

ANALISA HARMONIK TEGANGAN KELUARAN UPWM INVERTER SATU FASA



S K R I P S I

*Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Elektro Di Fakultas Teknik Universitas Medan Area*

Oleh :

Iskandar

NIM : 86.812.0026



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2 0 0 3**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 11/12/23

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)11/12/23

ABSTRAK

Inverter adalah suatu peralatan listrik yang dapat menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik (AC) dari sumber tegangan masukan searah (DC). Tegangan keluaran inverter dapat diatur dengan mengatur tegangan masukan dan menjaga penguat (gain) dari inverter konstan, dengan kata lain jika tegangan masukan konstan maka tegangan keluaran dapat diatur dengan mengatur penguat dari inverter, yang mana dapat dilakukan dengan pengaturan modulasi lebar pulsa pada inverter.

Bentuk gelombang keluaran inverter secara prakteknya tidak sinusoidal dan mengandung harmonik-harmonik, dan kualitas dari inverter ditentukan dari harmonik yang terkandung pada tegangan keluarannya.

Tulisan ini mencoba untuk memberikan analisa tentang harmonik tegangan keluaran inverter satu fasa dengan teknik kontrol modulasi lebar pulsa seragam (Uniform-Pulse-Width Modulation, UPWM). Nilai masing-masing ordenya dihitung dengan penerapan deret fourier dan diakhir tulisan ini juga diberikan program komputer dalam bahasa BASIC untuk menentukan profil harmoniknya.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Penulisan	1
I.2. Tujuan Penulisan	1
I.2. Tujuan Penulisan	2
I.3. Pembatasan Masalah	2
I.4. Metoda Penulisan	3
I.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II INVERTER SATU FASA	5
II.1. Umum	5
II.2. Syarat-Syarat Yang Harus Dipenuhi Oleh Suatu Inverter	7
II.3. Prinsip Kerja Inverter Satu Fasa	10
II.3.1. Inverter Satu Fasa Setengah Jembatan	10
II.3.2. Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh	13
II.4. Komponen Switching Rangkaian Inverter	16
II.5. Pengaruh Tegangan Keluaran Dari Inverter Satu Fasa	17

BAB III PENGGUNAAN DERET FOURIER UNTUK ANALISA HARMONIK	20
III.1. Gelombang Dasar Dan Harmonik	20
III.2. Gelombang Periodik	22
III.3. Parameter-Parameter Harmonik	25
III.4. Bentuk Trigonometris Dari Deret Fourier	27
III.5. Penggunaan Simetri	29
III.6. Langkah-langkah Untuk Menentukan Deret Fourier Dari Fungsi Yang Diberikan	36
BAB IV ANALISA HARMONIK TEGANGAN KELUARAN UPWM INVERTER SATU FASA	39
IV.1. UPWM Unverter Satu Fasa	39
IV.2. Analisa Persamaan Tegangan Keluaran UPWM Inverter Satu Fasa	42
IV.3. Analisa Harmonik Tegangan Keluaran UPWM Inverter Satu Fasa Dengan Bahasa Program BASIC	46
IV.3.1. Diagram Alir (Flow Chart)	47
IV.3.2. Daftar (Listing) Program	49
IV.3.3. Data Hasil Keluaran Program	52
IV.3.4. Analisa Harmonik	52
IV.3.5 Grafik	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
V.1. Kesimpulan	57
V.2. Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

UNIVERSITAS MEDAN AREA

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Penulisan

Inverter adalah suatu peralatan listrik yang dapat menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik (AC) dari sumber tegangan searah (DC). Fungsi dari inverter ini adalah untuk mengubah suatu tegangan masukan searah menjadi tegangan bolak-balik yang simetris dengan magnitud dan frekuensi yang diinginkan.

Bentuk gelombang tegangan keluaran inverter yang ideal seharusnya sinusoidal, namun demikian bentuk gelombang tegangan keluaran dari inverter secara prakteknya tidak sinusoidal dan mengandung harmonik-harmonik.

Inverter secara luas dipergunakan pada aplikasi industri seperti kontrol kecepatan motor AC, pemanasan induksi, sumber daya cadangan, dan berbagai aplikasi lainnya. Inverter umumnya menggunakan sinyal kontrol modulasi lebar pulsa (Pulse-Width Modulation, PWM) untuk menghasilkan suatu tegangan keluaran bolak-balik yang diinginkan. Dalam pengaturan tegangan keluaran inverter tersebut memberikan konsekuensi adanya harmonik yang ditimbulkannya.

Harmonik adalah gejala-gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya, sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik.

Tulisan ini akan menguraikan tentang analisa harmonik tegangan keluaran inverter satugasa yang memakai sinyal kontrol modulasi lebar pulsa serangan (Uniform-Pulse-Width Modulation, UPWM) dimana nilai harmonik dari masing-masing ordenya dihitung dengan penerapan deret Fourier.

Khusus untuk penggunaan deret Fourier, akan diuraikan langkah-langkah ataupun prosedur dalam menentukan deret Fourier dari fungsi yang diberikan dan juga program komputer dalam bahasa BASIC untuk menganalisa harmonik dari tegangan keluaran inverter fasa dengan teknik kontrol modulasi lebar pulsa seragam.

I.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa harmonik dari tegangan keluaran inverter satu fasa dengan teknik kontrol modulasi lebar pulsa seragam (Uniform Pulse-Width Modulation, UPWM), dimana parameter harmonik yang dianalisa adalah faktor harmonik dan faktor distorsi harmoniknya.

I.3. Batasan Masalah

Tulisan tugas akhir ini membatasi pembahasan terhadap analisa faktor harmonik dan faktor distorsi harmonik tegangan keluaran inverter satu fasa dengan teknik kontrol modulasi lebar pulsa seragam. Adapun untuk teknik kontrol yang lain tidak dibahas di dalam tulisan tugas akhir ini. Tulisan tugas akhir ini juga tidak membahas secara khusus terhadap proses penyalan sinyal gate pada thyristor,

penanggulangan/minimalisasi dari harmonik-harmonik yang dihasilkan serta untuk aplikasi inverter satu fasa pada peralatan listrik.

I.4. Metode Penulisan

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah studi literatur, berupa studi kepustakaan dan kajian dari buku-buku teks pendukung lainnya.

I.5. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran tulisan tugas akhir ini secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, metode dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB II INVERTER SATU FASA

Bab ini menjelaskan tentang dasar dari inverter satu fasa, syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu inverter, prinsip kerja inverter satu fasa setengah jembatan dan jembatan penuh, komponen switching rangkaian inverter, dan pengaturan tegangan keluaran dari inverter satu fasa.

BAB III PENGGUNAAN DERET FOURIER UNTUK ANALISA HARMONIK

Bab ini membahas tentang gelombang dasar dan harmonik, gelombang periodik, parameter-parameter harmonik, bentuk trigonometris dari deret Fourier, penggunaan simetri, serta pada akhir bab ini akan disajikan

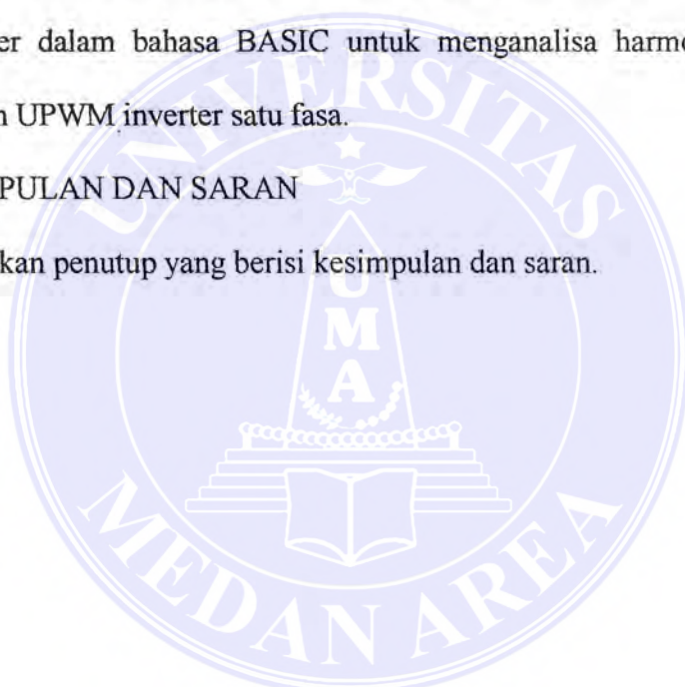
langkah-langkah dalam menganalisa deret Fourier dari fungsi yang diberikan.

BAB IV ANALISA HARMONIK TEGANGAN KELUARAN UPWM INVERTER SATU FASA

Bab ini membahas mengenai UPWM inverter satu fasa, analisa persamaan tegangan keluaran inverter satu fasa serta harmoniknya dan program komputer dalam bahasa BASIC untuk menganalisa harmonik tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan penutup yang berisi kesimpulan dan saran.



