

STUDI PELEPASAN BEBAN PADA SKEMA PERTAHANAN (*DEFENCE SCHEME*) JARINGAN SISTEM KHATULISTIWA

Erni Noviyani¹⁾, Junaidi²⁾, Purwo Harjono³⁾
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
e-mail: erninoviyan@gmail.com¹⁾, juntek@gmail.com²⁾,

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinerja skema pelepasan beban yang merupakan bagian dari skema pertahanan (*defence scheme*) yang ada di sistem khatulistiwa. Penelitian ini dilakukan dimulai dari penelusuran literatur tentang data spesifikasi generator, data frekuensi sistem saat terjadi gangguan dan data gangguan di lapangan yang menyebabkan skema pelepasan beban UFR bekerja dilanjutkan dengan melakukan evaluasi dan perhitungan. Dari penelitian ini dapat diperoleh bahwa idealnya sebuah skema pelepasan beban memiliki kriteria yang harus dipenuhi, yaitu pelepasan beban dilakukan secara bertahap, beban yang dilepaskan harus seminimal mungkin, dan beban yang dipilih harus memenuhi kriteria tertentu yang tidak merugikan perusahaan apabila dilepas. Dari hasil penelitian terlihat bahwa skema pelepasan beban yang ada di lapangan sudah berada pada kondisi ideal atau berhasil. Laju pemulihan frekuensi hasil penelitian menunjukkan pelepasan beban mulai 8 MW – 11 MW memulihkan frekuensi dari 51.18 Hz – 50.34 Hz.

Kata kunci: Pelepasan beban, UFR, *Load Shedding*, Frekuensi rendah

1. Latar Belakang

Pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat khususnya Sistem Khatulistiwa, memiliki frekuensi gangguan yang sangat tinggi (berdasarkan pada data gangguan PLN APDP 2013). Sebagian besar gangguan tersebut bersifat sementara (*temporer*), yang akan segera hilang setelah PMT membuka (*trip*). Masalah lain pada sistem khatulistiwa adalah defisitnya neraca daya yang disebabkan berkurangnya daya mampu sehingga sering mengakibatkan unit pengatur beban melakukan MLS (*Manual Load Shedding*). Gangguan pada sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem khatulistiwa dapat menyebabkan ketidakstabilan bahkan menuju ke arah yang lebih buruk lagi yaitu pemadaman total (*blackout*). Untuk itu diperlukan skema pertahanan (*Defence Scheme*) yang berfungsi untuk melakukan tindakan segera (*immediate action*) untuk mengatasi gangguan agar tidak terjadi terlalu banyak pemadaman sebagian atau pemadaman total (*blackout partial / blackout total*) agar sistem kembali ke keadaan operasi optimal. Pada umumnya suatu sistem tenaga listrik dikatakan sebagai sistem yang baik jika memenuhi beberapa persyaratan, yaitu: keandalan, kualitas, dan kestabilan. Dalam sistem tenaga listrik yang baik maka ketiga syarat tersebut harus dipenuhi yaitu sistem harus mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan. Untuk jaringan yang sangat kompleks dimana beberapa

pembangkit saling terkoneksi satu sama lain maka keluaran daya elektrik berupa besaran seperti tegangan dan frekuensi haruslah diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan pembangkit yang lain bebannya kecil.

Salah satu bagian dari *Defence Scheme* adalah pelepasan beban. Pelepasan beban dapat dilakukan secara manual maupun otomatis, hal ini bergantung kepada besar penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Semakin besar kelebihan beban yang terjadi maka semakin besar pula penurunan frekuensi yang terjadi. Untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan maka pelepasan beban pun semakin cepat dilakukan. Dengan menggunakan skema pelepasan beban menggunakan rele frekuensi rendah (UFR) diharapkan penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik cepat teratasi tanpa menimbulkan kerugian yang signifikan terhadap perusahaan. Pelepasan beban ini diatur untuk mengatasi penurunan frekuensi secara tiba-tiba akibat hilangnya pasokan daya sistem.

2. Dasar Teori

2.1 Definisi Skema Pertahanan (*Defence Scheme*)

Skema pertahanan (*Defence Scheme*) adalah suatu tindakan dalam mempertahankan sistem dari hal – hal yang tidak diinginkan seperti pemadaman (*blackout*) partial / sebagian dan pemadaman total. Skema pertahanan diperlukan agar

sistem kelistrikan tidak mengalami keruntuhan sistem (*collapsed*). Tindakan – tindakan yang dilakukan dalam cakupan skema pertahanan / *defence scheme* adalah *Manual Load Shedding (MLS)*, *Brown Out*, *Load Shedding (Under Frekuensi Relay)*, *Island Operation* dan *host load*.

