

**STUDI PENGARUH PENGGUNAAN BEBAN *NON-LINEAR*
YANG MENYEBABKAN CACAT GELOMBANG INPUT
(HARMONISA) PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
TENAGA LISTRIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

OLEH

FEBRIANA SANTY MANURUNG

NPM: 108120015



PROGRAM STUDY TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2013

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

STUDI PENGARUH PENGGUNAAN BEBAN *NON-LINEAR*
YANG MENYEBABKAN CACAT GELOMBANG INPUT (HARMONISA)
PADA TRANSFORMATOR SISTEM TENAGA LISTRIK

FEBRIANA SANTY MANURUNG

NPM: 108120015

ABSTRAK

Penelitian ini akan membahas pengaruh beban non-linier yang menyebabkan arus input tidak sinusoidal (cacat gelombang). Harmonisa merupakan cacat gelombang input yang diakibatkan oleh beban non-linier seperti penyearah gelombang satu fasa atau AC-terkontrol. Pengaruh harmonisa (cacat gelombang) tersebut dapat menyebabkan kondisi mesin berputar dan transformator di sisi beban mengalami pemanasan yang dapat merusak peralatan juga berdampak kinerja peralatan relay proteksi. Analisis dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak dalam penelitian ini untuk menampilkan kondisi bentuk gelombang input akibat beban non-linier yang dapat menyebabkan harmonisa. Hasil pengukuran menggunakan perangkat lunak pada sisi input sistem yang mengandung beban non-linier diharapkan dapat menunjukkan bentuk gelombang arus input memiliki cacat gelombang (mengandung harmonisa), karakter harmonisa fundamental dan kandungan harmonik akan ditampilkan pada spektrum harmonisa. Penelitian ini diharapkan dapat meninjau karakteristik beban non-linier yang dapat menyebabkan cacat gelombang disisi sumber (input).

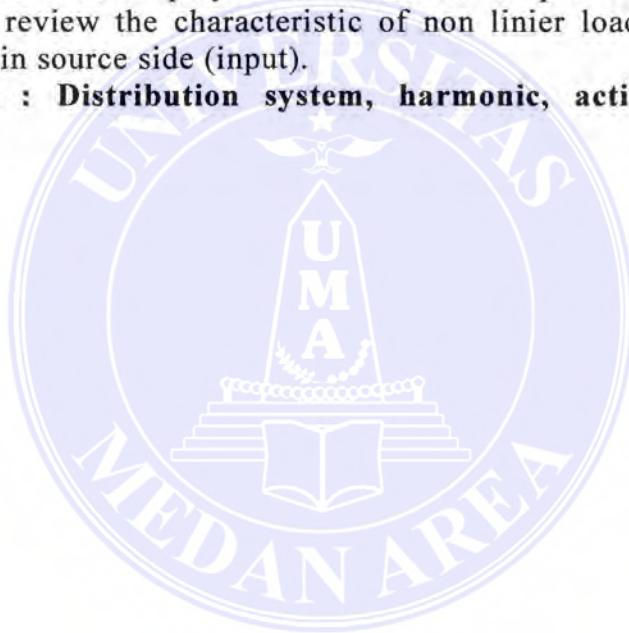
Kata Kunci:Sistem Distribusi, Harmonisa, Filter Aktif, PSIM-

Simulator

ABSTRACT

This study will discuss influence of non linear loads that cause the input current is not sinusoidal (wave defect). Harmonics is defect a wave of the input caused by non linear loads such as rectifier single phase or AC-controlled. Effect of harmonics (wave defect) can cause the condition of rotating machinery and transformers in the load side to warm up that can damage equipment also affects performance of relay protection equipment. Analyses were performed by using simulation software in this study to show the condition of the input waveform caused by non linear loads that can cause harmonics. The measurement results using the software on the input side of the system containing non –linear load is expected to show the input current waveform has a defect wave (containing harmonics), fundamental harmonic character and the contents of harmonic will be displayed on the harmonic spectrum. This study is expected to review the characteristic of non linear loads that can cause defect wave in source side (input).

Key words : Distribution system, harmonic, active filter, Psim-Simulator.



DAFTAR ISI

SAMPUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK.....iii

ABSTRACT.....iv

KATA PENGANTAR.....v

DAFTAR ISI.....vii

DAFTAR GAMBAR.....x

DAFTAR TABEL.....xii

SIMBOL.....xiii

BAB I PENDAHULUAN.....1

1.1 Latar Belakang Masalah.....1

1.2 Rumusan Masalah.....2

1.3 Tujuan Penelitian.....2

1.4 Batasan Masalah.....2

1.5 Metode Penelitian.....2

1.6 Sistematika Pembahasan.....3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....4

2.1 Beban Non-Linier Penyebab Harmonisa.....4

2.2 Rangkaian Penyearah (Rectifier).....4

UNIVERSITAS MEDAN AREA
2.3 Penyearah Tiga Phasa.....10

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

| | |
|--|-----------|
| 2.4 Beban Linier..... | 12 |
| 2.5 Karakteristik Beban Non-Linier..... | 13 |
| 2.6 Inverter..... | 13 |
| 2.7 Beban Non-Linier (Converter 6 Pulsa)..... | 14 |
| 2.8 Cacat Gelombang..... | 15 |
| 2.9 Konsep Dasar Analisa Harmonisa..... | 17 |
| 2.10 Sumber-Sumber Harmonisa..... | 18 |
| 2.11 Pengaruh Harmonisa Pada jaringan..... | 19 |
| 2.12 Standar Harmonisa..... | 20 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 23 |
| 3.1 Model Antar Muka Program Yang Digunakan..... | 23 |
| 3.2 Fungsi Psim..... | 24 |
| 3.3 Step 1. Fungsi Menampilkan Lembar Kerja Baru Dan Membuka File Project..... | 24 |
| 3.4 Step 2. Memulai Membuat Project Sederhana..... | 25 |
| 3.5 Step 3. Merangkai Komponen..... | 26 |
| 3.6 Step 4. Menjalankan Simulasi (<i>Run Simulation</i>)..... | 27 |
| 3.7 Disain Catu Daya (<i>Rectifier</i>) Menggunakan Psim Tanpa Filter C.28 | |
| 3.8 Disain Catu Daya (<i>Rectifier</i>) Menggunakan Psim Dengan Filter Kapasitor..... | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 33 |
| 4.1 Umum..... | 33 |
| 4.1A Tempat Dan Waktu Penelitian..... | 33 |
| 4.1B Perlatan Yang Digunakan Dalam Penelitian..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2 Metode penelitian..... | 33 |
| 4.3 Pemodelan Sistem Filter Aktif..... | 35 |
| 4.4 Beban Non-Linear..... | 36 |
| 4.5 Band Pass Fiter..... | 37 |
| 4.5.1 Modeling Rangkaian <i>Band Pass Filter</i>..... | 37 |
| 4.5.2 Kontrol Proportional Integral (PI) Dan Limiter..... | 38 |
| 4.6 Simulasi Dan Pembahasan..... | 40 |
| 4.6.1 Simulasi Tanpa Filter Aktif Dengan beban R..... | 40 |
| 4.7 Simulasi Perbaikan Cacat Gelombang input (harmonisa) Dengan Filter Aktif | 42 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 44 |
| 5.1 KESIMPULAN..... | 44 |
| 5.2 SARAN..... | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Peralatan listrik berbasis elektronik pada sistem distribusi tenaga listrik ke konsumen dapat menyebabkan arus jala-jala sistem menjadi sangat terdistorsi (cacat), sehingga arus jala-jala sistem banyak mengandung harmonisa. Tingginya tingkat kandungan arus harmonisa yang terdapat pada sistem distribusi tenaga listrik konsumen dapat menimbulkan berbagai macam persoalan pada sistem tersebut, antara lain adalah faktor daya sistem menjadi rendah, arus netral sistem meningkat dan dapat menimbulkan kegagalan instalasi meskipun dalam kondisi beban setimbang, rugi-rugi daya sistem bertambah, pemanasan lebih pada trafo dan generator, kesalahan operasi pada sistem proteksi, penyimpangan penunjukan pada alat ukur, kerusakan sejak dini pada peralatan-peralatan elektronik, interferensi pada sistem telekomunikasi dan lain sebagainya. Untuk mengatasi berbagai persoalan yang ditimbulkan oleh adanya arus harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik, dapat dilakukan dengan cara studi identifikasi kandungan harmonisa dan upaya mengurangi kandungan arus harmonisa pada sistem tersebut sampai memenuhi suatu standarisasi batasan harmonisa yang diijinkan.

Sinyal harmonisa yang timbul berada pada daerah frekuensi diatas frekuensi aslinya (fundamental). Dalam pengambilan harmonisa dibutuhkan filter pasif LC dengan nilai kapasitor relatif konstan dan induktor berubah-ubah. Penggunaan filter pasif merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi kadar harmonisa yang timbul akibat pemakaian beban non-linear berupa konverter 6 pulsa dan inverter 3 fasa. Pemakaian filter pasif ini berfungsi sebagai penyedia jalur pada impedansi rendah untuk frekuensi resonansi yang diinginkan.