BAB II

INVERTER SATU FASA

I.1. Umum

Inverter adalah suatu peralatan listrik yang dapat menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik (AC) dari sumber tegangan searah (DC). Fungsi inverter dari inverter adalah merubah suatu tegangan masukan searah menjadi suatu tegangan keluaran bolak-balik yang simetris dengan magnitud dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan keluaran tersebut dapat dibuat konstan (fix) atau berubah (variabel) pada suatu frekuensi tetap maupun berubah. Suatu tegangan keluaran yang berubah dapat diperoleh dengan mengatur tegangan masukan searah dan menjaga konstan penguat (gain) inverternya. Dengan kata lain jika tegangan masukan searahnya konstan. (tidak di atur), maka tegangan keluaran bolak-balik dapat diperoleh dengan mengatur penguat inverternya, yang biasanya berupa pengaturan modulasi lebar pulsa (Pulse-Width Modulation, PWM) didalam inverter tersebut. Penguat inverter didefinisikan sebagai rasio dari tegangan keluaran bolak-balik (AC) terhadap tegangan masukan (DC).

Bentuk gelombang tegangan keluaran inverter ideal seharusnya sinusoidal. Namun dalam prakteknya bentuk gelombang tegangan inverter tidak sinusoidal dan mengandung harmonik-harmonik. Untuk aplikasi daya rendah dan menengah, gelombang tegangan persegi dan gelombang tegangan agak, persegi bisa diterima,

sementara untuk aplikasi daya tinggi, gangguan yang kecil pada bentuk gelombang sinusoidal perlu dipertimbangkan.

Dengan suatu komponen daya kecepatan tinggi, kandungan harmonis dapat dikurangi (diminimalisasi) secara berarti dengan teknik-teknik switching.

Pada aplikasi industri, inverter digunakan secara luas seperti pada pengaturan kecepatan variabel motor ac, pemanasan induksi, catu daya cadangan (Uninterruptible Power Supply, UPS). Masukan inverter bisa dari batere, sel bahan bakar atau sumber dc lainnya.

Berdasarkan tegangan keluarannya secara umum inverter dapat diklasifikasikan kepada kedua type yaitu, inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Masing-masing tipe dapat menggunakan pengaturan thyristor komutasi paksa komponen-komponen turn-on dan turn-off seperti :

- BJT (Bipolar – Junction Transistor)
- MOSFET (Meal-Oxide-Semi conductor Field Effect Transistor)
- IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)
- MCT (MOS-Controlled Thyristor)
- SIT (Static Induction Transistor)
- GTO (Gate-turn-off Thyristor)

Inverter-inverter ini umumnya menggunakan sinyal-sinyal pengaturan modulasi lebar untuk menghasilkan suatu tegangan keluaran bolak-balik. Ditinjau dari masukannya maka inverter disebut sebagai inverter sumber tegangan (Voltage Fed Inverter, VFI) jika tegangan masukannya dijaga konstan. Inverter disebut sebagai

inverter sumber arus (Current Fed Inverter, CFI) jika arus masukannya dijaga konstan dan disebut inverter hubungan DC Variabel (Variabel DC Link Inverter) jika tegangan masukannya dapat diatur (controllable).

II.2. Syarat-syarat Yang Harus Dipenuhi Oleh Suatu Inverter

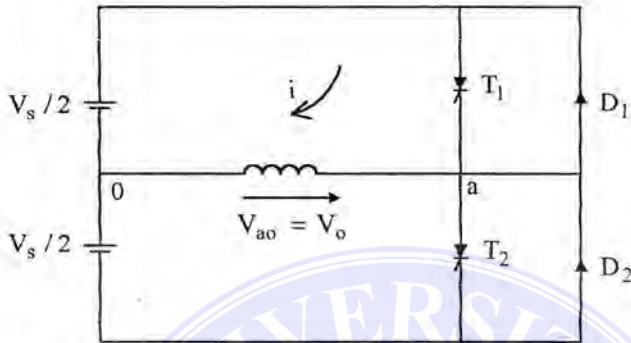
Adapun persyaratan-persyaratan praktis yang harus dipenuhi oleh suatu inverter adalah :

1. Inverter harus mampu beroperasi/bekerja pada beban induktif.
2. Memiliki proteksi arus lebih untuk memproteksi peralatan dan beban.
3. Keluaran suatu inverter harus dapat diatur/dikontrol.
4. Memiliki bentuk gelombang tegangan keluaran yang sedekat mungkin mendekati bentuk gelombang sinusoidal.
5. Rating dari thyristor diusahakan tidak terlampaui.

ad.1. Kemampuan beroperasi/bekerja pada beban induktif

Suatu beban induktif akan memberikan arus beban lagging yang terkumpul pada rangkaian inverter. Ini artinya ketika thyristor pada kondisi padam, maka harus ada aliran jalan lain yang lebih rendah impedansinya seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.1. sebab jika tidak ada akan dapat menyebabkan tegangan tinggi transient yang dapat cenderung merusak thyristor atau mengurangi efisiensinya sebagai peralatan switching inverter.

Beban induktif juga mempunyai sifat seperti seperti generator dan dapat memompakan kembali energi ke sumber jika disediakan rangkaian pelengkapannya.



Gambar 2.1. Rangkaian Inverter satu fasa yang bekerja pada beban induktif

ad.2. Memiliki proteksi arus lebih untuk memproteksi peralatan dan beban

Fuse dan pemutus daya merupakan proteksi pada catu daya searah, tetapi tidak memberikan proteksi yang cukup untuk sebuah rangkaian inverter. Fuse dan pemutus daya tersebut diletakkan diantara catu daya dc dan inverter, jika terdapat arus gangguan (arus lebih) pada saat thyristor sedang dinyalakan, maka akan menimbulkan ripple pada keluaran inverter. Untuk menghindari ini maka fuse dan pemutus daya harus dipilih sesuai dengan rating arus gangguan yang dibutuhkan untuk proteksi inverter tersebut.

Dalam kasus inverter modulasi lebar pulsa, arus keluaran dapat dikurangi dengan mempersempit lebar pulsa dayanya. Untuk arus beban yang besar cenderung memberikan lebar pulsa yang sempit dan amplitudo yang lebih besar. kecenderungan ini menambah di/dt dan mengurangi waktu pemadaman yang tersedia bagi suatu thyristor.

ad.3. Tegangan keluarannya harus dapat diatur/dikontrol

Suatu inverter harus dapat menghasilkan tegangan maupun frekuensi keluaran yang dapat dikontrol. Ini sangat penting dalam berbagai aplikasi inverter, seperti penggunaannya pada motor ac yang dipakai untuk menjaga rasio tegangan dan frekuensi agar tetap konstan. Karena hal ini dapat mempertahankan flux magnetik didalam rangkaian magnetik tetap pada harga konstan. Pengontrolan tegangan keluaran inverter ini dapat dilakukan dengan beberapa cara dan untuk lengkapnya akan dibahas pada sub bab berikutnya.

ad.4. Bentuk gelombang tegangan keluarannya mendekati sinusoidal

Keluaran suatu inverter adalah tegangan bolak-balik yang dibutuhkan oleh beban-beban dengan sumber tegangan bolak-balik, dengan bentuk gelombang keluaran yang sinusoidal. Maka diharapkan bentuk gelombang keluaran suatu inverter itu sedapat mungkin menyerupai gelombang sinusoidal. Kedekatan bentuk gelombang tegangan keluaran suatu inverter kepada bentuk gelombang yang sinusoidal dapat dinyatakan dalam suatu parameter performasi (kinerja) inverter terhadap harmonik yaitu parameter *distorsi harmonik (harmonic distorsion)* yang ditimbulkannya (%), dan mengenai parameter performasi inverter terhadap harmonik inverter terhadap harmonik ini akan diuraikan pada bab berikutnya.

ad.5. Tidak melampaui rating thyristor

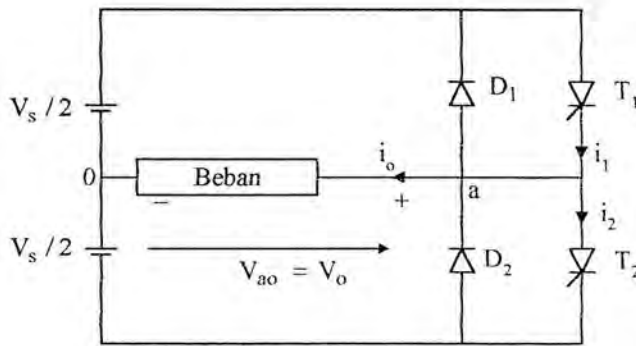
dalam pemilihan thyristor pada suatu rangkaian inverter biasanya disesuaikan atau mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1. Menangani daya pada tegangan dan arus rating
2. Harga maksimum dv/dt dan di/dt .
3. Waktu lamanya pemadaman yang diberikan dalam kondisi operasi.

