

**TEKNIK PENGHILANGAN HARMONISA PADA INVERTER SATU FASA  
DENGAN MIKROPROSESOR SEBAGAI PEMBANGKIT SINYAL KENDALI**

TUGAS AKHIR

Oleh :  
AGUS SUGIYONO  
7382062



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

1988

**TEKNIK PENGHILANGAN HARMONISA PADA INVERTER SATU FASA  
DENGAN MIKROPROSESOR SEBAGAI PEMBANGKIT SINYAL KENDALI**

Oleh :  
AGUS SUGIYONO  
7382062

**TUGAS AKHIR**

Untuk melengkapi syarat-syarat memperoleh  
gelar Sarjana Teknik Elektro  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Bandung

Bandung, Oktober 1988

**TEKNIK PENGHILANGAN HARMONISA PADA INVERTER SATU FASA  
DENGAN MIKROPROSESOR SEBAGAI PEMBANGKIT SINYAL KENDALI**

Oleh :  
AGUS SUGIYONO  
7382062

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan  
sebagai kolokium untuk memenuhi persyaratan  
guna mencapai gelar sarjana  
pada

SUB JURUSAN TEKNIK TENAGA LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Disahkan oleh :  
Pembimbing,

Ir. HARRY SOSROHADISEWOJO  
Bandung, 1 Oktober 1988

. . . . sesungguhnya sesudah kesulitan itu  
ada kemudahan. Maka apabila kamu telah  
selesai dari sesuatu urusan, kerjakanlah  
dengan sungguh-sungguh urusan yang lain

(Q.S. 94 : 6-7)

Kupersembahkan untuk :  
Bapak I bu  
yang tercinta.

## KATA PENGANTAR

Dengan rahmat dan karunia Allah S.W.T. penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.

Dengan selesainya tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Harry Sosrohadisewojo selaku wali dan pembimbing tugas akhir.
2. Bapak Ir. Agus Purwadi yang banyak membantu masalah teknik.
3. Staf dan karyawan Laboratorium Konversi Energi Elektrik dan PIKSI ITB yang telah memberi fasilitas untuk menyelesaikan tugas akhir.
4. Teman-teman terutama Endro dan teman-teman serumah yang telah membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Kritik dan saran untuk perbaikan tugas akhir ini sangat diharapkan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, September 1988

Penulis

## SARI

Inverter yang digunakan pada UPS tegangan keluarannya harus dapat dikendalikan dan kualitasnya baik. Untuk memperoleh hasil tersebut digunakan teknik penghilangan harmonisa. Teknik ini didukung adanya komponen daya yang mempunyai kecepatan komutasi yang tinggi dan adanya mikroprosesor sebagai pembangkit sinyal kendali.

Dengan menggunakan deret Fourier dapat ditentukan persamaan tegangan keluaran inverter. Berdasarkan persamaan ini dibuat persamaan nonlinear simultan untuk menghitung sudut komutasi. Perhitungan sudut komutasi menggunakan metode Newton Raphson dan dilakukan dengan menggunakan program komputer serta dibuat pola gelombang sinyal kendali inverter. Berdasarkan pola gelombang tersebut dibuat program pembangkit sinyal kendali dengan menggunakan sistem mikroprosesor. Kemudian diterapkan pada inverter satu fasa jembatan penuh yang menggunakan komponen daya transistor.

## DAFTAR ISI

	hal.
<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>SARI</b>	ii
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	vii
<b>DAFTAR TABEL</b>	x
<b>1. PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi	2
1.4 Sistematika Pembahasan	3
<b>2. INVERTER SATU FASA</b>	5
2.1 Konfigurasi Rangkaian Daya	5
2.1.1 Inverter satu fasa jembatan setengah	5
2.1.2 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah	6
2.1.3 Inverter satu fasa jembatan penuh	6
2.2 Komponen Daya	7
2.2.1 Tiristor	8
2.2.2 Transistor	8
2.2.3 MOSFET	9
2.2.4 GTO	10
2.3 Rangkaian Pembangkit Sinyal Kendali	12
2.3.1 Rangkaian analog	12

2.3.2 Rangkaian digital	13
2.3.3 Sistem mikroprosesor	13
<b>3. HARMONISA TEGANGAN KELUARAN INVERTER SATU FASA</b>	<b>18</b>
3.1 Deret Fourier	18
3.1.1 Simetri genap	20
3.1.2 Simetri ganjil	22
3.1.3 Simetri setengah gelombang	24
3.2 Analisis Bentuk Tegangan Keluaran	26
3.3 Harmonisa Tegangan Keluaran	29
<b>4. TEKNIK PENGHILANGAN HARMONISA PADA INVERTER SATU FASA DENGAN MIKROPROSESOR SEBAGAI PEMBANGKIT SINYAL KENDALI</b>	<b>32</b>
4.1 Metode Newton Raphson Untuk Menghitung Sudut Komutasi	32
4.2 Program Komputer	37
4.2.1 Program untuk menghitung sudut komutasi	37
4.2.2 Program untuk menghitung besar amplitude harmonisa	38
4.2.3 Program untuk membuat pola gelombang	39
4.2.4 Program utama	41
4.3 Mikroprosesor Sebagai Pembangkit Sinyal Kendali	41
4.3.1 Perangkat keras	41
4.3.2 Perangkat lunak	43
4.3.3 Rangkaian catu daya	51
4.4 Rangkaian Daya	51
4.5 Rangkaian Pacu Basis	53



<b>5. PENGAMATAN LABORATORIUM</b>	55
5.1 Hasil Perhitungan Komputer	55
5.2 Pengamatan Sinyal Kendali	58
5.3 Pengamatan Gelombang Keluaran Inverter	62
5.4 Pengamatan Kendali Tegangan	64
<b>6. ANALISIS</b>	66
6.1 Analisis Sinyal Kendali	66
6.2 Analisis Tegangan Keluaran	66
6.2.1 Sudut komutasi	66
6.2.2 Bentuk tegangan keluaran	68
6.2.3 Harmonisa	68
6.3 Analisis Kendali Tegangan	70
<b>7. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	73
7.1 Kesimpulan	73
7.2 Saran	74
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	75
<b>LAMPIRAN A :</b> Program untuk menghitung sudut komutasi, amplitude harmonisa dan pola gelombang	79
<b>LAMPIRAN B :</b> Hasil perhitungan komputer untuk 6 pulsa	86
<b>LAMPIRAN C :</b> Hasil perhitungan komputer untuk 9 pulsa	94

<b>LAMPIRAN D :</b>	Program pembangkit sinyal kendali	
	inverter	102
<b>LAMPIRAN E :</b>	Rangkaian pembangkit sinyal kendali	
	inverter	109

## DAFTAR GAMBAR

	hal.
Gambar 2.1 Inverter satu fasa jembatan setengah	5
Gambar 2.2 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah	6
Gambar 2.3 Inverter satu fasa jembatan penuh	7
Gambar 2.4 Karakteristik tegangan arus tiristor	8
Gambar 2.5 Karakteristik transistor	9
Gambar 2.6 Daerah penggunaan komponen daya	12
Gambar 2.7 Rangkaian osilator dan bentuk gelombang keluaran	13
Gambar 2.8 Simbol FLIP-FLOP dan tabel kebenarannya	14
Gambar 2.9 Organisasi sistem mikroprosesor	15
Gambar 3.1 Fungsi periodik	18
Gambar 3.2 Simetri genap dan simetri ganjil	20
Gambar 3.3 Simetri setengah gelombang	24
Gambar 3.4 Bentuk tegangan keluaran inverter	27
Gambar 4.1 Logika program utama	40
Gambar 4.2 Diagram blok pembangkit sinyal kendali	42
Gambar 4.3 Diagram blok PIO	44
Gambar 4.4 Kata kendali PIO	44
Gambar 4.5 Diagram blok CTC	45
Gambar 4.6 Register kendali kanal	46
Gambar 4.7 Aliran program utama	48
Gambar 4.8 Bentuk sinyal kendali	49
Gambar 4.9 Aliran program interupsi	50

Gambar 4.10	Rangkaian catu daya untuk rangkaian kendali	51
Gambar 4.11	Rangkaian pengaman komponen daya	52
Gambar 4.12	Rangkaian pacu basis	53
Gambar 4.13	Catu daya untuk rangkaian pacu basis	54
Gambar 5.1	Hasil perhitungan bila iterasi tidak konvergen	56
Gambar 5.2	Bentuk gelombang keluaran inverter berdasarkan nilai sudut komutasi untuk 6 pulsa	57
Gambar 5.3	Bentuk gelombang keluaran inverter berdasarkan nilai sudut komutasi untuk 9 pulsa	58
Gambar 5.4	Sinyal kendali untuk inverter jembatan penuh (Gambar 2.3) dengan 6 pulsa	60
Gambar 5.5	Sinyal kendali untuk inverter jembatan penuh (Gambar 2.3) dengan 9 pulsa	61
Gambar 5.6	Rangkaian pengujian bentuk gelombang keluaran inverter	62
Gambar 5.7	Bentuk tegangan keluaran inverter dengan 6 pulsa	63
Gambar 5.8	Bentuk tegangan keluaran inverter dengan 9 pulsa	63
Gambar 6.1	Besar sudut komutasi terhadap perubahan gelombang dasar dengan 6 pulsa	67
Gambar 6.2	Besar sudut komutasi terhadap perubahan gelombang dasar dengan 9 pulsa	67
Gambar 6.3	Besar amplitude harmonisa terhadap perubahan gelombang dasar dengan 6 pulsa	69

Gambar 6.4	Besar amplitude harmonisa terhadap perubahan gelombang dasar dengan 9 pulsa	70
Gambar 6.5	Besar tegangan keluaran inverter terhadap tegangan masukan ADC untuk 6 pulsa	71
Gambar 6.6	Besar tegangan keluaran inverter terhadap tegangan masukan ADC untuk 9 pulsa	72

## DAFTAR TABEL

	hal.
Tabel 1. Kemungkinan kondisi hubung inverter jembatan penuh	7
Tabel 2. Perbandingan tiristor, transistor, MOSFET dan GTO	11
Tabel 3. Simbol OR, AND, dan NOT serta tabel kebenarannya	14
Tabel 4. Amplitude harmonisa dengan sudut komutasi $30^\circ$ dan $60^\circ$	30
Tabel 5. Amplitude harmonisa dengan sudut komutasi $15.42^\circ$ dan $87.40^\circ$	30
Tabel 6. Peta memori mikroprosesor	42
Tabel 7. Peta alamat peralatan mikroprosesor	43
Tabel 8. Nilai awal sudut komutasi supaya iterasi konvergen	57
Tabel 9. Perubahan isi RAM untuk gelombang 6 pulsa	58
Tabel 10. Pengujian kendali tegangan dengan 6 pulsa	64
Tabel 11. Pengujian kendali tegangan dengan 9 pulsa	65

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peralatan modern seperti : peralatan kedokteran, peralatan pengolah data, dan peralatan telekomunikasi kebanyakan memerlukan catu daya tak terputus (Uninterruptible Power Supply – UPS) dengan kualitas yang baik. Oleh karena itu, inverter yang digunakan pada UPS tersebut harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- Mempunyai tegangan keluaran dengan harmonisa kurang dari 5 persen.
- Perubahan tegangan kerja terhadap perubahan beban tidak lebih dari 3 persen.
- Ketelitian frekuensi kerja lebih besar dari 1 persen.<sup>(3)</sup>

Kinerja inverter terus mengalami perbaikan supaya dapat memenuhi persyaratan seperti tersebut di atas. Hal ini sejalan dengan perkembangan dalam bidang komponen daya dan munculnya mikroprosesor yang dapat digunakan sebagai rangkaian kendali.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Untuk keperluan UPS, tegangan keluaran inverter harus dapat dikendalikan dengan jangkauan yang terbatas pada frekuensi yang tetap dan gelombang harmonisa

menjadi pertimbangan utama.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, yang menjadi pokok permasalahan pada tugas akhir ini adalah bagaimana cara menghilangkan harmonisa dan bagaimana cara mengendalikan tegangan keluaran inverter.

