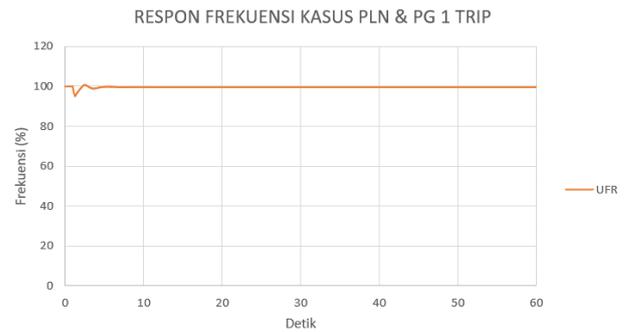
Gambar 7. Respon Tegangan Saat Pemadaman PLN.



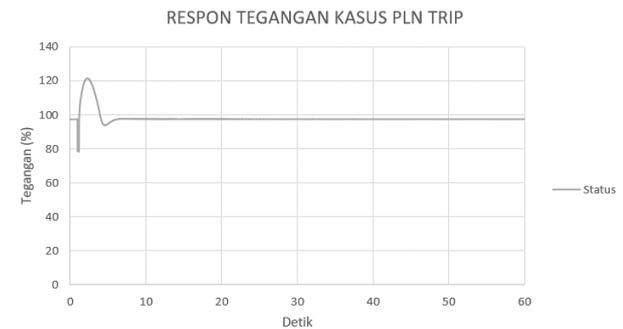
Gambar 10. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip.



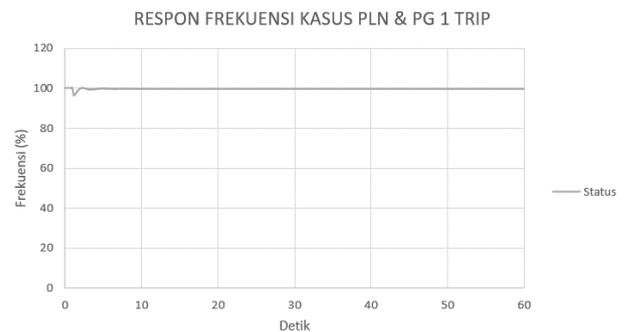
Gambar 8. Respon Tegangan Saat Pemadaman PLN Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Berbasis Frekuensi.



Gambar 11. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Berbasis Frekuensi.



Gambar 9. Respon Tegangan Saat Pemadaman PLN Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Status.



Gambar 12. Respon Frekuensi Saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Status.

pada sistem, terutama pada belitan peredam motor. Perubahan sudut rotor motor biasanya memerlukan perubahan kecepatan rotor.

Kemudian, dalam menentukan stabil atau tidaknya suatu sistem tenaga listrik yaitu mengevaluasi kurva tegangan dan frekuensi sistem. Standar yang digunakan untuk menentukan sistem stabil atau tidak yaitu: Standar frekuensi yang digunakan IEEE Std C37.106-2003.

Kemudian, untuk standar tegangan, digunakan titik referensi terkait ketentuan yang tertulis sesuai dengan standar IEEE 1159-1995

Gambar 1 dan Gambar 2 merupakan standar yang akan digunakan untuk penelitian ini.

D. Pelepasan Beban

Pelepasan beban menjadi langkah kunci dalam menjaga kestabilan sistem. Gangguan seperti matinya generator dapat mengakibatkan ketidakmampuan daya yang ada untuk mendukung beban. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya pemadaman total, pelepasan beban menjadi suatu keharusan.

Standar ANSI/IEEE C37.106-1987 adalah standar yang digunakan untuk proteksi frekuensi abnormal pembangkit.

Ada dua skema pelepasan beban yang terkait dengan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, yaitu pelepasan beban tiga tahap dan pelepasan beban enam tahap.