Load shedding adalah pelepasan beban secara sengaja (otomatis / manual) dengan pemutusan beban tertentu oleh sistem karena kejadian abnormal, untuk mempertahankan integritas Jaringan dan menghindari pemadaman yang lebih besar. Pelepasan beban otomatis ini terjadi jika terjadi gangguan suplai pembangkit yang mengakibatkan sistem mengalami defisit secara tiba-tiba dan tidak dapat diseimbangkan dengan *Manual Load Shedding*. Pelepasan beban otomatis ini bekerja berdasarkan pengaturan setting frekuensi sistem yang menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*). *Load Shedding* dilaksanakan apabila terjadi penurunan frekuensi secara tiba-tiba (dan menyentuh setting) yang disebabkan hilangnya pasokan daya sistem. Pelepasan beban dilakukan seketika dan secara otomatis dengan menggunakan relai UFR. Dalam praktek pelepasan beban (*load shedding*) dilakukan dengan memasang UFR pada berbagai penyulang distribusi yang dipilih menurut kondisi setempat. Jumlah UFR pada penyulang (*feeder*) harus sedikitnya cukup untuk melepas beban sebesar unit terbesar dalam sistem.

2.2 Sistem Pembangkitan Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu rangkaian proses dan penghasilan energi listrik hingga energi tersebut dimanfaatkan bagi banyak orang secara aman. Energi listrik mula – mula dibangkitkan oleh generator yang memanfaatkan berbagai penggerak utama. Dalam hal ini yang dihasilkan oleh generator adalah suatu tegangan dan arus yang nantinya akan ditransmisikan ke beban. Kemudian, tahap yang harus dilalui oleh tegangan tersebut sebelum dimanfaatkan oleh konsumen adalah transmisi tenaga listrik. Komponen penting yang terdapat dalam transmisi tenaga listrik adalah transformator penaik tegangan (*Step Up*) dan saluran transmisi. Hal ini penting dilakukan karena pada umumnya letak pembangkit cukup jauh dari konsumen, untuk mengurangi rugi – rugi daya ketika penyaluran maka tegangan

sistem dinaikan sehingga arus transmisi kecil. Untuk dimanfaatkan oleh peralatan listrik yang dimiliki oleh konsumen, tegangan dari sistem transmisi masuk ke sistem distribusi. Pada sistem ini yang dibutuhkan adalah transformator penurun tegangan (*Step Down*) dan saluran distribusi. Penurunan tegangan yang dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan peralatan listrik. Untuk menghasilkan energi listrik yang handal dan aman bagi peralatan diperlukan sistem proteksi.

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Pada generator sinkron, suatu sumber arus DC dihubungkan dengan kumparan rotor atau kumparan medan. Hal ini mampu menghasilkan suatu medan magnet rotor. Rotor tersebut kemudian diputar oleh penggerak utama (*Prime Mover*) sehingga muncul medan magnet putar pada mesin. Medan magnet tersebut menembus stator sehingga menghasilkan fluks magnet. Ketika rotor berputar maka terjadi perubahan sudut yang dibentuk oleh normal bidang yang ditembus fluks (stator) dan kerapatan fluks setiap detiknya. Perubahan tersebut akan menghasilkan suatu gaya gerak listrik (ggl) induksi. Ggl induksi tersebut mampu menghasilkan arus apabila generator dihubungkan dengan suatu beban sehingga membentuk suatu rangkaian tertutup.

Apabila beban yang dihubungkan dengan generator bersifat induktif maka arus yang dihasilkan terlambat (*lagging*) terhadap tegangan, begitu juga apabila beban yang hubungkan bersifat kapasitif maka arus yang dihasilkan mendahului (*leading*) tegangan. Arus - arus pada stator dapat menghasilkan medan magnet stator. Medan magnet stator menghasilkan tegangan stator. Tegangan output dari generator adalah resultan tegangan induksi dan tegangan stator. Tegangan ini merupakan tegangan AC (*Alternating Current*), karena terdapat tiga kumparan jangkar pada stator yang dipasang melingkar dan membentuk sudut 120° satu sama lain. Pemasangan tipe kumparan tersebut menghasilkan AC 3 fasa.