### **1.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi**

Untuk mempermudah pembahasan dalam tugas akhir ini dibuat batasan dan asumsi sebagai berikut :

- Inverter yang digunakan adalah inverter satu fasa jembatan penuh dengan menggunakan komponen daya transistor dan sebagai pembangkit sinyal kendali digunakan sistem mikroprosesor.
- Tegangan keluaran inverter yang dibahas merupakan gelombang tiga tingkat, yaitu :  $+E$ ,  $0$ , dan  $-E$  dengan  $E$  adalah besar tegangan sumber searah.
- Perhitungan sudut komutasi diambil contoh untuk enam pulsa dan sembilan pulsa tiap setengah periode. Begitu juga untuk pembangkitan sinyal kendali.
- Frekuensi gelombang keluaran inverter dibuat tetap yaitu  $50 \text{ Hz}$ .
- Karena pembangkit sinyal kendali menggunakan sistem mikroprosesor, maka perubahan tegangan tidak dapat dilakukan secara kontinu. Dalam tugas akhir ini tegangan keluaran inverter dibuat dapat dikendalikan dengan kenaikan satu persen.
- Asumsi yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu waktu komutasi dari komponen daya adalah nol.



## **1.4 Sistematika Pembahasan**

Tugas akhir ini terdiri atas tujuh bab yang disusun dalam sistematika berikut ini.

Bab 1 merupakan pendahuluan yang menguraikan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, dan sistematika pembahasan. Bab ini dimaksudkan untuk memberi gambaran menyeluruh mengenai masalah yang dihadapi.

Bab 2 menguraikan hal-hal yang berhubungan dengan inverter satu fasa. Hal-hal tersebut meliputi konfigurasi rangkaian daya, komponen daya, dan rangkaian pembangkit sinyal kendali.

Bab 3 membahas penurunan persamaan matematik dari bentuk tegangan keluaran inverter serta menentukan harmonisa-harmonisa yang timbul.

Bab 4 membahas penggunaan teknik penghilangan harmonisa untuk memperoleh gelombang tegangan keluaran inverter yang harmonisa orde rendahnya dihilangkan dan mengatur gelombang dasarnya. Pembahasan meliputi penggunaan metode iterasi Newton Raphson untuk menghitung sudut komutasi gelombang, mewujudkan perhitungan tersebut dengan menggunakan program komputer, dan dibahas juga penerapannya pada inverter satu fasa jembatan penuh yang dikendalikan dengan mikroprosesor.

Bab 5 membahas hasil-hasil pengamatan laboratorium. Pembahasan meliputi hasil perhituingan dengan menggunakan komputer, bentuk sinyal kendali, bentuk tegangan keluaran inverter, dan kendali tegangan.

Bab 6 menganalisis hasil pengamatan laboratorium dibandingkan dengan perhitungan yang dibuat.

Bab 7 merupakan kesimpulan dan saran yang dapat diajukan atas dasar perhitungan dan analisis.

## BAB 2

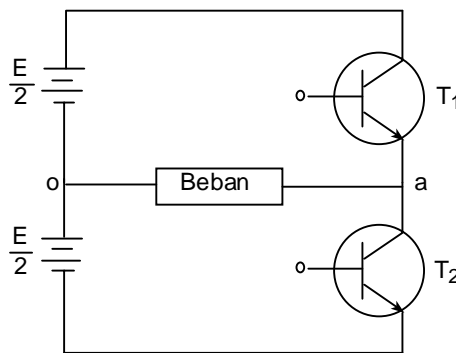
### INVERTER SATU FASA

#### 2.1 Latar Belakang

Berdasarkan konfigurasinya, rangkaian daya inverter satu fasa dapat dikelompokkan menjadi tiga macam.

##### 2.1.1 Inverter satu fasa jembatan setengah

Inverter ini menggunakan dua buah komponen daya,  $T_1$  dan  $T_2$ , untuk menghubungkan titik a dengan tegangan positif atau negatif. Kombinasi buka hubung pada komponen daya menghasilkan 4 macam keadaan. Keadaan hubung pada  $T_1$  dan  $T_2$

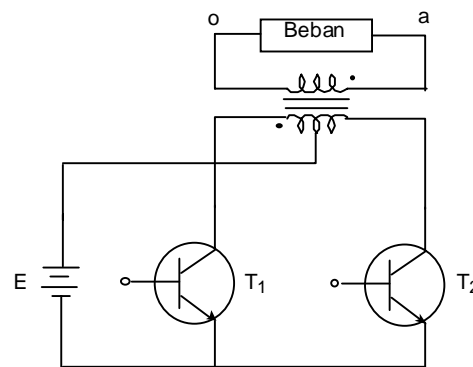


Gambar 2.1 Inverter satu fasa jembatan setengah

akan mengakibatkan sumber arus searah terhubung singkat. Keadaan buka pada  $T_1$  dan  $T_2$  mengakibatkan tegangan pada titik a tidak tentu, tergantung dari kondisi awal dari rangkaian dan jenis bebannya. Dengan demikian hanya dua keadaan yang dapat dikendalikan untuk membangkitkan tegangan bolak-balik pada beban.  $T_1$  hubung dan  $T_2$  buka menghasilkan  $V_{ao}$  positif.  $T_1$  buka dan  $T_2$  hubung menghasilkan  $V_{ao}$  negatif.

### 2.1.2 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah

Cara kerja inverter satu fasa dengan beban tap tengah sama dengan inverter jembatan setengah. Tap tengah transformator berfungsi supaya beban mendapat tegangan bolak balik.  $T_1$  hubung dan  $T_2$  buka akan menghasilkan  $V_{ao}$  negatip.  $T_1$  buka dan  $T_2$  hubung menghasilkan  $V_{ao}$  positip.



Gambar 2.2 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah

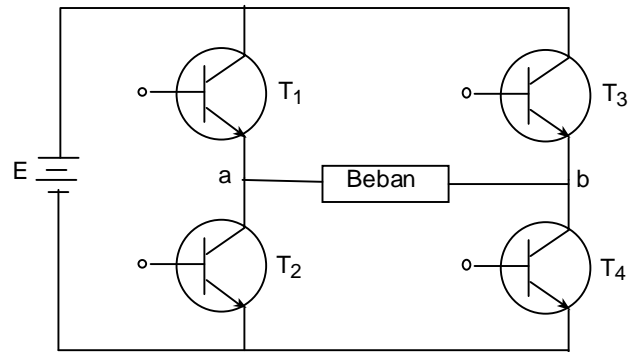
### 2.1.3 Inverter satu fasa jembatan penuh

Inverter ini lebih dikenal sebagai inverter jembatan. Dapat ditinjau sebagai dua buah inverter setengah jembatan, sehingga persamaan tegangan  $V_{ab}$  dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

Dengan titik o adalah titik tengah teoritis pada sumber tegangan dan  $V_{ao}$  serta  $V_{bo}$  merupakan dua keadaan yang ada pada inverter jembatan setengah.

Menggunakan 4 buah komponen daya sehingga mempunyai  $2^4 = 16$  kemungkinan kombinasi yang berbeda dari kondisi buka hubung masing-masing komponen daya. Hanya 4 kemungkinan



Gambar 2.3 Inverter satu fasa jembatan penuh

dari kombinasi ini dapat menghasilkan tegangan bolak-balik pada beban karena kemungkinan yang lainnya akan mengakibatkan sumber tegangan terhubung singkat. Dari Tabel 1 terlihat bahwa 2 kemungkinan kondisi hubung buka komponen daya menghasilkan tegangan  $V_{ab}$  nol, sehingga praktisnya hanya ada 3 kemungkinan bagi tegangan beban  $V_{ab}$ , yaitu  $+E$ ,  $-E$ , dan  $0$ .

Kondisi hubung	Tegangan beban $V_{ab}$
$T_1, T_4$	$+E$
$T_2, T_3$	$-E$
$T_1, T_3$	$0$
$T_2, T_4$	$0$

Tabel 1 Kemungkinan kondisi hubung komponen daya

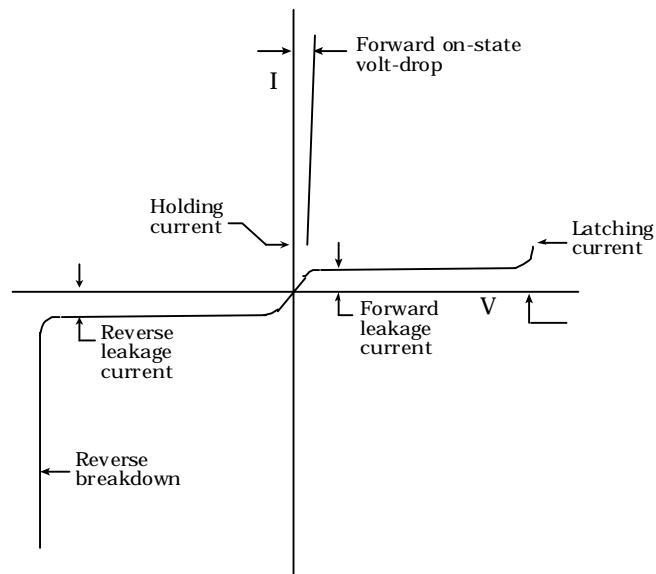
## 2.2 Komponen Daya

Komponen daya terbuat dari bahan semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar elektronik. Komponen daya yang sering

digunakan adalah : tiristor, transistor, MOSFET, dan GTO. Masing-masing komponen mempunyai karakteristik yang khas.

### 2.2.1 Tiristor

Tiristor merupakan saklar elektronik yang dilengkapi dengan elektroda kendali. Mempunyai tiga terminal : Anoda (A), Katoda (K), dan Gate (G). Arus dapat mengalir dari anoda ke katoda bila  $V_{ak}$  positif dan mengalir arus gate. Selama  $V_{ak}$  positif arus tetap mengalir meskipun arus gate sama dengan nol. Untuk memadamkannya, arus anoda diperkecil (60 mA) selama waktu tertentu (50 – 100  $\mu$ s).