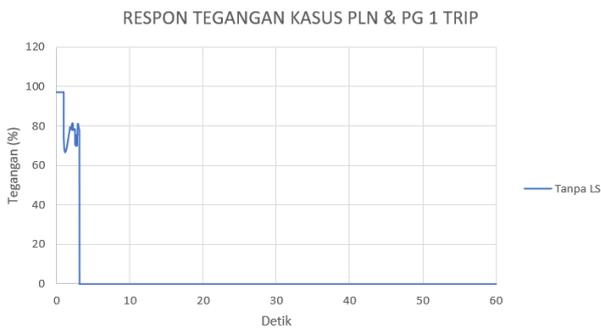
III. SISTEM KELISTRIKAN PT. SASA INTI PLANT GENDING

Secara umum, pada seluruh sistem kelistrikan PT. Sasa Inti Plant Gending selain suplai dari PLN, terdapat dua pembangkit listrik (generator) dengan rincian masing-masing pembangkit berkapasitas 6 MW dan dengan tegangan masing-masing 3.3 KV dan 6.6 KV (lihat Gambar 3). Estimasi total beban yang harus disuplai sebesar 29.14 MW.

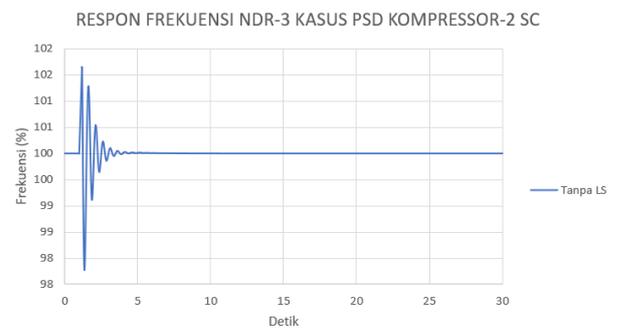
IV. SIMULASI DAN ANALISIS

A. Studi Kasus Kestabilan Transien

Dalam simulasi ini, dilakukan analisis kestabilan transien serta mekanisme pelepasan beban di PT. Sasa Inti Plant Gending sebagai dampak dari gangguan pemadaman PLN, generator outage, dan hubung singkat. Beberapa parameter



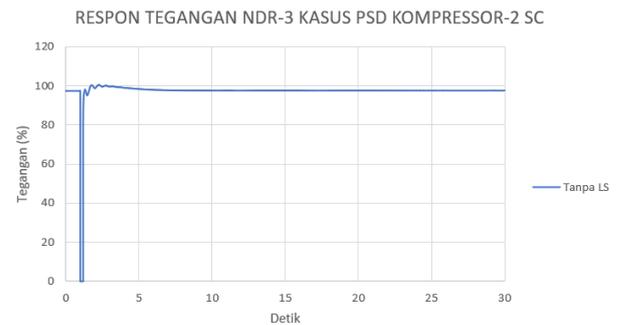
Gambar 13. Respon Tegangan saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip.



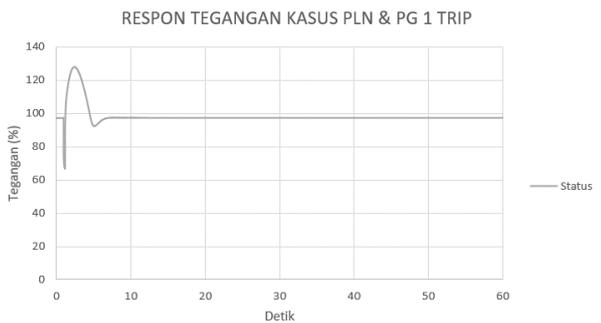
Gambar 16. Respon Frekuensi Bus NDR-3 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus PSD Kompresor-2 3.3 kV.



Gambar 14. Respon Tegangan Saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Berbasis Frekuensi.



Gambar 17. Respon Tegangan Bus NDR-3 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus PSD Kompresor-2 3.3 kV.



Gambar 15. Respon Tegangan Saat Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip Dengan Mekanisme Pelepasan Beban Status.

