

**ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA INTERKONEKSI  
DUA GENERTOR SINKRON TIGA FASA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA MIKROHIDRO DI DESA ANDUNGBIRU KECAMATAN  
TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO**

**Publikasi Jurnal Skripsi**



Disusun Oleh :

**JANUAR MUTTAQIN**

**NIM : 0610630053 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp& Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE  
PJ-01**

**PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA : JANUAR MUTTAQIN**

**NIM : 0610630053**

**PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA  
INTERKONEKSI DUA GENERTOR SINKRON TIGA FASA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI  
DESA ANDUNGBIRU KECAMATAN TIRIS KABUPATEN  
PROBOLINGGO**

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Soemarwanto, MT.  
NIP. 19500715 198003 1 002**

**Ir. Hery Purnomo, MT.  
NIP. 19550708 198212 1 001**

# ANALISIS KESTABILAN SISTEM DAYA PADA INTERKONEKSI DUA GENERATOR SINKRON TIGA FASA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DESA ANDUNGBIRU KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO

Januar Muttaqin<sup>1</sup>, Ir. Soemarwanto, MT.<sup>2</sup>, Ir. Hery Purnomo MT.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, <sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [januarmuttaqin@gmail.com](mailto:januarmuttaqin@gmail.com)

**Abstract** - Micro hydro power plant (MHP) is widely applied in the highland villages or mountains that still have natural water sources are quite abundant. One example of its application is in the Village Andungbiru Kecamatan Tiris Probolinggo. At the MHP There are 2 power 3-phase synchronous generator with a capacity of 40 kVA and 16 kVA. Both generators are not interconnected, so in this study attempted to interconnect the two generators then simulates the power system stability both before and after to determine whether the interconnected power system on both MHP in stable condition. The simulations were analyzed stability is the stability of the voltage and rotor angle at the time before, during and after an interruption. From the results of this analysis were then compared whether the two generators both before and after the stability of the interconnected system is still in a stable state or not.

**Keywords** - MHP, interconnection, system stability, stabilitas voltage, rotor angle stability.

**Abstrak** - Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) banyak diterapkan di desa-desa dataran tinggi atau pegunungan yang masih memiliki sumber air alami yang cukup berlimpah. Salah satu contoh penerapannya ada di Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo. Pada PLTMH tersebut terdapat 2 pembangkit yaitu generator sinkron 3 fasa berkapasitas 40 kVA dan 16 kVA. Kedua generator tersebut belum diinterkoneksi, sehingga pada penelitian ini dicoba untuk menginterkoneksi kedua generator kemudian menyimulasikan kestabilan sistem daya baik sebelum dan setelah diinterkoneksi untuk mengetahui apakah sistem daya pada kedua PLTMH dalam keadaan stabil. Simulasi kestabilan ini yang dianalisis adalah stabilitas tegangan dan sudut rotornya pada waktu sebelum, saat dan setelah terjadi gangguan. Dari hasil analisis ini kemudian dibandingkan apakah kedua generator baik sebelum dan setelah diinterkoneksi stabilitas sistemnya masih dalam keadaan stabil atau tidak.

**Kata Kunci** – PLTMH, interkoneksi, kestabilan sistem, stabilitas tegangan, stabilitas sudut rotor.

## I. PENDAHULUAN

Pada bulan Januari tahun 2012, PT. PGN (Persero) Tbk dan BPP Fakultas Teknik Universitas Brawijaya mendirikan PLTMH baru (PLTMH Andungbiru 2) di desa Andungbiru yang diletakkan sejajar dan disamping PLTMH lama (PLTMH Andungbiru 1) dengan kemampuan pembangkitan daya sebesar 16 kVA. Sehingga desa Andungbiru memiliki 2 PLTMH yaitu PLTMH Andungbiru 1 yang berdaya 40 kVA dan PLTMH Andungbiru 2 yang berdaya 16

kVA. PLTMH tersebut ditujukan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik di desa Andungbiru yang terus bertambah. Kedua PLTMH di tersebut masih bekerja secara terpisah, oleh karena itu setiap PLTMH memiliki jaringan listrik masing-masing atau dengan kata lain tidak terinterkoneksi antara satu dengan yang lain. Sehingga dengan harapan kontinuitas pendistribusian listrik PLTMH bisa lebih baik dan terjamin maka pada penelitian ini akan dicoba untuk menginterkoneksi generator yang telah ada dan menganalisis stabilitas sistem daya sebelum dan sesudah diinterkoneksi jika terjadi gangguan pada sistem yang sebisa mungkin disesuaikan dengan keadaan yang ada dilapangan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Interkoneksi generator