2.4 Gangguan Beban Lebih

Terjadinya beban lebih suatu sistem tenaga listrik antara lain adalah akibat adanya pembangkit yang dapat menyuplai daya yang sangat besar keluar dari sistem sehingga mengakibatkan jumlah beban tidak

seimbang. Hal ini tidak boleh dibiarkan terjadi karena akan mempengaruhi kinerja generator.

2.4.1 Penanggulangan Untuk Gangguan Beban Lebih

Suatu sistem tenaga listrik hendaknya memiliki daya yang dihasilkan oleh pembangkit minimal sama dengan beban yang ditanggungnya termasuk juga rugi-rugi daya yang mungkin terjadi pada sistem tersebut. Namun, demi keamanan dan keandalan sistem, sistem pembangkit lebih baik menyiapkan cadangan daya.

2.5. Hubungan Antara Frekuensi dan Daya Aktif

Suatu generator bekerja menghasilkan suatu daya keluaran yang disalurkan ke beban. Pada umumnya daya yang dihasilkan generator besarnya sesuai dengan permintaan daya pada beban. Namun, kenyataannya daya yang dihasilkan generator lebih besar bila dibandingkan dengan permintaan daya beban karena terdapat rugi-rugi daya di sepanjang saluran transmisi dan distribusi.

2.6 Pelepasan Beban

Jika terdapat gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya yang tersedia tidak dapat melayani beban, misalnya karena ada unit pembangkit yang besar jatuh (*trip*) atau beberapa unit pembangkit, maka indikasi pertama adalah turunnya tegangan dan frekuensi. Kadang jatuh tegangan dapat juga terjadi karena gangguan *short circuit* pada sistem. Kehilangan pembangkit secara tiba-tiba dapat menyebabkan turunnya frekuensi maka untuk menghindarkan sistem menjadi *collapsed* perlu dilakukan pelepasan beban. Pelepasan beban merupakan salah satu fenomena yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik yang mengijinkan adanya beberapa beban keluar dari sistem sehingga menghasilkan sistem tenaga listrik. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya beban lebih pada sistem, sehingga untuk dapat mengembalikan kondisi sistem agar seperti sediakala diperlukan pelepasan beberapa beban tertentu. Suatu sistem tenaga listrik yang bekerja secara normal memiliki daya permintaan beban dan rugi-rugi daya transmisi. Adanya ketidaknormalan yang disebabkan oleh terjadinya beban lebih pada

umumnya dipicu oleh beberapa hal, antara lain:

- a. Ada pembangkit yang lepas dari sistem yang mengakibatkan beban yang seharusnya disuplai oleh pembangkit tersebut menjadi tanggungan pembangkit lain.
- b. Adanya gangguan pada saluran transmisi sehingga ada beberapa beban yang tidak dapat disuplai oleh salah satu pembangkit dalam sistem interkoneksi.

Keadaan yang kritis dalam sistem karena jatuhnya unit pembangkit dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Pada sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan karena lepasnya (*trip*) unit generator yang besar dapat mengurangi aliran daya aktif yang mengalir ke beban, sehingga menyebabkan generator-generator yang lain dipaksa bekerja. Jika hal ini berlangsung terus menerus dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada batang kopel generator karena dipaksa bekerja. Untuk itu diperlukan *under frequency relay* yang berfungsi untuk mendeteksi penurunan frekuensi sistem secara tiba-tiba akibat adanya unit pembangkit besar yang lepas dari sistem. Salah satu cara untuk menaikkan frekuensi tersebut adalah dengan melepas beban. Makin besar unit pembangkit yang jatuh (makin besar daya tersedia yang hilang) makin cepat frekuensi menurun. Kecepatan penurunan frekuensi juga bergantung kepada besar kecilnya inersia sistem. Makin besar inersia sistem, makin kokoh sistemnya, makin lambat turunnya frekuensi. (Djitung Marsudi: 2006). Perancangan skema pelepasan beban dapat dilakukan apabila memenuhi beberapa syarat. Syarat tersebut harus dipenuhi agar tidak menimbulkan permasalahan bagi sistem tenaga listrik setelah pelepasan beban. Syarat tersebut antara lain:

- a. Pelepasan beban dilakukan secara bertahap dengan tujuan apabila pada pelepasan tahap pertama frekuensi belum juga pulih masih dapat dilakukan pelepasan beban tahap berikutnya untuk memperbaiki frekuensi.
- b. Jumlah beban yang dilepaskan hendaknya seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik dalam memperbaiki frekuensi.