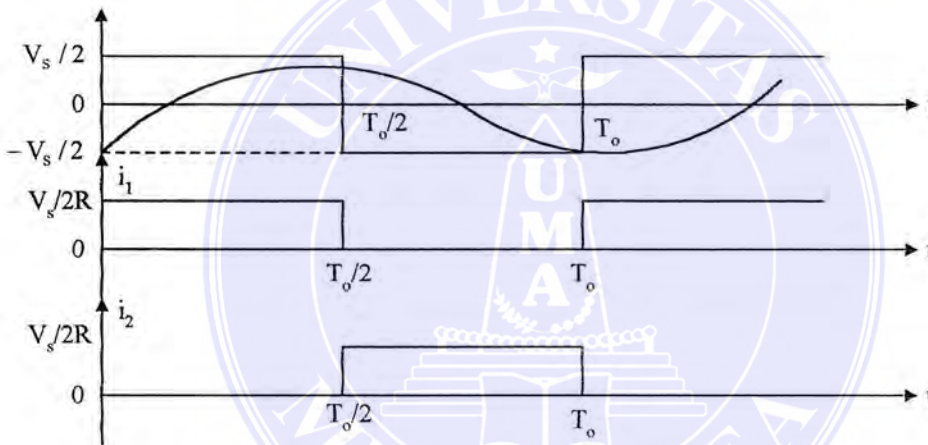
II.3. Prinsip Kerja Inverter Satu Fasa

II.3.1. Inverter Satu Fasa Setengah Jembatan

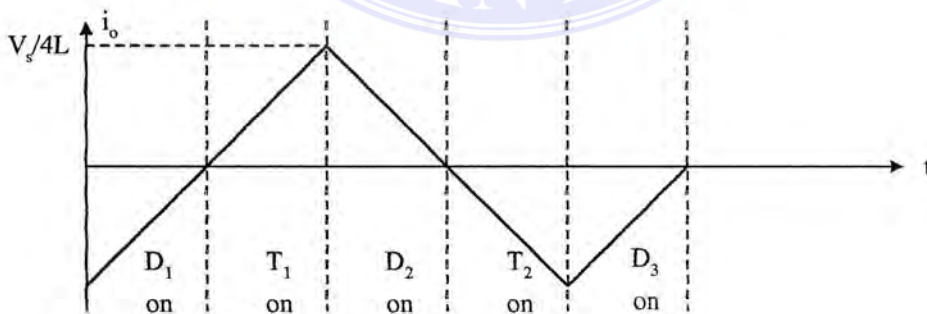
Prinsip kerja dari inverter satu fasa dapat dijelaskan oleh Gambar 2.2.a. Rangkaian inverter terdiri dari 2 buah chopper. Ketika hanya thyristor T_1 dinyalakan untuk waktu $T_o/2$, tegangan sesaat muncul pada beban V_o , yaitu sebesar $V_s/2$. Jika thyristor T_2 hanya dinyalakan pada waktu $T_o/2$, $-V_s/2$ muncul pada beban. Rangkaian logika seharusnya disusun (didisain) sedemikian rupa agar T_1 dan T_2 tidak menyala pada saat yang bersamaan. Gambar 2.2.b. menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan keluaran dan arus dari thyristor dengan beban resistif. Inverter seperti ini membutuhkan 3 kawat sumber dc, dan bila thyristor mati, besarnya tegangan balik adalah V_s sebagai pengganti $V_s/2$. Inverter ini disebut juga sebagai inverter setengah jembatan.



(a) Rangkaian



(b) Bentuk gelombang dengan beban resistif



(c) Arus beban dengan beban induktif

Gambar 2.2. Inverter satu fasa setengah jembatan

Tegangan keluaran efektif (rms) dapat diperoleh dari :

$$V_o = \left[\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} \cdot dt \right]^{1/2} = \frac{V_s}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Tegangan keluaran sesaat dapat dinyatakan dalam bentuk deret Fourier, yaitu :

$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \text{Sin} \cdot n \omega t \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana $\omega = 2\pi f_o$ adalah frekuensi dari tegangan keluaran dalam rad/s. untuk $n = j$ persamaan (2.2) memberikan nilai efektif dari komponen dasar, yaitu :

$$V_1 = \frac{2 \cdot V_s}{\sqrt{2 \cdot \pi}} = 0,45 \cdot V_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk beban induktif, arus beban tidak dapat berubah bersamaan dengan perubahan tegangan keluaran. Jika T_1 dipadamkan saat $t = T_o/2$ arus beban akan selalu mengalir secara kontinu melalui D_2 , beban, dan setengah bagian bawah dari sumber dc sampai arus menjadi nol. Demikian pula, ketika T_2 padam saat $t = T_o$, arus beban mengalir melalui D_1 , beban, separuh bagian atas sumber dc. Ketika dioda D_1 atau D_2 konduksi, dayanya akan berbalik ke sumber DC dan dioda ini dikenal sebagai dioda umpan balik (feedback diode). Gambar 2.2c menunjukkan arus beban dapat menjadi perhatian untuk beban induktif, thyristor konduksi hanya untuk $T_o/2$ atau (90°) . ketergantungan akan berubah dari 90° ke 180° .

Jika t_q adalah waktu padam thyristor, semestinya ada waktu keterlambatan dari t_q antara saat meninggalkan thyristor dan penyalaan serta kemudian masuk ke thyristor

kembali. Sebaliknya, kondisi hubung singkat akan dialami oleh kedua thyristor oleh karena itu, waktu konduksi maksimum thyristor menjadi $T_{\sigma}/2 - t_q$. Dalam praktek, setiap thyristor membutuhkan waktu padam dan penyalan. Untuk keberhasilan dari operasi (kerja) inverter, rangkaian logika harus dipergunakan dalam perhitungan.

Untuk beban RL, arus beban sesaat i_o dapat dihitung dari :

$$i_o = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \cdot \sin(n\omega t - \theta_n) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

$$\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$$

Jika I_{o1} adalah arus beban efektif, daya keluaran dasar (untuk $n = 1$) adalah :

$$P_{o1} = V_1 \cdot I_{o1} \cdot \cos \theta_1 = I_{o1}^2 R \dots\dots\dots (2.5)$$

$$= \left[\frac{2V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]^2 R \dots\dots\dots (2.6)$$

Catatan : Dalam beberapa aplikasi (misalnya penggerak motor listrik), daya keluaran disebabkan arus dasar pada umumnya daya berguna dan daya disebabkan arus harmonik (selaras) dibuang sebagai panas dan menyebabkan bertambahnya temperatur beban.

II.3.2. Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh

Inverter satu fasa jembatan penuh ditunjukkan pada Gambar 2.3a. Inverter jembatan penuh terdiri dari empat buah chopper. Ketika thyristor T_1 dan T_2 dinyalakan

simultan (secara serempak), tegangan masukan V_s muncul melalui beban. Jika thyristor T_3 dan T_4 dinyalakan pada saat yang bersamaan, tegangan yang melalui beban adalah tegangan balik atau $-V_s$. Bentuk gelombang dari tegangan keluaran ditunjukkan Gambar 2.3b.

Tegangan keluaran efektif dapat diperoleh dari :

$$V_o = \left[\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} V_s^2 \right]^{\frac{1}{2}} = V_s \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan 2.2. dapat dipergunakan untuk menunjukkan tegangan keluaran sesaat dalam deret Fourier sebagai :

$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \text{Sin} \cdot n \omega t \dots\dots\dots (2.8)$$

Dan untuk $n = 1$, persamaan (2.8) memberikan nilai efektif dari komponen dasar sebagai :

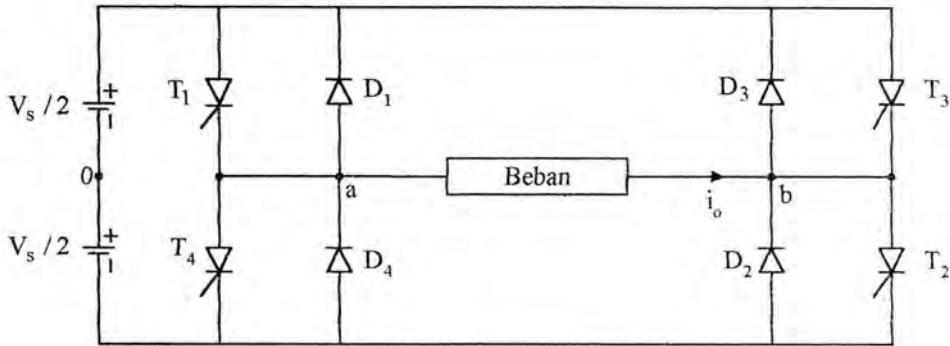
$$V_1 = \frac{4 V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0,90 \cdot V_s \dots\dots\dots (2.9)$$

Dari persamaan (2.4) arus beban sesaat I_o untuk beban RL menjadi ;

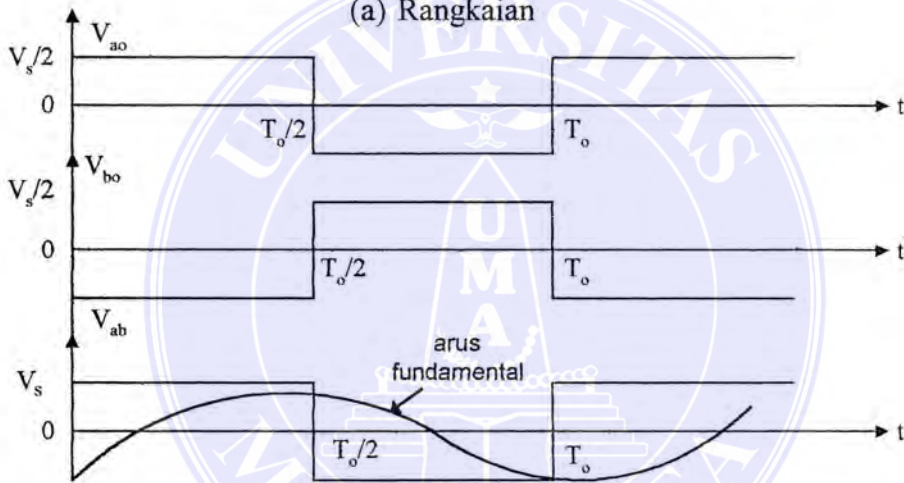
$$i_o = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \cdot \text{Sin} (n\omega t - \theta_n) \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

