

Digital Repository Universitas Jember



# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL FORTEI 2017

INOVASI DAN PENGEMBANGAN EBT DALAM RANGKA  
AKSELERASI ELEKTRIFIKASI DI INDONESIA TIMUR

GORONTALO, 18 - 21 OKTOBER 2017



ISBN 978-602-6204-24-0



9 786026 204240



PENYELENGGARA :  
FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO  
Jln. Jend. Sudirman No.6 Kota Gorontalo, Telp/fax (0435)821183  
Email : fortei2017@ung.ac.id | Laman : <http://forte2017.ung.ac.id/>

# **PROSIDING**

**TEMU NASIONAL KE-11**

**FORUM PENDIDIKAN TINGGI TEKNIK ELEKTRO INDONESIA  
(FORTEI) 2017**

**“ INOVASI DAN PENGEMBANGAN EBT DALAM RANGKA  
AKSELERASI ELEKTRIFIKASI DI INDONESIA TIMUR ”**

**Gedung Training Centre Damhil UNG  
18-21 Oktober 2017**

**ISBN 978-602-6204-24-0**

**PROSIDING SEMINAR NASIONAL FORTEI 2017  
INOVASI DAN PENGEMBANGAN EBT DALAM RANGKA  
AKSELERASI ELEKTRIFIKASI DI INDONESIA TIMUR**

Hak Cipta ©2017 pada penulis,

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.



Diterbitkan Oleh :

**FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO**

Jln. Jend. Sudirman No.6 Kota Gorontalo, Telp/fax (0435)821183

Email : [ft@ung.ac.id](mailto:ft@ung.ac.id) | Laman : <http://ft.ung.ac.id/>



## **TIM REVIEWER**

- Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, MT. IPM  
Universitas Hasanuddin Makassar
- Dr. Zahir Zainuddin, MT  
Universitas Hasanuddin Makassar
- Ir. WAHAB MUSA, M.T, Ph.D  
Universitas Negeri Gorontalo
- Dr. SARDI SALIM, M.Pd  
Universitas Negeri Gorontalo





## **PANITIA TEMU NASIONAL KE-XI FORTEI 2017 FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO**

**Pelindung** : Prof. Dr. H. Syamsu Qamar Badu.,M.Pd (Rektor UNG)  
**Panitia Pengarah** : Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng (Rektor Telkom University)

**Anggota** : Dr. Ir. Insuwardianto (Rektor ITI - Teknik Elektro ITB)  
Prof. Ida Ayu Dwi Giriantari, Ph.D (Teknik Elektro UDAYANA)  
Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT (Teknik Elektro UNHAS)  
Ir. Tumiran, M.Eng.,Ph.D (Teknik Elektro UGM)  
Ir. Arief Syaichu Rohman M.Eng.Sc.,Ph.D (Teknik Elektro ITB)  
Dr. Wahyudi, ST.,MT. (Teknik Elektro UNDIP)  
Ir. Wahab Musa, MT., Ph.D. (Teknik Elektro UNG)

**Penanggung Jawab** : Moh. Hidayat Koniyo, ST.,M.Kom (Dekan Fakultas Teknik UNG)

**Pelaksana**  
**Ketua** : Eryan H. Harun, ST.,MT  
**Sekretaris** : Jumiati Ilham, ST.,MT  
**Bendahara** : Ade Irawati Tolago, ST.,MT

**Panitia** :

Eduart Wolok, ST.,MT	Arfan Sumaga, ST., MT
Sri Wahyuni Dali, ST.,MT	Amelya Indah Pratiwi, ST., MT
Ifan Wiranto, ST., MT	Bambang P. Asmara, ST., MT
Yasin Mohamad, ST.,MT	Mohamad Asri, ST., MT
Dr. Mohamad Yusuf Tuloli, MT	Roy Harun, S.Pd., M.Pd
Agus Lahinta, ST.,M.Kom	Steven Humena, ST., MT
Arip Mulyanto, S.Kom., M.Kom	Salmawaty Tansa, ST., M.Eng
Syahrir Abdussamad, ST.,MT	Yolanda Dunga, S.Pd.
Zainudin Bonok, ST.,MT.	Siti Asnasari Ishak, S.Pd
Tajudin Abdilah, S.Kom.,M.Kom	Taufiq I. Yusuf, ST.,M.Si
Elvie Mokodongan, ST.,MT	Drs. Yus Iryanto Abas, M.Pd
Frengki E. P. Sursa, ST.,MT	Jamal Darussalam Giu, ST.,MT
Amirudin Y. Dako, ST., M.Eng	Lilyan Hadjarati, S.Kom., M.Kom
Rahmat Dedy Rianto Dako, ST., M.Eng	Muammar Zainudin, ST., MT
Rochmad M. Thohir Yassin, S.Kom., M.Eng	Charles Mopangga, S.Pd
Abdul Azis Bouty, S.Kom.,M.Kom	Rahmat Doda, ST
M. Yasser Arafat, S.Pd.,M.Pd	Allan Amilie, S.Kom
Stephan Hulukati, ST.,MT	Eric Pomalingo, A.Md
L.M. Kamil Amali, ST.,MT	Jufri Nento, A.Md
Wrastawa Ridwan, ST.,MT	Raif Latongko, A.Md
Iskandar Z. Nasibu, S.Pd.,M.Eng	Fetry Labolo, A.Md
Dian Novian, S.Kom., MT.	HMJ Teknik Elektro

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Tim Reviewer</b> .....	iii
<b>Susunan Panitia</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	v
<b>Daftar Isi</b> .....	vi
<b>Penggunaan Jaringan Wireless untuk Memantau Besarnya Pemakaian dan Kualitas air PDAM secara RealTime</b>	
<i>A. Ejah Umraeni Salam, Ingrid Nurtanio, Muh. Fakhri, Umar Hasan</i> .....	1 - 4
<b>Datalogger Portabel Online Untuk Remote Monitoring Menggunakan Arduino Mikrokontroler</b>	
<i>Agus Putu Abiyasa, I Wayan Sukadana, I Wayan Utama, I Wayan Sugarayasa</i> .....	5 - 10
<b>Rancang Bangun Kontrol Otomatis pada Stasiun Penebahan Buah Sawit, Studi Kasus di PKS Sei Galuh PT. Perkebunan Nusantara V</b>	
<i>Amir Hamzah, Dodi Sofyan Arief, Galuh Leonardo Sembiring, Andri</i> .....	11 - 16
<b>Perancangan Sistem Pengendali Air Conditioner untuk Aplikasi Smart Energy Building</b>	
<i>Anggoro S. Pramudyo, Suhendar</i> .....	17 - 20
<b>Unjuk Kerja Generator Sinkron dengan Sistem Translasi Menggunakan Variasi Bentuk Magnet NdFeB Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut</b>	
<i>A. Indriani, Dimas, S, Hendra</i> .....	21 - 26
<b>Sistem Kontrol Kekeruhan Dan Temperatur Air Laut Menggunakan Microcontroller Arduino Mega</b>	
<i>A.Indriani, Y. Witanto, Supriyadi, Hendra</i> .....	27 - 34
<b>Energy Efficiency Analysis by Using AHU Fresh Air Controller in HVAC System at PT. SCI</b>	
<i>Arnisa Stefanie, Dene Herwanto</i> .....	35 - 38
<b>Pengembangan Pembangkit Listrik Tersebar Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi</b>	
<i>Asep Najmurokhman, Zulfakhri, Muhamad Reza</i> .....	39 - 44
<b>Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya</b>	
<i>Aslimeri</i> .....	45 - 48
<b>Smart Lighting Berbasis Photocell pada Low Voltage Main Distibusion Panel (Lvmdp) untuk Penghematan Energi</b>	
<i>Deni Hendaro, Padillah</i> .....	49 - 58
<b>Analsis Penguat EDFA dan SOA pada Sistem Transmisi DWDM dengan Optisystem 14</b>	
<i>Dewiani Djamaluddin, Andani Achmad, Fiqri Hidayat, Dhanang Bramatyo</i> .....	59 - 64
<b>Sistem Kendali Governor Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Berbasis Mikrokontroler</b>	
<i>Elfizon</i> .....	65 - 72