Operasi interkoneksi pusat-pusat tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan interkoneksi satu generator dengan generator lain dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran-saluran interkoneksi yang biasa disebut sinkronisasi. Adapun tujuan dari operasi interkoneksi generator antara lain :

1. Mendapatkan daya yang lebih besar.
2. Berfungsi sebagai daya cadangan tambahan untuk permintaan beban yang suatu ketika bertambah.
3. Untuk pemadaman satu mesin dan penyalaan mesin standby tanpa adanya pemutusan aliran daya.
4. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

Dalam melakukan sinkronisasi dua buah generator atau lebih Syarat-syarat yang harus dipenuhi ialah :

- Tegangan dari kedua Generator yang diparalelkan harus sama.
- Frekuensi dari kedua generator harus sama.
- Sudut fasa dari kedua generator harus sama.
- Urutan fasa dari kedua generator harus sama.

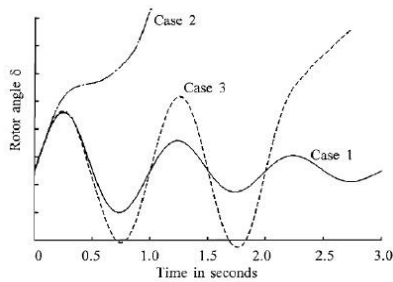
### B. Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

#### 1. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor merupakan kemampuan mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada sistem untuk tetap sinkron pada operasi normal dan setelah mengalami gangguan [1].

Untuk kemudahan dalam analisis dan untuk mendapatkan manfaat tentang sifat masalah stabilitas, biasanya fenomena stabilitas sudut rotor dikarakteristikan menjadi dua kategori berikut [2] :

- a. Stabilitas sinyal kecil (atau gangguan kecil) adalah kemampuan dari sistem daya untuk menjaga sinkronisasi dalam gangguan kecil. Gangguan tersebut terjadi terus menerus pada sistem karena variasi kecil dalam beban.
- b. Stabilitas peralihan merupakan kemampuan dari sistem daya untuk menjaga sinkronisasi ketika terjadi gangguan peralihan. Stabilitas tergantung pada keadaan operasi awal dari sistem dan tingkat gangguan. Gambar 1. memperlihatkan perilaku mesin sinkron dalam keadaan stabil dan tidak stabil.



Gambar 1. Respon sudut rotor pada saat terjadi gangguan  
 Sumber : Prabha Kundur ,1994: 26

2. Persamaan Ayunan

Dalam sebuah mesin sinkron, penggerak utama memberikan sebuah torsi mekanis  $T_m$  pada poros mesin dan mesin menghasilkan suatu torsi elektromagnetik  $T_e$ . Jika, sebagai akibat dari gangguan, torsi mekanis lebih besar daripada torsi elektromagnetik, sebuah torsi percepatan  $T_a$  adalah [1] :

$$T_a = T_m - T_e \tag{1}$$

dengan :

- $T_a$  : torsi percepatan
- $T_m$  : torsi mekanis
- $T_e$  : torsi elektromagnetik

Dalam hal ini torsi lain yang disebabkan oleh gesekan, rugi-rugi inti, dan angin dalam mesin diabaikan.  $T_a$  memiliki efek mempercepat mesin, dengan inersia  $J$  ( $kg.m^2$ ) yang terdiri dari inersia dari generator dan penggerak utama dan oleh karena itu Persamaan (1) dinyatakan sebagai [1] :

$$J (d\omega_m)/dt = T_a = T_m - T_e \tag{2}$$

dengan :

- $J$  : inersia mesin ( $kg.m^2$ )
- $t$  : waktu dalam detik
- $\omega_m$  : kecepatan sudut mekanik rotor mesin dalam rad/s

Hal ini secara umum dapat menunjukkan persamaan inersia mesin yang konstan. Jika  $\omega_{0m}$  adalah rentang kecepatan sudut mekanik dalam rad/s,  $J$  dapat ditulis sebagai berikut [1] :

$$J 2H/(\omega_{0m}^2) \llbracket VA \rrbracket \text{ dasar} \tag{3}$$

dengan :

- $H$  : konstanta inersia mesin (MJ/MVA)
- $VA$  dasar : daya dasar (MVA)

Sehingga,  $2H/(\omega_{0m}^2) \llbracket VA \rrbracket \text{ das } (d\omega_m)/dt = T_m - T_e \tag{4}$

Dan sekarang, jika  $\omega_r$  menunjukkan kecepatan sudut rotor (rad/s) dan nilai  $\omega_0$  pada rentangnya, persamaan dapat ditulis sebagai [1] :

$$2H (d\omega_r)/dt = T_m - T_e \tag{5}$$

Akhirnya dapat ditunjukkan bahwa :

$$(d\omega_r)/dt = (d^2\delta)/(\omega_0 dt^2) \tag{6}$$

di mana  $\delta$  adalah posisi sudut dari rotor sehubungan dengan suatu putaran sinkron terhadap acuan.