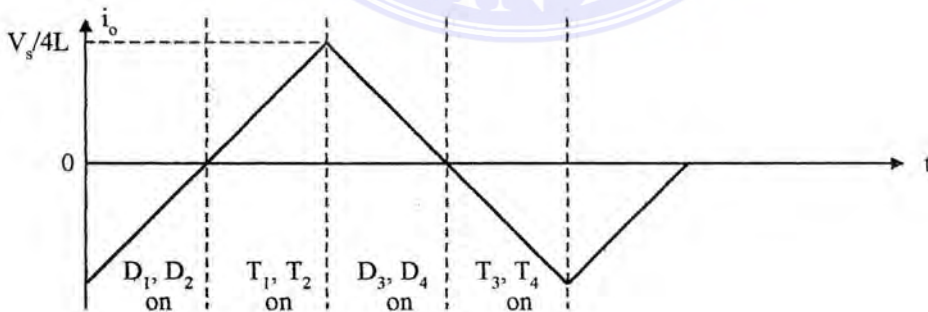
$$\theta_n = \tan^{-1} (n\omega L/R)$$



(a) Rangkaian



(b) Bentuk Gelombang



(c)

(d) Arus beban dengan beban induktif

Gambar 2.3. Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh

Ketika dioda D_1 dan D_2 konduksi, energi kembali ke sumber dc dan dioda ini dikenal sebagai dioda umpan balik (feedback diode). Gambar 2.3c menunjukkan bentuk gelombang dari arus beban untuk beban induktif.

II.4. Komponen Switching Rangkaian Inverter

Sebagaimana diketahui bahwa rangkaian inverter mengkonversikan daya searah menjadi bolak-balik dengan menggunakan komponen switching elektronis. Adapun komponen switching yang digunakan tersebut adalah transistor ataupun thyristor. Kedua komponen switching ini masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Untuk daya keluaran yang rendah dan menengah transistor lebih cocok digunakan sedangkan untuk aplikasi daya keluaran yang tinggi seharusnya menggunakan thyristor, karena thyristor mampu memberikan rating tegangan dan arus yang lebih besar dari pada yang diberikan oleh transistor. Namun pada aplikasi inverter menunjukkan bahwa transistor mempunyai kelebihan-kelebihan tersendiri daripada thyristor antara lain :

- (a). Memiliki kecepatan switching yang lebih cepat.
- (b). Rangkaian kontrolnya lebih sederhana.
- (c). Memberikan efisiensi yang lebih tinggi.
- (d). Memberikan keandalan yang lebih baik.

Hal ini disebabkan karena penggunaan thyristor pada suatu rangkaian inverter memerlukan rangkaian tambahan (extra) untuk memadamkan thyristor dan begitu juga adanya penambahan rangkaian logika kompleks untuk menghindari kesalahan pada

proses pemicuan dan waktu komutasi yang tepat. Walaupun demikian thyristor dapat menangani arus beban yang lebih besar daripada kemampuan transistor sehingga konsekuensinya, thyristor lebih diminati daripada transistor untuk penggunaan inverter dengan daya keluaran tinggi.

II.5. Pengaturan Tegangan Keluaran Dari Inverter Satu Fasa

Secara umum semua aplikasi inverter membutuhkan beberapa cara dalam mengontrol tegangan keluarannya. Tegangan keluarannya dapat dikontrol dengan salah satu cara berikut ini :

1. Mengontrol tegangan yang disupply ke inverter.
2. Mengontrol tegangan bolak-balik yang keluar dari inverter.
3. Kontrol tegangan didalam rangkaian inverter (dengan modulasi lebar pulsa).

ad.1. Mengontrol tegangan yang disupply ke inverter

Beberapa inverter merupakan dc link inverter, dimana tegangan bolak-balik yang disearahkan oleh penyearah diberikan kepada inverter sebagai masukan tegangan searah suatu inverter. Kemudian tegangan ini dikonversikan oleh inverter menjadi tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang diinginkan. Selain itu ada juga dengan cara *tegangan input AC variabel* yaitu dengan mengontrol tegangan bolak-balik yang masuk ke penyearah dengan menggunakan komponen-komponen magnetik seperti transformator, reaktor inti atau regulator induksi. Komponen

magnetik tersebut bekerja dengan sistem kontrol mekanik sehingga memiliki kelemahan dalam kecepatan respon dan untuk mengatasi hal ini, *input dc variabel* dapat diperoleh dengan menggunakan thyristor yang memiliki respon yang relatif jauh lebih cepat.

Salah satu keuntungan dari penerapan input DC variabel adalah berkurangnya kandungan harmonik pada keluaran suatu inverter, dengan kata lain bentuk gelombang keluaran relatif praktis terjaga dari gangguan. Adapun kelemahan-kelemahannya adalah :

1. Pada saat masukan tegangan searah berkurang, maka akan mengurangi tegangan komutasi sehingga juga mempengaruhi kemampuan arus inverter.
2. Pengontrolan tegangan masukan searah ke inverter akan mempengaruhi daya keluaran inverter dibandingkan pengontrolan pada rangkaian inverter itu sendiri.
3. Pada pengontrolan tegangan masukan searah inverter ini memerlukan filter.

ad.2. Kontrol tegangan bolak-balik yang keluar dari inverter

tegangan bolak-balik yang keluar dari inverter dapat dikontrol dengan penggunaan metoda-metoda konvensional frekuensi-frekuensi daya. Metoda-metoda tersebut seperti kontrol buck-boost transformator, kontrol fasa dengan thyristor, reaktor saturasi, regulator induksi dan lain-lain. Kelemahan dari teknik kontrol ini adalah dibutuhkanannya peralatan-peralatan kontrol yang sama ratingnya dengan beban.

ad.3. Kontrol tegangan didalam inverter (dengan modulasi lebar pulsa)

Salah satu metoda yang paling sesuai untuk kontrol tegangan adalah dengan modulasi lebar pulsa, sebab pada banyak penerapan pengontrolan tegangan keluaran inverter di industri-industri diperlukan untuk :

1. Mengatasi perubahan (variasi) tegangan masukan searah.
2. Pengaturan tegangan (voltage regulation) inverter.
3. Kestabilan pengaturan tegangan/frekuensi yang diperlukan.

Ada banyak cara dalam mengatur penguatan inverter. Metoda yang paling efisien dalam mengatur penguatan (dan tegangan keluaran) adalah dengan pengaturan modulasi lebar pulsa (PWM) dalam inverter. Beberapa teknik yang umumnya digunakan adalah :

- a. Modulasi Lebar Pulsa Tunggal (Single-Pulse-Width Modulation)
- b. Modulasi Lebar Pulsa Seragam (Uniform-Pulse-Width Modulation)
- c. Modulasi Lebar Pulsa Sinusoidal (Sinusoidal-Pulse-Width Modulation)
- d. Modulasi Lebar Pulsa Sinusoidal Termodifikasi (Modified Sinusoidal-Pulse-Width Modulation)
- e. Pengaturan Pergeseran Sudut Fasa (Phase Displacement).

BAB III

PENGGUNAAN DERET FOURIER UNTUK ANALISA HARMONIK

III.1. Gelombang dasar dan harmonik

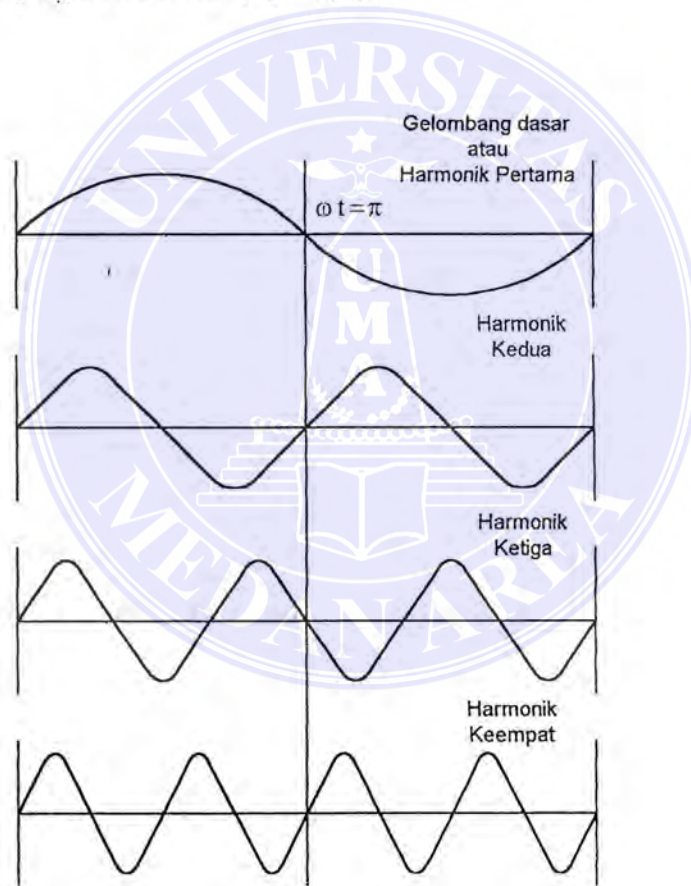
Pada dasarnya harmonik adalah gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya, sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik.