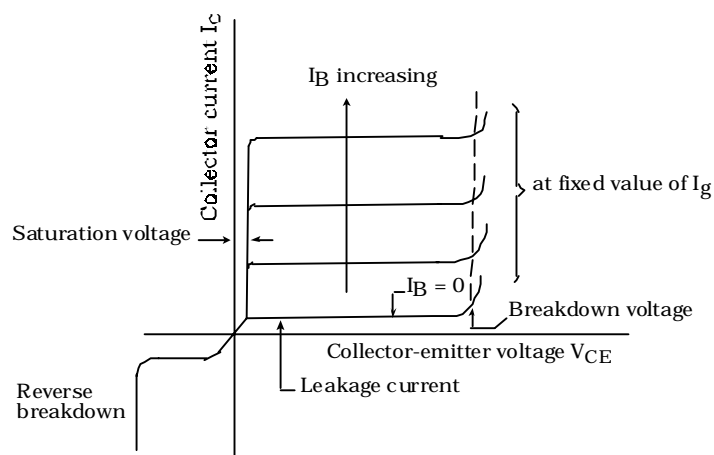


Gambar 2.4 Karakteristik tegangan-arus tiristor

### 2.2.2 Transistor

Transistor mempunyai tiga terminal : Kolektor (C), Emitor (E), dan Base (B). Pada saat kerja, arus kolektor ( $I_c$ ) merupakan fungsi dari arus base ( $I_b$ ). Perbandingan arus ini dalam orde 10 sampai 100 kali tergantung dari tipe transistornya.

Sebagai saklar elektronik, transistor dioperasikan pada daerah jenuh pada saat konduksi dan pada daerah *cut off* selama tidak konduksi. Bila mengalir arus base, transistor akan konduksi. Pada saat penyalaan, arus base harus cukup besar sehingga proses penyalaannya cepat. Pada saat pemadaman, arus dikurangi dengan kecepatan yang dapat diikuti oleh arus kolektor sehingga tidak menimbulkan *secondary breakdown*.



Gambar 2.5 Karakteristik transistor

Transistor mempunyai waktu komutasi yang lebih cepat dari pada tiristor (kurang dari  $2 \mu\text{s}$ ). Meskipun demikian transistor memerlukan arus base yang besar dan kurang tahan terhadap pembebanan lebih. Pabrik biasanya membuat daerah operasi aman untuk transistor yang digunakan sebagai komponen daya.

### 2.2.3 MOSFET

MOSFET mempunyai tiga terminal : Source (S), Drain (D), dan Gate (G). Karakteristiknya seperti transistor tetapi lebih

tahan terhadap gangguan. Perbedaannya, pada transistor pengendalian komutasi dilakukan dengan arus base ( $I_b$ ) sedangkan pada MOSFET pengendalian komutasi dilakukan dengan tegangan gate ( $V_{GS}$ ).

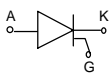


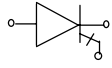
Bila kecepatan tinggi diperlukan, maka MOSFET merupakan komponen daya yang terbaik. Tiristor dan transistor dapat digunakan pada frekuensi 400 Hz – 2 kHz, MOSFET dapat digunakan pada frekuensi 20 kHz. Proses pemadaman dan penyalaan MOSFET kira-kira 80 ns dan daya yang hilang karena proses tersebut sangat kecil. Meskipun demikian MOSFET mempunyai kelemahan karena tidak bisa digunakan untuk daya yang besar dan harganya mahal.

#### **2.2.4 GTO**

GTO merupakan komponen daya terbaru dan lambat laun berhasil menggeser penggunaan komponen-komponen daya yang lain. Sifat-sifat penting dari tiristor dan transistor dimilikinya. GTO mempunyai kelebihan yang lain, diantaranya :

- Mempunyai ketahanan terhadap tegangan lebih dan arus lebih yang tinggi.
- Mempunyai kecepatan komutasi yang lebih tinggi.
- Mengendalikannya mudah, dengan picu positif akan konduksi dan dengan picu negatif akan padam.
- Rugi-rugi daya pada saat pemadaman dapat dikurangi.
- Ukuran dan berat peralatan dapat dikurangi.
- Efisiensinya lebih baik.

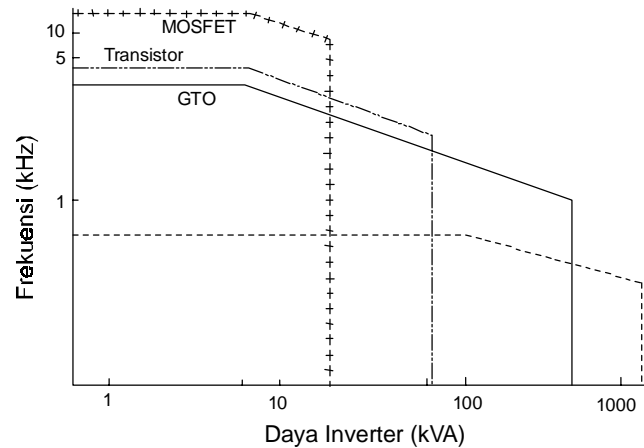


		<b>Tiristor</b>	<b>Transistor</b>	<b>MOSFET</b>	<b>GTO</b>
1	Simbol				
2	Kendali Pemadaman	- tidak ada	- ada - daya rendah	- ada - daya sangat rendah	- ada - daya tinggi
3	Kendali Penyalaan	- daya rendah - kemungkinan konduksi jika ada impuls	- daya rendah - memerlukan arus basis yang cukup ( $I_B \geq I_C/\beta$ )	- daya sangat rendah	- daya rendah
4	Kecepatan Switching	- lambat (50 – 100 $\mu$ s)	- cepat (1 $\mu$ s)	- cepat sekali (50 – 100 ns)	- cepat (1 – 2 $\mu$ s)
5	Resiko Konduksi Balik	- tidak ada	- ada kemungkinan arus kolektor negatip	- ada	- tidak ada
6	Ketahanan Listrik	- tahan terhadap tegangan lebih	- tidak tahan (dibatasi oleh $V_{max}$ , $I_{max}$ , dan $P_{max}$ )	- tidak tahan terhadap tegangan dan arus lebih	- tahan terhadap tegangan lebih
7	Disipasi Daya Saat Konduksi	- rendah	- rendah	- besar	- rendah
8	Rating Tegangan dan Arus	- 4500 V 2000 A	- 100 V 200 A	- 450 V 15 A	- 4500 V 2000 A
9	Tegangan Saat Konduksi	- $V_{ak} = 1-2$ V	- $V_{ce sat} = 1$ V	- (3-4) V	- 2,5 V

Tabel 2 Perbandingan tiristor, transistor, MOSFET dan GTO<sup>(11)</sup>

Meskipun demikian belum banyak digunakan karena harganya mahal.

Daerah penggunaan antara tiristor, transistor, MOSFET, dan GTO ditampilkan pada Gambar 2.6 dan perbandingan antara tiristor, transistor, MOSFET, dan GTO ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 2.6 Daerah penggunaan komponen daya <sup>(15)</sup>

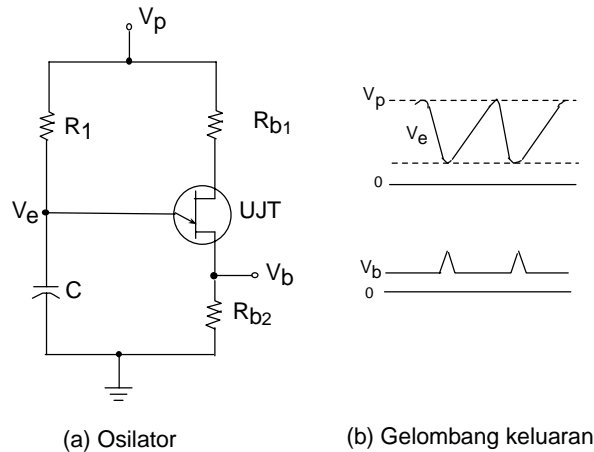
### 2.3 Rangkaian Pembangkit Sinyal Kendali

Rangkaian pembangkit sinyal kendali dapat diwujudkan dengan perangkat keras yang bermacam-macam. Mula-mula berupa rangkaian analog. Dengan rangkaian ini diperlukan rangkaian yang rumit dan besar. Disamping itu, komponen rangkaian analog mudah dipengaruhi gangguan dari luar. Sejalan dengan perkembangan dalam teknik penghilangan harmonisa, maka rangkaian pembangkit sinyal kendali pun memerlukan susunan yang makin rumit. Untuk mengurangi tingkat kerumitan digunakan rangkaian logik. Rangkaian ini mudah diwujudkan dan mempunyai ketelitian yang cukup tinggi.

Mikroprosesor merupakan perkembangan terakhir dari rangkaian pembangkit sinyal kendali inverter.

#### 2.3.1 Rangkaian analog

Rangkaian analog yang digunakan untuk menghasilkan sinyal kendali inverter bekerja berdasarkan prinsip pelepasan dan pengisian kapasitor. Contoh rangkaian analog untuk menghasilkan sinyal kendali diperlihatkan pada Gambar 2.7.a.



Gambar 2.7 Rangkaian osilator dan bentuk gelombang keluaran

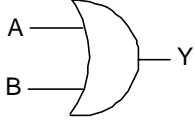
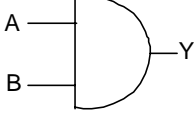
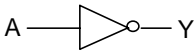
Kapasitor  $C$  diberi muatan melalui resistor  $R_1$  sampai tegangan emitor ( $V_e$ ) mencapai nilai  $V_p$ . Kapasitor  $C$  akan membuang muatan melalui  $R_{b2}$  dan pada saat itu UJT mengalirkan arus. Jika tegangan emitor mencapai nilai 2 volt, emitor akan berhenti mengalirkan arus sehingga UJT akan padam. Siklus terus berulang sehingga dihasilkan gelombang seperti pada Gambar 2.7.b

### 2.3.2 Rangkaian digital

Dengan adanya rangkaian terintegrasi digital, rangkaian pembangkit sinyal kendali inverter akan semakin sederhana. Komponen dasar yang digunakan ada 4 macam, yaitu : OR, AND, NOT, dan FLIP-FLOP. Komponen ini sering disebut gerbang logika dan bekerja berdasarkan persamaan aljabar Boolean.

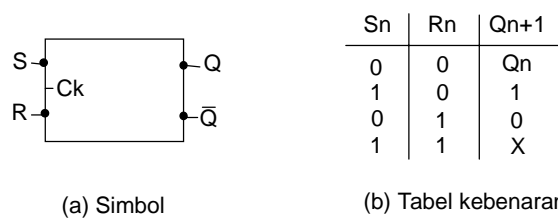
Bila ditinjau dari kondisi masukan dan keluaran, rangkaian digital dapat dibedakan menjadi dua macam : rangkaian kombinasional dan sekuensial. Keluaran rangkaian kombinasional akan berubah serentak setelah kondisi masukan

berubah. Yang termasuk rangkaian ini adalah OR Gate, AND Gate, dan NOT Gate. Pada Tabel 3 diperlihatkan simbol rangkaian dan tabel kebenarannya.