Berdasarkan Persamaan (5) dan (6) akan diperoleh:

$$2H/\omega_0 (d^2\delta)/(dt^2) = T_m - T_e \tag{7}$$

Dengan mengingat bahwa daya adalah hasil kali momen putar dengan kecepatan sudutnya, sehingga diperoleh:

$$2H/\omega_0 d\omega/dt = P_m - P_e \tag{8}$$

dan dapat diperoleh pula suatu persamaan dengan pertimbangan kecepatan sinkron  $\omega_s$ :

$$d\delta/dt = d\theta/dt - \omega_s \tag{9}$$

$$d\delta/dt = \omega - \omega_s \tag{10}$$

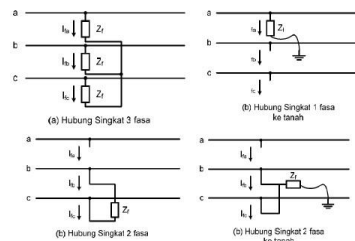
Pada sistem yang stabil selama gangguan, sudut rotor (dijelaskan oleh persamaan ayunan) akan beresilasi di sekitar titik kesetimbangan. Ketika terjadi gangguan atau penambahan beban secara tiba-tiba dalam jumlah besar, maka daya keluar listrik generator akan jauh melampaui daya masuk mekanis. Kekurangan ini akan disuplai dengan berkurangnya energi kinetis generator. Jadi generator akan berputar lebih lambat sehingga sudut daya generator bertambah besar dan daya masuk generator juga bertambah. Jika sudut rotor meningkat tanpa batas, mesin dikatakan tidak stabil selama mesin terus mempercepat dan tidak mencapai keadaan keseimbangan baru. Dalam sistem multimesin, mesin akan melepas sinkronisasi dengan mesin lainnya.

C. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan merupakan kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga tegangan tetap stabil di semua bus dalam suatu sistem pada saat kondisi operasi normal dan setelah terjadi suatu gangguan [2].

Untuk tujuan analisis, klasifikasi gangguan dalam studi stabilitas tegangan terdapat dua jenis gangguan, yaitu [2] :

- a. Gangguan besar pada stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan sistem untuk mengontrol tegangan saat terjadi gangguan, misalnya saat terjadi gangguan sistem, hilangnya pembangkit atau sirkuit. Adapun gangguan-gangguan hubung singkat pada sistem tiga fasa dapat ditunjukkan pada Gambar 2 :



Gambar 2. Jenis-jenis gangguan hubung singkat  
 Sumber : Grainger & Stevenson ,1994 : 478

- b. Gangguan kecil pada stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan sistem dalam mengendalikan besar tegangan mengikuti perubahan gangguan kecil misalnya perubahan

pada sistem beban. Ketidakstabilan tegangan gangguan kecil pada dasarnya alami terjadi pada keadaan *steady state*.

#### D. Persamaan Dalam Studi Stabilitas

##### 1. Persamaan Keadaan Mantap (*Steady State*)

Gambar 3. menunjukkan diagram fasor fluksi dan tegangan untuk mesin sinkron rotor silindris dimana efek kejenuhan diabaikan.

Ketika mesin sinkron dibebani, fluksi  $F$  sebanding dan sefasa dengan arus stator yang dihasilkan yang mana penjumlahan secara vektor fluksi  $F_f$  memberikan sebuah nilai fluksi efektif  $F_e$ . Tegangan efektif stator  $E_l$  memiliki hubungan dengan  $F_e$  dan tertinggal sebesar  $90^\circ$ . Tegangan terminal  $V$  diperoleh dari tegangan  $E_l$  melalui pertimbangan jatuh tegangan karena adanya reaktansi  $X_l$  dan resistansi jangkar  $R_a$ . Perbedaan antara  $E_f$  dan  $E_l$  adalah pada fasa dengan jatuh tegangan pada  $|X|$  dan sebanding dengan  $I$ . oleh karena itu, perbedaan tegangan dapat dikatakan sebagai jatuh tegangan pada reaktansi jangkar  $X_a$ . Jumlah antara  $X_l$  dan  $X_a$  disebut reaktansi sinkron [3] :

$$X_d = X_l + X_{ad} \quad (11)$$

$$X_q = X_l + X_{aq} \quad (12)$$

$$E_i - V_q = R_a I_q - X_d I_d \quad (13)$$

$$E_i - V_d = R_a I_d + X_d I_d \quad (14)$$

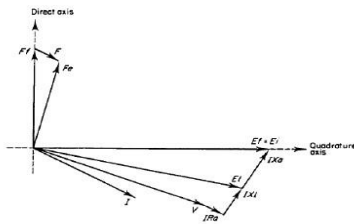
dengan :