Setelah didapatkan nilai induktor yang sesuai maka induktor tersebut diganti dengan trafo

yang mempunyai nilai induktif kumparan primer sama dengan induktor hasil perhitungan.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana upaya melakukan pengujian dan analisis menggunakan simulasi untuk melihat dan mengamati kandungan harmonisa yang terjadi akibat penggunaan beban non-linear dan perbaikannya.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh beban non linear yang menimbulkan harmonisa.
2. Mensimulasikan pengaruh beban non-linear yang menyebabkan cacat gelombang input.

1.4. Batasan Masalah:

Penelitian ini hanya melakukan kajian analisis dan simulasi di laboratorium komputer FT UMA, untuk mengamati cacat gelombang input akibat beban non-linear, sistem perbaikannya, kajian literatur dan analisis tanpa memodelkan dalam bentuk rancangan alat.

1.5. Metode Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini diperlukan prosedur berupa langkah-langkah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

Pengambilan dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian penelitian ini merujuk pada buku-buku yang telah disebutkan pada daftar tinjauan pustaka dan dari buku-buku seperti kualitas daya, elektronika daya, rangkaian listrik, desain komponen magnetik dan elektrik dan teori lainya yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini.

1.6. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan penyusunan tugas Akhir ini direncanakan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN Bab ini membahas pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, , sistematika.

BAB II : TINJAUN PUSTAKA Bab ini membahas teori-teori yang menunjang dan berkaitan dengan penyelesaian Tugas Akhir, antara lain teori tentang harmonisa dan standard harmonisa, rectifier, beban non linear (konverter 6 pulsa dan inverter 3 fasa), konsep daya, resonansi, induktor dan capasitor filter, serta rangkaian filter pasif.

BAB III : METODE PENELITIAN Bab ini membahas model antar muka program yang digunakan, fungsi Psim, langkah menggunakan Psim, menjalankan simulasi, serta desain catu daya.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN Bab ini membahas secara keseluruhan dari sistem dan dilakukan pengujian serta pembahasan tentang cacat gelombang masukan pada sebuah transformator akibat beban non-linear, serta perbaikan cacat gelombang dengan menggunakan filter aktif.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN Bab ini membahas kesimpulan dan saran dari pembahasan, perencanaan, pengujian dan analisa berdasarkan data hasil simulasi menggunakan P-SIM.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beban Non-Linier Penyebab Harmonisa

Analisa dan perhitungan sangat penting dilakukan sebelum merencanakan suatu sistem. Sehingga diperlukan teori penunjang sebagai pendukung kebenaran dari analisa yang dilakukan. Teori dasar pada skripsi ini diambil dari perkuliahan Sistem Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Teori dan analisa penunjang yang lain diambil dari kuliah yang masih berkaitan dengan rangkaian Elektronika Daya antara lain : Matematika, Komponen Listrik, Rangkaian Listrik, Piranti Elektronika dan Rangkaian Elektronika, serta buku – buku literatur (ada pada halaman Daftar Pustaka). Setiap pembahasan – pembahasan pada sub bab saling berkaitan dengan teori dan analisa yang pernah diberikan pada perkuliahan yang pernah didapatkan.

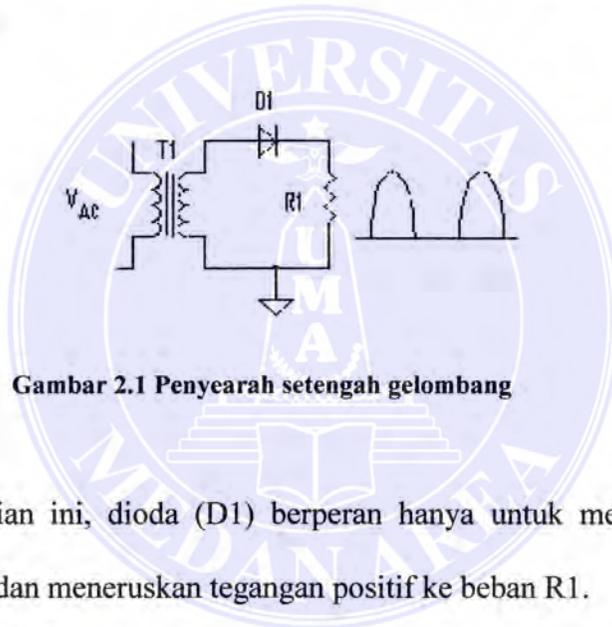
2.2 Rangkaian Penyearah (Rectifier)

Rectifier adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Gelombang AC yang berbentuk gelombang sinus hanya dapat dilihat dengan alat ukur Osiloskop. Rangkaian rectifier banyak menggunakan transformator step down yang digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan perbandingan transformasi transformator yang digunakan. Penyearah dibedakan menjadi 2 jenis, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh, sedangkan untuk penyearah gelombang penuh dibedakan menjadi penyearah gelombang penuh

UNIVERSITAS MEDAN AREA dengan center tap (CT), dan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan

dioda bridge. Bagian utama atau boleh dikatakan jantung suatu catudaya adalah rangkaian penyearah yang mengubah gelombang sinus AC menjadi deretan pulsa DC. Ini merupakan dasar atau langkah awal untuk memperoleh arus DC halus yang dibutuhkan oleh suatu peralatan elektronik.

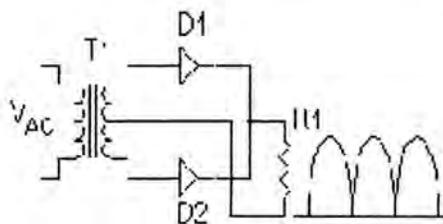
Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil pada kumparan sekundernya. Penyearah setengah gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penyearah setengah gelombang

Pada rangkaian ini, dioda (D1) berperan hanya untuk merubah dari arus AC menjadi DC dan meneruskan tegangan positif ke beban R1.

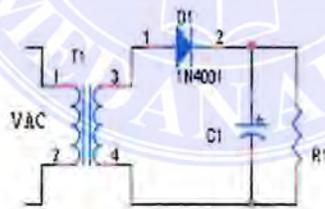
Ini yang disebut dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Untuk mendapatkan penyearah gelombang penuh (*full wave*) dapat juga diperlukan transformator dengan *center tap* (CT) seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Penyearah Gelombang Penuh

Gambar 2.2. merupakan rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh dapat dibuat dengan menggunakan *Center-Tapped Transformer* ataupun dapat juga didesain dengan menggunakan konfigurasi jembatan (*bridge*). Jika kedua metode ini dibandingkan maka akan ditemukan kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode. Pada konfigurasi *Center-Tapped Transformer* yang menggunakan dua buah dioda, hanya akan ada satu penjatuhan tegangan (*voltage drop*) pada dioda di setiap jalur arus dari transformator ke beban. Pada rangkaian jembatan yang menggunakan empat buah dioda, akan terdapat dua *voltage drop*. Meskipun demikian pada *Center-Tapped Transformer* setiap dioda paling tidak harus menahan tegangan balik (*reverse voltage*) yang besarnya dua kali lipat dari pada setiap dioda yang digunakan pada konfigurasi jembatan.

Walaupun terlihat di sini tegangan *ripple* dari kedua rangkaian di atas masih sangat besar.

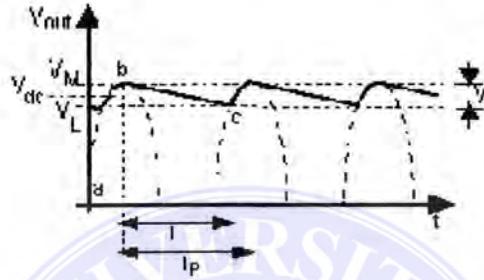


Gambar 2.3 Rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter C

Gambar 2.3 adalah rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor C yang paralel terhadap beban R. Ternyata dengan filter ini bentuk gelombang tegangan keluarannya bisa menjadi rata. Gambar 2.4 menunjukkan

bentuk medan area tegangan DC dari rangkaian penyearah setengah gelombang

dengan filter kapasitor. Garis b-c kira-kira adalah garis dengan kemiringan tertentu, dimana pada keadaan ini arus untuk beban R1 dicatu oleh tegangan kapasitor. Sebenarnya garis b-c bukanlah garis lurus tetapi eksponensial sesuai dengan sifat pengosongan kapasitor.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang out-put rectifier setengah gelombang dengan filter C

Kemiringan kurva b-c tergantung dari besar arus (I) yang mengalir ke beban R. Jika arus $I = 0$ (tidak ada beban) maka kurva b-c akan membentuk garis horizontal. Namun jika beban arus semakin kecil, kemiringan kurva b-c akan semakin tajam.

Tegangan yang keluar akan berbentuk gigi gergaji dengan tegangan *ripple* yang besarnya adalah :

$$V_r = V_M - V_L \dots \dots \dots (2.1)$$

dan tegangan dc ke beban adalah:

$$V_{dc} = V_M + V_r/2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Rangkaian penyearah yang baik adalah rangkaian yang memiliki tegangan *ripple* (V_r) paling kecil. V_L adalah tegangan *discharge* atau pengosongan kapasitor C,

$$V_L = V_M e^{-T/RC} \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika persamaan (2.3) disubsitusi ke rumus (2.1), maka diperoleh,

$$V_r = V_M (1 - e^{-T/RC}) \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika $T \ll RC$, dapat ditulis : $e^{-T/RC} \approx 1 - T/RC$

sehingga jika ini disubsitusi ke rumus (2.4) dapat diperoleh persamaan yang lebih sederhana :

$$V_r = V_M(T/RC) \dots\dots\dots(2.5)$$

V_M/R tidak lain adalah beban I , sehingga dengan ini terlihat hubungan antara beban arus I dan nilai kapasitor C terhadap tegangan *ripple* V_r . Perhitungan ini efektif untuk mendapatkan nilai tegangan ripple yang diinginkan.

$$V_r = I T/C \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari rumus ini dapat diketahui, jika arus beban I semakin besar, maka tegangan *ripple* akan semakin besar. Sebaliknya jika kapasitansi C semakin besar, tegangan *ripple* akan semakin kecil.