- c. Beban yang dilepaskan harus memenuhi kriteria tertentu yang tidak merugikan perusahaan apabila dilepas. Beban yang memiliki prioritas paling rendah dibandingkan beban lain dalam suatu sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu seluruh beban terlebih dahulu diklasifikasikan menurut kriteria – kriteria tertentu.
- d. Pelepasan beban dilakukan tepat guna yaitu pada saat benar-benar terjadi penurunan frekuensi akibat beban lebih. Oleh karenanya harus ditentukan waktu tunda minimum relay untuk mendeteksi apakah penurunan frekuensi generator akibat beban lebih atau pengaruh lain seperti misalnya masuknya beban yang sangat besar ke dalam sistem secara tiba – tiba.

Pelepasan beban dapat mencegah:

- Penuaan yang semakin cepat dari komponen mekanik generator yang disebabkan oleh penurunan frekuensi. Penurunan frekuensi yang cukup parah menimbulkan getaran (vibrasi) yang berlebihan pada sudu turbin. Hal ini mampu memperpendek usia pakai peralatan.
- Pertimbangan pemanasan. Berkurangnya frekuensi menyebabkan berkurangnya kecepatan putaran motor pendingin generator, berakibat berkurangnya sirkulasi udara (ventilasi) yang dapat menyebabkan pemanasan pada generator.

Terjadinya eksitasi lebih. Ketika terjadi penurunan frekuensi pada generator pada tegangan normal, arus eksitasi generator semakin meningkat hal ini memicu terjadinya eksitasi lebih. Eksitasi lebih ini ditandai dengan fluks berlebih yang dapat menyebabkan munculnya arus pusar. Arus pusar tersebut dapat menyebabkan pemanasan pada inti generator.

Untuk mendapatkan nilai frekuensi kerja rele dan besar beban efektif yang harus dilepaskan pada setiap tahap pelepasan beban setelah membuat kombinasi generator lepas adalah menghitung laju penurunan frekuensi setiap kombinasi generator lepas. Untuk dapat menghitung besar laju penurunan frekuensi digunakan persamaan *swing* generator :

$$\frac{df}{dt} = \left(\frac{P_s}{2GH}\right) \times f_0 \quad (1)$$

Dimana, $\frac{df}{dt}$ = laju penurunan frekuensi, P_s =kelebihan beban, G = rata-rata MVA generator, H = rata-rata konstanta inersia generator, f_0 = frekuensi nominal. Nilai rata-rata konstanta inersia dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$H \text{ total} = \frac{H_1 MVA_1 + H_2 MVA_2 + \dots + H_n MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_n} \quad (2)$$

2.6.1 Akibat Beban Lebih pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan berupa beban lebih dapat mempengaruhi keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dan permintaan beban sehingga menyebabkan beberapa hal yang dapat mengganggu kestabilan sistem, yaitu:

- Penurunan tegangan sistem
- Penurunan frekuensi

2.6.2. Perancangan Suatu Skema Pelepasan Beban Otomatis

Untuk merancang suatu skema pelepasan beban otomatis, hal pertama yang harus diperhatikan adalah:

- Model yang menggambarkan mesin pembangkit yang berbeda (model mesin sederhana).
- Parameter beban yang harus dilepaskan dalam sistem.
- Kriteria untuk setting relay frekuensi.

Parameter yang digunakan suatu skema pelepasan beban. Aspek – aspeknya adalah:

- Beban maksimum yang harus diputus atau dilepas.
- Frekuensi awal dari skema pelepasan beban (biasanya $\pm 93\%$ dari frekuensi nominal) agar tidak terjadi kerusakan.
- Frekuensi minimum yang diperbolehkan.

Untuk mendapatkan nilai frekuensi saat pemutus tenaga benar-benar bekerja digunakan rumus sebagai berikut:

$$f \text{ load shedding} = [f_0 - \left(\frac{df}{dt} \times t \text{ trip}\right)] \quad (3)$$

Pelepasan beban akan dilakukan ketika frekuensi turun hingga batas yang ditentukan (49.2 Hz). Pelepasan beban diawali dengan waktu frekuensi sistem turun hingga 49.2 Hz

dari 50 Hz yang menandai adanya kehilangan pembangkitan. Dengan batas frekuensi minimum 47 Hz. Untuk menghitung waktu trip yang digunakan untuk menentukan perkiraan frekuensi akhir dimana saat pelepasan beban dilakukan setelah frekuensi tertinggi untuk trip terdeteksi yaitu dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$T_{\text{trip}} = T_{\text{pick up}} + T_{\text{relay}} + T_{\text{CB}} \quad (4)$$

2.6.3. Kriteria Untuk Setting Relay Frekuensi

Penurunan frekuensi akibat beban lebih yang sangat besar diperlukan suatu pelepasan beban untuk memulihkan frekuensi. Besarnya laju penurunan frekuensi sangat berpengaruh terhadap beberapa hal, antara lain:

- Jenis pelepasan beban yang dilakukan.
- Waktu tunda relay.
- Jumlah beban yang dilepas.