<b>Educational Kit: Trainer (Multi Gerbang) Berbasis Arduino Mega 2560</b> <i>Adnan Subkhan, Fatchul Arifin</i> .....	73 - 78
<b>Alat Pengatur Suhu Air Via Smartphone Android Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno</b> <i>Habibullah, Orri Novita Sari</i> .....	79 - 82
<b>Penurunan CO2 Penerapan Energi Baru Terbarukan Biofuel Limbah Kelapa Sawit</b> <i>Hasmawaty. AR</i> .....	83 - 86
<b>Digital Transformation Maturity Model for Telecommunication Service Provider</b> <i>Ibrahim, Lela Nurpulaela</i> .....	87 - 90
<b>Perancangan Modul Pengering Ikan Putaran Rak Vertikal Berbasis Mikrokontroler</b> <i>Irnanda Priyadi, Reza Satria Rinaldi, Mensi Alexander</i> .....	91 - 96
<b>Rancang Bangun Sistem Penyejuk Udara Menggunakan Termoelektrik dan Humidifier</b> <i>Irnanda Priyadi, Khairul Amri Rosa, Rian Novriansyah</i> .....	97 - 102
<b>Very Short Term Load Forecasting Beyond Peak Load Time Using Fuzzy Logic (Case Study : Java Bali Electrical System)</b> <i>Jamaaluddin Jamaaluddin, Dwi Hadidjaja, Indah Sulistiyowati, Eko Agus Suprayitno, Izza Anshory, Syamsudduha Syahririni</i> .....	103 - 106
<b>Inverter Lima Tingkat dengan Topologi Deret Jembatan-H</b> <i>Krismadinata, Irma Husnaini</i> .....	107 - 110
<b>Analysis of Service Quality to Implementation of Tracking Antenna on Inclined Satellite based on Carrier to Noise Ratio Parameter</b> <i>Lela Nurpulaela, Arnisa Stefanie</i> .....	111 - 116
<b>Perancangan Rangkaian Digital Pendeteksi Kontinuitas Saluran Transmisi</b> <i>Lianly Rompis</i> .....	117 - 120
<b>Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Fuzzy-P&amp;O (Perturb &amp; Observe)</b> <i>Machmud Effendy, Nuralif, Khusnul</i> .....	121 - 124
<b>Gallium Nitride Applications in Power Electronics</b> <i>Mohammad Taufik, Taufik</i> .....	125 - 130
<b>Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya</b> <i>Muammar Zainuddin</i> .....	131 - 136
<b>Pengembangan EBTKE Melalui Kerja Sama Industri di Universitas Telkom Bandung</b> <i>Muhamad Reza, Sigit Yuwono</i> .....	137 - 140

<b>Desain Sistem Informasi Pemasaran Hasil Pertanian Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan) Berbasis Web di Kota Kendari</b>	
<i>Muh Nadzirin Anshari Nur, Jumadil Nangi</i> .....	141 - 144
<b>Pengontrolan Catu Daya Cadangan Dengan Panel Surya Pada Smart Traffic Light</b>	
<i>Noveri Lysbetti Marpaung, Edy Ervianto, Nurhalim, Rahyul Amri</i> .....	145 - 150
<b>Urban Growth through Land Use Optimization in Bekasi City</b>	
<i>Seta S, Herlawati, Anita SSG, Rahmadya TH</i> .....	151 - 156
<b>Teknologi Informasi untuk Peningkatan Hasil Penjualan Perajin Karawo sebagai Upaya Mempertahankan Eksistensi Industri Kreatif Tradisional</b>	
<i>Dicky Saputra Ibrahim, Sri Wahyuni, Moh. Fahmi DJ Puloli, Tajuddin Abdillah</i> .....	157 - 162
<b>Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya</b>	
<i>Asnil, Krismadinata, Irma Husnaini</i> .....	163 - 166
<b>Analisis Unjuk Kerja Penyearah 3 Fasa Terkendali pada Tegangan Suplai tidak Seimbang</b>	
<i>Aswardi</i> .....	167 - 172
<b>Tinjauan Inovasi Sistem Cooler Heatsink Dingin pada Pembangkit Energi Listrik Alternatif dengan Model Sistem Hybrid Thermoelektrik dengan Panel Surya Mini untuk Desa Mandiri Energi</b>	
<i>Bambang Panji Asmara</i> .....	173 - 178
<b>Pengaturan Output Generator Induksi dengan Static Synchronous Compensator (STATCOM) pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin</b>	
<i>Riswan Dinzi, Riswanta Sembiring, Fahmi Fahmi</i> .....	179 - 184
<b>Kualitas Uji Citra Phantom Payudara untuk Deteksi Dini Kanker Menggunakan Konstruksi Sensor UWB</b>	
<i>Elyas Palantei, Dewiani, Farid Armin</i> .....	185 - 190
<b>Radiation Detection System Ultraviolet and Carbonmonoxides In Air Arduino Based</b>	
<i>Gunady Haryanto, Vector Anggit Pratomo</i> .....	191 - 194
<b>Penerapan Aseec Berbasis Energi Baru Terbarukan (Solar Cell) untuk Perontok dan Pengereng Padi</b>	
<i>Hendri, Aswardi, Lian, Wirma</i> .....	195 - 198
<b>Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Energi Bersih dan Murah (Studi Kasus Rumah Pariwisata Di Bali)</b>	
<i>I Putu Suka Arsa</i> .....	199 - 202
<b>Penerapan Algoritma Sistem Semut untuk Penjejakan Multi Target pada Sistem Radar Multi Sensor</b>	
<i>Ifan Wiranto, Zainudin Bonok</i> .....	203 - 208
<b>Perancangan Reaktor Gas Tipe Fixed Dome Multi Input Skala Laboratorium</b>	
<i>Jumiati Ilham, Wrastawa Ridwan, Ervan Hasan Harun</i> .....	209 - 214