Untuk penyederhanaan biasanya dianggap $T=Tp$, yaitu periode satu gelombang sinus dari jala-jala listrik yang frekuensinya 50Hz atau 60Hz. Jika frekuensi jala-jala listrik 50Hz, maka $T = Tp = 1/f = 1/50 = 0.02$ det. Ini berlaku untuk penyearah setengah gelombang. Untuk penyearah gelombang penuh, frekuensi gelombangnya dua kali lipat, sehingga $T = 1/2 Tp = 0.01$ det.

Untuk kapasitor yang sebesar ini banyak tersedia tipe elco yang memiliki polaritas dan tegangan kerja maksimum tertentu. Tegangan kerja kapasitor yang digunakan harus lebih besar dari tegangan keluaran catu daya. Sekarang dapat dipahami

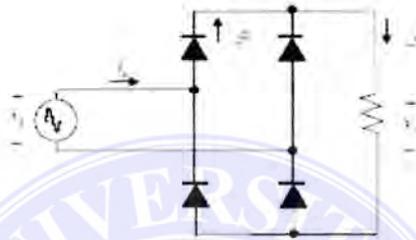
mengapa rangkaian audio dapat mendengung, kembali ke rangkaian penyearah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

catu daya yang dibuat, apakah tegangan *ripple* ini cukup mengganggu. Jika

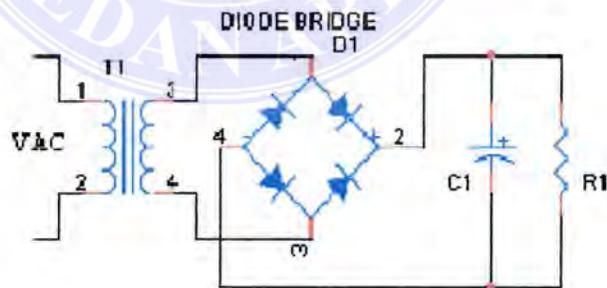
dipasaran tidak tersedia kapasitor yang demikian besar, tentu bisa dengan memparalel dua atau tiga buah kapasitor.

Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan konfigurasi jembatan (*bridge*) ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Rangkaian full wave rectifier

Penyearah gelombang penuh dengan filter C dapat dibuat dengan menambahkan kapasitor pada rangkaian seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 rangkaian penyearah gelombang penuh dengan filter C

Penyearah gelombang penuh dengan filter C dapat dibuat dengan menambahkan kapasitor pada rangkaian gambar 2.6. Bisa juga dengan menggunakan

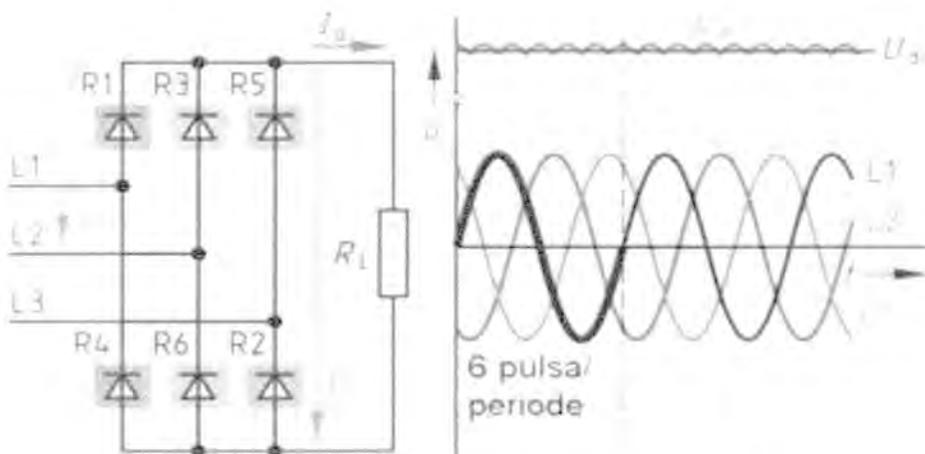
UNIVERSITAS MEDAN AREA CT, tetapi dengan merangkai 4 dioda seperti pada 2.7 .

Sebagai contoh, mendesain rangkaian penyearah gelombang penuh dari catu jala-jala listrik 220V/50Hz untuk mensuplai beban sebesar 0.5 A. Berapa nilai kapasitor yang diperlukan sehingga rangkaian ini memiliki tegangan *ripple* yang tidak lebih dari 0.75 Vpp. Dari rumus (2.6) di maka diperoleh nilai C,

$$C = I.T/V_r = (0.5) (0.01)/0.75 = 6600 \text{ uF} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.3 Penyearah Tiga Fasa

Penyearah diode gelombang penuh tiga fasa menggunakan sistem jembatan dengan enam buah diode R1, R3, dan R5 katodanya disatukan sebagai terminal positif. diode R4, R6, dan R2 anodanya yang disatukan sebagai terminal negative. Tegangan DC yang dihasilkan memiliki enam pulsa yang dihasilkan oleh masing-masing diode tersebut. Tegangan DC yang dihasilkan halus karena tegangan riak (*ripple*) kecil dan lebih rata. Urutan konduksi dari keenam diode dapat dilihat dari siklus gelombang sinusoida yang konduksi secara bergantian. Konduksi dimulai dari diode R1 + R6 sepanjang sudut komutasi 60°. Berturut-turut disusul diode R1 + R2, lanjutnya diode R3 + R2, urutan keempat R3 + R4, kelima R5 + R4 dan terakhir R5 + R6 Jelas dalam satu siklus gelombang tiga fasa terjadi enam kali komutasi dari keenam diode secara bergantian dan bersama-sama. Rangkaian penyearah 3 fasa seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 : Penyearah gelombang penuh 3 fasa

Nilai tegangan rata-rata dari beban (V_L Average) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{AVE} = 1,654 V_m \dots \dots \dots (2.8)$$

Nilai tegangan RMS dari beban (V_L rms) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{rms} = 1,655 V_m \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan melihat arus beban dapat dihitung nilai rata-rata dari arus beban (I_{ave}) dengan rumus :

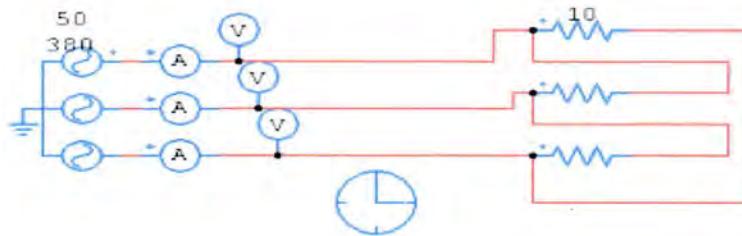
$$I_{ave} = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left[\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = 0,78 I_m \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana nilai I_m ,

$$I_m = \frac{1,73V_m}{\pi} R \dots \dots \dots (2.11)$$

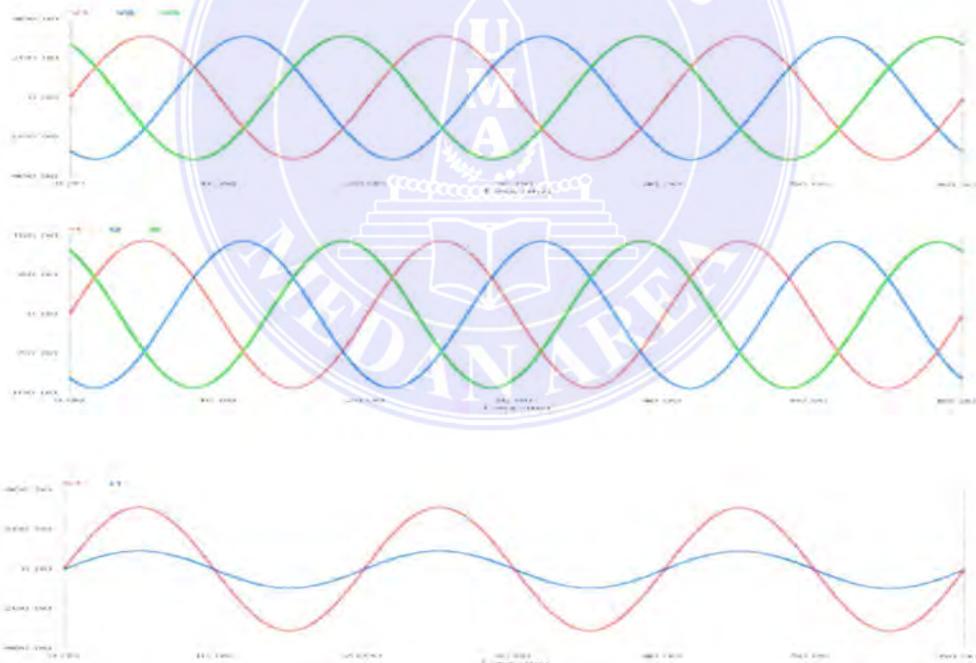
2.4 Beban Linier

Penggunaan beban linier pada sistem tiga fasa seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Penggunaan beban linier