	Simbol	Tabel Kebenaran															
1.	<p>OR</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	Y															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
2.	<p>AND</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	Y															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
3.	<p>NOT</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																
0	1																
1	0																

Tabel 3 Simbol OR, AND, dan NOT serta tabel kebenarannya

Pada rangkaian sekuensial memerlukan pulsa *clock* untuk menyelaraskan operasi. Meskipun masukan telah berubah, keluaran akan dipertahankan tetap sebelum terjadi perubahan pulsa *clock*. Yang termasuk rangkaian ini adalah FLIP-FLOP.



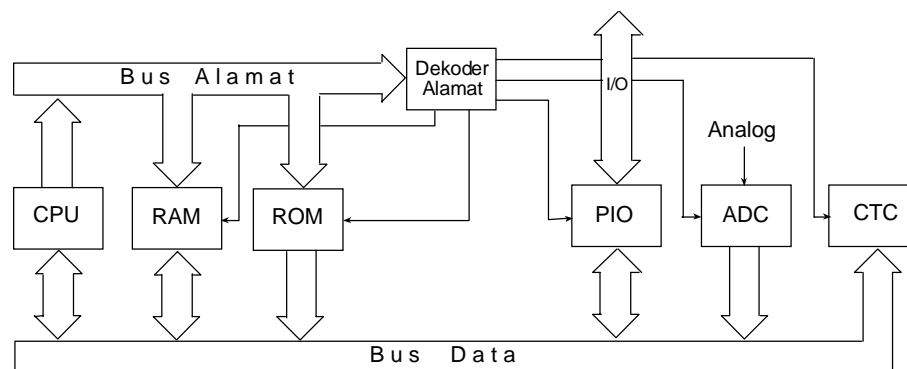
Gambar 2.6 Simbol FLIP-FLOP dan tabel kebenarannya

FLIP-FLOP mempunyai dua keadaan stabil yaitu pada keluaran  $Q = 1$  yang disebut keadaan *SET* dan keluaran  $Q = 0$  yang disebut keadaan *RESET*. Nilai keluaran  $Q$  dapat diubah dengan mengatur nilai masukan  $S$  dan  $R$  serta adanya perubahan pulsa *clock* ( $Ck$ ). Pada Gambar 2.8 indeks  $n$  menyatakan saat sebelum terjadinya perubahan *clock* dan indeks  $n+1$  menyatakan setelah terjadi perubahan pulsa *clock*. Tanda  $X$  adalah kondisi yang tidak didefinisikan.

Dengan menggabungkan kedua macam rangkaian ini dapat dibuat sinyal kendali dengan bentuk gelombang yang tertentu.

### 2.3.3 Sistem mikroprosesor

Mikroprosesor memerlukan komponen penunjang untuk membentuk suatu sistem mikroprosesor yang lengkap dan



Gambar 2.9 Organisasi sistem mikroprosesor

dapat bekerja. Komponen penunjang tersebut antara lain :

- **ROM (*Read Only Memory*)**

ROM merupakan tempat penyimpanan data. Data hanya dapat dibaca untuk digunakan. Data isi ROM tetap ada meskipun catu daya dimatikan. Biasanya ROM berisi sistem operasi.

- **RAM (*Random Access Memory*)**

RAM adalah memori tempat menyimpan data. Isi data dapat dibaca atau dihapus dengan menuliskan data baru. Isi RAM bersifat sementara karena bila catu daya dimatikan, isinya akan hilang.

- **PIO (*Peripheral Input Output*)**

PIO merupakan peralatan masukan keluaran yang dapat diprogram sebagai masukan atau keluaran.

- **CTC (*Counter Timer Circuits*)**

CTC berfungsi sebagai pengatur selang waktu atau pencacah pulsa. Mempunyai beberapa *counter/timer* yang berdiri sendiri dan dapat diprogram sebagai pengatur selang waktu atau pencacah pulsa.

- **ADC (*Analog to Digital Converter*)**

ADC merupakan alat pengubah besaran analog ke besaran digital. Teknik pengubahan biasanya dengan metode pendekatan berurut (*successive approximation*).

- **Dekoder Alamat**

Dekoder alamat merupakan rangkaian untuk menentukan alamat dari ROM, RAM, dan peralatan penunjang lainnya. Dengan pengalamatan ini CPU dapat menghubungi peralatan tersebut.

Sebagai rangkaian pembangkit sinyal kendali inverter, mikroprosesor mempunyai kelebihan yang sangat menonjol bila dibandingkan dengan rangkaian analog dan rangkaian digital. Disamping dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal kendali inverter, mikroprosesor juga dapat digunakan untuk kendali

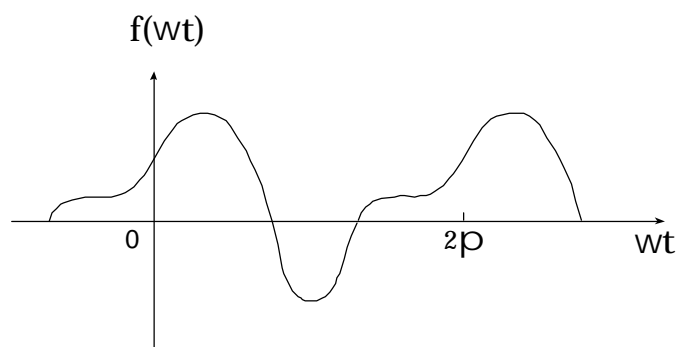
keseluruhan sistem, termasuk sistem proteksinya. Juga lebih fleksibel karena kinerjanya mudah diubah hanya dengan mengubah perangkat lunaknya.

Kecepatan kerja sistem mikroprosesor merupakan pembatas dalam desain sistem. Oleh karena itu, sinyal kendali inverter dibangkitkan dengan cara mengambil data yang disimpan sebagai pola gelombang dalam memori. Dengan munculnya mikroprosesor yang mempunyai kecepatan yang tinggi, kendali secara *on line* telah dimungkinkan.

## BAB 3

### HARMONISA TEGANGAN KELUARAN INVERTER SATU FASA

Harmonisa tegangan keluaran inverter dapat ditentukan bila persamaan matematik dari tegangan keluaran inverter telah ditentukan. Persamaan ini didapat dengan menguraikan bentuk gelombang tegangan dengan menggunakan deret Fourier. Karena deret Fourier ini memegang peranan penting, maka perlu dibahas dahulu deret Fourier kemudian dibahas penurunan persamaan matematik bentuk gelombang tegangan dan menentukan besar amplitude harmonisanya.



Gambar 3.1 Fungsi periodik

#### 3.1 Deret Fourier

Setiap fungsi periodik  $f(\omega t)$  dapat diuraikan menjadi deret trigonometri tak terhingga dan disebut deret Fourier. Supaya dapat diuraikan menjadi deret Fourier, fungsi tersebut harus memenuhi kondisi sebagai berikut:

- Fungsi tersebut merupakan fungsi periodik dan memenuhi relasi  $f(\omega t) = f(\omega t + 2\pi)$  dengan periode  $2\pi$ .



- Integral  $\int_{\omega t}^{\omega t+2\pi} |f(\omega t)| d(\omega t)$  mempunyai harga tertentu untuk setiap harga  $\omega t$ .
- Fungsi  $f(\omega t)$  merupakan fungsi kontinu atau fungsi yang tidak kontinu yang diskontinuitasnya tertentu dalam satu periode.
- Dalam satu periode fungsi  $f(\omega t)$  mempunyai harga maksimum dan minimum yang jumlahnya tertentu.

Ambil suatu fungsi periodik  $f(\omega t)$  maka deret Fourier untuk fungsi tersebut sebagai berikut :

$$f(\omega t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t) + A_2 \cos(2\omega t) + A_3 \cos(3\omega t) + \dots$$

$$+ B_1 \sin(\omega t) + B_2 \sin(2\omega t) + B_3 \sin(3\omega t) + \dots$$

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t)] \quad (3.1)$$

$A_0$ ,  $A_n$ , dan  $B_n$  disebut koefisien Fourier dan ditentukan dengan rumus :

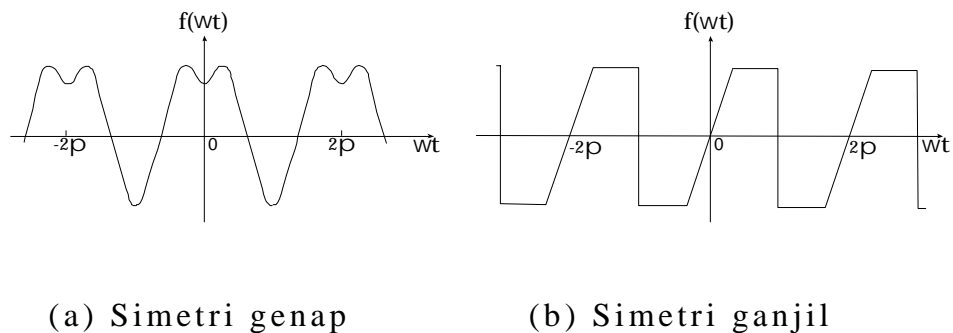
$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t) \quad (3.2.a)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (3.2.b)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (3.2.c)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Beberapa kondisi khusus bentuk fungsi dapat lebih mudah dinyatakan dalam deret Fourier yaitu bila fungsi tersebut mempunyai bentuk simetri.



Gambar 3.2 Simetri genap dan simetri ganjil

### 3.1.1 Simetri genap

Suatu fungsi dikatakan simetri genap bila memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$f(\omega t) = f(-\omega t)$$

Ini berarti fungsi tersebut simetri terhadap sumbu vertikal. Untuk fungsi ini dapat dibuktikan bahwa koefisien  $B_n$  sama dengan nol.

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi}^0 f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Bila variabel  $\omega t$  pada integral pertama diganti dengan  $-\sigma$  dan dilakukan perubahan batas integral didapat :

$$B_n = \frac{1}{\pi} \left[ - \int_{\pi}^0 f(-\sigma) \sin(-n\sigma) d(\sigma) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \left[ - \int_0^{\pi} f(\sigma) \sin(n\sigma) d(\sigma) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Simbol yang digunakan pada variabel integral tidak mempengaruhi nilai integrasinya sehingga :

$$B_n = 0$$

Karena fungsi simetri genap maka koefisien  $A_0$  dan  $A_n$  dapat ditentukan sebagai berikut.

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

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

Sehingga untuk fungsi simetri genap berlaku :

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega t)] \quad (3.3.a)$$

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) d(\omega t) \quad (3.3.b)$$

$$A_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (3.3.c)$$

### 3.1.2 Simetri ganjil

Fungsi simetri ganjil mempunyai sifat simetri terhadap titik awal dan mempunyai hubungan :

$$f(\omega t) = -f(-\omega t)$$

Untuk fungsi simetri ganjil dapat dibuktikan bahwa koefisien  $A_n = 0$  atau komponen sinusnya hilang.