<b>The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind–Diesel Hybrid Power System</b>	
<i>Machrus Ali, Hidayatul Nurohmah, Muhlasin</i> .....	215 - 218
<b>Model Design of Surya-Diesel Hibrid Power System</b>	
<i>Matius Sau, Hestikah Eirene Patoding</i> .....	219 - 224
<b>The FA-ANFIS Hybrid Method is used for LFC Optimization in Micro Hydro Power Generation</b>	
<i>Muhlasin, Rukslin, Agus Raikhani, Machrus Ali</i> .....	225 - 230
<b>Alat Penjemur Kemplang Berbasis Sensor : Studi Kasus pada Industri Rumah Tangga Palembang</b>	
<i>Nina Paramytha IS, Ali Kasim</i> .....	231 - 236
<b>Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Tegangan Keluaran Modul Surya</b>	
<i>Nurhalim, Firdaus, Noveri Lysbetti, Edy Ervianto, Rahyul Amri</i> .....	237 - 240
<b>Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA)</b>	
<i>Salmawaty Tansa, Bambang Panji Asmara, Ade Irawaty Tolago, Yasin Mohamad</i> .....	241 - 244
<b>Strategi Pengembangan Skema Load Balancing Multicarrier Trafik Data pada Jaringan Heterogen</b>	
<i>Setiyo Budiyanto, Fajar Rahayu, Dadang Gunawan, Arissetyanto Nugroho</i> .....	245 - 250
<b>Penerapan Customer Relationship Management (CRM) Berbasis Web Mobile pada Coffee Toffee</b>	
<i>Nifantri Agunta, Arip Mulyanto, Sitti Suhada</i> .....	251 - 258
<b>Torajapedia (The Encyclopedia of Virtual Art Carving Toraja)</b>	
<i>Lande Sudianto, Petrus Simon</i> .....	259 - 264
<b>Desain Antena Mikrostrip Mutiband menggunakan Metode Multislit</b>	
<i>Teguh Firmansyah, Herudin, Fery Kurniawan</i> .....	265 - 268
<b>Aplikasi Spektrum Analyzer menggunakan Software Defined Radio (SDR) berbasis Android</b>	
<i>Toto Supriyanto, Indra</i> .....	269 - 272
<b>Aplikasi Algoritma Hibrida rvGA-Enm Untuk Prediksi Harga Energi Takterbarukan</b>	
<i>Wahab Musa, Wrastawa Ridwan</i> .....	273 - 276
<b>Potensi Pemanfaatan Energi Listrik Fotovoltaik di Universitas Bangka Belitung</b>	
<i>Wahri Sunanda, Rika Favoria Gusa, Irwan Dinata, Asmar</i> .....	277 - 280
<b>Pengendalian Robot Lengan Berbasis Perintah Suara Menggunakan MFCC dan ANN</b>	
<i>Wahyu Muldayani, Ali Rizal Chaidir, Guido Dias Kalandro, Catur Suko Sarwono</i> .....	281 - 286
<b>Desain Tracker Antena Parabola Berbasis Mikrokontroler</b>	
<i>Sri Wahyuni Dali, Iskandar Z. Nasibu, Syahrir Abdussamad</i> .....	287 - 292

**Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Kabupaten Konawe Kepulauan Tahun 2017-2036 dengan Menggunakan Perangkat Lunak Leap**

*Abdul Djohar, Mustarum Musaruddin* ..... 293 - 298

**Listrik Mikro Hidro Berdasarkan Potensi Debit Andalan Sungai**

*Sardi Salim* ..... 299 - 304

**Analisis Kekuatan Struktur Pondasi untuk Dudukan Mesin Turbin**

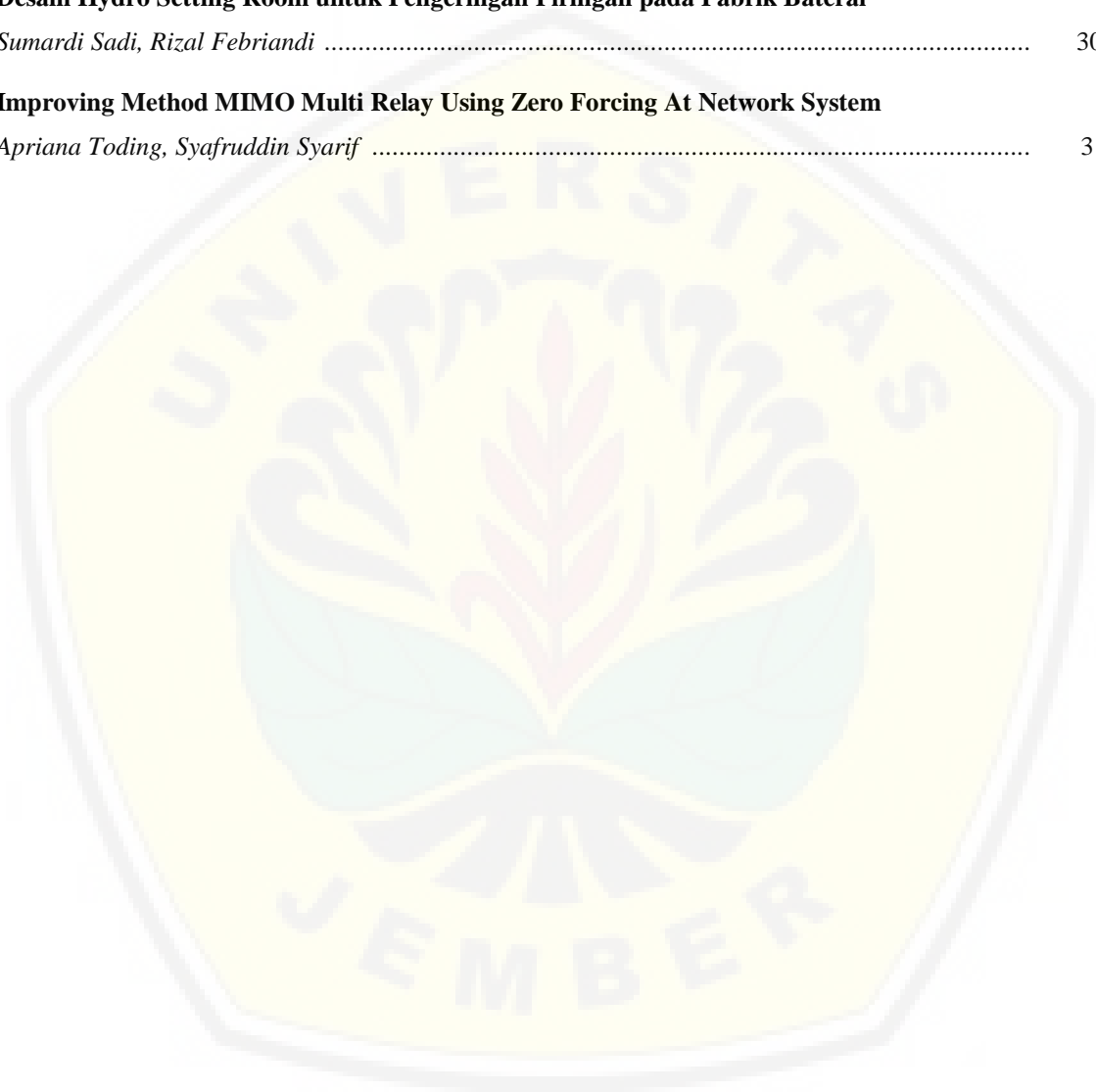
*Ayuddin, Frice L. Desei* ..... 305 - 308