Gambar gelombang tegangan dan arus input akibat pemakaian beban linear seperti pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Gambar gelombang tegangan dan arus input akibat pemakaian beban linier

Dari Gambar 2.9 pemakaian beban linier, arus dan tegangan sumber 3 fasa tidak mengalami distorsi.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

2.5. Karakteristik Beban Non-linier

Beban non-linier adalah beban yang menyebabkan bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya. Beban nonlinier menyebabkan arus dengan bentuk non sinusoidal, walaupun disuplai dari sumber tegangan sinusoidal. Untuk mengetahui karakteristik beban nonlinier satu fasa dapat diambil suatu pendekatan dengan menggunakan rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh yang dilengkapi dengan kapasitor perata tegangan DC. Adanya kapasitor C ini dimaksudkan untuk mendapatkan tegangan DC yang relatif murni yang dikehendaki untuk operasi komponen elektronik. Namun akibatnya arus pada jala-jala sistem Is hanya akan mengalir pada saat terjadi pengisian muatan kapasitor C, yaitu di daerah puncak gelombang tegangan jala-jala, sehingga bentuk gelombang arus Is tidak proporsional lagi terhadap tegangannya (non-linier) dan mengalami distorsi (non-sinusoidal).

2.6 Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk merubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan besar magnitude dan frekuensi tertentu. Inverter banyak sekali digunakan pada berbagai macam produk industri, seperti :

1. Drive kecepatan
2. Induction heating
3. Power supply pesawat udara

4. UPS pada computer

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

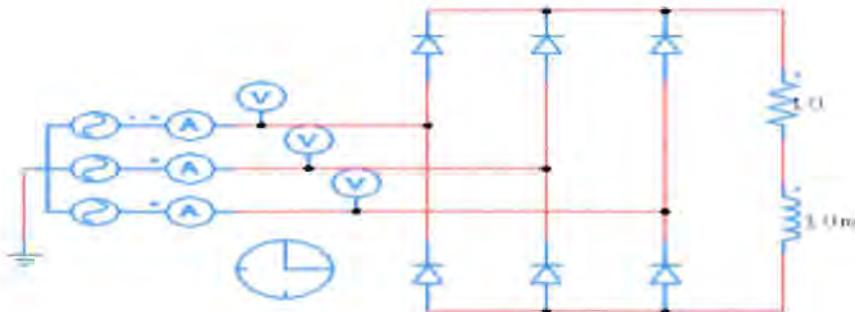
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Teknologi VSD yang dipakai adalah teknik V/F konstan, artinya pada saat ingin menurunkan putaran motor induksi dengan cara menurunkan frekuensinya maka tegangan juga harus diturunkan demikian juga sebaliknya, sehingga besarnya fluksi motor tetap dan motor akan mendapatkan torsi yang tetap besar. Penghematan daya diperoleh saat motor dioperasikan pada kecepatan rendah dibawah kecepatan nominalnya. Maka pada saat motor dioperasikan pada kecepatan rendah dengan cara menurunkan frekuensi motor akan diperoleh penurunan tegangan sehingga pemakaian daya juga akan turun sehingga diperoleh efisiensi daya. Cara kerja inverter adalah merubah dari tegangan dc menjadi tegangan ac dengan frekuensi yang bisa diatur atau diubah-ubah. Pengaturan frekuensi dengan cara teknik switching transistor inverternya. Akibat switching ini menyebabkan bentuk gelombang tidak sinusoidal sehingga menghasilkan distorsi pada PF dimana $PF \neq DPF$ sehingga menimbulkan kerugian daya.

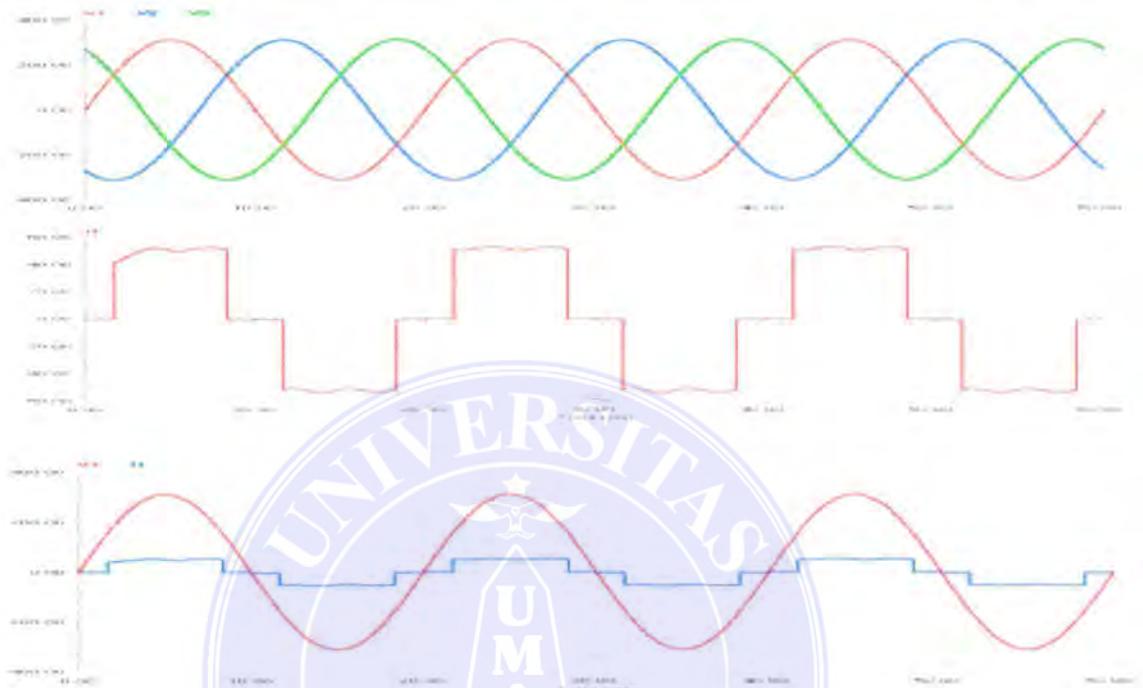
2.7 Beban Non-Linear (Converter 6 Pulsa)

Penggunaan beban non linier pada sistem tiga fasa seperti pada Gambar 2.10,



UNIVERSITAS MEDAN AREA **Gambar 2.10 Penggunaan beban non linear**

Gambar gelombang tegangan dan arus input akibat pemakaian beban non linier seperti pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Gambar gelombang tegangan dan arus input akibat pemakaian beban non linier

Dari Gambar 2.11 pemakaian beban non linier berupa converter 6 pulsa menyebabkan gelombang arus input mengalami distorsi berat tetapi tegangan sumber tidak terdistorsi.

2.8 Cacat Gelombang

Pada sistem tenaga listrik, daya yang didistribusikan adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz), tetapi karena perkembangan beban listrik yang semakin pesat dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban non linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk

UNIVERSITAS MEDAN AREA

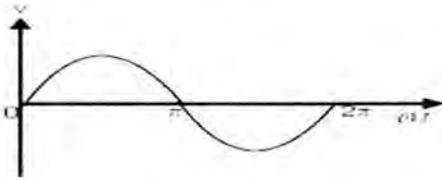
gelombang sinusnya, sehingga yang semula seperti Gambar 2.10a, tetapi setelah

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

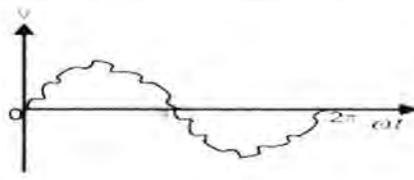
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dialirkan beban-beban non linier, bentuk gelombangnya tidak lagi sinus melainkan akan cacat atau terdistorsi seperti yang terlihat pada Gambar 2.12b.