Tegangan dan arus bolak-balik diasumsikan memiliki bentuk gelombang yang sinusoidal. Bentuk gelombang sinusoidal yang ideal hampir tidak mungkin didapatkan dari tegangan keluaran inverter satu fasa. Bentuk gelombangnya merujuk kepada bentuk gelombang sinusoidal ataupun bentuk gelombang kompleks.

Bentuk gelombang yang nonsinusoidal dihasilkan oleh perubahan posisi dari gelombang sinusoidal karena perbedaan frekuensi. dalam analisa ditemukan bahwa gelombang yang nonsinusoidal mengandung :

1. Gelombang dasar memiliki frekuensi terendah yakni “f”.
2. Gelombang sinusoidal yang frekuensinya adalah kelipatan frekuensi dasar yakni 2f, 3f, 4f, 5f dan seterusnya. Gelombang dasar dan kelipatannya ini dikenal dengan istilah deret harmonik.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 gelombang dasar itu sendiri disebut harmonik pertama. Harmonik kedua memiliki frekuensi dua kali dari dasar, harmonik ketiga memiliki frekuensi tiga kali dari yang dasar, dan seterusnya. Gelombang yang memiliki frekuensi $2f$, $4f$, $6f$ dan seterusnya disebut harmonik genap dan yang memiliki frekuensi $3f$, $5f$, $7f$, dan seterusnya disebut harmonik ganjil. Secara umum harmonik ke- n mempunyai frekuensi ; $f_n = n, f_1$.



Gambar 3.1. Gelombang dasar dan harmonik

III.2. Gelombang periodik

Gelombang periodik adalah superposisi dari gelombang-gelombang sinus yang dihubungkan secara harmonik. Secara teoritis harmonik kontinu tak terhingga, yaitu n tidak mempunyai batas atas.

Gel. Periodik = Komponen DC + harmonik pertama + Harmonik kedua +
Harmonik ketiga + + Harmonik ke- n .

Dalam bentuk matematis persamaannya dapat dituliskan :

$$v = V_0 + V_1 \sin(\omega t + \phi_1) + V_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + V_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots + V_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

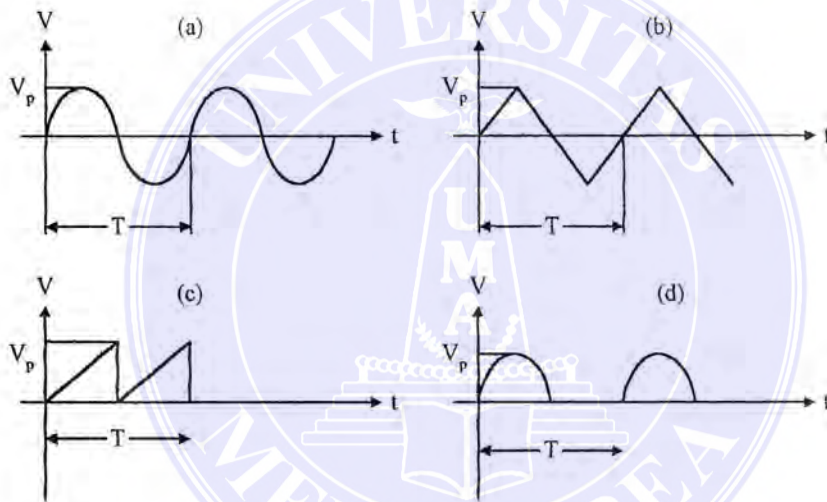
Persamaan ini disebut deret Fourier. Tegangan v adalah harga dari gelombang periodik pada setiap saat dalam selang waktu, besarnya dapat dihitung dengan menambahkan komponen DC dan harga sesaat dari harmonik-harmonik.

Suku pertama dari deret Fourier adalah V_0 , ini adalah konstanta dan menyatakan komponen dc. Koefisien $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ adalah harga puncak dari harmonik. Sudut $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$ adalah sudut fasa dari harmonik. Frekuensi radian ω sama dengan $2\pi f$. Seperti pada tiap suku berikutnya dalam deret Fourier menyatakan harmonik berikutnya yang lebih tinggi.

Beberapa contoh dari gelombang periodik dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2. Gambar 3.2a menunjukkan sebuah gelombang sinus dengan puncak V_p dan periode T . buku-buku AC dan DC selalu memusatkan pada gelombang sinus karena

gelombang ini adalah yang paling dasar. Selanjutnya dapat diteliti bentuk non sinusoidal.

Gelombang segitiga dalam Gambar 3.2b menampilkan pola dasarnya selama periode T , selanjutnya tiap siklus adalah lanjutan dari siklus pertama. Ini sama dengan gelombang gigi gergaji dalam Gambar 3.2c dan Gambar 3.2d yakni bentuk gelombang keluaran dari penyearah setengah gelombang.



Gambar 3.2. Gelombang Periodik

Semua siklus adalah turunan dari periode yang pertama. Bentuk gelombang dengan siklus yang berulang disebut periodik, semua bentuk gelombang mempunyai periode T dimana ukuran dan bentuk dari tiap siklus ditentukan. Gelombang-gelombang sinus dibandingkan secara harmonik, yang berarti frekuensi mereka adalah harmonik (multiple) dan frekuensi dasar.

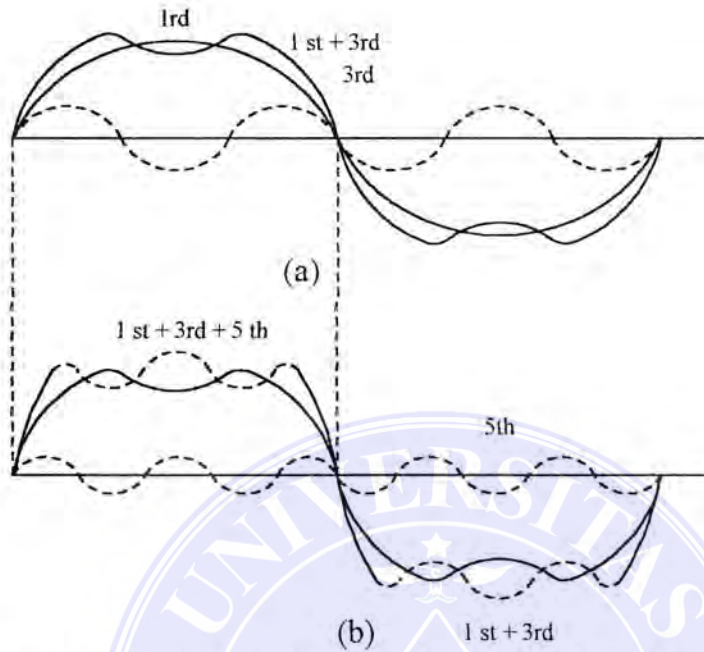
Untuk gelombang periodik, periodenya (T) dapat dilihat pada sebuah osilloscope. Kebalikan dari T sama dengan frekuensi dasar, secara simbol :

$$f_1 = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan kombinasi yang berbeda dari gelombang-gelombang sinus akan dihasilkan gelombang segitiga, gigi gergaji dan gelombang keluaran dari penyearah setengah gelombang. Dengan perkataan lain, setiap gelombang periodik adalah superposisi dari gelombang sinus.

Gelombang segi empat hanya mempunyai harmonik-harmonik ganjil. Jika harmonik pertama dan ketiga dijumlahkan seperti ditunjukkan garis putus-putus dalam Gambar 3.3a akan didapatkan bentuk gelombang baru, jelaslah ini sudah lebih menyerupai gelombang segi daripada gelombang sinus.

Teorema Fourier adalah kunci analisa dari gelombang-gelombang yang periodik. Gelombang periodik dapat dirubah menjadi komponen-komponen gelombang sinus, dengan perkataan lain ada dua pendekatan dalam analisa gelombang nonsinusoidal. Dapat digambarkan apa yang dilakukan oleh suatu gelombang periodik pada setiap saat pada waktunya atau dapat digambarkan apa yang dilakukan oleh setiap harmonik.



Gambar 3.3. Penjumlahan gelombang-gelombang sinus untuk mendapatkan gelombang segi empat.

III.3. Parameter-parameter Harmonik

Keluaran dari inverter secara prakteknya mengandung harmonik dan kualitas dari sebuah inverter biasanya dievaluasi dalam beberapa istilah parameter-parameter harmonik di bawah ini.

Faktor harmonik dari harmonik ke-n (*Harmonic Factor of nth harmonic, HF_n*), adalah ukuran kontribusi dari harmonik itu sendiri, yang didefinisikan sebagai :

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana V_1 adalah nilai dari komponen dasar dan V_n adalah nilai efektif dari komponen harmonik ke-n.