Gambar 7 menunjukkan respon tegangan ketika Pemadaman PLN, kemudian Gambar 8 menunjukkan respon tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi, penurunan tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi mencapai 78.36% dan kembali steady state pada 97.51%. Kemudian Gambar 9 menunjukkan respon tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status, penurunan tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status mencapai 78.36% dan kembali steady state pada 97.41%. Nilai tersebut sudah masuk batas aman menurut standar IEEE 1159-1995.

utama yang menjadi fokus mencakup respon frekuensi dan tegangan dalam sistem.

B. Simulasi Studi Kasus Pemadaman PLN

Dalam konteks kasus ini, terdapat dua situasi, yakni saat terjadi pemadaman PLN dan ketika pemadaman PLN terjadi bersamaan dengan Pembangkit Gas 1 Trip.

1) Studi Kasus Pemadaman PLN

Pada kasus ini disimulasikan terjadinya pemadaman PLN kemudian dilanjutkan mekanisme pelepasan beban.

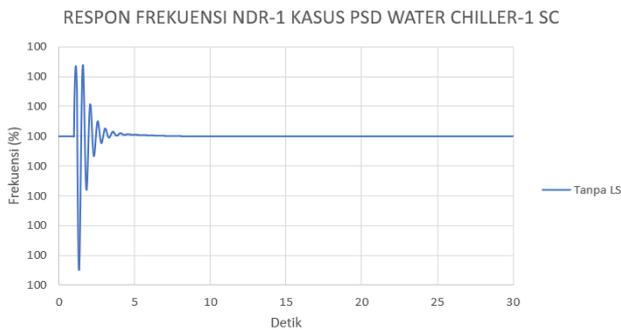
Gambar 4 menunjukkan respon frekuensi ketika Pemadaman PLN, kemudian Gambar 5 menunjukkan respon frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi, penurunan frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi mencapai 95.69% dan kembali steady state pada 99.68%. Kemudian Gambar 6 menunjukkan respon frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status, penurunan frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status mencapai 97.1% dan kembali steady state pada 99.48%. Nilai tersebut sudah masuk batas aman menurut standar IEEE Std C37. 106-2003.

2) Studi Kasus Pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip

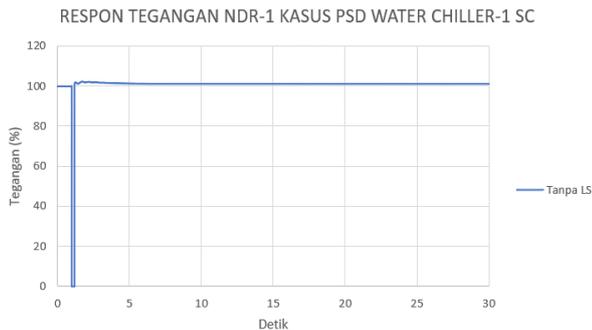
Pada kasus ini disimulasikan terjadinya pemadaman PLN dan Pembangkit Gas 1 Trip bersamaan, kemudian dilanjutkan mekanisme pelepasan beban.

Gambar 10 menunjukkan respon frekuensi ketika Pemadaman PLN dan generator Pembangkit Gas 1 Trip, kemudian Gambar 11 menunjukkan respon frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi, penurunan frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi mencapai 94.94% dan kembali steady state pada 99.64%. Kemudian Gambar 12 menunjukkan respon frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status, penurunan frekuensi setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status mencapai 96.2% dan kembali steady state pada 99.5%. Nilai tersebut sudah masuk batas aman menurut standar IEEE Std C37. 106-2003.

Gambar 13 menunjukkan respon tegangan ketika Pemadaman PLN dan generator Pembangkit Gas 1 Trip bersamaan, kemudian Gambar 14 menunjukkan respon tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban



Gambar 18. Respon Frekuensi Bus NDR-1 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus PSD Water Chiller-1 3.3 kV.



Gambar 19. Respon Tegangan Bus NDR-1 Saat Terjadi Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus PSD Water Chiller-1 3.3 kV.

berbasis frekuensi, penurunan tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban berbasis frekuensi mencapai 67.1% dan kembali steady state pada 97.42%. Kemudian Gambar 15 menunjukkan respon tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status, penurunan tegangan setelah dilakukan mekanisme pelepasan beban status mencapai 67.1% dan kembali steady state pada 97.41%. Nilai tersebut sudah masuk batas aman menurut standar IEEE 1159-1995.