$X_d$  : reaktansi sumbu *direct*

$X_q$  : reaktansi sumbu *quadrature*

$I_d$  : arus jangkar sumbu *direct*

$I_q$  : arus jangkar sumbu *quadrature*



Gambar 3. Diagram fasor mesin sinkron rotor silindris pada keadaan mantap

Sumber: Arrillaga ,1990 : 159

##### 2. Persamaan Peralihan (*Transient*)

Untuk perubahan yang lebih cepat pada kondisi eksternal mesin sinkron, model di atas tidak lagi sesuai. Karena perubahan inersia gandingan fluks tidak tercermin di dalam model tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu tegangan peralihan yang baru yaitu  $E'_d$  dan  $E'_q$  yang mewakili gandingan fluks pada kumparan rotor. Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi peralihan generator sinkron yaitu  $E'_d$  dan  $E'_q$  [3] :

$$E'_q - V_q = R_a I_q - X'_d I_d \quad (15)$$

$$E'_d - V_d = R_a I_d + X'_q I_q \quad (16)$$

dengan :

$E'_d$  : tegangan peralihan sumbu *direct*

$E'_q$  : tegangan peralihan sumbu *quadrature*

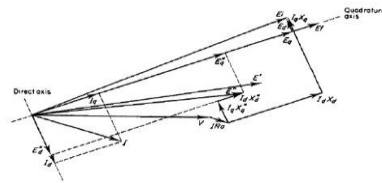
$X'_d$  : reaktansi peralihan sumbu *direct*

$X'_q$  : reaktansi peralihan sumbu *quadrature*

Sekarang tegangan  $E_i$  harus dianggap sebagai jumlah dari dua tegangan  $E_d$  dan  $E_q$  merupakan

tegangan di belakang reaktansi sinkron. Pada bagian sebelumnya, dimana untuk keadaan mantap, arus mengalir hanya dalam kumparan medan sehingga dalam kasus tersebut  $E_d = 0$  dan  $E_q = E_i$ .

Diagram fasor untuk operasi mesin pada kondisi peralihan ditunjukkan pada Gambar 4. berikut:



Gambar 4. Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan peralihan

Sumber: Arrillaga ,1990 : 161

##### 3. Persamaan Sub-peralihan (*Subtransient*)

Dalam kondisi sub-peralihan generator, kasus kumparan peredam (*dampers windings*) ataupun rangkaian lain yang terdapat dalam rotor, diperlukan jika pemodelan yang lebih tepat diperlukan. Reaktansi dan konstanta waktu yang dilibatkan kecil dan sering kali diabaikan. Dalam hal ini, diperlukan suatu tegangan sub-peralihan yang baru yaitu  $E''_d$  dan  $E''_q$ . Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi sub-peralihan generator sinkron yaitu  $X''_d$  dan  $X''_q$ . Jika diperlukan, pengembangan dari persamaan ini identik dengan suatu kondisi sub-peralihan generator sinkron dan menghasilkan [3] :

$$E''_q - V_q = R_a I_q - X''_d I_d \quad (17)$$

$$E''_d - V_d = R_a I_d + X''_q I_q \quad (18)$$

dengan :

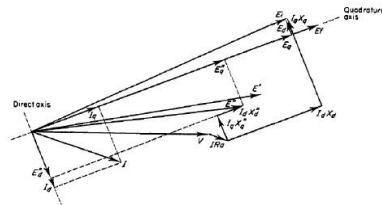
$E''_d$  : tegangan sub-peralihan sumbu *direct*

$E''_q$  : tegangan sub-peralihan sumbu *quadrature*

$X''_d$  : reaktansi sub-peralihan sumbu *direct*

$X''_q$  : reaktansi sub-peralihan sumbu *quadrature*

Persamaan tersebut dikembangkan dengan sebuah asumsi bahwa konstanta waktu peralihan lebih besar jika dibandingkan dengan konstanta waktu sub-peralihan. Diagram fasor dari mesin sinkron pada kondisi sub-peralihan ditunjukkan pada Gambar 5. Perlu dicatat bahwa Persamaan (17) dan (18) benar hanya pada kondisi operasi keadaan mantap.