**Desain Hydro Setting Room untuk Pengeringan Piringan pada Pabrik Baterai**

*Sumardi Sadi, Rizal Febriandi* ..... 309 - 314

**Improving Method MIMO Multi Relay Using Zero Forcing At Network System**

*Apriana Toding, Syafruddin Syarif* ..... 315 - 318



# ANALISIS UNJUK KERJA PENYEARAH 3 FASA TERKENDALI PADA TEGANGAN SUPLAJ TIDAK SEIMBANG

*Aswardi*

Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
[aswardi@ft.unp.ac.id](mailto:aswardi@ft.unp.ac.id)

**Abstract** - Paper ini membahas tentang analisis unjuk kerja penyearah 3 fasa terkendali (*three phase controlled rectifier*) pada tegangan suplai tidak seimbang (*unbalance voltage*) dengan beban motor dc. Sebagai acuan untuk melihat pengaruh ketidakseimbangan tegangan suplai terhadap unjuk kerja penyearah digunakan penyearah 3 fasa terkendali dengan tegangan suplai seimbang. Besaran yang menjadi parameter unjuk kerja adalah besarnya tegangan keluaran ( $V_o$ ), arus fasa masukan, dan amplitudo harmonisa arus masukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk tegangan suplai 3 fasa simetris masukan menghasilkan tegangan dc keluaran dengan riak (*ripple*) sebesar 13.4%. selanjutnya arus pada sisi keluaran merupakan arus dc rata. Nilai harmonisa ke 5 dan ke 7 cukup besar yaitu 21.2% dan 15,1%. Demikian juga dengan harmonisa ke 11 dan ke 13 masing-masing sebesar 8.9% dan 7.58%. Hasil pengujian terhadap unjuk kerja penyearah 3 fasa tidak terkendali dengan tegangan suplai tidak simetris sebesar 5% juga dengan beban motor dc menunjukkan bahwa untuk tegangan suplai 3 fasa simetris masukan menghasilkan tegangan dc keluaran dengan riak (*ripple*) sebesar 15.5%. Ini berarti terjadi peningkatan nilai persentase riak tegangan sebesar 2%. Kemudian nilai harmonisa ke 5 dan ke 7 cukup besar yaitu 22% dan 14%. Demikian juga dengan harmonisa ke 11 dan ke 13 masing-masing sebesar 10% dan 8%

**Keywords** Penyearah 3 fasa, tegangan suplai tidak seimbang, riak, harmonisa

## I. PENDAHULUAN

Penyearah 3 fasa terkendali (*three phase controller rectifier*) pada umumnya banyak digunakan dalam dunia industri, terutama industri yang banyak menggunakan beban arus searah dengan tegangan sumber teregulasi.

Beberapa jenis beban dengan suplai arus searah teregulasi, seperti pemanas, tungku listrik, jaringan transmisi arus searah, motor arus searah, dan lain-lain sebagainya. Penyearah jenis ini mempunyai beberapa keuntungan, yaitu mampu menyulai daya yang lebih besar, dan dapat bekerja dengan tegangan yang lebih tinggi, serta tegangan keluaran yang teregulasi

Untuk kasus ideal, penyearah 3 fasa jenis ini disuplai dengan sumber tegangan tiga fasa simetris akan menghasilkan arus masukan yang juga simetris. Pada sisi beban, tegangan suplai yang simetris akan menghasilkan kualitas tegangan dan arus beban yang lebih baik., serta pengaruh distorsi harmonisa total (DHT) pada sumber tegangan yang relatif lebih kecil. Kondisi ini juga akan menghasilkan unjuk kerja penyearah yang optimal, sekaligus penerapan yang optimal pada sisi pembebanan. Namun demikian pada kenyataannya tegangan suplai 3 fasa cenderung merupakan tegangan suplai yang tidak simetris pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan sistem tegangan sudah jelas akan berdampak terhadap unjuk kerja penyearah, baik pada sisi masukan, maupun pada sisi keluaran. Bahkan untuk beban searah yang didominasi oleh jenis beban yang dominan induktif, ketidakseimbangan tegangan pada sisi masukan akan berdampak terhadap peningkatan pengaruh distorsi harmonisa total (DHT) pada sisi sumber tegangan. *IEEE Standarization* memberikan batasan ketidak seimbangan sistem tegangan 3 fasa untuk suplai tegangan pada suatu jenis pembebanan sebesar 5%<sup>[1]</sup>. Terhadap penerapan sistem tegangan pada suatu penyearah 3 fasa, berarti bahwa batas tersebut merupakan batas maksimum yang tidak boleh dilewati dalam pengoperasi suatu penyearah 3 fasa.

Khusus untuk penyearah 3 fasa terkendali, jenis pembebanan yang mungkin dapat dilakukan dapat berupa beban jenis resistor murni, dan beban dominan

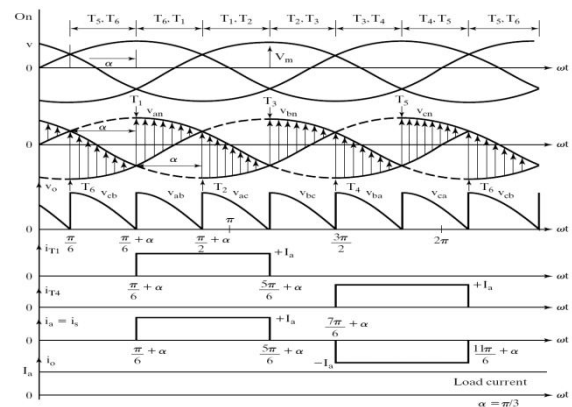
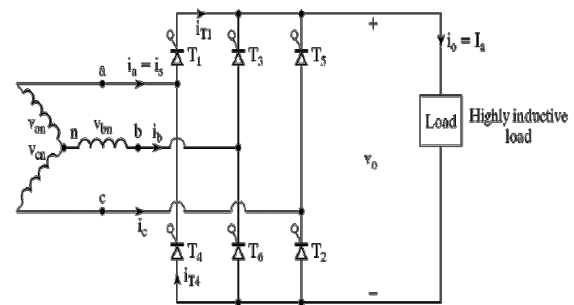
induktif (berupa beban motor arus searah). Disamping itu pengaturan tegangan keluaran pada penyearah jenis ini dilakukan dengan mengubah besarnya sudut perlambatan penyalaan komponen pensakelaran. Perubahan sudut penyalaan thyristor akan mempengaruhi bentuk gelombang tegangan keluaran ( $V_o$ ), dan bentuk arus masukan ( $I_{in}$ ). Sudah jelas pengaruh ketidak seimbangan sistem tegangan suplai, dan perubahan sudut penyalaan thyristor ( $\alpha$ ) untuk ke dua jenis pembebanan tersebut akan menyebabkan penurunan kualitas sistem tegangan dan arus pada sisi beban, dan juga akan berdampak terhadap efisiensi penyearah secara keseluruhan. Penelitian ini akan mencoba mengkaji secara lebih khusus tentang dampak penerapan ketidak seimbangan sistem tegangan 3 fasa yang bervariasi pada batas yang masih diijinkan terhadap kualitas tegangan dan daya yang dapat disuplai ke beban