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi}^0 f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Variabel  $\omega t$  pada integral pertama diganti dengan  $-\sigma$  dan dilakukan perubahan batas integral didapat :

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left[ - \int_{\pi}^0 f(-\sigma) \cos(-n\sigma) d(\sigma) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_0^{\pi} f(-\sigma) \cos(n\sigma) d(\sigma) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left[ - \int_0^{\pi} f(\sigma) \cos(n\sigma) d(\sigma) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$A_n = 0$$

Dengan cara yang sama dapat dibuktikan bahwa :

$$A_0 = 0$$

Karena fungsi ganjil, maka koefisien  $B_n$  dapat ditentukan sebagai berikut :

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t)$$

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

Sehingga untuk fungsi simetri ganjil berlaku :

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} [B_n \sin(n\omega t)] \quad (3.4.a)$$

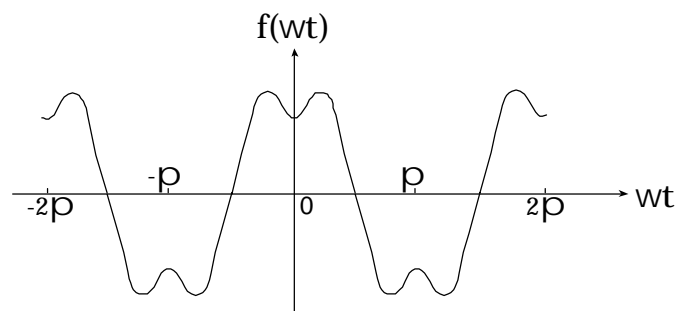
$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (3.4.b)$$

### 3.1.3 Simetri setengah gelombang

Fungsi  $f(\omega t)$  mempunyai sifat simetri setengah gelombang bila :

$$f(\omega t) = -f(\omega t \pm \pi)$$

Deret Fourier fungsi ini hanya mengandung komponen ganjil



Gambar 3.3 Simetri setengah gelombang

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{-\pi}^0 f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Misalkan integral pertama ruas kanan sama dengan F dan dengan mengambil  $\omega t = \sigma - \pi$  maka integral pertama ruas kanan dapat diuraikan menjadi :

$$\begin{aligned} F &= \int_{-\pi}^0 f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \\ &= \int_0^{\pi} f(\sigma - \pi) \cos[(n\sigma - n\pi)] d(\sigma) \\ &= \int_0^{\pi} -f(\sigma) [\cos(n\sigma) \cos(n\pi) + \sin(n\sigma) \sin(n\pi)] d(\sigma) \end{aligned}$$

Mengingat  $\sin(n\pi) = 0$  maka didapat :

$$F = -\cos(n\pi) \int_0^{\pi} f(\sigma) \cos(n\sigma) d(\sigma)$$

Kemudian dimasukkan lagi ke dalam koefisien  $A_n$  didapat :

$$A_n = \frac{1}{\pi} [1 - \cos(n\pi)] \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

Faktor  $[1 - \cos(n\pi)]$  menunjukkan bahwa  $A_n = 0$  bila  $n$  genap, sehingga didapat :

$$A_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) , n \text{ ganjil}$$

$$= 0 , n \text{ genap} \quad (3.5)$$

Dengan perhitungan yang sama didapat :

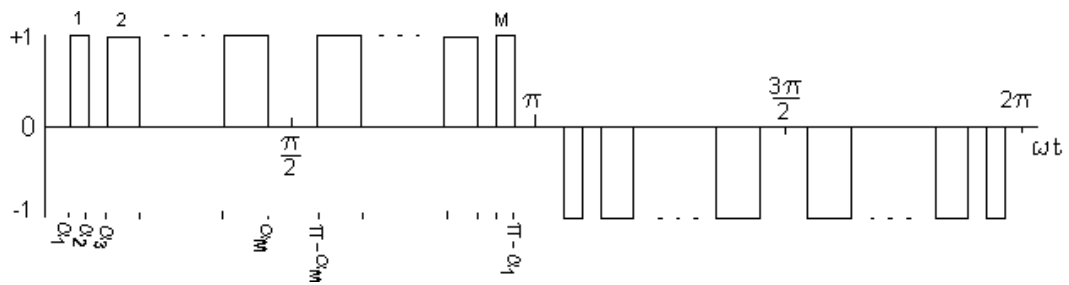
$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) , n \text{ ganjil}$$

$$= 0 , n \text{ genap} \quad (3.6)$$

### 3.2 Analisis Bentuk Tegangan Keluaran

Bentuk gelombang keluaran inverter yang diharapkan seperti pada Gambar 3.4. Jumlah pulsa untuk setengah perioda adalah  $M$  pulsa dan  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$  menyatakan sudut komutasinya. Gelombang ini berupa fungsi periodik sehingga dapat diuraikan menjadi deret Fourier.





Gambar 3.4 Bentuk tegangan keluaran inverter

Karena gelombang bersifat simetri ganjil dan simetri setengah periode, maka koefisien  $A_0 = 0$ ,  $A_n = 0$ , dan untuk  $n$  genap koefisien  $B_n = 0$ . Sehingga deret Fourier untuk gelombang tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega t)$$

$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t), \quad n \text{ ganjil}$$

Gelombang tersebut dapat dibuat simetri seperempat gelombang sehingga koefisien  $B_n$  menjadi :

$$B_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t), \quad n \text{ ganjil}$$

Banyaknya pulsa untuk setengah periode adalah  $M$  pulsa dan dapat berjumlah genap atau ganjil.

- Untuk M genap

$$B_n = \frac{4}{\pi} \left[ \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right. \\ \left. + \dots + \int_{\alpha_{M-1}}^{\alpha_M} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Dengan menghitung integral di atas didapat :

$$B_n = \frac{4}{n\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(n\alpha_i) , i = 1, 2, 3, \dots, M$$

- Untuk M ganjil

$$B_n = \frac{4}{\pi} \left[ \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right. \\ \left. + \dots + \int_{\alpha_M}^{\pi/2} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

Dengan menghitung integral di atas dan mengingat nilai  $\cos(n\pi/2) = 0$  untuk n ganjil maka :

$$B_n = \frac{4}{n\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(n\alpha_i) , i = 1, 2, 3, \dots, M$$

Dari kedua rumus tersebut terlihat bahwa untuk  $M$  genap maupun ganjil didapat rumus yang sama sehingga tegangan keluaran inverter dapat dinyatakan dengan persamaan matematik berikut ini :

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega t) \quad (3.7.a)$$

dengan :

$$B_n = \frac{4}{n\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(n\alpha_i) \quad (3.7.b)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, M$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

dan besar sudut komutasi memenuhi kondisi berikut :

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 \dots < \alpha_M < \pi/2.$$

### 3.3 Harmonisa Tegangan Keluaran

Dari penurunan bentuk tegangan keluaran di atas terlihat bahwa harmonisa yang muncul hanya harmonisa orde ganjil. Besar harmonisanya merupakan fungsi  $\alpha_i$  dan jumlah pulsa setengah periode ( $M$ ). Untuk memberi gambaran besarnya harmonisa diambil contoh gelombang dengan dua buah pulsa untuk setengah periode dan nilai  $\alpha_i$  tertentu.

- Untuk nilai  $\alpha_1 = 30^\circ$  dan  $\alpha_2 = 60^\circ$

Dengan menggunakan persamaan 3.7.b dan mengambil  $M = 2$  maka amplitude gelombang dasar dan amplitude harmonisa yang kurang dari 23 dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Orde Harmonisa (n)	Harga Mutlak Amplitude	Harga Mutlak Amplitude (% gel. <sup>*)</sup> dasar)
1	0.47	100.0
3	0.42	91.1
5	0.35	74.6
7	0.25	53.3
9	0.14	30.4
11	0.04	9.1
13	0.04	7.7
15	0.08	18.2
17	0.10	22.0
19	0.09	19.6
21	0.06	13.0

\*) gel. = gelombang

Tabel 4 Amplitude harmonisa dengan sudut komutasi 30° dan 60°

- Untuk nilai  $\alpha_1 = 15.42^\circ$  dan  $\alpha_2 = 87.40^\circ$

Dengan cara yang sama diperoleh amplitude gelombang dasar dan harmonisa seperti pada Tabel 5.

Orde Harmonisa (n)	Harga Mutlak Amplitude	Harga Mutlak Amplitude (% gel. <sup>*)</sup> dasar)
1	1.17	100.0
3	0.35	30.0
5	0.00	0.0
7	0.00	0.0
9	0.16	13.9
11	0.06	5.0
13	0.15	12.5
15	0.00	0.0
17	0.06	5.3
19	0.08	6.0
21	0.00	0.0

\*) gel. = gelombang

Tabel 5 Amplitude harmonisa dengan sudut komutasi 15.42° dan 87.40°

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 terlihat bahwa dengan mengatur nilai  $\alpha$  dapat dibuat harmonisa orde tertentu hilang. Makin banyak

harmonisa yang akan dihilangkan makin banyak pula jumlah pulsa untuk setengah periode.

Pada inverter perlu dibuat gelombang tegangan keluaran yang tidak mempunyai harmonisa karena harmonisa tersebut dapat mengakibatkan pemanasan tambahan pada mesin yang mendapat tegangan dari inverter atau dapat menyebabkan gangguan interferensi bagi peralatan telekomunikasi. Harmonisa tersebut dapat dihilangkan dengan menggunakan filter atau menggunakan teknik penghilangan harmonisa.

Untuk menghilangkan harmonisa orde rendah bila digunakan filter akan diperlukan ukuran filter yang besar dan mahal sehingga perlu digunakan teknik penghilangan harmonisa. Untuk harmonisa orde tinggi akan mudah diredam dengan menggunakan filter. Dengan menggunakan filter, makin tinggi orde harmonisa redamannya akan semakin tinggi. Sedangkan bila digunakan teknik penghilangan harmonisa akan diperlukan jumlah pulsa untuk setengah periode yang banyak sekali. Hal ini akan menambah rugi-rugi komutasi dan memerlukan komponen daya dengan kecepatan komutasi yang sangat tinggi sehingga tidak praktis untuk diwujudkan. Untuk bab selanjutnya yang dibahas adalah teknik penghilangan harmonisa untuk menghilangkan harmonisa orde rendah.

## **BAB 4**

### **TEKNIK PENGHILANGAN HARMONISA PADA INVERTER SATU FASA DENGAN MIKROPROSESOR SEBAGAI PEMBANGKIT SINYAL KENDALI**

Pada Bab 3 telah diturunkan persamaan matematik bentuk tegangan keluaran inverter satu fasa konfigurasi jembatan penuh. Berdasarkan persamaan 3.7.b dapat dibuat gelombang dengan menghilangkan harmonisa tertentu serta mengendalikan gelombang dasar. Teknik ini disebut teknik penghilangan harmonisa.

Setelah ditentukan harmonisa yang akan dihilangkan dan besar gelombang dasar, dapat disusun persamaan nonlinear simultan dengan variabel sudut komutasi  $\alpha$ . Untuk menghitung nilai  $\alpha$  pada persamaan tersebut digunakan metode numerik dengan iterasi Newton Raphson. Dari nilai  $\alpha$  yang diperoleh dapat dibuat pola gelombang PWM yang diharapkan.