Untuk menentukan setting relay frekuensi hal yang harus diperhatikan adalah: waktu kerja (waktu operasi/trip). Waktu trip dipengaruhi oleh 3 waktu, yaitu:

a. waktu *pick-up*

b. waktu rele

c. waktu pemutus tenaga

2.7. Laju Pemulihan Frekuensi

Besar beban yang dilepaskan dari suatu sistem untuk memulihkan frekuensi generator disesuaikan dengan tingkat frekuensi acuan yang telah diatur pada rele. Untuk mendapatkan besarnya nilai beban yang harus dilepaskan terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan dengan mempertimbangkan keandalan sistem, yaitu:

- Frekuensi yang diharapkan setelah pelepasan beban
- Waktu pemulihan

Laju pemulihan frekuensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$f_0 = f + \frac{df}{dt} \times t \quad (5)$$

3. Setting UFR Sistem Khatulistiwa

Untuk mengetahui pada frekuensi berapa setting pelepasan beban dimulai,

maka berikut ini adalah tabel setting relay frekuensi sistem khatulistiwa.

Tabel 1.1 Setting UFR Sistem Khatulistiwa

| No | Load Shedding | Setting Frekuensi (Hz) | Beban (MW) |
|----|---------------|--------------------------|------------|
| 1. | UFR tahap-1 | 49.2 | 8 |
| 2. | UFR tahap-2 | 49.1 | 8 |
| 3. | UFR tahap-3 | 49.0 | 9 |
| 4. | UFR tahap-4 | 48.9 | 9 |
| 5. | UFR tahap-5 | 48.8 | 10 |
| 6. | UFR tahap-6 | 48.7 | 10 |
| 7. | UFR tahap-7 | 48.6 | 11 |
| 8. | UFR df/dt | 2 Hz/s | 12 |

4. Data Pelepasan Beban Sistem Khatulistiwa

Berikut ini merupakan data pelepasan beban UFR yang dilakukan sistem khatulistiwa dalam beberapa tahap.

Tabel 2.2 Data pelepasan beban UFR Tahun 2014

| No | Tanggal / Jam | Beban trip (MW) | Tahap | Frekuensi trip (Hz) yang terjadi di lapangan |
|----|------------------------|-----------------|-------|--|
| 1 | 18-02-2014/ Pkl. 15:44 | 8 | 1 | 49.2 |
| | | 8 | 2 | 49.1 |
| | | 9 | 3 | 49.0 |
| 2 | 27-04-2014/ Pkl. 05:55 | 8 | 1 | 49.2 |
| | | 8 | 2 | 49.1 |
| | | 9 | 3 | 49.0 |
| | | 9 | 4 | 48.9 |
| | | 10 | 5 | 48.8 |

| | | | | |
|---|------------------------|---|---|------|
| 3 | 14-07-2014/ Pkl. 16:18 | 8 | 1 | 49.2 |
| | | 8 | 2 | 49.1 |
| | | 9 | 3 | 49.0 |
| 4 | 24-08-2014/ Pkl. 20:50 | 8 | 1 | 49.2 |
| | | 8 | 2 | 49.1 |
| | | 9 | 3 | 49.0 |
| | | 9 | 4 | 48.9 |
| 5 | 26-08-2014/ Pkl. 18:04 | 8 | 1 | 49.2 |
| | | 8 | 2 | 49.1 |
| | | 9 | 3 | 49.0 |
| | | 9 | 4 | 48.9 |

4.1. Laju Pemulihan Frekuensi

Setelah dilakukan perhitungan laju penurunan frekuensi pada gangguan tahun 2014 dan tahun 2015, maka perlu dilakukan perhitungan untuk laju pemulihan frekuensi dalam beberapa tahap juga. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar tingkat laju pemulihan frekuensi yang terjadi di sistem khatulistiwa.

Berikut ini merupakan data laju pemulihan frekuensi dan beban yang dilepaskan dalam beberapa tahap.