C. Simulasi Studi Kasus Short Circuit

Simulasi kestabilan transien ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus PSD Kompresor-2 3.3 kV.

Dari Gambar 16 menunjukkan bahwa frekuensi bus sempat mengalami drop ketika terjadi gangguan dengan penurunan terendah pada 97.77% namun kembali steady state pada frekuensi 100% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987, frekuensi ini merupakan frekuensi yang masih diperkenankan untuk normal operasi sehingga tidak perlu dilakukan pelepasan beban.

Dari Gambar 17 menunjukkan bahwa tegangan pada bus tersebut mengalami penurunan hingga 0.01% beberapa saat namun akhirnya bisa kembali stabil dan steady state pada 97.49% tegangan nominal. Penurunan tegangan hingga kurang dari 60% dari tegangan nominal akan menyebabkan kontaktor pada bus yang bersangkutan trip. Dengan demikian diperlukan pengaturan relay undervoltage agar pada saat terjadi gangguan kontinuitas pelayanan daya dapat terus terjaga.

Kemudian dilakukan simulasi kestabilan transien ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus PSD Water Chiller-1 3.3 kV.

Dari Gambar 18 menunjukkan frekuensi bus sempat mengalami drop ketika terjadi gangguan dengan penurunan terendah pada 99.55% dan kembali stabil pada frekuensi 100% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987, frekuensi ini merupakan frekuensi yang masih diperkenankan untuk normal operasi sehingga tidak perlu dilakukan pelepasan beban.

Dari Gambar 19 menunjukkan bahwa tegangan pada bus tersebut mengalami penurunan hingga 0.01% beberapa saat namun akhirnya bisa kembali stabil dan steady state pada 101.28% tegangan nominal. Penurunan tegangan hingga kurang dari 60% dari tegangan nominal akan menyebabkan kontaktor pada bus yang bersangkutan trip. Dengan demikian diperlukan pengaturan relay undervoltage agar pada saat terjadi gangguan kontinuitas pelayanan daya dapat terus terjaga.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pengujian simulasi yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan: (a) PT Sasa Inti Plant Gending, selain mendapatkan suplai listrik dari PLN, juga dilengkapi dengan dua generator Pembangkit Gas untuk memenuhi kebutuhan pabrik sebesar 29.07 MW. (b) Pada situasi pemadaman PLN dan lepasnya generator Pembangkit Gas 1, sistem menghadapi risiko underfrequency dalam waktu singkat. Hal ini disebabkan oleh kapasitas daya pembangkit yang relatif kecil, sehingga kehilangan pembangkitan terbesar dapat terjadi. (c) Skema pelepasan beban yang berbasis frekuensi dan status terbukti mampu dalam mengatasi gangguan. Respon frekuensi dan tegangan sesuai dengan standar, dan skema ini mampu mencegah terjadinya blackout. (d) Hasil skema status menunjukkan respons yang sesuai dengan standar untuk frekuensi dan tegangan. Skema ini berhasil meminimalkan jumlah beban yang dilepas, mempertimbangkan besarnya daya yang dilepaskan dan kembali mengembalikan kestabilan sistem dengan cepat dibandingkan dengan skema lainnya, dengan tetap memperhatikan batas kemampuan daya tiap generator. (e) Pada kasus hubung singkat, terdapat penurunan tegangan mendekati 0% pada level tegangan 3.3 kV. Meskipun demikian, respon frekuensi tetap dalam kondisi aman. (f) Hasil dari kedua skema rekomendasi menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengatasi gangguan, sehingga dapat dijadikan sebagai skema pelepasan beban yang optimal untuk sistem ini.

REFERENSI

- [1] PT Sasa Inti. Tentang Kami. PT Sasa Inti." Jakarta.
- [2] L. L. Grigsby, *The Electric Power Engineering Handbook*. London: CRC Press, 2012.