Penyearah 3 fasa terkendali sistem jembatan merupakan penyearah 3 fasa gelombang penuh terkendali. Terdapat 6 buah komponen pensakelaran yang menggunakan komponen semi konduktor. Pewaktuan pensakelaran dari ke 6 buah komponen tersebut diatur sedemikian rupa secara berpasangan, sehingga setiap komponen akan bekerja (aktif) selama periode  $\pi/3$ . Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban dominant induktif diperlihatkan pada gambar 1 bersama-sama dengan gelombang tegangan dan arus pada sisi masukan dan keluaran [10].

Konverter jenis ini merupakan converter 3 fasa dengan operasi 2 kuadran, dimana thyristor dinyalakan pada interval  $\pi/3$ . Oleh karena thyristor dinyalakan setiap selang  $60^\circ$ , maka frekuensi dari tegangan riak keluaran adalah 6 kali frekuensi tegangan sumber. Pada interval  $\omega t = \pi/6 + \alpha$  thyristor T6 sudah berada dalam keadaan aktif (on state) dan thyristor T1 dinyalakan. Pada interval  $\pi/6 \leq \omega t \leq \pi/2$ , thyristor T1 dan T6 konduksi dengan tegangan jaring  $V_{ab}$  dirasakan pada sisi beban

Penyearah 3 fasa terkendali sistem jembatan merupakan penyearah 3 fasa gelombang penuh terkendali. Terdapat 6 buah komponen pensakelaran yang menggunakan komponen semi konduktor. Pewaktuan pensakelaran dari ke 6 buah komponen tersebut diatur sedemikian rupa secara berpasangan, sehingga setiap komponen akan bekerja (aktif) selama periode  $\pi/3$ . Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban dominant induktif diperlihatkan pada gambar 1 bersama-sama dengan gelombang tegangan dan arus pada sisi masukan dan keluaran [10].

Konverter jenis ini merupakan converter 3 fasa dengan operasi 2 kuadran, dimana thyristor dinyalakan pada interval  $\pi/3$ . Oleh karena thyristor dinyalakan setiap selang  $60^\circ$ , maka frekuensi dari tegangan riak keluaran adalah 6 kali frekuensi tegangan sumber. Pada interval  $\omega t = \pi/6 + \alpha$  thyristor T6 sudah berada dalam keadaan aktif (on state) dan thyristor T1 dinyalakan. Pada interval  $\pi/6 \leq \omega t \leq \pi/2$ , thyristor T1 dan T6 konduksi dengan tegangan jaring  $V_{ab}$  dirasakan pada sisi beban.



Gambar 1. Konverter 3 Fasa Terkendali.

(a). Rangkaian daya

(b). Gelombang tegangan dan arus keluaran

Penentuan Besarnya tegangan rata-rata dan tegangan efektif (rms) pada sisi beban dilakukan dengan memisalkan tegangan fasa netral dinyatakan dalam bentuk:

$$\begin{aligned}
 V_{an} &= V_m \sin \omega t \\
 V_{bn} &= V_m \sin(\omega t - (2\pi/3)) \\
 V_{cn} &= V_m \sin(\omega t + (2\pi/3))
 \end{aligned} \tag{1}$$

Sedangkan hubungan tegangan jaring dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + (\pi/6))$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - (\pi/2))$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + (\pi/2))$$

Nilai tegangan keluaran rata-rata (*average output voltage*) ditentukan dengan persamaan:

$$V_{dc} = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} V_{ab} d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + (\pi/6)) d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha$$

Besarnya tegangan maksimum keluaran pada sisi beban diperoleh pada sudut perlambatan penyalan  $\alpha = 0$ , dan dinyatakan dengan:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi}$$

Nilai tegangan efektif pada sisi beban ditentukan dengan persamaan:

$$V_{dc} = \left[ \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \left( \sqrt{3} V_m \sin \left( \omega t + \left( \frac{\pi}{6} \right) \right) \right)^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$V_{dc} = \sqrt{3} V_m \left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{1/2} \quad (1)$$

Tabel 1. Perbandingan Unjuk Kerja Penyearah Fasa Tunggal dan 3 Fasa.

Parameter Unjuk Kerja	Penyearah 1 Fasa Gelombang Penuh dengan CT (R Load)	Penyearah 3 Fasa Gelombang Penuh (R Load)
Efisiensi	81%	99.83%
Faktor Bentuk (FF)	111%	100.08%
Faktor Riak (RF)	48.2%	4%
Faktor TUF	57.32%	95.42%
(PIV)	$2V_m$	$\sqrt{3}V_m$
Faktor Crest ( <i>Crest Factor</i> )	1.414	

## B. Harmonisa

Akibat adanya beban non linier maka akan terjadi perubahan bentuk gelombang atau cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan gelombang komponen lain yang mempunyai frekwensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya yang disebut dengan harmonisa [3]. Harmonisa dapat terjadi baik pada tegangan maupun arus. Harmonisa terlihat berupa cacat gelombang yang tidak sinusoidal.

Besarnya harmonisa dapat dikalkulasi dengan menggunakan metoda Fourier seperti yang ditunjukkan pada persamaan 11 :

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (11)$$

dengan

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) \quad (12)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (13)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (14)$$

Besarnya arus akibat beban non linier dapat ditentukan dengan persamaan

$$I_h = I_s + f_h \quad (15)$$

$I_s$  : Arus normal konverter statis

$f_h$  : Faktor harmonisa dari arus normal konverter statis dalam pu

Besar tegangan akibat beban non linier dapat ditentukan dengan persamaan [8] :

$$V_{rms} = \sqrt{V_{1(rms)}^2 + V_{3(rms)}^2 + V_{5(rms)}^2 + V_{7(rms)}^2 + \dots} \quad (16)$$

Persentase total komponen harmonisa terhadap tegangan fundamentalnya disebut Total Harmonic Distortion (THD). Besarnya THD dapat dituliskan dengan persamaan



$$THD = \frac{\left[ \sum_{n=2}^k U_n \right]^2}{U_1^2} \times 100\% \quad (17)$$

$U_n$  : Komponen harmonisa

$U_1$  : Komponen fundamental

$K$  : Harmonisa maksimum yang diamati

### III. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen dengan melakukan simulasi melalui komputer. Untuk simulasi digunakan program PSIM Ver 9.0 *Student Edition*. Dalam melakukan simulasi, sistem penyearah 3 fasa terkendali penuh dimodelkan dalam bentuk, rangkaian dan blok diagram.