Distorsi harmonik total (*Total Harmonic Distortion, THD*), adalah ukuran dari kedekatan bentuk gelombang antara gelombang yang mengandung harmonik dengan gelombang dasarnya, didefinisikan sebagai :

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (3.3)$$

Faktor distorsi (*Distortion Factor, DF*). Distorsi harmonik total memberikan harmonik total yang dikandung (dimuat), namun hal ini tidak menunjukkan tingkat komponen harmonik. Jika sebuah penyaring (filter) digunakan pada keluaran inverter, harmonik tingkat tinggi akan dikurangi dengan lebih baik (efektif). Oleh karena itu, ilmu pengetahuan antara frekuensi dan besaran setiap harmonik adalah sangat penting. Jadi faktor distorsi adalah nilai daya guna/keberhasilan dalam mengurangi harmonik yang tidak diinginkan tanpa mengetahui nilai spesifik dari filter beban orde dua dan didefinisikan dengan :

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Faktor distorsi dari sebuah komponen harmonik sendiri (atau tingkat ke-n) didefinisikan dengan :

$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 \cdot n^2} \dots\dots\dots (3.5)$$

Harmonik tingkat terendah (*Lowest Order Harmonic, LOH*), adalah komponen harmonik frekuensinya adalah yang terkecil dari yang dasar, dan amplitudonya adalah lebih besar atau sama dengan 3% dari komponen dasar.

III.4. Bentuk Trigonometri Dari Deret Fourier

Mula-mula dapat ditinjau sebuah periodik $f(t)$ dengan relasi fungsi :

$$f(t) = f(t + T) \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana T adalah perioda. Selanjutnya dapat dianggap bahwa fungsi $f(t)$ memenuhi sifat-sifat yang berikut :

1. $f(t)$ berharga tunggal dimana-mana; yakni, $f(t)$ memenuhi definisi matematis dari sebuah fungsi.
2. Integral $\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)dt$ ada (yakni, tidak tak berhingga) untuk setiap pemilihan t_0 .
3. $f(t)$ mempunyai diskontinuitas yang terbatas banyaknya di dalam setiap periode.
4. $f(t)$ mempunyai maksimum dan minimum yang terbatas banyaknya di dalam setiap periode.

Dapat ditinjau $f(t)$ yang menyatakan sebuah bentuk gelombang arus tegangan yang betul-betul dapat dihasilkan harus memenuhi syarat-syarat ini. Fungsi-fungsi matematis tertentu yang mungkin dihipotesiskan boleh jadi tidak memenuhi syarat-syarat ini, tetapi dianggap bahwa keempat syarat yang didaftarkan di atas selalu dipenuhi.

Dengan adanya sebuah fungsi periodik $f(t)$ seperti itu, maka teorema Fourier mengatakan bahwa $f(t)$ dapat dinyatakan dengan deret tak berhingga :

$$\begin{aligned}
 f(t) &= a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + \dots + a_n \cos n\omega t \\
 &\quad + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_n \sin 3\omega t + \dots + b_n \sin n\omega t \\
 &= a_0 \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \dots\dots\dots (3.7)
 \end{aligned}$$

karena $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, persamaan 3.7 dapat dituliskan menjadi :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos \frac{2\pi n}{T} t + b_n \sin \frac{2\pi n}{T} t \right] \dots\dots\dots (3.8)$$

dan jika dimisalkan $\omega t = \theta$ maka :

$$f(t) = a_0 \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana a_0 , a_n , dan b_n adalah konstanta yang tergantung pada n dan $f(t)$. Persamaan 3.7 adalah bentuk trigonometris dari deret Fourier untuk $f(t)$, dan proses untuk menentukan nilai-nilai konstanta a_0 , a_n , dan b_n dinamai analisis Fourier.

Persamaan 3.7 dapat juga dituliskan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 f(t) &= a_0 + (a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t) + (a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t) + \dots \\
 &\quad + (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \dots\dots\dots (3.10)
 \end{aligned}$$

III.5. Penggunaan Simetri

Gelombang nonsinusoidal dapat memiliki tipe yang simetris seperti dibawah ini :

1. Simetri Fungsi Genap

Fungsi $f(t)$ disebut memiliki simetri genap jika :

$$f(t) = f(-t) \dots \dots \dots (3.11)$$

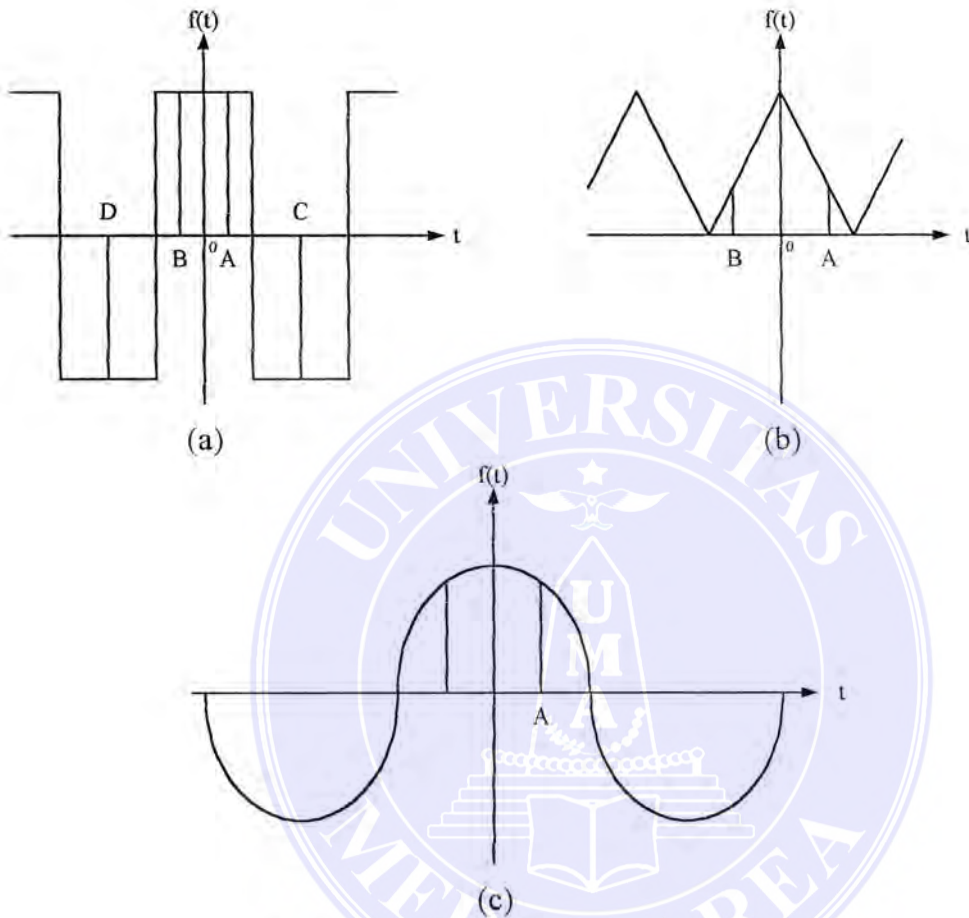
Fungsi-fungsi seperti t^2 , $\cos 3t$, $\ln \cos t$, $\sin^2 7t$, dan konstanta C semuanya memiliki simetri genap. Penggantian t dengan $(-t)$ tidak mengubah nilai dari fungsi-fungsi tersebut. Jenis simetri ini dapat juga dikenal secara grafis, karena jika $f(t) = f(-t)$ maka terdapat simetri cermin sekitar sumbu $f(t)$. fungsinya dapat dilihat pada Gambar 3.4, jika gambar tersebut dilipat sepanjang sumbu $f(t)$, maka bagian grafik fungsi untuk bagian yang positif dan negatif harus tepat cocok, yang satu diatas yang lain.

Pengaruh dari simetri fungsi genap dalam deret Fourier adalah nilai dari $b_n = 0$, yakni gelombang tidak memiliki bentuk akhir yang sinusoidal. Secara umum $b_1, b_2, b_3, \dots b_n = 0$. Deret Fourier dari fungsi yang genap hanya mengandung bentuk cosinus yaitu :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{2\pi n}{T} t \dots \dots \dots (3.12)$$

dimana,

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos n\omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \cos n\omega t d(\omega t)$$



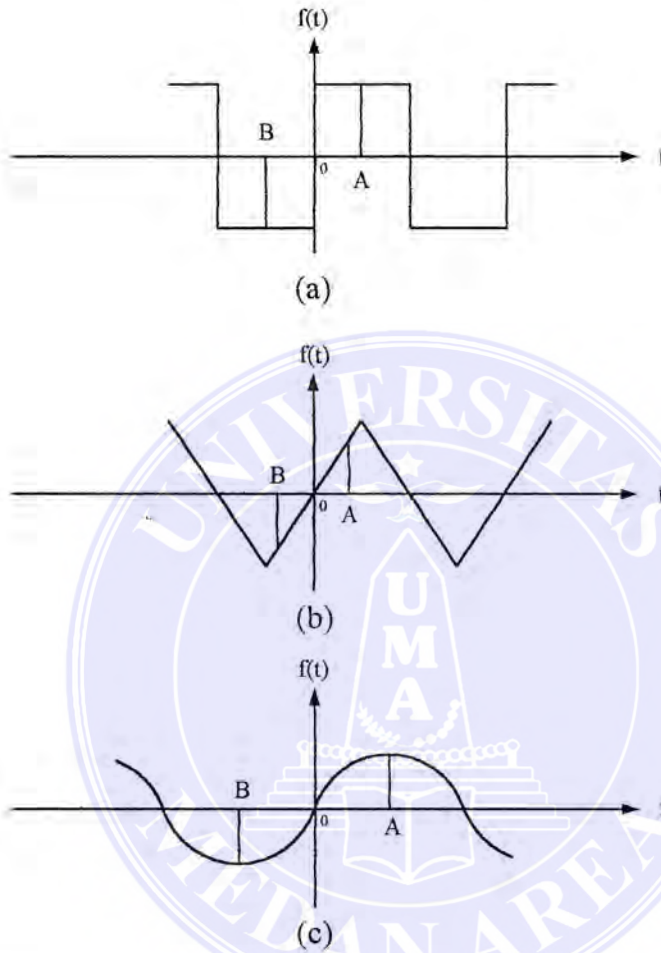
Gambar 3.4. Gelombang yang mempunyai simetri fungsi genap

2. Simetri fungsi Ganjil

Fungsi $f(t)$ disebut memiliki simetri ganjil jika :

$$f(t) = - f(-t) \dots \dots \dots (3.13)$$

Fungsi-fungsi seperti t , $\sin t$ dan $t \cos 50t$ semuanya memiliki simetri ganjil. Dengan kata lain jika t diganti dengan $(-t)$ maka akan didapatkan negatif dari fungsi yang diketahui.