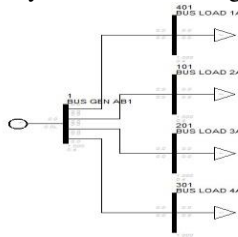
Gambar 5. Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan sub-peralihan

Sumber: Arrillaga ,1990 : 162

### III. PEMODELAN DAN LANGKAH SIMULASI STABILITAS SISTEM

- Pemodelan Sistem

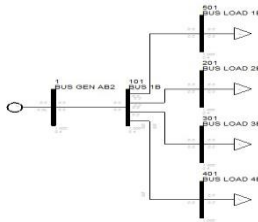
#### 1. Sistem daya PLTMH Andungbiru 1



Gambar 6. Diagram segaris sistem daya PLTMH Andungbiru1

Sumber : Penulis

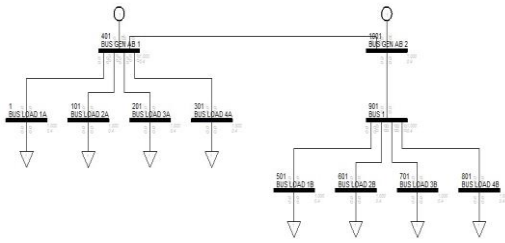
#### 2. Sistem daya PLTMH Andungbiru 2



Gambar 7. Diagram segaris sistem daya PLTMH Andungbiru2

Sumber : Penulis

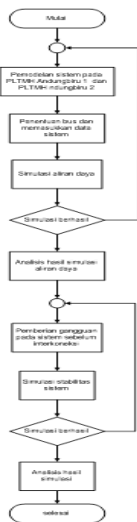
#### 3. Sistem daya interkoneksi PLTMH Andungbiru 1 dan PLTMH Andungbiru 2



Gambar 8. Diagram segaris sistem daya setelah interkoneksi

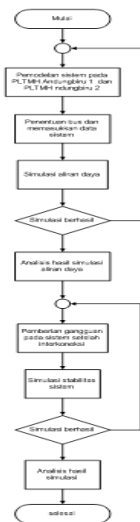
Sumber : Penulis

Langkah simulasi dan analisis pemodelan sistem yang telah dibuat digambarkan sesuai dengan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram alir simulasi sebelum interkoneksi

Sumber : Penulis



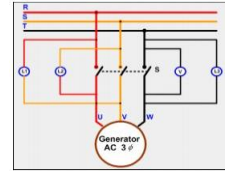
Gambar 10. Diagram alir simulasi setelah interkoneksi

Sumber : Penulis

### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN HASIL SIMULASI

#### A. Interkoneksi 2 Generator sinkron 3 Fasa

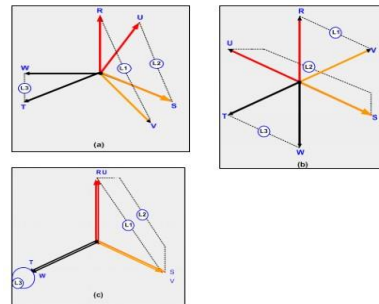
Peralatan interkoneksi 2 generator sinkron 3 fasa menggunakan sinkronoskop lampu hubungan terang-gelap. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa T dengan fasa W, fasa R dengan fasa V dan fasa S dengan fasa U. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada skema dibawah ini.



Gambar 11. Rangkaian interkoneksi Generator Sinkron 3 fasa

Sumber : Siswoyo, 2008 : 24

Pada sinkronoskop ini generator siap diparalel dengan jala-jala (generator lain), jika satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Pada kejadian ini dapat diterangkan pada Gambar berikut ini.



Gambar 12. Hubungan Lampu Terang-Gelap

Sumber : Siswoyo, 2008 : 25

Perhatikan Gambar 12a, pada keadaan ini :

- L1 paling terang
- L2 terang
- L3 redup

Perhatikan Gambar 12b, pada keadaan ini :

- L2 paling terang
- L1 terang
- L3 terang

Perhatikan gambar 12c, pada keadaan ini :

- L1 dan L2 sama terang
- L3 Gelap

#### B. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan analisis stabilitas sistem daya. Simulasi akan terbagi menjadi dua keadaan, yaitu keadaan saat sebelum dan setelah interkoneksi dua PLTMH dilakukan.

##### 1. Simulasi aliran daya PLTMH Andungbiru 1

Tabel 1. Data aliran daya PLTMH Andungbiru 1

No	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1	GEN AB1	1	0	0.0094	0.0054	0	0
2	LOAD 1A	0.9991	0.01	0	0	0.003	0.0017
3	LOAD 2A	0.9999	0	0	0	0.0004	0.0002
4	LOAD 3A	0.999	0.02	0	0	0.0034	0.002
5	LOAD 4A	0.9982	0.03	0	0	0.0025	0.0015

Berdasarkan data hasil simulasi aliran daya tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Total pembangkitan P : 0.0094 MW  
Q : 0.0054 MVar  
Total beban P : 0.0093 MW  
Q : 0.0054 MVar  
Total rugi daya P : 0.0001 MW  
Q : 0.0000 MVar