Pemodelan dari sistem dalam penelitian ini pemodelan rangkaian daya penyearah 3 fasa terkendali penuh, yang meliputi; 1) Pemodelan dengan Beban Resistif, 2) Pemodelan dengan Beban Dominan Induktif, 3) Pemodelan dengan Beban Sumber Arus (Beban Linear Ideal), dan 4) Pemodelan dengan Beban Sumber Arus (Beban Linear Ideal)

Dari model yang telah dibahas di atas, maka operasi dari sistem dapat disimulasikan dengan menggunakan program komputer PSIM. Simulasi yang dilakukan mencakup pengujian dengan tegangan suplai seimbang, dan simulasi dengan tegangan suplai tidak seimbang. Besarnya ketidak seimbangan tegangan suplai penyearah juga dilakukan variasi sesuai dengan batas ketidak seimbangan yang diizinkan

### IV. Hasil-Hasil Simulasi

Untuk memperoleh gambaran tentang pengaruh ketidak seimbangan tegangan suplai terhadap unjuk kerja penyearah 3 fasa tidak terkendali dengan beban motor arus searah (MAS) pada beban tetap dilakukan 2 macam pengujian yaitu; (1) pengujian dengan tegangan simetris, dan (2) pengujian dengan tegangan suplai tidak simetris. Ketidak seimbangan tegangan suplai yang diterapkan terhadap penyearah 3 fasa dinyatakan dengan persentase (%) dengan persentase ketidak seimbangan maksimum sebesar 7.5%. Model simulasi simulasi untuk beban motor dalam keadaan stabil direpresentasikan dengan beban sumber arus dengan beban tetap

Beberapa besaran yang akan dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah:

- Tegangan keluaran ( $V_o$ )
- Arus keluaran ( $I_{dc}$ )
- Arus fasa masukan salah satu fasa ( $I_{ac}$ )
- Harmonisa arus keluaran
- Harmonisa arus masukan

### A. Pengujian dengan Tegangan Simetris

Pengujian penyearah 3 fasa terkendali dengan tegangan simetris berarti tegangan suplai 3 fasa mempunyai besaran yang sama (simetris) antara setiap fasa. Beban penyearah dalam simulasi ini digunakan adalah beban motor yang dimodelkan dengan beban sumber arus (berarti motor bekerja pada beban tetap).

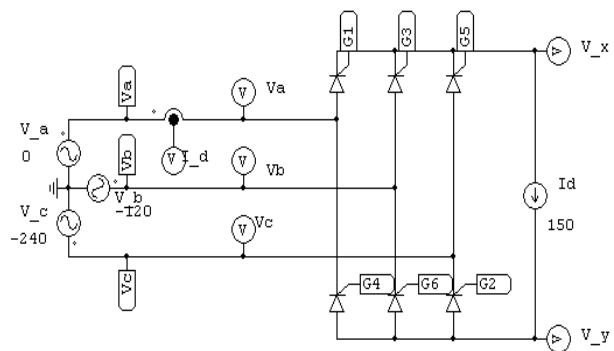
Tegangan fasa simetris yang diberikan adalah tegangan 3 fasa periodik  $v(t)$  yang dinyatakan dalam bentuk:

$$v_1(t) = V_m \sin \omega t$$

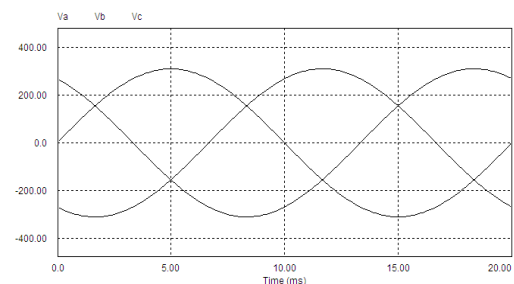
$$v_2(t) = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$v_3(t) = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa ke tiga tegangan mempunyai amplitudo yang sama sebesar  $V_m$ , namun mempunyai perbedaan fasa sebesar  $120^\circ$  listrik antara satu dengan lainnya. Bentuk rangkaian simulasi penyearah 3 fasa tidak terkendali dengan tegangan suplai simetris dan gelombang tegangan untuk setiap tegangan fasa diperlihatkan pada gambar berikut

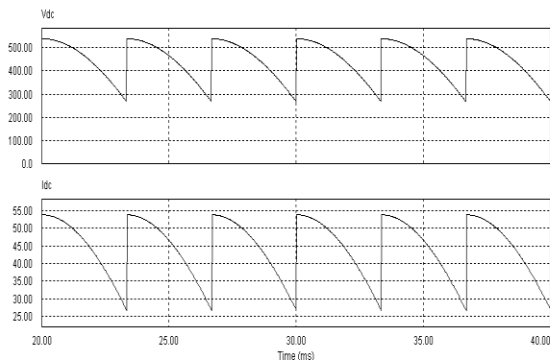


Gambar 2. Rangkaian Daya Penyearah 3 Fasa Tidak Terkendali dengan beban sumber arus



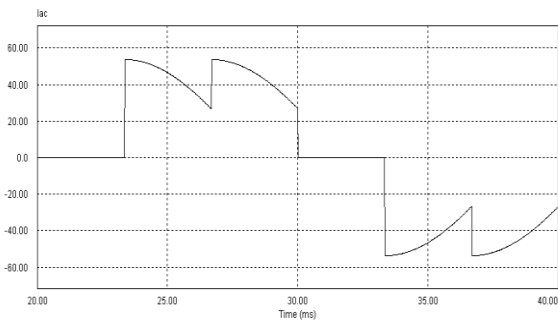
Gambar 3. Gelombang Tegangan Masukan Sistem 3 fasa Simetris

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh besarnya amplitudo tegangan sebesar 311.09 Volt, dan tegangan efektif (rms) sebesar 219.447 volt

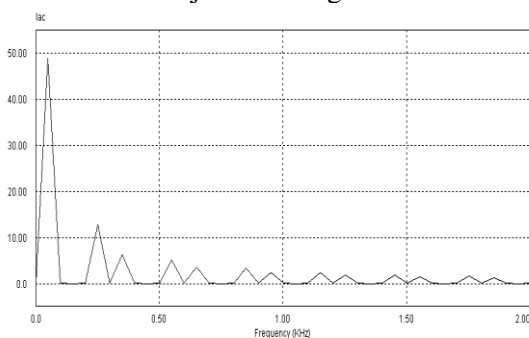


Gambar 10. Bentuk Sinyal tegangan dc dan arus dc pada sisi beban  $\alpha=30^0$ .