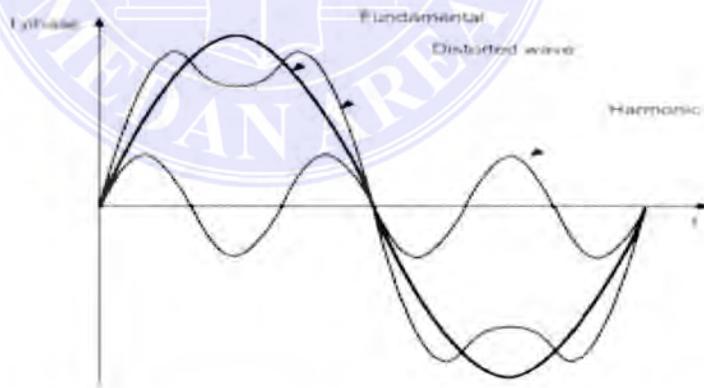


Gambar 2.12a
Gelombang sinus murni



Gambar 2.12b
Gelombang sinus terdistorsi

Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang disebabkan oleh pemakaian beban non linier lebih dikenal dengan harmonisa, dengan kata lain harmonisa adalah komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen frekuensi fundamental. Hal ini dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Bentuk Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

2.9 Konsep Dasar Analisa Harmonisa

Analisa Fourier terdiri dari 2 bagian yaitu:

1. Transformasi Fourier (Fourier Transform)
2. Deret Fourier (Fourier Series)

Sinyal waktu kontinu dengan analisa fourier harus dideretkan, karena sinyal waktu kontinu $f(t)$ yang akan di analisa menurut Fourier merupakan sinyal yang terdistorsi. Ada beberapa factor yang menyebabkan sinyal terdistorsi diantaranya:

1. Adanya sinyal noise pada frekuensi tertentu
2. Adanya pengaruh disturbance
3. Adanya unsur harmonisa dari sinyal tersebut
4. Adanya komponen atau beban yang bersifat non linear dari suatu system

Prinsip dasar atau pengertian dasar deret Fourier adalah semua bentuk gelombang waktu atau sinyal waktu kontinu $f(t)$ yang periodic (bukan gelombang sinus) dapat dinyatakan atau diuraikan kedalam beberapa komponen harmonisa atau komponen frekuensi, atau dengan kata lain dapat dinyatakan sebagai bentuk jumlahan fungsi-fungsi sinus atau cosinus. Jadi jika suatu sinyal waktu kontinu $f(t)$ yang periodic (distorsi karena adanya harmonisa) diambil deret Fouriernya maka hasilnya juga berupa sinyal waktu kontinu, hanya saja memiliki beberapa komponen frekuensi dan amplitudo harmonisa.

Ada beberapa syarat suatu sinyal bisa dianalisa dengan menggunakan deret fourier:

1. Sinyal waktu $f(t)$ harus periodic
2. Sinyal waktu $f(t)$ harus kontinu bagian demi bagian (piecewise)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

Deret Fourier secara matematik dapat dibagi menjadi 2 berdasarkan cara penulisannya:

1. Deret Fourier Trigonometri (Unifersal Form)
2. Deret Fourier Exponential (Complex Form)

Deret Fourier Trigonometri (Unifersal Form), Suatu sinyal waktu kontinyu $f(t)$ yang periodic (terdefinisi pada interval tertentu) dapat dinyatakan dalam deret Fourier Trigonometri sebagai berikut:

$$f(t) = d_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad I_{ave} = I_m \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{a_n^2}{I_m^2} + \frac{b_n^2}{I_m^2} \right)} = 0,707 I_m \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan Koefesien-koefesiennya adalah :

$$d_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots \dots \dots (2.12)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \dots \dots \dots (2.13)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

- d_0 = Harga rata-rata atau komponen DC dari sinyal $f(t)$
- a_n dan b_n = Amplitudo sinyal harmonisa
- n = Gelombang harmonisa

2.10 Sumber-Sumber Harmonisa

Komponen-komponen sistem tenaga listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 © Hak Cipta dan Undang-undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

2. Mengganggu operasi peralatan lain seperti jalur telpon dan lain-lain.
3. Tidak amannya arus netral dalam sistem tiga fasa.
4. Induktor, generator dan transformator menjadi sangat panas dan cepat rusak.
5. Tidak amannya arus pada kapasitor perbaikan faktor kerja
6. Kapasitor menjadi sangat panas dan rusak.
7. Tidak berfungsinya peralatan pengaman.

2.12 Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THDI) dan batas harmonisa untuk tegangan (THDV). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling), sedangkan IL adalah arus beban fundamental. Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan dari besarnya tegangan system yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE Std 519-1992 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem Distribusi Umum (120 V sampai 69 kV)

**Tabel 2.1 Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120V Through 69.000V)**

| <i>Maximum Harmonic Current Distortion</i> | | | | | | |
|--|------|----------|----------|----------|-------|------|
| <i>In Percent of Individual Harmonic Order (Odd)</i> | | | | | | |
| I_{sc}/I_L | <11 | 11<=h<17 | 17<=h<23 | 23<=h<35 | 35<=h | TDD |
| <20 | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 5.0 |
| 20<50 | 7.0 | 3.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 8.0 |
| 50<100 | 10.0 | 4.5 | 4.0 | 1.5 | 0.7 | 12.0 |
| 100<1000 | 12.0 | 5.5 | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 15.0 |
| >1000 | 15.0 | 7.0 | 6.0 | 2.5 | 1.4 | 20.0 |

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above where,
 I_{sc} = maximum short circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component)

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan

| Bus Voltage at PCC | Individual Voltage Distortion (%) | Total Harmonic Voltage Distortion THD (%) |
|-----------------------|-----------------------------------|---|
| 69 kV and below | 3.0 | 5.0 |
| 69.00001 kV sd 161 kV | 1.5 | 2.5 |
| 161.001 kV and above | 1.0 | 1.5 |

(sumber : IEEE recommended Practices and Requirements, 2004 : 78)

%THDV adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa dan %THDI adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa.

De La Rosa mendefinisikan THD dengan persamaan

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

THD_V = nilai THD tegangan (dalam persen)

THD_I = nilai THD arus (dalam persen)

V_1 = tegangan fundamental

I_1 = arus fundamental

V_h = tegangan frekuensi ke-n

I_h = arus frekuensi ke-n

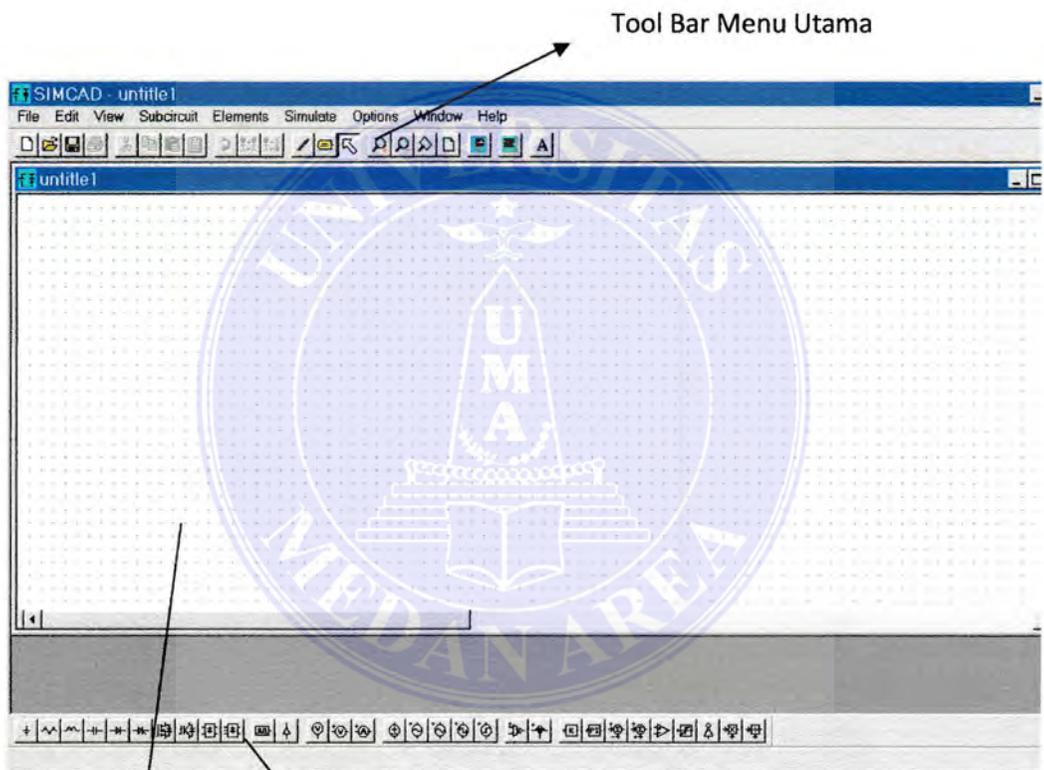


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Model Antar Muka Program Yang Digunakan

Psim Simulator merupakan media yang dapat mensimulasikan model rangkaian elektronik. Tampilan Antar muka Psim ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Tampilan Psim Simulator

Media Memodelkan Rangkaian Simulasi

Tool Bar Menu Piranti Elektronik

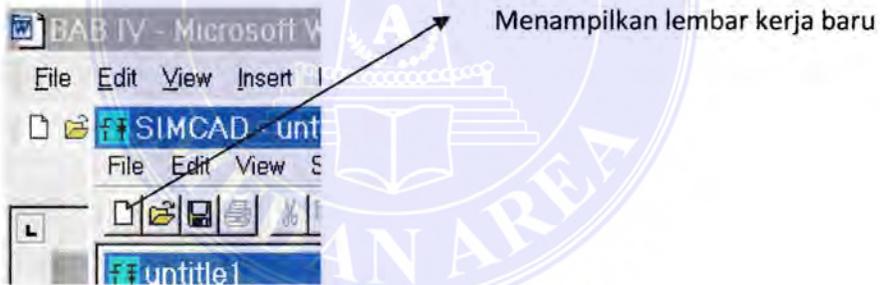
Untuk melakukan tahapan simulasi, simbol piranti elektronik yang umum digunakan dapat langsung di ambil dari *tool bar* menu piranti elektronik, sedangkan untuk piranti yang tidak terdapat pada bagian tersebut, dapat dicari pada bagian *elements* dari antar muka Psim Simulator.