## 2. Simulasi aliran daya PLTMH Andungbiru 2

Tabel 2. Data aliran daya PLTMH Andungbiru 2

No	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1	GEN AB2	1	0	0.0034	0.0019	0	0
2	1	0.9991	0.01	0	0	0.0034	0.0019
3	LOAD 1B	0.9986	0.02	0	0	0.0013	0.0007
4	LOAD 2B	0.9989	0.02	0	0	0.0009	0.0005
5	LOAD 3B	0.999	0.01	0	0	0.0004	0.0002
6	LOAD 4B	0.999	0.02	0	0	0.0008	0.0005

Berdasarkan data hasil simulasi aliran daya tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Total pembangkitan P : 0.0034 MW  
Q : 0.0019 MVar  
Total beban P : 0.0034 MW  
Q : 0.0019 MVar  
Total rugi daya P : 0.0000 MW  
Q : 0.0000 MVar

## 3. Simulasi aliran daya pada sistem interkoneksi

Tabel 3. Data aliran daya pada sistem interkoneksi

No	Nama Bus	Voltage (pu)	Sudut (°)	Pgen (MW)	Qgen (Mvar)	Pbeban (MW)	Qbeban (Mvar)
1	GEN AB1	1	0	0.0101	0.0073	0	0
2	GEN AB2	1	0	0	0	0	0
3	1	0.9991	0.01	0	0	0.0034	0.0019
4	LOAD 1A	0.9998	0.02	0	0	0.0003	0.0017
5	LOAD 2A	0.9999	0	0	0	0.0004	0.0002
6	LOAD 3A	0.999	0.02	0	0	0.0034	0.002
7	LOAD 4A	0.9982	0.03	0	0	0.0025	0.0015
8	LOAD 1B	0.9986	0.02	0	0	0.0013	0.0007
9	LOAD 2B	0.9989	0.02	0	0	0.0009	0.0005
10	LOAD 3B	0.999	0.01	0	0	0.0004	0.0002
11	LOAD 4B	0.999	0.02	0	0	0.0008	0.0005

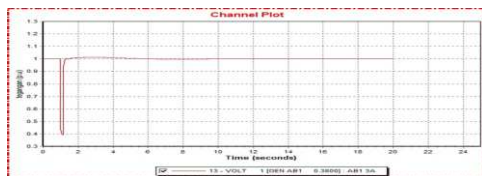
Berdasarkan data hasil simulasi aliran daya tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Total pembangkitan P : 0.0101 MW  
Q : 0.0073 MVar  
Total beban P : 0.0100 MW  
Q : 0.0073 MVar  
Total rugi daya P : 0.0001 MW  
Q : 0.0000 MVar

## C. Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Sebelum Interkoneksi

### 1. Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Pada Sistem Daya PLTMH Andungbiru 1

- Letak gangguan pada bus beban terbesar (bus LOAD 3A).



Gambar 13. Grafik tegangan =  $f(t)$  pada bus GEN AB1 saat diberikan gangguan pada bus LOAD 3A

Sumber : Hasil simulasi

Tabel 4. Simulasi stabilitas tegangan letak gangguan pada bus LOAD 3A

Bus	V <sub>awal</sub> (p.u.)	V <sub>drop</sub> (p.u.)	t <sub>drop</sub> (milidetik)
GEN AB1	1	0.392147	150

Pada hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pada bus GEN AB1 tegangan sebelum gangguan terjadi ialah 1 p.u. Pada saat terjadi gangguan di detik ke-1, tegangan menurun menjadi 0.392147 p.u. Setelah gangguan dihilangkan dari sistem, tegangan kembali ke operasi normal setelah sebelumnya mengalami osilasi. Pada tabel 4.7 menunjukkan gangguan terjadi selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



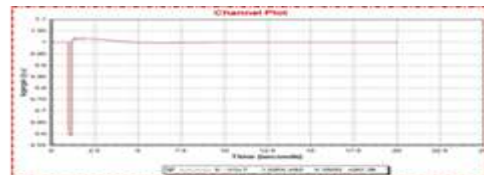
Gambar 14. Grafik sudut rotor =  $f(t)$  pada bus GEN AB1 saat diberikan gangguan pada bus LOAD 3A

Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi stabilitas untuk sudut rotor, terlihat bahwa ketika gangguan terjadi dan setelah gangguan terjadi sudut rotornya tidak terjadi perubahan, hal ini dikarenakan sistem hanya terdiri dari satu pembangkit saja.

### 2. Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Pada Sistem Daya PLTMH Andungbiru 2

- Letak gangguan pada bus beban terkecil (bus LOAD 3B).