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh besarnya tegangan dc rata-rata keluaran sebesar 512.024 volt, dan besarnya tegangan dc efektif keluaran sebesar 513.754 volt. Bentuk arus ac pada sisi masukan seperti gambar berikut:



Gambar. 11. Gelombang Arus pada sisi ac.pada  $\alpha=30$  derajat Arus avg=36.77 A



Gambar 12. Spektrum Harmonisa Arus Sisi ac pada  $\alpha=30$  derajat

Tabel. 2. Hasil Distorsi Harmonisa Arus Masukan pada Sisi ac

No.	H ke	Frekuensi (Hz)	Amplitudo
1	1	50	48.97
2	5	250	12.87
7	7	350	6.22
4	11	550	5.21
5	13	650	3.46
6	17	850	3.15
7	19	950	2.41
8	23	1150	2.39
9	25	1250	1.84

## B. Pengujian dengan Tegangan Tidak Simetris

Pengujian penyearah 3 fasa terkendali dengan tegangan tidak seimbang dan beban resistor, beban sumber arus dan motor dc dilakukan dengan menggunakan rangkaian simulasi pada gambar 4 sebelumnya. Perbedaan perlakuan yang dilakukan adalah dengan membuat tegangan sumber 3 fasa tidak simetris. Ketidak seimbangan tegangan suplai 3 fasa dinyatakan dalam persentase. Selanjutnya pada setiap nilai ketidak seimbangan sistem tegangan sumber 3 fasa dilakukan pengujian untuk mendapatkan perilaku/ unjuk kerja penyearah 3 fasa terkendali akibat tegangan suplai yang tidak seimbang.

Agar perubahan besarnya beban tidak berpengaruh terhadap unjuk kerja penyearah 3 fasa, khusus untuk beban motor direpresentasikan sebagai beban sumber arus. Hasil perhitungan ketidak seimbangan sistem tegangan 3 fasa diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan ketidak Seimbangan Sistem Tegangan Sumber 3 Fasa

No.	Vr	Vs	Vt	Avg	% UB
1	311.12	311.12	311.12	-	-
2	311.12	314.66	311.12	1.67	0.75
3	318.20	311.12	321.73	3.33	1.49
4	314.66	326.68	319.61	4.50	1.99
5	316.78	311.12	325.97	5.67	2.52
6	332.34	309.71	325.27	7.00	3.07
7	330.92	311.12	312.54	9.00	4.00
8	304.05	318.20	333.04	10.33	4.59
9	308.30	305.47	330.92	11.33	5.09
10	308.30	332.34	304.05	12.33	5.54
11	332.34	296.98	311.12	13.33	6.02
12	304.05	330.92	296.98	14.33	6.53
13	299.81	296.98	330.92	15.33	7.01
14	298.40	332.34	296.27	16.50	7.55

### 1. Hasil Pengujian pada tegangan suplai tidak simetris 5%

Pengujian pembebanan penyearah dengan tegangan suplai tidak simetris dengan persentase ketidakseimbangan 5% dilakukan dengan menggunakan beban  $R=10\ \text{ohm}$ , dan sudut perlambatan penyalan thyristor sebesar  $30^\circ$ .

Tabel 6. Hasil Pengujian Harmonisa Arus Is dengan Ketidakseimbangan Tegangan Suplai 5%, Alpha=30

No.	H ke	Frekuensi (Hz)	Amplitudo
1	1	50	48.79
2	5	250	12.97
7	7	350	6.41
4	11	550	5.20
5	13	650	3.60
6	17	850	3.11
7	19	950	2.53
8	23	1150	2.28
9	25	1250	1.95

Tabel 7. Hasil pengujian pada ketidak seimbangan tegangan suplai 5%, sudut alpha berubah

No.	sudut Alpha	Ir	Vdc	Idc
		(A)	(V)	(A)
1	0	42.34	521.19	52.11
2	15	40.91	501.79	50.19
3	30	37.02	452.28	45.25
4	45	30.93	377.11	37.74
5	60	23.57	285.68	28.60
6	75	15.96	191.80	19.21
7	90	8.83	105.29	10.55
8	105	3.07	35.11	3.53

Tabel 8. Hasil Pengukuran Arus Fasa R pada beban tetap, sudut perlambatan penyalan berubah, dan ketidak seimbangan berubah

Alpha	% Ketidak seimbangan Tegangan			
	0	2.5	5	7.5
0	42.06	42.91	42.34	41.43
30	36.88	37.64	37.02	36
45	30.98	31.52	30.93	30.07
60	23.72	24.09	23.57	22.85
90	11.05	9.12	8.83	8.47

Tabel 9. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada beban tetap, sudut perlambatan penyalan berubah, dan ketidak seimbangan berubah.

Alpha	% Ketidak seimbangan Tegangan			
	0	2.5	5	7.5
0	515.14	525.85	521.19	511.77
30	452.32	459.26	452.28	449.35
45	379.91	384.46	377.11	377.53
60	290.41	292.68	285.68	288.712
75	197.43	197.84	191.81	196.41
90	110.86	109.94	105.29	110.59

### IV. PEMBAHASAN

Hasil pengujian terhadap unjuk kerja penyearah 3 fasa terkendali dengan resistif menunjukkan bahwa untuk tegangan suplai 3 fasa simetris masukan menghasilkan tegangan dc keluaran dengan riak (*ripple*) sebesar 13.4%. selanjutnya arus pada sisi keluaran merupakan arus dc rata. Hal ini disebabkan karena pada sisi keluaran penyearah tidak dipasang tapis (*filter*) keluaran khusus untuk tegangan keluaran  $V_o$ . Arus dc rata diperoleh karena beban merupakan beban sumber arus, berarti beban merupakan representasi dari motor dc dengan beban tetap. Nilai harmonisa ke 5 dan ke 7 cukup besar yaitu 21.2% dan 15,1%.

Demikian juga dengan harmonisa ke 11 dan ke 13 masing-masing sebesar 8.9% dan 7.58%. Khusus untuk nilai harmonisa ke 5 dan ke 7 pada arus masukan perlu cara-cara tertentu untuk menurunkannya, dan merupakan topik pembahasan tersendiri.

Hasil pengujian terhadap unjuk kerja penyearah 3 fasa terkendali dengan tegangan suplai tidak simetris sebesar 5% juga dengan resistor menunjukkan bahwa untuk tegangan suplai 3 fasa simetris masukan menghasilkan tegangan dc keluaran dengan riak (*ripple*) sebesar 15.5%. Ini berarti terjadi peningkatan nilai persentase riak tegangan sebesar 2%. Kemudian nilai harmonisa ke 5 dan ke 7 cukup besar yaitu 22% dan 14%. Demikian juga dengan harmonisa ke 11 dan ke 13 masing-masing sebesar 10% dan 8%. Jika dibandingkan nilai komponen harmonisa ke 5 dan ke 7 untuk pengujian dengan tegangan 3 fasa simetris dan tegangan 3 fasa tidak seimbang dengan ketidak seimbangan 5% ternyata bahwa nilai komponen harmonisa ke 5 dan ke 7 pada umumnya mempunyai nilai yang hampir tetap, oleh karena beban motor merupakan beban yang konstant.