Gambar 3.5. Gelombang yang mempunyai simetri fungsi ganjil

Fungsi yang dilukiskan dalam Gambar 3.5 semuanya adalah fungsi ganjil dan memiliki simetri ganjil. Karakteristik grafis dari simetri ganjil adalah jelas jika bagian dari $f(t)$ untuk $t > 0$ dirotasikan sekitar sumbu t positif dan gambar yang dihasilkan kemudian dirotasikan sekilas sumbu $f(t)$, maka bagian grafik fungsi untuk bagian yang positif dan negatif tidak akan cocok.

Pengaruh dari simetri fungsi ganjil dalam deret Fourier adalah tidak mengandung bentuk cosinus. Itu berarti bahwa $a_0 = 0$ dan $a_n = 0$, secara umum $a_1, a_2, a_3 \dots a_n = 0$. Dalam pengembangannya deret Fourier hanya mengandung bentuk sinus.

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{Sin } n\omega t \dots\dots\dots (3.14)$$

dimana,

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \text{Sin } n\omega t \, d(\omega t) \quad d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \text{Sin } n\omega t \, d(\omega t)$$

3. Simetri fungsi setengah gelombang

Fungsi $f(t)$ memiliki simetri setengah gelombang jika :

$$f(t) = -f(t \pm T/2) \text{ atau } -f(t) = f(t \pm T/2) \dots\dots\dots (3.15)$$

Itu berarti bahwa fungsi tersebut terulang kembali dengan sama jika dipindahkan ke kiri atau ke kanan dari setengah perioda dan kemudian terbalik dengan mengambil referensi dari sumbu horizontal. Simetri ini disebut juga simetri bayangan karena bagian negatif dari gelombang itu memberikan kesan bayangan dari bagian positif gelombang dapat ditunjukkan dalam suatu bentuk gelombang yang mempunyai simetri ganjil ataupun simetri genap. Sebagai contoh bentuk gelombang yang mengandung simetri setengah gelombang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6.

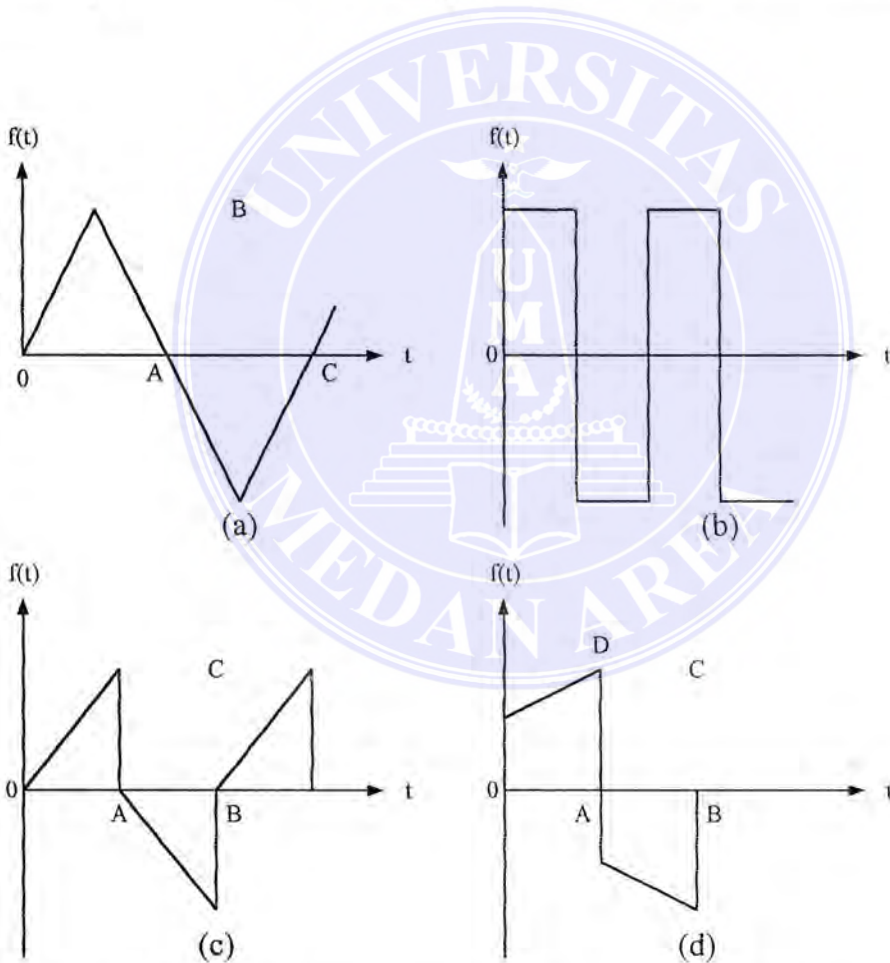
Dapat diperlihatkan bahwa deret Fourier dari suatu fungsi yang mempunyai simetri setengah gelombang hanya mengandung harmonik ganjil. Seluruh gelombang sinus dan cosinus memiliki simetri setengah gelombang. Dimana $a_0 = 0$ dan harga a_n atau b_n dapat ditentukan seperti dibawah ini :

$$f(t) = \sum_{n=1 \text{ ganjil}}^{\infty} (a_n \text{Cos } n\omega t + b_n \text{Sin } n\omega t) \dots\dots\dots (3.16)$$

dimana,

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \text{Cos } n\omega t \, d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \text{Cos } n\omega t \, d(\omega t) \dots\dots\dots \text{ganjil}$$

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \text{Sin } n\omega t \, d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \text{Sin } n\omega t \, d(\omega t) \dots\dots\dots \text{ganjil}$$



Gambar 3.6. Gelombang yang mempunyai simetri setengah gelombang

4. Simetri Fungsi Gelombang Siku-siku

fungsi genap atau ganjil simetri setengah gelombang dikatakan mengandung simetri gelombang siku-siku. Jadi deret Fourier untuk setiap simetri gelombang siku-siku ini juga mempunyai sifat yang menarik yakni tidak ada diantaranya yang mengandung harmonik genap. Komponen frekuensi yang terdapat dalam deret tersebut hanya mempunyai frekuensi yang merupakan kelipatan ganjil dari frekuensi dasar, a_n dan b_n adalah nol untuk n yang genap.

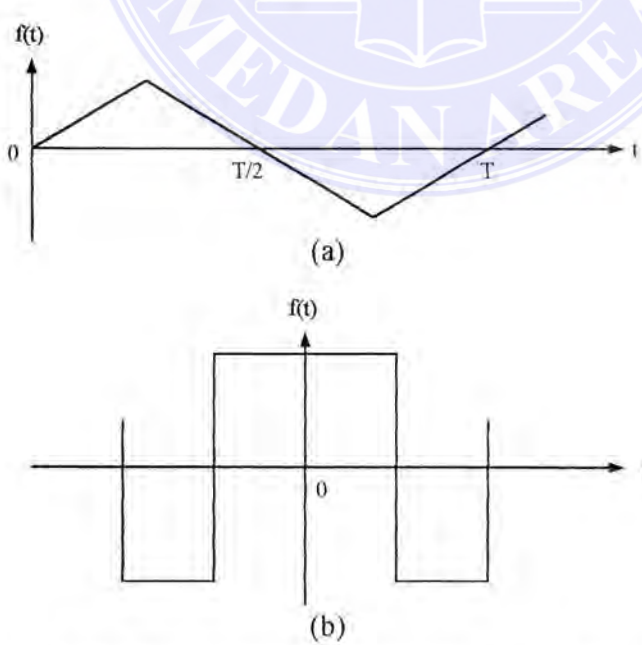
Hasil ini disebabkan oleh jenis simetri setengah gelombang.