Gambar 15. Grafik tegangan =  $f(t)$  pada bus GEN AB1 saat diberikan gangguan pada bus LOAD 3B

Sumber : Hasil simulasi

Tabel 5. Simulasi stabilitas tegangan letak gangguan pada bus LOAD 3B

Bus	V <sub>awal</sub> (p.u.)	V <sub>drop</sub> (p.u.)	t <sub>drop</sub> (milidetik)
GEN AB1	1	0.592753	150

Pada hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pada bus GEN AB1 tegangan sebelum gangguan terjadi ialah 1 p.u. Pada saat terjadi gangguan di detik ke-1, tegangan menurun menjadi 0.592753 p.u. Setelah gangguan dihilangkan dari sistem, tegangan kembali ke operasi normal setelah sebelumnya mengalami osilasi. Pada tabel 4.10 menunjukkan gangguan terjadi selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



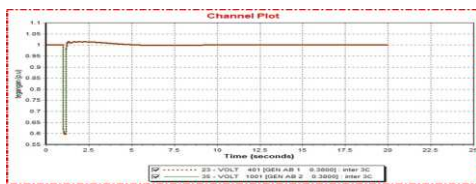


Gambar 16. Grafik sudut rotor =  $f(t)$  pada bus GEN AB1 saat diberikan gangguan pada bus LOAD 3B  
Sumber : Hasil simulasi

Dari hasil simulasi stabilitas untuk sudut rotor, terlihat bahwa ketika gangguan terjadi dan setelah gangguan terjadi sudut rotornya tidak terjadi perubahan, hal ini dikarenakan sistem hanya terdiri dari satu pembangkit saja.

**D. Simulasi Stabilitas Tegangan dan Sudut Rotor Setelah Interkoneksi**

- Letak gangguan pada bus beban terbesar (bus LOAD 3A)



Gambar 17. Grafik tegangan =  $f(t)$  setelah interkoneksi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 saat diberikan gangguan pada bus load 3A  
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 6. Simulasi stabilitas tegangan letak gangguan pada bus LOAD 3A setelah interkoneksi

Bus	$V_{awal}$ (p.u)	$V_{drop}$ (p.u.)	$t_{drop}$ (milidetik)
GEN AB1	1	0.597525	150
GEN AB2	1	0.597525	150

Pada hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa tegangan sebelum gangguan terjadi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 ialah 1 p.u. Pada saat terjadi gangguan di detik ke-1, tegangan pada bus Gen AB1 dan bus GEN AB2 sama-sama menurun menjadi 0.597525 p.u. Setelah gangguan dihilangkan dari sistem, tegangan kembali ke operasi normal setelah sebelumnya mengalami osilasi. Pada tabel 4.11 menunjukkan gangguan terjadi selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 18. Grafik sudut rotor =  $f(t)$  setelah interkoneksi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 saat diberikan gangguan pada bus load 3A  
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 7. Simulasi stabilitas sudut rotor letak gangguan pada bus LOAD 3A setelah interkoneksi

Generator		$\delta_{awal}$ (°)	$\delta_{selama\ gangguan}$ (°)
AB1	maks	0.734974	2.048723
	min		0.320168
AB2	maks	-0.73497	-0.320168
	min		-2.048723

Dari hasil simulasi stabilitas sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Setelah gangguan terjadi sudut rotor pada GEN AB1 dan sudut rotor GEN AB2 bisa kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam keadaan stabil.

- Letak gangguan pada bus beban terkecil (bus LOAD 3B)



Gambar 19. Grafik tegangan =  $f(t)$  setelah interkoneksi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 saat diberikan gangguan pada bus load 3B  
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 8. Simulasi stabilitas tegangan letak gangguan pada bus LOAD 3B setelah interkoneksi

Bus	$V_{awal}$ (p.u)	$V_{drop}$ (p.u.)	$t_{drop}$ (milidetik)
GEN AB1	1	0.750573	150
GEN AB2	1	0.750573	150

Pada hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa tegangan sebelum gangguan terjadi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 ialah 1 p.u. Pada saat terjadi gangguan di detik ke-1, tegangan pada bus Gen AB1 dan bus GEN AB2 sama-sama menurun menjadi 0.750573 p.u. Setelah gangguan dihilangkan dari sistem, tegangan kembali ke operasi normal setelah sebelumnya mengalami osilasi. Pada tabel 4.17 menunjukkan gangguan terjadi selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam kondisi stabil.



Gambar 20. Grafik sudut rotor =  $f(t)$  setelah interkoneksi pada bus GEN AB1 dan bus GEN AB2 saat diberikan gangguan pada bus load 3B  
Sumber : Hasil simulasi

Tabel 9. Simulasi stabilitas sudut rotor letak gangguan pada bus LOAD 3B setelah interkoneksi

Generator		$\delta_{awal}$ (°)	$\delta_{selama\ gangguan}$ (°)
AB1	maks	0.734974	1.859491
	min		0.373413
AB2	maks	-0.73497	-0.373413
	min		-1.859491

Dari hasil simulasi stabilitas sudut rotor terlihat jika gangguan menyebabkan terjadinya osilasi. Setelah gangguan terjadi sudut rotor pada GEN AB1 dan sudut rotor GEN AB2 bisa kembali ke operasi normal sehingga sistem masih dalam keadaan stabil.