Selanjutnya dari hasil pengujian dengan ketidakseimbangan tegangan suplai berubah dan beban diperoleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Pertambahan besarnya persentase ketidakseimbangan tegangan suplai menyebabkan terjadinya penurunan besar arus fasa masukan dan penurunan terbesar terjadi pada ketidakseimbangan 7.5%. Persentase penurunan besarnya arus fasa beban tetap dan sudut perlambatan penyalan thyristor berubah cukup bervariasi. Prosentase terkecil terjadi pada sudut perlambatan terkecil sebesar 1.49%, dan terbesar terjadi pada sudut perlambatan penyalan thyristor sebesar 90° sebesar 23.34%. Hal ini mengisyaratkan bahwa daerah kerja yang optimal bagi penyearah 3 fasa terkendali untuk ketidak seimbangan tegangan yang cukup besar terjadi pada persentase ketidak seimbangan 5%.
2. Pertambahan besarnya persentase ketidak-seimbangan tegangan suplai hampir tidak berpengaruh terhadap besarnya tegangan dc keluaran pada sisi beban. Persentase penurunan besarnya tegangan dc keluaran penyearah pada beban tetap relatif kecil (0.65%), dan ini terjadi pada sudut perlambatan ( $\alpha=0^\circ$ ), dan semakin besar sudut perlambatan penyalan thyristor maka persentase penurunan tegangan searah keluaran semakin kecil. ini mengisyaratkan bahwa sebaiknya penyearah 3 fasa terkendali gelombang penuh sebaiknya dioperasikan pada daerah sudut perlambatan penyalan lebih besar dari 0°.
3. Perubahan ketidak seimbangan tegangan suplai pada beban tetap menyebabkan arus searah pada sisi beban menjadi berkurang, terutama pada ketidak seimbangan tegangan sebesar 7.5%. Persentase penurunan arus beban terbesar terjadi pada sudut perlambatan penyalan thyristor terkecil ( $\alpha=0^\circ$ ). Pertambahan besarnya sudut penyaladutan thyristor menyebabkan terjadinya penurunan arus beban dengan persentase terbesar terjadi pada sudut perlambatan 90° dan persentase ke tidak seimbangan tegangan sebesar 7.5%
4. Pengaruh perubahan sudut perlambatan penyalan thyristor terhadap besarnya prosentase penurunan arus fasa sumber relatif kecil yaitu sebesar 5.82%, yaitu sebesar 73.72% pada tegangan suplai seimbang, dan 79.55% pada ketidak-seimbangan 7.5%. Sementara itu pengaruh perubahan ketidakseimbangan tegangan suplai terhadap persentase penurunan tegangan searah keluaran relatif kecil (0.65%). demikian juga dengan pengaruh perubahan ketidakseimbangan tegangan suplai

terhadap persentase penurunan arus searah keluaran relatif kecil (0.66%)

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berpedoman kepada hasil pengujian pengujian unjuk kerja penyearah 3 fasa terkendali dengan resistif pada keadaan tegangan suplai tidak simetris, penulis mengemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut:1) Besarnya arus fasa masukan dari penyearah 3 fasa mempunyai besaran yang sama pada setiap fasa, dan besarnya adalah 1/3 dari besarnya arus dc pada sisi beban., 2) Besarnya arus fasa masukan untuk penyearah dengan tegangan suplai tidak seimbang tidak akan sama besar, dan sangat tergantung dari ketidak seimbangan tegangan suplai, semakin besar ke tidak seimbangan tegangan fasa maka arus masukan pada fasa yang bersangkutan akan semakin besar, 3) Terjadi peningkatan besarnya riak tegangan dc keluaran akibat tegangan suplai tidak seimbang sebesar 2%, yaitu pada persentase ketidak seimbangan tegangan suplai sebesar 5%, 4). Nilai komponen harmonisa arus masukan fasa ke 1, yaitu komponen harmonisa ke dan ke 7 pada umumnya mempunyai harga yang tetap untuk tegangan masukan 3 fasa seimbang dan tegangan masukan 3 fasa tidak seimbang dengan persentase ke tidak seimbangan sebesar 5%, 5) Pertambahan besarnya persentase ketidak seimbangan tegangan suplai menyebabkan terjadinya penurunan besar arus fasa masukan dan penurunan terbesar terjadi pada ketidakseimbangan 7.5%. Prosentase terkecil terjadi pada sudut perlambatan terkecil sebesar 1.49%, dan terbesar terjadi pada sudut perlambatan penyalan thyristor sebesar 90° sebesar 23.34%. Hal ini mengisyaratkan bahwa daerah kerja yang optimal bagi penyearah 3 fasa terkendali adalah pada ketidak seimbangan yang relatif kecil dan perubahan sudut perlambatan penyalan yang juga relatif kecil, dan 6) Pertambahan besarnya persentase ketidak-seimbangan tegangan suplai hampir tidak berpengaruh terhadap unjuk kerja penyearah pada sisi keluaran, di mana besarnya persentase penurunan tegangan dc keluaran dan arus beban relatif kecil, meskipun pada sudut perlambatan penyalan ( $\alpha$ ) yang berubah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pedrag Pejovic, **Two Three - Phase High Power Factor Rectifiers that Apply the Third Harmonic Current Injection and**

- Passive Resistance Emulation**, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.15, No.6, November ,2000, pp 1228-1240.
- [2]. **Huai Wei, Guangyong Zhu and Peter Kornetzky, A Single Switch AC - DC Converter with Power Factor Correction**, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.15, No.3, November ,2000, pp 421-430.
- [3] **Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab / Simulink**.Prentice Hall PTR © 1998.
- [4] **Paul C.Krause, Analysis of Electric Machinery**, mcGraw-hill © 1987
- [5] **P.M. Anderson and A .A. Fouad, Power System Control and Stability**, The Iowa State University, ©1982.
- [6] **Ned Mohan, Mahmoud Riaz, Paul Imbertson, ted Brekken, A Strategy for the Revival of Electric machines and Drives Courses**
- [7] **R.Krishnan, Electric Motor Drive**,Prentice Hall PTR © 2001.
- [8] **D. W. Novotny and T .A .Lipo, Vector Control and Dynamic of AC Drive**, Clarendon © 1996.
- [9] **Bimal K. Bose, Modern Power Electronics and AC Drives**, Prentice Hall PTR ©2002.
- [10] **Muhammad H .Rasyid, Power Electronic Circuit Device and Applications** Second Edition, Prentice Hall International , © 1993