Fungsi ganjil simetri gelombang siku-siku adalah :

$$f(t) = - f(t + T/2) \text{ dan } f(-t) = - f(t) \dots\dots\dots (3.17)$$

Fungsi genap simetri gelombang siku-siku adalah :

$$f(t) = f(t + T/2) \text{ dan } f(t) = f(-t) \dots\dots\dots (3.18)$$



Gambar 3.7 Gelombang yang mempunyai simetri gelombang siku-siku
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Jika sebuah bentuk gelombang memiliki simetri setengah gelombang dan simetri ganjil atau genap, maka adalah mungkin merekonstruksi bentuk gelombang jika fungsi tersebut diketahui pada seperempat perioda. Harga a_n dan b_n juga dapat dicari dengan melakukan integrasi pada setiap seperempat perioda. Jadi,

- Untuk simetri setengah gelombang dan simetri genap :

$$f(t) = \sum_{n=1,2,3,\dots}^{\infty} a_n \cos n\omega t \dots\dots\dots (3.9)$$

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

$$= \frac{8}{T} \int_0^{T/4} f(t) \cos n\omega t d(\omega t) \quad \text{n genap}$$

$$a_n = 0 \quad \text{n ganap}$$

$$b_n = 0 \quad \text{semua n}$$

- Untuk simetri setengah gelombang dan simetri ganjil :

$$f(t) = \sum_{n=1,2,3,\dots}^{\infty} b_n \sin n\omega t \dots\dots\dots (3.20)$$

$$a_n = 0 \quad \text{semua n}$$

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

$$= \frac{8}{T} \int_0^{T/4} f(t) \sin n\omega t d(\omega t) \quad \text{n ganjil}$$

$$b_n = 0 \quad \text{n genap}$$

III.6. Prosedur Untuk Menganalisa Deret Fourier Dari Fungsi Yang Diberikan

Adalah disarankan untuk mengikuti langkah-langkah dibawah ini :

1. Langkah No.1

Jika fungsinya didefenisikan sebagai suatu bentuk persamaan, uraikan dan periksa jenis simetrisnya.

2. Langkah No.2

Bentuk apapun perioda yang ada pada fungsi yang diberikan, ambillah 2π dan buat kedalam bentuk :

$$f(\theta) = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + \dots + b_1 \sin \theta + b_2 \sin 2\theta + \dots + b_n \sin n\theta$$

misalkan $\theta = \omega t$

3. Langkah No.3

Nilai dari konstanta a_0 dalam banyak kasus dapat dicari dengan hanya melihat persamaannya saja. Namun dinilai sisi kita dapat mencarinya dengan cara :

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) d\theta$$

4. Langkah No.4

Jika a_0 telah dicari, maka 2 konstanta Fourier yang lain dapat dicari dengan cara :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta$$

5. *Langkah No.5*

Jika fungsi yang diberikan memiliki simetri genap, dimana $f(\theta) = f(-\theta)$, kemudian $b_n = 0$ sehingga deret Fourier tidak memiliki bentuk sinus. Persamaannya akan menjadi :

$$f(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{Cos } n\theta$$

6. *Langkah No.6*

Jika fungsi yang diberikan memiliki simetri ganjil, dimana $f(\theta) = -f(\theta)$, kemudian $a_n = 0$ sehingga deret Fourier tidak memiliki bentuk cosinus. Persamaannya akan menjadi ;

$$f(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{Cos } n\theta$$

7. *Langkah No.7*

Jika fungsi yang diberikan memiliki simetri gelombang setengah, dimana $f(t) = -f(t \pm T/2)$ atau $f(\theta) = -f(\theta \pm \pi)$, kemudian $a_0 =$ deret Fourier hanya mengandung harmonik ganjil. Deret Fourier diberikan dengan:

$$f(\theta) = \sum_{n=1 \text{ ganjil}}^{\infty} (a_n \text{Cos } n\theta + b_n \text{Sin } n\theta)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Cos } n\theta \text{ d}\theta \dots\dots\dots \text{ganjil}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{sin } n\theta \text{ d}\theta \dots\dots\dots \text{ganjil}$$

8. *Langkah No.8*

Jika fungsi yang diberikan memiliki simetri gelombang siku-siku genap, kemudian $a_0 = 0$ dan $b_n = 0$. Itu berarti deret Fourier hanya mengandung nilai cosinus dan tidak memiliki nilai sinus. Persamaannya adalah :

$$f(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{Cos } n\theta$$

dimana,

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Cos } n\theta \, d\theta \dots \dots \dots n \text{ ganjil}$$

9. *Langkah No.9*

Jika fungsi yang diberikan mengandung simetri gelombang siku-siku ganjil, kemudian $a_0 = 0$ dan $a_n = 0$. Deret Fourier akan mengandung hanya nilai sinus dan tidak mengandung nilai cosinus.

$$f(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{Sin } n\theta$$

dimana,

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Sin } n\theta \, d\theta \dots \dots \dots n \text{ ganjil}$$

10. *Langkah No.10*

Setelah mendapatkan nilai-nilai dari koefisien diatas (a_0, a_n, b_n) maka kita dapat memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam persamaan yang dalam pada langkah No.2.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

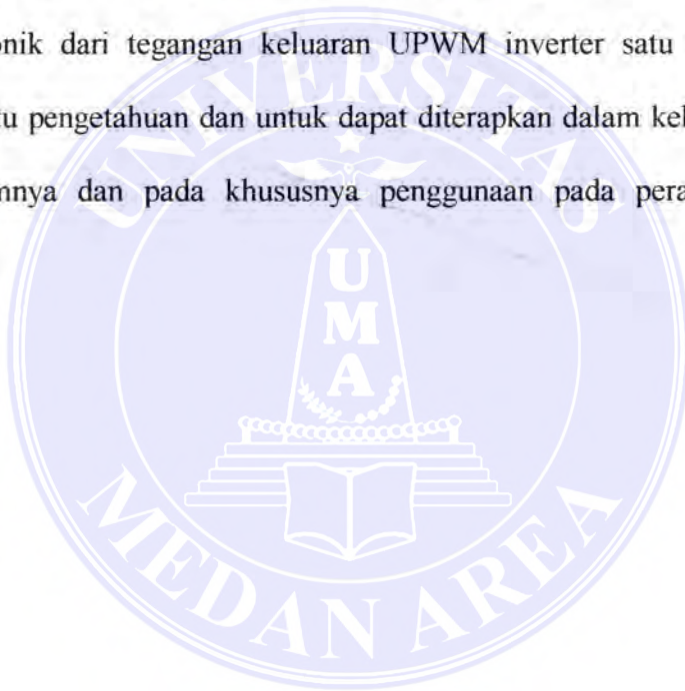
V.1. Kesimpulan

1. Bentuk gelombang tegangan keluaran inverter satu fasa secara prakteknya tidak sinusoidal dan mengandung harmonik-harmonik, dan kualitas dari inverter satu fasa ditentukan dari harmonik yang terkandung dalam tegangan keluarannya.
2. Kandungan harmonik dari keluaran inverter satu fasa dapat diminimalisasi dengan menggunakan pengaturan modulasi lebar pulsa dalam mengatur tegangan keluarannya.
3. Penggunaan beberapa pulsa dalam setiap setengah siklus dari gelombang tegangan keluaran inverter satu fasa dengan pengaturan modulasi lebar pulsa dapat mengurangi kandungan harmonik yang dihasilkannya.
4. Perubahan nilai Indeks Modulasi (M) yang besarnya dari 0 hingga 1, merubah lebar pulsa δ pada gelombang tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa jembatan penuh dari 0 hingga π/ρ dan tegangan keluaran efektif (rms) dari 0 hingga V_s .
5. Faktor harmonik dari faktor distorsi harmonik dari tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa jembatan penuh akan berkurang seiring dengan bertambahnya nilai Indeks Modulasi.

V.2. Saran

Tulisan Tugas Akhir ini menganalisa tentang kandungan harmonik dari tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa. Penulis menyarankan kiranya dapat dianalisa pengaruh dari harmonik yang dihasilkan oleh tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa ini pada peralatan-peralatan listrik lainnya.

Dengan penulis menyajikan atau memberikan gambaran tentang analisa kandunga harmonik dari tegangan keluaran UPWM inverter satu fasa ini dapat memberikan suatu pengetahuan dan untuk dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari pada umumnya dan pada khususnya penggunaan pada peralatan-peralatan telekomunikasi.



DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad Harun Rashid, *“Power Electronics, circuits, devices, and applications”*, Prentice-Hall International, Inc, 1993.
2. M.S. Berde, *“Thyristor Engineering”*, Khanna Publisher, 1984.
3. M.L. Theraja & A.K. Theraja, *“A Text Book of Elektrikal Technology”*, S. Cand & Company Ltd, New Delhi, 1979.
4. Albert Paul Malvino Ph.D, *“Dasar Elektronika”*, terjemahan Hanafi Gunawan, Erlangga, 1994.
5. William H. Hayt jr & Jack E. Kemmerly, *“Engineering Circuit Analysis”*, McGraw Hill, Inc, 1984.
6. Sen, P.C, *“Power Electronics”*, Tata Mc Graw Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1988.
7. S. Kumar Rajendra & S. Kumar Krisna, *“Thyristor Theory And Aplication”*, John Wiley and Sons, New Delhi, 1984.
8. Lander, W, Cyrill, *“Power Electronics”*, Mc Graw Hill Book Company (UK) Limited, 1988.
9. Edminister, A, Joseph, *“Electrical Circuit”*, Schaum Series Book, 1975.
10. Finey, David, *“The Power Thyristor and Its Applications”*, Mc Graw Hill Book Company (UK) Limited, 1980.
11. Mohen Ned, Undeland, M. Tore and William P. R, *“Power Electronics”*, John Wiley and Sons, New York, 1989.
12. Fajar Chandra, *“Aplikasi Matematika Dalam Bahasa Basic”*, Dinastindo, Jakarta, 1994.
13. Pamungkas, *“Tuntunan Praktis Pemrograman Turbo Basic”*, Edisi Pertama, Jakarta, PT. Alex Media komputindo, 1995.