3.2 Fungsi Psim

Fungsi Psim merupakan media interaksi simulasi yang digunakan untuk mendesain, menganalisis dan mengamati hasil kerja yang sudah dibuat. Berikut dijelaskan beberapa mekanisme kerja yang terdapat pada *common windows Psim Simulation* untuk melakukan simulasi.

3.3. Step 1. Fungsi Menampilakn Lembar Kerja baru Dan Membuka File Project

Klik pada media dari gambar 3.2 dibawah ini untuk membuka project baru dalam melakukah simulasi



Gambar 3.2. Membuka Project Baru

Setelah lembar kerja seperti gambar 3.2 terbuka maka klik komponen yang terdapat pada menu tool bar untuk mencari piranti yang diinginkan, sebagai contoh misalkan ingin melakukan simulasi karakteristik sumber Arus Bolak Balik, ada tiga komponen yang perlu di tampilkan pada lembar kerja yaitu: *Sinusoidal*

Voltage Probe (Untuk mengukur Tegangan) dan *Current*

probe (untuk mengukur arus)

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

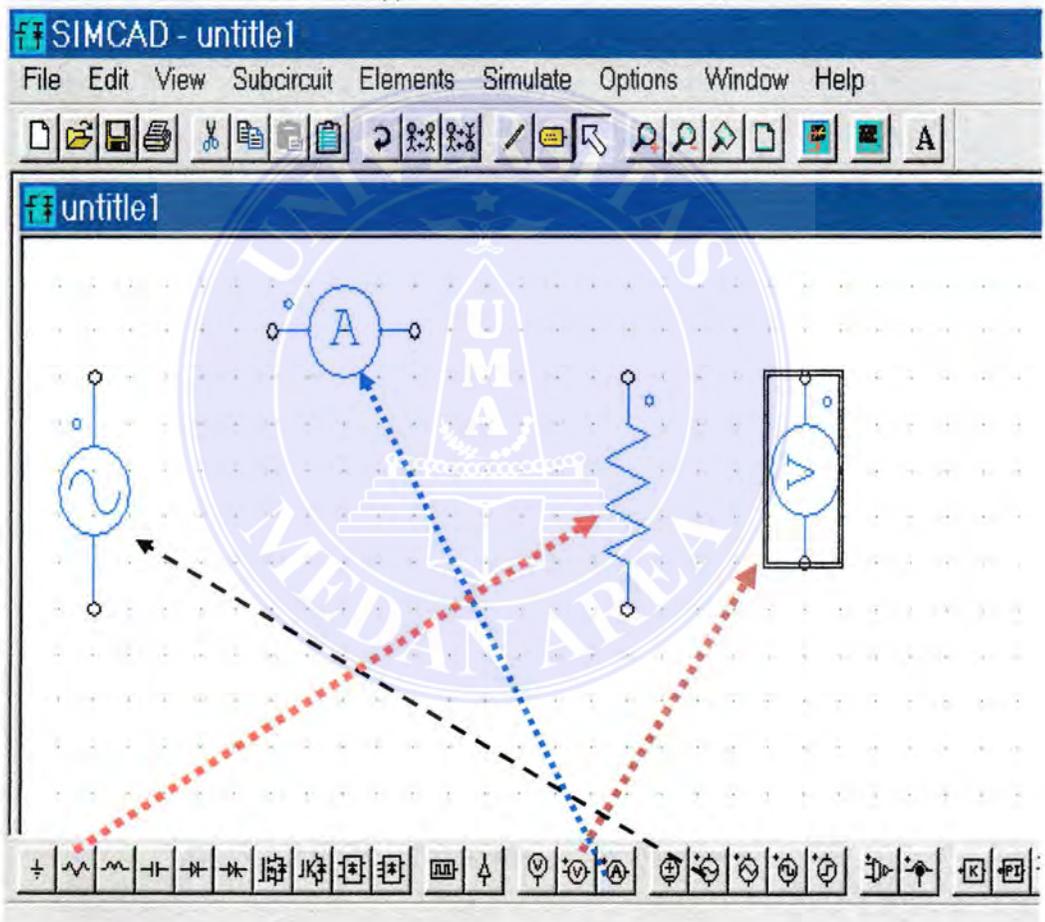
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

3.4. Step. 2. Memulai Membuat Project Sederhana

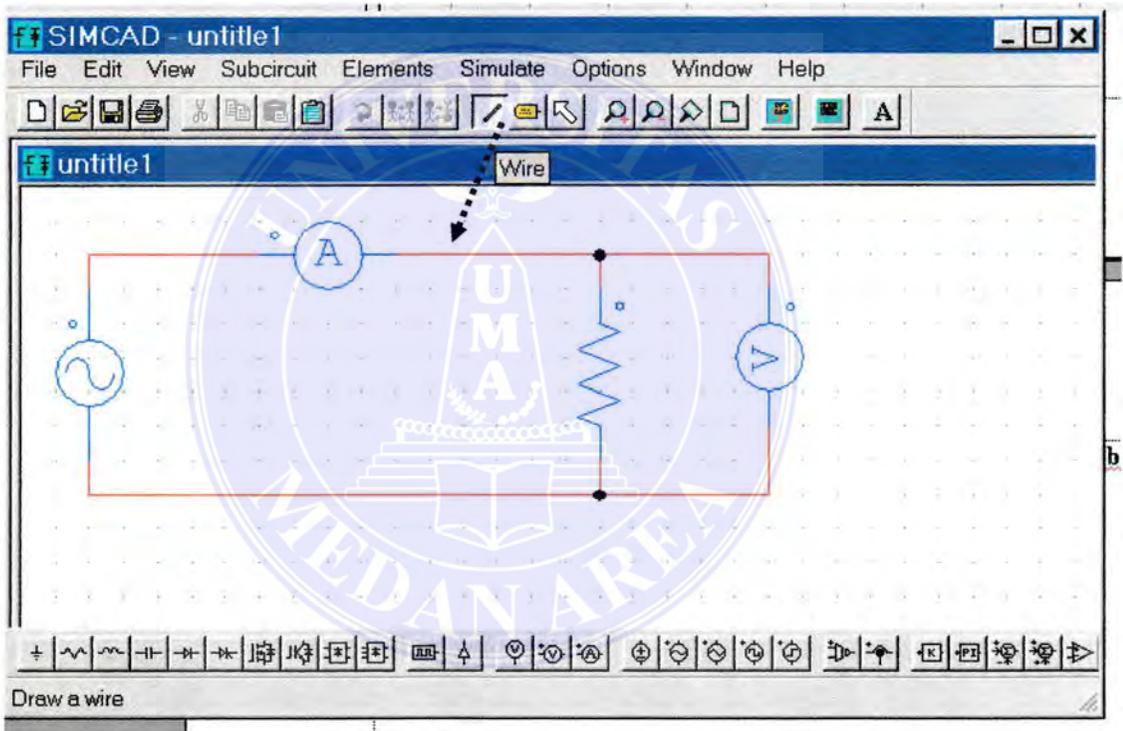
Gambar 3.3 merupakan tampilan untuk membuat rangkaian sederhana untuk mengukur arus dan tegangan pada sebuah resistor, komponen-komponen yang terdapat pada menu *tool bar* di klik lalu dipindahkan dengan menarik *krusor* ke lembar kerja Psim, penempatan di atur sedemikian rupa untuk mempermudah merangkai dan menghindari kesalahan terhadap rangkaian.



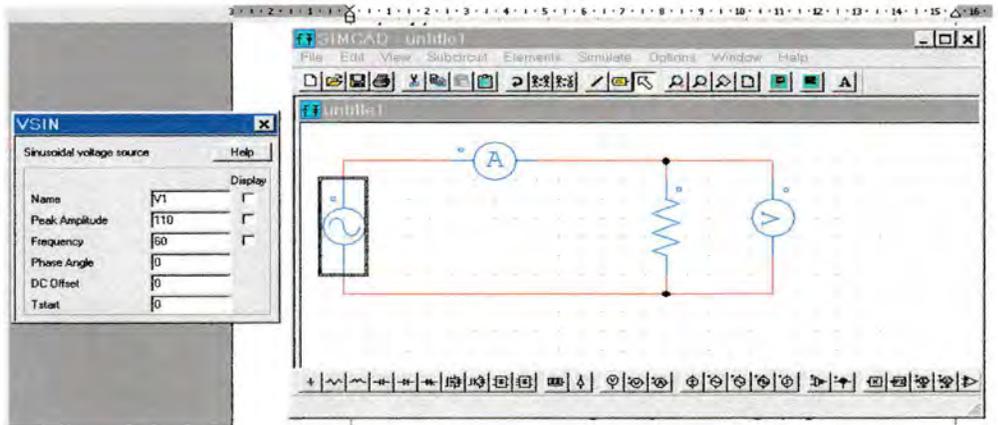
Gambar 3.3 Antar Muka *Psim Simulation* dengan rancangan piranti sederhana

3.5. Step. 3. Merangkai Komponen

Untuk merangkai komponen simbol *pencil* digunakan sebagai alat penghubung antara satu komponen dengan komponen lain (Gambar 3.3), dan ini berfungsi sebagai *wire* (kabel), rangkaian yang sudah dirancang kemudian di isi datanya sesuai dengan data *real* dengan cara melakukan *double klik* pada setiap komponen seperti ditunjukkan pada gambar 3.4