Teknik penghilangan harmonisa ini dapat mudah diwujudkan dengan adanya transistor daya sebagai komponen daya yang mempunyai kecepatan komutasi tinggi dan dengan adanya mikroprosesor untuk pembangkit sinyal kendali.

#### **4.1 Metode Newton Raphson untuk Menghitung Sudut Komutasi**

Sebelum menghitung sudut komutasi, perlu dibahas dahulu metode iterasi Newton Raphson untuk menyelesaikan persamaan nonlinear.

Sistem persamaan nonlinear dengan  $M$  buah variabel dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M) &= y_1 \\
 f_2(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M) &= y_2 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 f_M(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M) &= y_M
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Untuk menyelesaikan persamaan di atas dengan metode Newton Raphson diambil perkiraan nilai awal  $\alpha$  yaitu :

$$\alpha(0) = [\alpha_1^{(0)} \ \alpha_2^{(0)} \ \dots \ \alpha_M^{(0)}]$$

Misal  $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2, \dots, \Delta\alpha_M$  adalah koreksi yang diperlukan untuk  $\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_M^{(0)}$ , maka persamaan 4.1 dapat dituliskan kembali menjadi :

$$\begin{aligned}
 f_1(\alpha_1^{(0)} + \Delta\alpha_1, \alpha_2^{(0)} + \Delta\alpha_2, \dots, \alpha_M^{(0)} + \Delta\alpha_M) &= y_1 \\
 f_2(\alpha_1^{(0)} + \Delta\alpha_1, \alpha_2^{(0)} + \Delta\alpha_2, \dots, \alpha_M^{(0)} + \Delta\alpha_M) &= y_2 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 f_M(\alpha_1^{(0)} + \Delta\alpha_1, \alpha_2^{(0)} + \Delta\alpha_2, \dots, \alpha_M^{(0)} + \Delta\alpha_M) &= y_M
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Setiap persamaan di atas dapat diuraikan dengan deret Taylor. Sebagai contoh untuk persamaan pertama didapat :

$$f_1(\alpha_1^{(0)} + \Delta\alpha_1, \alpha_2^{(0)} + \Delta\alpha_2, \dots, \alpha_M^{(0)} + \Delta\alpha_M) =$$

$$f_1(\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_M^{(0)}) + \Delta\alpha_1 \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_1} \right|_0 + \Delta\alpha_2 \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_2} \right|_0 + \dots + \Delta\alpha_M \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_M} \right|_0 + \Phi_1$$

dengan  $\Phi_1$  adalah turunan parsial dengan orde yang lebih tinggi. Jika turunan parsial dengan orde yang lebih tinggi diabaikan akan diperoleh persamaan linear dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} y_1 - f_1(\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_M^{(0)}) \\ y_2 - f_2(\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_M^{(0)}) \\ \dots \\ y_M - f_M(\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \dots, \alpha_M^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_M} \right|_0 \\ \left. \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_M} \right|_0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left. \frac{\partial f_M}{\partial \alpha_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_M}{\partial \alpha_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_M}{\partial \alpha_M} \right|_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\alpha_1 \\ \Delta\alpha_2 \\ \dots \\ \Delta\alpha_M \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Matriks bujur sangkar turunan parsial dinamakan Jacobian [J]. Untuk menghitung nilai  $\Delta\alpha_i$  pada persamaan linear tersebut dapat digunakan metode eliminasi Gauss Jordan<sup>(26)</sup>. Proses dapat diulang dengan nilai  $\alpha_i$  baru yang diperoleh dari :

$$\alpha_i^{(1)} = \alpha_i^{(0)} + \Delta\alpha_i$$

sehingga  $\alpha_i$  sesuai dengan ketelitian yang diinginkan ( $\epsilon$ ). Jika ternyata metode ini divergen, maka perlu dibuat perkiraan nilai  $\alpha_i$  yang baru.



Berdasarkan metode Newton Raphson tersebut dapat dihitung sudut komutasi tegangan keluaran inverter dengan menghilangkan harmonisa tertentu serta mengatur gelombang dasarnya. Ambil  $f_i(\alpha)$  adalah nilai  $B_n$  pada Persamaan 3.7.b. sedangkan nilai  $y_1$  menyatakan amplitude gelombang dasar yang dapat diatur besarnya.

$$0 < y_1 < 4/\pi$$

Untuk inverter satu fasa, harmonisa yang akan dihilangkan adalah harmonisa orde rendah 3, 5, 7, ... ,  $(2M-1)$  sehingga harga  $y_2, y_3, \dots, y_M = 0$ . Persamaan nonlinear untuk menentukan sudut komutasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f_1(\alpha) &= \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(\alpha_i) &= y_1 \\
 f_2(\alpha) &= \frac{4}{3\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(3\alpha_i) &= 0 \\
 f_3(\alpha) &= \frac{4}{5\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(5\alpha_i) &= 0 \\
 &\cdot &\cdot \\
 &\cdot &\cdot \\
 &\cdot &\cdot \\
 f_M(\alpha) &= \frac{4}{(2M-1)\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos[(2M-1)\alpha_i] &= 0
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Sedangkan Jacobian yang merupakan matriks bujur sangkar, turunan parsial dapat ditentukan sebagai berikut :

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{4}{\pi} \sin(\alpha_1) & -\frac{4}{\pi} \sin(\alpha_2) & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin(\alpha_M) \\ \frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_1) & -\frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_2) & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_M) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_1] & -\frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_2] & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_M] \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Elemen matriks pada kolom terakhir bertanda positif jika jumlah  $M$  ganjil dan bertanda negatif jika  $M$  genap. Dari Persamaan 4.3, Persamaan 4.4, dan Persamaan 4.5 dapat dibentuk persamaan linear sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} y_1 - \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(\alpha_i) \\ \frac{4}{3\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos(3\alpha_i) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{4}{(2M-1)\pi} \sum_{i=1}^M (-1)^{i+1} \cos[(2M-1)\alpha_i] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4}{\pi} \sin(\alpha_1) & -\frac{4}{\pi} \sin(\alpha_2) & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin(\alpha_M) \\ \frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_1) & -\frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_2) & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin(3\alpha_M) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_1] & -\frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_2] & \dots & \pm \frac{4}{\pi} \sin[(2M-1)\alpha_M] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\alpha_1 \\ \Delta\alpha_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \Delta\alpha_{M1} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Dari Persamaan (4.6) dan dengan menggunakan metode Newton Raphson, besar sudut komutasi dapat ditentukan. Bagian yang paling sulit untuk menyelesaikannya adalah menentukan

perkiraan nilai awal sudut komutasi. Penentuan nilai awal ini merupakan proses *trial and error* dan tidak ada metode umum yang dapat menjamin konvergensinya<sup>(20)</sup>. Nilai  $\alpha_i$  yang didapat harus memenuhi kondisi ini

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_M < \frac{1}{2}\pi$$

## **4.2 Program Komputer**

Algoritma yang telah dijabarkan di atas dapat dihitung dengan menggunakan komputer. Setelah besar sudut komutasi diperoleh, dihitung amplitude harmonisa orde tinggi yang masih ada serta dibuat data untuk pola gelombang yang akan dibangkitkan. Program ditulis dalam Bahasa Pascal dan diberikan pada Lampiran A.

Program dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu : menghitung sudut komutasi, menghitung amplitude harmonisa, membuat pola gelombang, dan program utama. Masing-masing bagian terdiri atas beberapa buah modul program yang dinamakan prosedur. Prosedur ini akan mempermudah dalam mengoreksi bila terjadi kesalahan dan mudah untuk dikembangkan.

### **4.2.1 Program untuk menghitung sudut komutasi**

Untuk menghitung sudut komutasi, program dibagi menjadi prosedur-prosedur berikut ini.

- **Prosedur Harga\_Awal**  
Prosedur ini digunakan untuk memasukkan nilai awal sudut komutasi.
- **Prosedur Harga\_Y**  
Prosedur Harga\_Y digunakan untuk memberi kondisi awal besar gelombang dasar dan kondisi awal harmonisa orde rendah yang akan dihilangkan.
- **Prosedur Definisi**  
Prosedur ini mendefinisikan persamaan 4.4 yang berupa persamaan nonlinear dan membuat matriks Jacobian yang merupakan turunan parsial orde pertama Persamaan 4.4 terhadap nilai sudut komutasi  $\alpha$ .
- **Prosedur Transfer**  
Setelah mendefinisikan fungsi-fungsi tersebut di atas perlu dibentuk matriks persamaan linear (Persamaan 4.6) dan dibentuk dengan prosedur ini.
- **Prosedur Spl**  
Prosedur Spl digunakan untuk menyelesaikan persamaan linear yang telah dibuat sebelumnya.
- **Prosedur Tulis\_Alpha**  
Prosedur ini digunakan untuk menuliskan hasil perhitungan sudut komutas  $\alpha$  yang didapat.

#### **4.2.2 Program untuk menghitung besar amplitude harmonisa**

Rumus yang digunakan untuk menghitung besar amplitude harmonisa adalah Persamaan 3.7.b. Besar amplitude harmonisa diperoleh dengan memasukkan nilai  $\alpha$  yang diperoleh

sebelumnya ke dalam persamaan tersebut. Program ini dibagi menjadi dua prosedur.

- **Prosedur Harmonisa**

Prosedur ini mendefinisikan Persamaan 3.7.b untuk menghitung  $B_n$  yang merupakan besar amplitude gelombang dasar dan besar amplitude harmonisa.

- **Prosedur Tulis\_Harmonisa**

Prosedur Tulis\_Harmonisa digunakan untuk menuliskan besar amplitude harmonisa yang diperoleh dengan prosedur di atas.

#### **4.2.3 Program untuk membuat pola gelombang**

Pola gelombang digunakan sebagai selang waktu yang diisikan pada CTC dari sistem mikroprosesor pembangkit sinyal kendali. Karena mikroprosesor yang digunakan masukannya berupa bilangan heksadesimal, maka pola gelombang yang dibuat juga menggunakan bilangan heksadesimal.