Tabel 1.3. Laju pemulihan Frekuensi dan Beban Lepas

| Tahap ke | Setting Frekuensi | Laju Pemulihan Frekuensi (Hz) | Beban yang Dilepaskan (MW) | Frekuensi Setelah Pemulihan (Hz) |
|----------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 49.2 | 4.838 | 8 | 51.18 |
| 2 | 49.1 | 4.828 | 8 | 50.40 |
| 3 | 49.0 | 5.42 | 9 | 50.45 |
| 4 | 48.9 | 5.41 | 9 | 50.34 |

| | | | | |
|---|------|------|----|-------|
| 5 | 48.8 | 5.99 | 10 | 50.39 |
| 6 | 48.7 | 5.98 | 10 | 50.29 |
| 7 | 48.6 | 6.57 | 11 | 50.34 |

5. Analisa dan Pembahasan

Dari data gangguan tahun 2014 dan tahun 2015, setelah dilakukan pengamatan di lapangan dan setelah dilakukan perhitungan, maka dapat dianalisa apakah skema pelepasan beban yang ada di sistem khatulistiwa dapat dikatakan berhasil. Dari data yang ada di lapangan dapat dianalisa bahwa skema pelepasan beban UFR yang diaplikasikan di sistem khatulistiwa telah memenuhi syarat keberhasilan dan telah memenuhi standard yang diberlakukan oleh PLN, karena setelah melalui perhitungan dari beberapa gangguan yang terjadi di sistem khatulistiwa antara data perhitungan dan data di lapangan setiap tahapan pelepasan bebannya dapat mengembalikan frekuensi sistem ke frekuensi nominal yaitu 50 Hz. Serta bisa mengurangi pemadaman secara total yang sering terjadi di sistem khatulistiwa sebelum *Under Frequency Relay Load Shedding* diaplikasikan di sistem khatulistiwa.

6. Simpulan

Berdasarkan hasil studi pelepasan beban atau analisa yang telah dilakukan pada skema pelepasan beban sistem khatulistiwa maka dapat disimpulkan:

1. Skema pelepasan beban yang dilakukan oleh sistem khatulistiwa telah memenuhi standard yang diberlakukan oleh PT. PLN APDP, dan berhasil serta telah mengurangi gangguan agar tidak meluas, dilihat dari data di lapangan selama kurun waktu 5 tahun, telah terjadi penurunan pemadaman total (*blackout total*). Ketika terjadi gangguan generator lepas yang mengakibatkan penurunan frekuensi karena sistem kekurangan suplai daya aktif, generator dengan nilai konstanta inersia lebih kecil dan bekerja dengan pengaturan governor *droop* mengalami ketidakstabilan

dengan menghasilkan peningkatan suplai daya aktif lebih besar daripada yang seharusnya disuplai untuk memenuhi kekurangan suplai daya aktif tersebut. Nilai konstanta inersia suatu generator mempengaruhi kerja generator dalam menghasilkan suplai daya aktif.

[11] PT. PLN (Persero) APDP. 2015. “*Data Operasi Sistem Khatulistiwa*”. Pontianak

Referensi

- [1] PT. PLN (Persero) APDP. 2014. “*Data Operasi Sistem Khatulistiwa*”. Pontianak
- [2] Marsudi, Djiteng. 2006. “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Nugraheni, Ari. 2009. “*Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd*”. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [4] Lokay, H.E., and V. Burntyk. 1968. “*Application of Underfrequency Relays for Automatic Load Shedding*”.
- [5] M Gers, Juan., and J Holmes, Edward. 2004 “*Protection of Electricity Distribution Networks*” United kingdom: Herts, Six Hill Way Stevenage
- [6] Warren C. New. 1974. “*Load Shedding, Load Restoration and Generator Protection Using Solid-state and Electromechanical Underfrequency Relays*” Philadelphia, Pa : General Electric Company.
- [7] Power Systems Relaying Committee. 2007. “*IEEE Guide for the Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load Shedding and Restoration*”. New York : 3 Park Avenue.
- [8] Uman P, Dimas Fajar. 2011. “*Under Frequency Load Shedding Berbasis Fuzzy Logic Controller Menggunakan Metode Gradien Frekuensi Pada Sistem Jawa – Bali 500 kV* “. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- [9] Chaerah G, Indar. 2009. “*Studi Laju Penurunan Frekuensi Pada Saat PLTG Sengkang Lepas Dari Sistem SULSELTRABAR*” . Sulawesi Selatan: Universitas Hasanuddin.
- [10] Kundur, Prabha.1993. “*Power System Stability and Control*”. British Columbia: Mc.Graw-Hill, Inc.