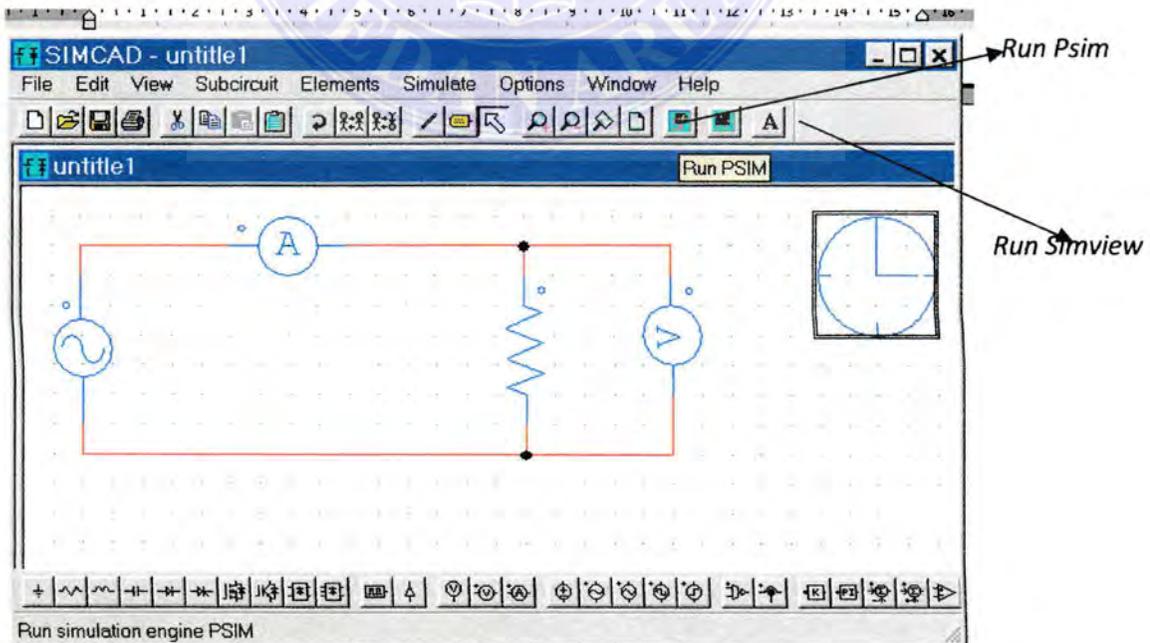
Gambar 3.4 Merangkai komponen Satu dengan yang lain



Gambar 3.5 Mengisi Parameter

3.6. Step. 4. Menjalankan Simulasi (*Run Simulation*)

Pada tahap ini setelah data di isi setiap komponen dari gambar 3.9 maka *project* tersebut dapat disimulasikan dengan melakukan *run simulation* dengan menekan simbol *run Psim* dan untuk menampilkan bentuk gelombang (karakteristik) dari rangkaian klik simbol *run simview* dari gambar 3.6



UNIVERSITAS MEDAN AREA

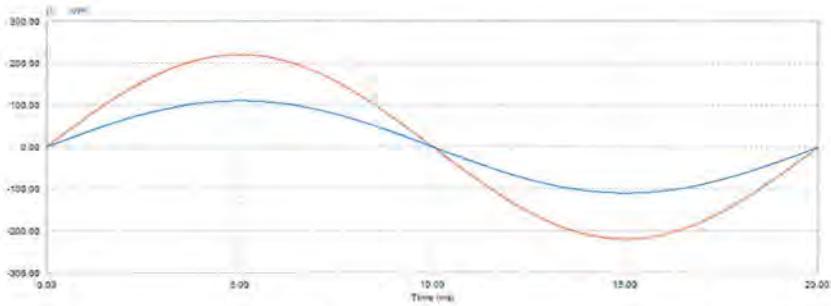
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 3.6. Melakukan Run simulasi dan Cek Bentuk Gelombang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23



Gambar 3.7. Hasil Run Simulasi dari gambar 3.6

Setelah proses *run Psim* dan *run simview* maka hasilnya akan tampak seperti gambar 3.7.

3.7. Desain Catu Daya (*Rectifier*) Menggunakan Psim Tanpa Filter C

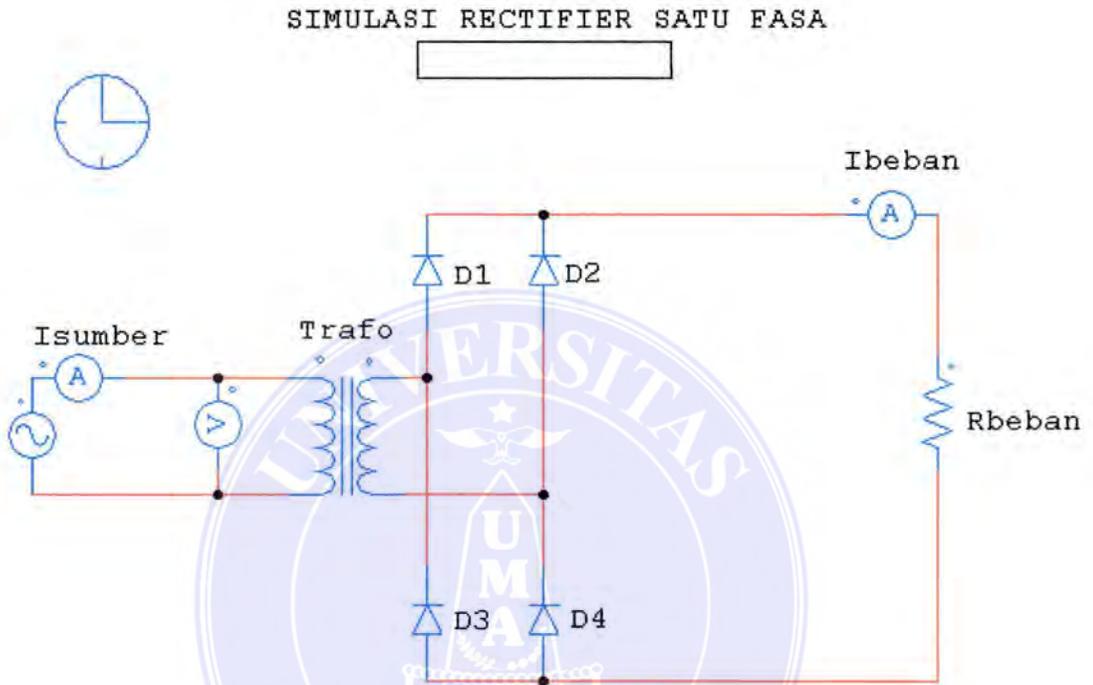
Untuk mendesain rectifier tanpa filter C, proses step 1 sampai dengan 4 dijadikan sebagai acuan untuk mendesain gambar 3.8.

Komponen yang terdapat pada rancangan simulasi sebagai berikut:

1. Sumber input AC di set sebesar 220 Volt dengan Frekwensi 50 Hz
2. Transformator ideal dengan perbandingan belitan $N_1 : N_2$
3. Dioda sebanyak 4 buah sebagai rangkaian Jembatan
4. beban Resistor di set sebesar 10 Ohm
5. 1 Buah Volt meter yaitu V_{AC} sebagai tegangan bolak-balik input transformator dan Dua buah ampere meter yang dipasang pada sisi masukan trafo dan beban R.

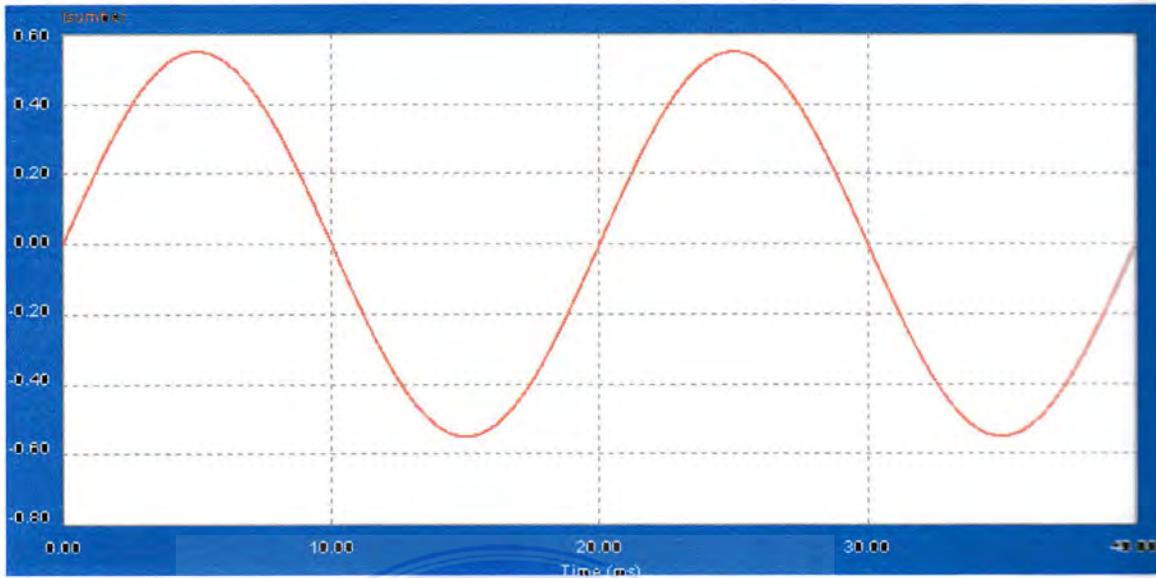
Tahapan Pengujian Yang dilakukan Adalah sebagai berikut:

1. Mengecek bentuk Gelombang Out Put penyearah sebelum dipasang Filter C



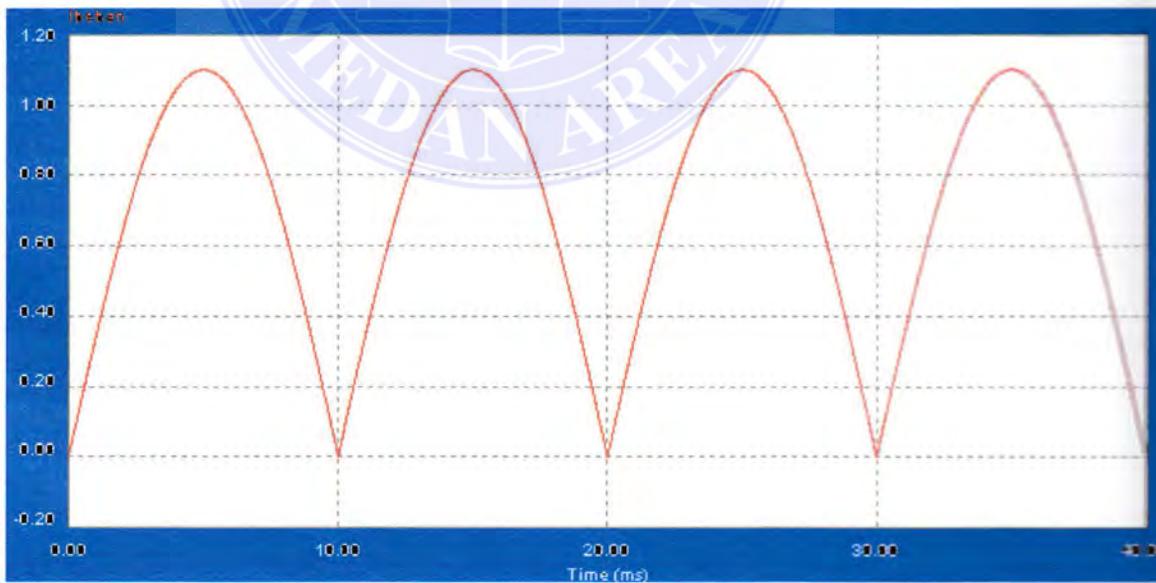
Gambar 3.8 Rangkaian Tanpa Filter C

Hasil simulasi (Gambar 3.8.) menunjukkan bahwa pengukuran terhadap rangkaian arus sumber (I_{sumber}) terlihat bahwa bentuk gelombang masih AC (Sinusoidal)



Gambar 3.9 a. Hasil Simulasi Isumber dari Gambar 3.8

Pengukuran terhadap arus beban setelah keluaran dioda diperlihatkan pada gambar 3.9b bentuk keluaran dari penyearah adalah gelombang penuh



Gambar 3.9b. Hasil Simulasi beban dari Gambar 3.8

UNIVERSITAS MEDAN AREA

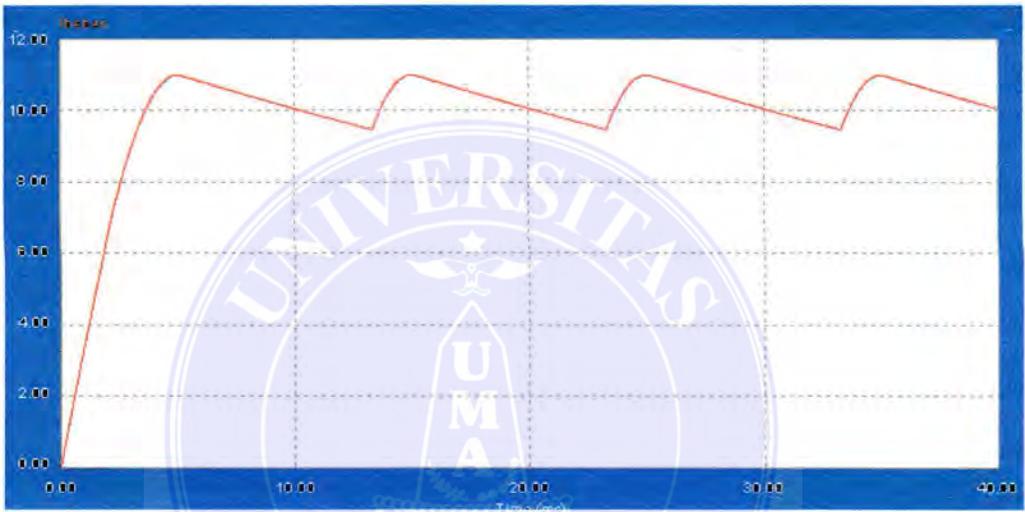
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

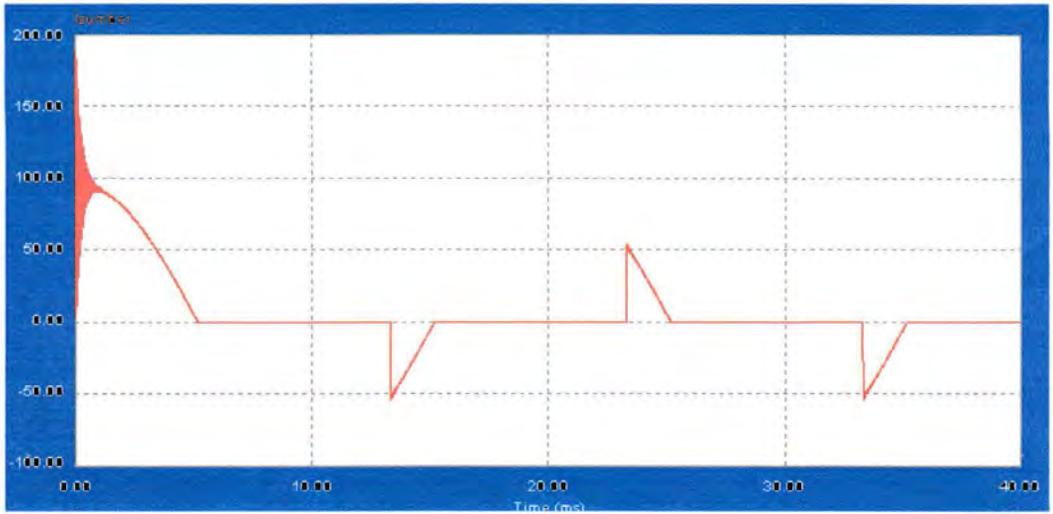
3.8. Disain Catu Daya (*Rectifier*) menggunakan Psim dengan Filter Kapasitor

Kapasitor sebagai Filter dengan nilai kapasitansi $C=5500$ mikro Farad dipasang setelah out put dari dioda (Gambar 3.8), disebut sebagai filter input kapasitor, fungsi filter tersebut mereduksi ripple yang terjadi dari keluaran dioda, seperti ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10. Rangkaian Rectifier (Penyearah)

Dampak penggunaan dari kapasitor yang berfungsi untuk merubah ripple dapat menyebabkan terjadinya cacat gelombang input yang disebut sebagai harmonisa ditunjukkan pada gambar 3.11 berikut ini:



Gambar 3.11. Cacat gelombang Input pada masukan rectifier yang di filter dengan filter input kapasitor



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dapat menimbulkan harmonisa pada sistem Tenaga listrik karena arus yang mengalir melewati dioda hanya satu arah saja, yang menyebabkan arus sumber tidak berbentuk sinusoidal lagi dan terdistorsi arus yang mengalir pada dioda tersebut.
2. Sebelum dipasang filter aktif, pada beban R untuk nilai resistan sebesar 0.5 ohm terlihat cacat gelombang input sangat signifikan
3. Filter aktif dapat memperbaiki cacat gelombang input akibat adanya beban non-linear dalam sistem tenaga listrik

Daftar Pustaka

- [1] C.P. Henze and N. Mohan 1986. *A digitally control led ac to dc powerconditioner that draw sinusoidal in-put current*” in *IEEE power electronic specialists conf*, Rec, pp 531-540
- [2] Daniel W. hart, 1997.” *Introduction to power electronics*, prentice-hallinternasional,inc
- [3] E. Ismail and R.W Erickson, 1992, ” *A single transistor three phase resonant switch for high quality rectification*” in *IEEE popwer elctronics specialist Conf*. Pp 1341-1352
- [4] Hirufumi Agaki , Jan 1990. ,” *A study of active filter using Quad-series Voltage-Source PWM Converter for harmonic Compensation*,” *IEEE transaction on Power Electronic Vol 1*.
- [5] L.H. Dixon ,jr ”*High power factor preregulators for off-line power supplies*,” in *Unitrode power supplay desaign seminar*.
- [6] M. Isnaeni B.S., and T. Haryono, *THE EFFECT OF HOUSEHOLD ELECTRICAL DEVICE HARMONIC PERFORMANCE TO THE DISTRIBUTION TRANSFORMER HARMONIC CURRENT*” *Proc. of the International Conf. on Electrical, Electronics, Communication, and Information (CECI2001) Jakarta-Indonesia, March 7th-8th, 2001*