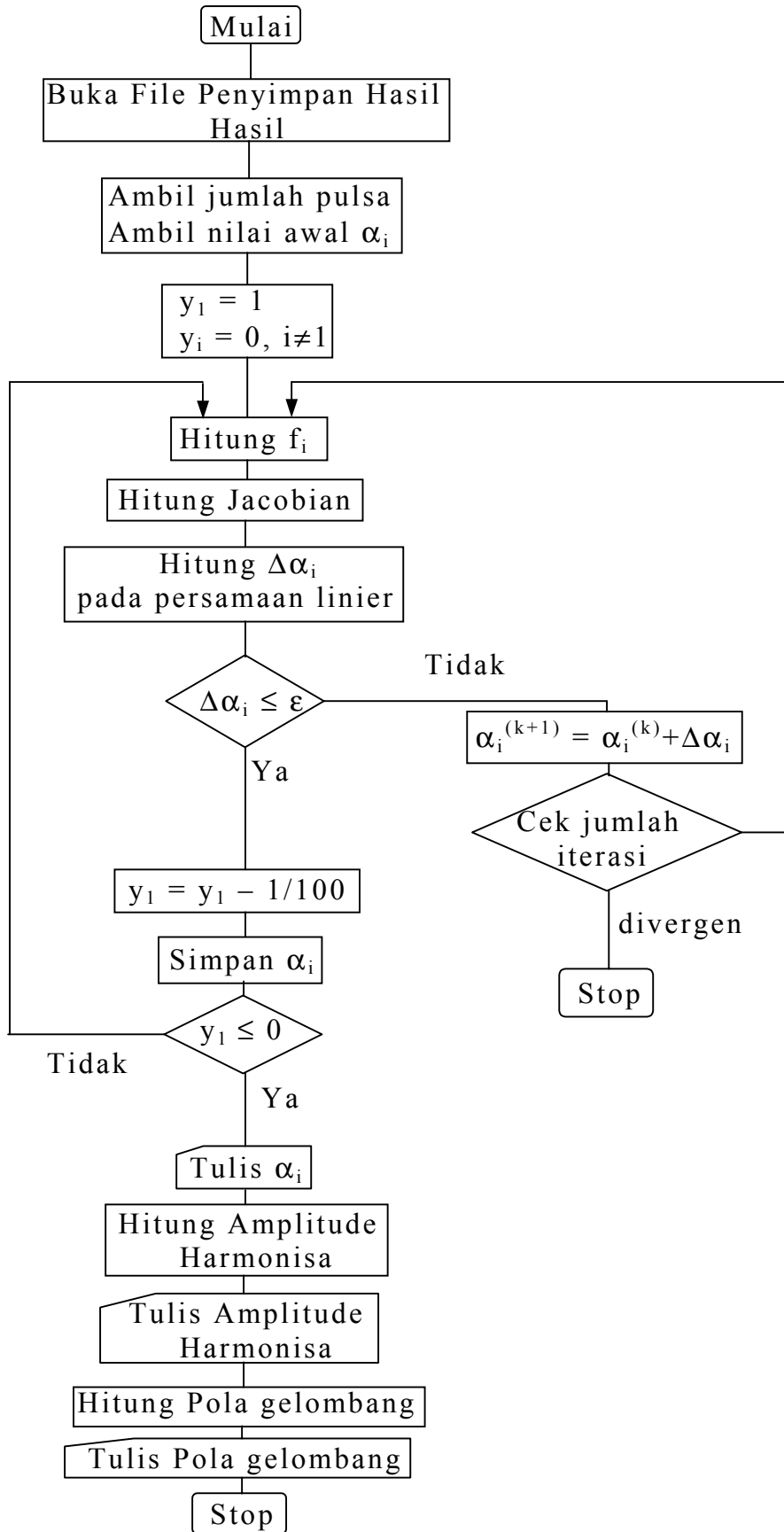
Program dibagi menjadi tiga buah prosedur yaitu :

- **Prosedur Heksadesimal**

Prosedur ini untuk mengubah bilangan interger menjadi bilangan heksadesimal.

- **Prosedur Look\_Up\_Table**

Prosedur Look\_Up\_Table digunakan untuk membuat pola gelombang dan mengeluarkan hasilnya. Nilai pola gelombang ini merupakan selisih nilai sudut komutasi dikalikan bilangan 373 dan kemudian diubah menjadi bilangan heksadesimal.



Gambar 4.1 Logika program utama

Bilangan 373 didapat berdasarkan *clock* sistem mikroprosesor yang dipakai sebagai pembangkit sinyal kendali. Frekuensi *clock* 1.79 MHz dibagi dengan bilangan 48 menggunakan *timer* CTC menjadi 37.3 kHz. Supaya diperoleh frekuensi gelombang keluaran inverter 50 Hz atau frekuensi setengah gelombang sebesar 100 Hz maka perlu dibagi dengan bilangan 373.

#### **4.2.4 Program Utama**

Program ini digunakan untuk mengorganisasi prosedur-prosedur yang telah dibuat. Logika program utama ditampilkan pada Gambar 4.1. Hasil perhitungan keseluruhan disimpan dalam file. Supaya tampilan hasilnya cukup bagus, perlu prosedur bantu.

- Prosedur Buka\_File

Prosedur ini untuk menyiapkan file untuk menyimpan hasil perhitungan.

- Prosedur Frame\_Atas dan Frame\_Bawah

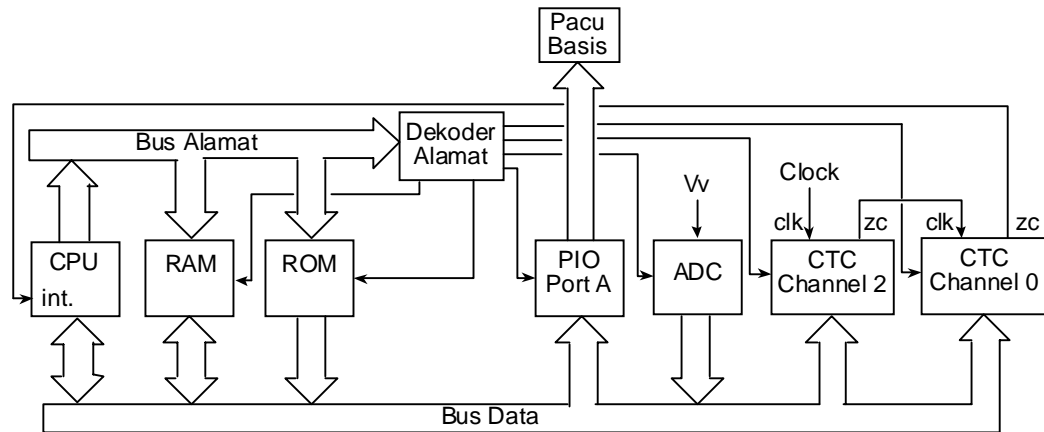
Dua prosedur ini digunakan untuk membuat garis tabel pada hasil perhitungan.

### **4.3 Mikroprosesor Sebagai Pembangkit Sinyal Kendali**

#### **4.3.1 Perangkat Keras**

Sebagai pembangkit sinyal kendali inverter digunakan mikroprosesor Z80. Diagram bloknnya ditunjukkan pada Gambar 4.2. Keseluruhan sistem ini sudah diwujudkan dalam sistem

mikroprosesor GMS-1 dengan menambahkan *Analog to Digital Converter* (ADC) dan ditampilkan pada Lampiran D.



Gambar 4.2 Diagram blok pembangkit sinyal kendali

Mikroprosesor Z80 dalam GMS-1 menggunakan *clock* dengan frekuensi 1.79 MHz. *Clock* berfungsi untuk mengatur kerja pemrosesan dan sebagai picu untuk CTC.

Dekoder alamat untuk RAM dan ROM memberikan peta memori seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Sedangkan dekoder alamat untuk peralatan penunjang mengelompokkan alamat peralatan seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Alamat memori	Isi memori
0000H – 07FFH	EPROM untuk program monitor
0800H – 0FFFH	EPROM untuk program Bahasa Basic
1000H – 17FFH	kosong
1800H – 1FFFH	RAM untuk program pemakai dengan catatan memori 1F9F – 1FF3 digunakan untuk program monitor
2000H – 2FFFH	EPROM / RAM tambahan

Tabel 6 Peta memori mikroprosesor



Peralatan	Alamat	Keterangan
PPI 8255	00H	Port A
	01H	Port B
	02H	Port C
	03H	Port kontrol
CTC	40H	CTC kanal 0
	41H	CTC kanal 1
	42H	CTC kanal 2
	43H	CTC kanal 3
PIO	80H	Port A data
	81H	Port B data
	82H	Port A kontrol
	83H	Port B kontrol
ADC 0809	C0H	Port 1 ADC

Tabel 7 Peta alamat peralatan mikroprosesor

Pola gelombang PWM yang telah dihitung sebelumnya disimpan dalam RAM dan datanya dapat diambil untuk dimasukkan ke register CTC sebagai pengatur selang waktu. Bila CTC telah mencapai *zero count* maka CTC akan menginterupsi CPU untuk melayani dan mengeluarkan gelombang melalui PIO. Siklus terus berlangsung dengan data yang lain sehingga diperoleh bentuk gelombang PWM.

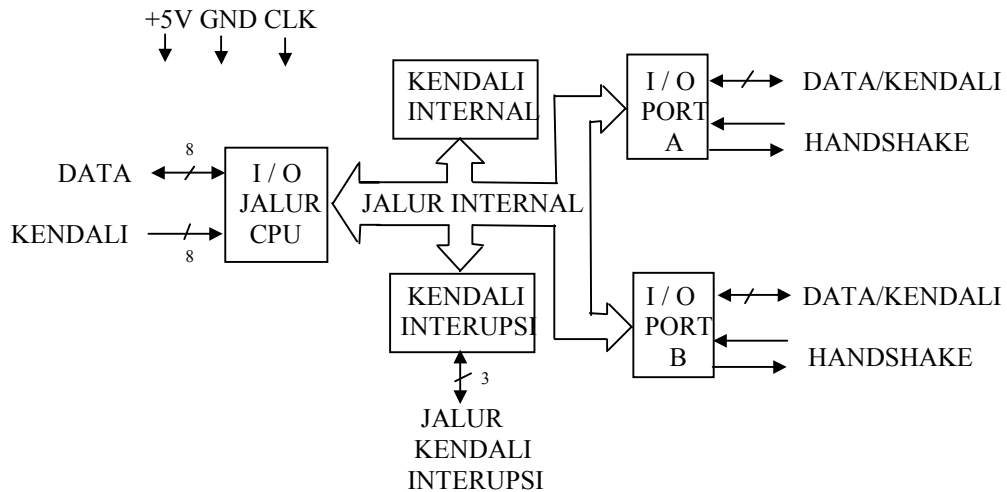
ADC berfungsi sebagai kendali tegangan keluaran. Nilai pada jalur data ADC dibuat menjadi pointer pola gelombang yang sesuai dengan tegangan yang diinginkan. *Clock* CTC diatur sehingga frekuensi gelombang keluaran yang dihasilkan 50 Hz.

#### 4.3.2 Perangkat lunak

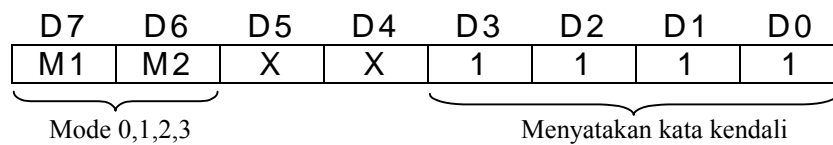
Sebelum membahas program pembangkit sinyal kendali inverter perlu dibahas cara kerja PIO, CTC, dan ADC.