**E. Perbandingan Stabilitas Tegangan Sebelum dan Setelah Interkoneksi**



Tabel 10. Perbandingan simulasi stabilitas tegangan pada sistem sebelum dan setelah interkoneksi untuk berbagai letak gangguan

Gangguan	bus	Sebelum Interkoneksi		sesudah Interkoneksi	
		$V_{drop}$ (p.u.)	$t_{drop}$ (milidetik)	$V_{drop}$ (p.u.)	$t_{drop}$ (milidetik)
LOAD 3A	AB1	0.392147	150	0.597525	150
	AB2	-	-	0.597525	150
LOAD 2A	AB1	0.3597	150	0.563567	150
	AB2	-	-	0.563567	150
LOAD 1B	AB1	0.641973	150	0.790126	150
	AB2	-	-	0.790126	150
LOAD 3B	AB1	0.592753	150	0.750573	150
	AB2	-	-	0.750573	150

Dari data pada tabel 10. terlihat perbedaan antara penurunan tegangan ketika sistem diinterkoneksi dan sebelum diinterkoneksi pada saat terjadi gangguan. Penurunan tegangan pada saat sesudah diinterkoneksi lebih besar dibandingkan dengan penurunan tegangan pada saat sistem sebelum diinterkoneksi. Gangguan yang mengakibatkan penurunan tegangan terbesar ialah gangguan yang terjadi pada salah satu bus yang bersumber dari PLMH Andungbiru 2 dimana sumber ini memiliki kapasitas pembangkit yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan kapasitas pembangkit dari PLTMH Andungbiru 1. Gangguan yang terjadi pada salah satu bus tersebut, mengakibatkan tegangan bus menurun hingga mencapai 0,790126 p.u. selama gangguan terjadi.

Durasi gangguan baik pada saat sebelum dan setelah interkoneksi ialah selama 150 milidetik dan tegangan dapat kembali ke operasi normal setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sehingga tegangan sistem baik setelah dan sebelum interkoneksi dengan berbagai letak gangguan masih dalam kondisi yang stabil.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang dibahas serta mengacu pada hasil simulasi dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Memparalelkan dua buah generator atau lebih menggunakan peralatan sinkronoskop lampu gelap terang merupakan alternatif cara kerja paralel yang bisa dibilang cukup sederhana pelaksanaannya.
2. Stabilitas sistem daya untuk sebelum interkoneksi menunjukkan sistem masih dalam kondisi yang stabil dengan pemberian letak gangguan pada beberapa bus, hal ini dapat dilihat dari kondisi tegangan dan sudut rotornya yang bisa kembali ke operasi normal setelah mengalami gangguan.
3. Stabilitas sistem daya untuk setelah interkoneksi menunjukkan sistem masih dalam kondisi yang stabil dengan pemberian letak gangguan pada beberapa bus, hal ini dapat dilihat dari kondisi tegangan dan sudut rotornya yang bisa kembali ke operasi normal setelah mengalami gangguan
4. Untuk perbandingan stabilitas tegangan sebelum dan setelah interkoneksi menunjukkan bahwa penurunan tegangan pada kondisi setelah interkoneksi lebih besar daripada kondisi sebelum interkoneksi, namun

setelah pemberian gangguan pada kedua sistem dihilangkan, sistem dapat kembali ke operasi normal sehingga kedua sistem masih dalam keadaan stabil.

### B. Saran

Dengan besarnya total beban yang terpasang sekarang ini, sebenarnya satu pembangkit saja sudah mencukupi untuk menyuplai beban secara keseluruhan, sehingga pembangkit yang lain bisa dijadikan sebagai cadangan jika suatu saat pada generator utama terjadi trouble atau masalah sehingga tidak terjadi pemadaman secara total. Atau bisa juga sebagai cadangan jika ternyata terjadi penambahan beban yang mengharuskan menambah daya pembangkit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grigsby, Leonard L. 2007. *Power System Stability and Control*. New York : Taylor & Francis Group, LLC.
- [2] Kundur, P. 1994. *Power System Stability and Control*. New York : McGraw-Hill.
- [3] Arrillaga, J. & Arnold, C.P. 1990. *Computer Analysis of Power Systems*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- [4] Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill.
- [5] Siswoyo, 2008. *Smk teknik listrik industri jilid 3 bab 13*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.