## - PIO

PIO mempunyai dua buah pintu yang dinamakan *Port A* dan *Port B*. Blok diagram dari PIO ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram blok PIO



Gambar 4.4 Kata kendali PIO

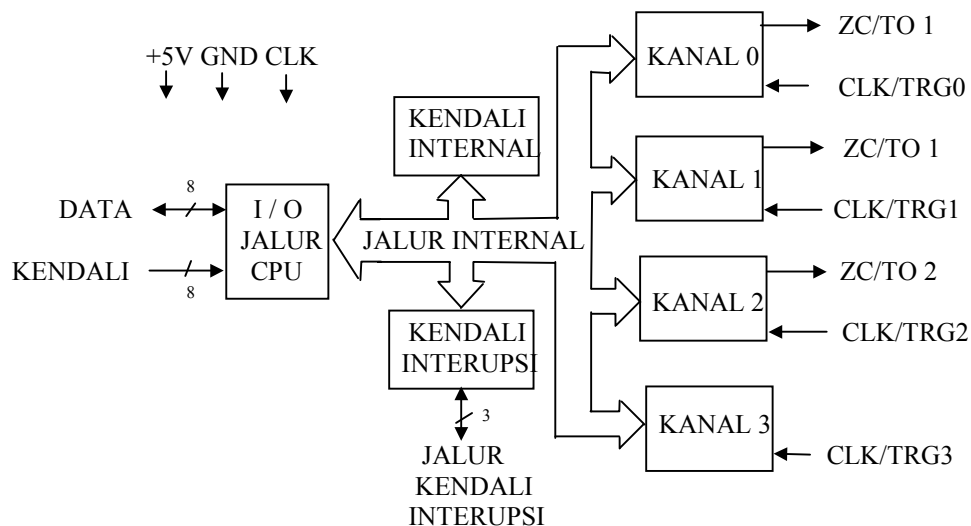
Untuk mengawali kerja, PIO harus diinisialisasi dengan mengisi kata kendali. Misalkan *Port A* digunakan sebagai masukan (mode 1) dan *Port B* digunakan sebagai keluaran (mode 0) maka program inisialisasinya sebagai berikut.

```
LD  A,0FH          ;PIO Port A sebagai keluaran
OUT (82H),A

LD  A,4FH          ;PIO Port B sebagai masukan
OUT (83H),A
```

## - CTC

CTC mempunyai 4 kanal yang dapat dioperasikan sendiri-sendiri. Jika dioperasikan sebagai *counter*, pulsa masukan dihubungkan dengan kaki CLK/TRG dan jika dioperasikan sebagai *timer*, CTC dapat mencacah pulsa dari *clock* CPU atau pulsa dari luar yang dihubungkan dengan kaki CLK/TRG. Sebagai *counter* hanya mencacah maksimum 256. Sebagai *timer*, CTC dilengkapi dengan *prescaler* 8 bit sehingga cacahan maksimum  $256 \times 256$ .



Gambar 4.5 Diagram blok CTC

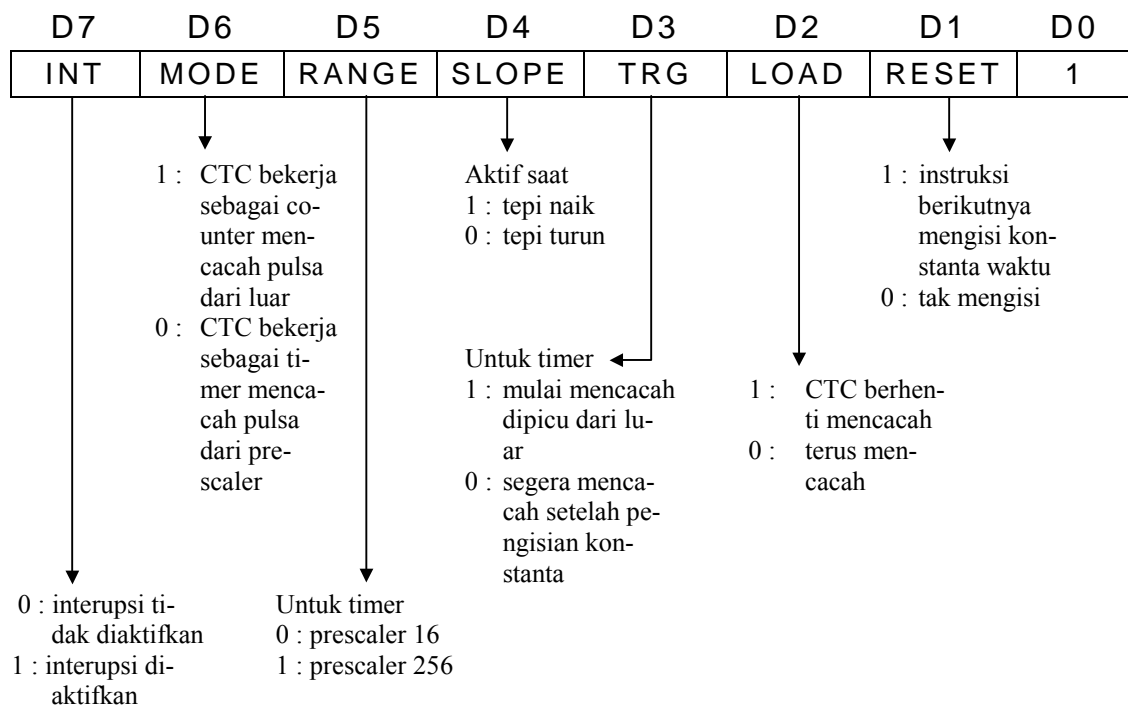
CTC mempunyai tiga buah register, yaitu :

- Register kendali kanal
- Register konstanta waktu
- Register vektor interupsi.

Supaya dapat bekerja, masing-masing register harus diisi sesuai dengan kerja yang diinginkan.

Mula-mula register kendali kanal diisi. Arti dari isinya ditunjukkan pada Gambar 4.6. Setelah pengisian register kendali

kanal, register konstanta waktu harus diisi. Isinya angka 8 bit antara 00H hingga FFH sesuai dengan besar selang waktu yang dikehendaki. Bila CTC digunakan untuk menginterupsi CPU maka register vektor interupsi harus diisi. Pada register vektor interupsi bit 0 dan bit 1 harus diisi 0. Bit-bit yang lainnya diisi dengan *byte* rendah pointer alamat pelayanan interupsi, sedangkan *byte* tinggi pointer alamat pelayanan interupsi diisikan ke register I pada CPU.



Gambar 4.6 Register kendali kanal

Rangkaian pembangkit sinyal kendali inverter ini menggunakan CTC kanal 0 sebagai *counter* dan menginterupsi. Konstanta waktu yang diisikan merupakan data sudut komutasi yang diambil dari *look up table*. Interupsi yang digunakan

adalah interupsi mode 2 sehingga inisialisasi CTC kanal 0 sebagai berikut.

```

IM2
LD  A,19H           ;Pointer byte tinggi
LD  I,A
LD  A,40H           ;Pointer byte rendah
OUT (40H),A
LD  A,0D5H          ;CTC kanal 0 sebagai counter
OUT (40H),A        ;menginterupsi
LD  A,0EH           ;Data konstanta waktu
OUT (40H),A

```

CTC kanal 2 digunakan untuk membangkitkan pulsa yang dihubungkan dengan kaki CLK/TRG dari CTC kanal 0. Besar konstanta waktunya diatur sehingga diperoleh frekuensi gelombang yang dibangkitkan 50 Hz. Inisialisasi CTC kanal 0 sebagai berikut.

```

LD  A,55H           ;CTC kanal 2 sebagai counter
OUT (42H),A
LD  A,17H           ;Data konstanta waktu
OUT (42H),A

```

#### - ADC

ADC yang digunakan adalah IC ADC0809. Teknik pengubahan yang digunakan adalah metode pendekatan berurut. Untuk memulai pengubahan besaran analog ke besaran digital, ADC diberi pulsa *start* dan register pendekatan berurut akan melakukan pengubahan. Instruksi untuk menjalankannya sebagai berikut.

```

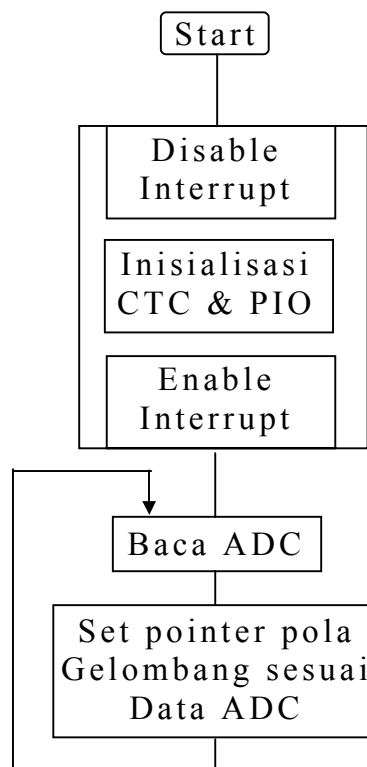
OUT  (ADC),A       ;Start ADC
LD   B,90H         ;Tunggu konversi ADC
DJNZ $
IN   A,(ADC)       ;Baca data ADC

```

Program pembangkit sinyal kendali ini dapat dipisahkan menjadi dua bagian, program utama dan program interupsi. Keseluruhan program pembangkit sinyal kendali inventer dalam Bahasa Assembler Z80 disajikan dalam Lampiran C.

### - Program Utama

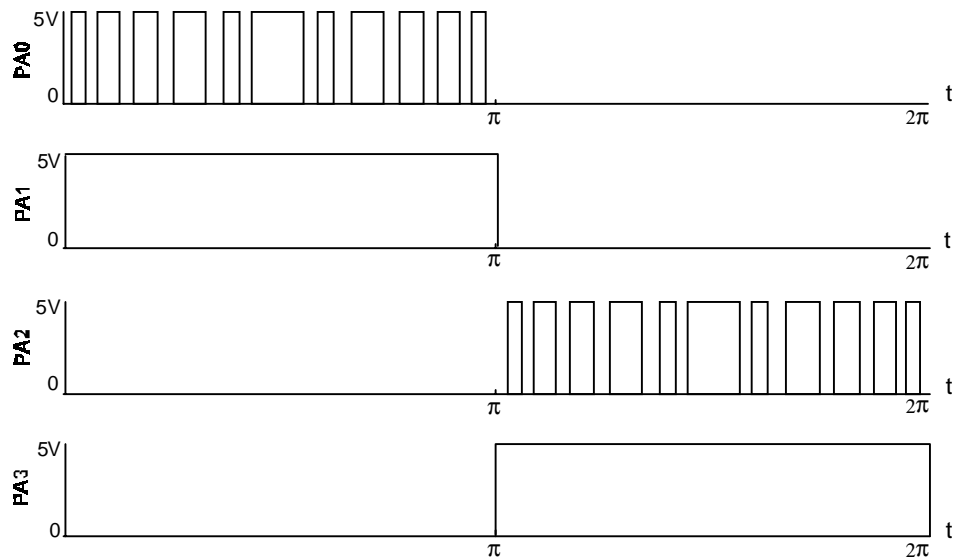
Program utama digunakan untuk menginisialisasi peralatan penunjang yaitu PIO dan CTC. Bila tidak ada interupsi, CPU akan melayani peralatan masukan berupa ADC untuk menentukan perubahan data tegangan. Bila terkena interupsi, CPU akan menyimpan register yang digunakan oleh program utama dan melayani interupsi. Program akan kembali ke program utama bila telah selesai melayani interupsi.



Gambar 4.7 Aliran program utama

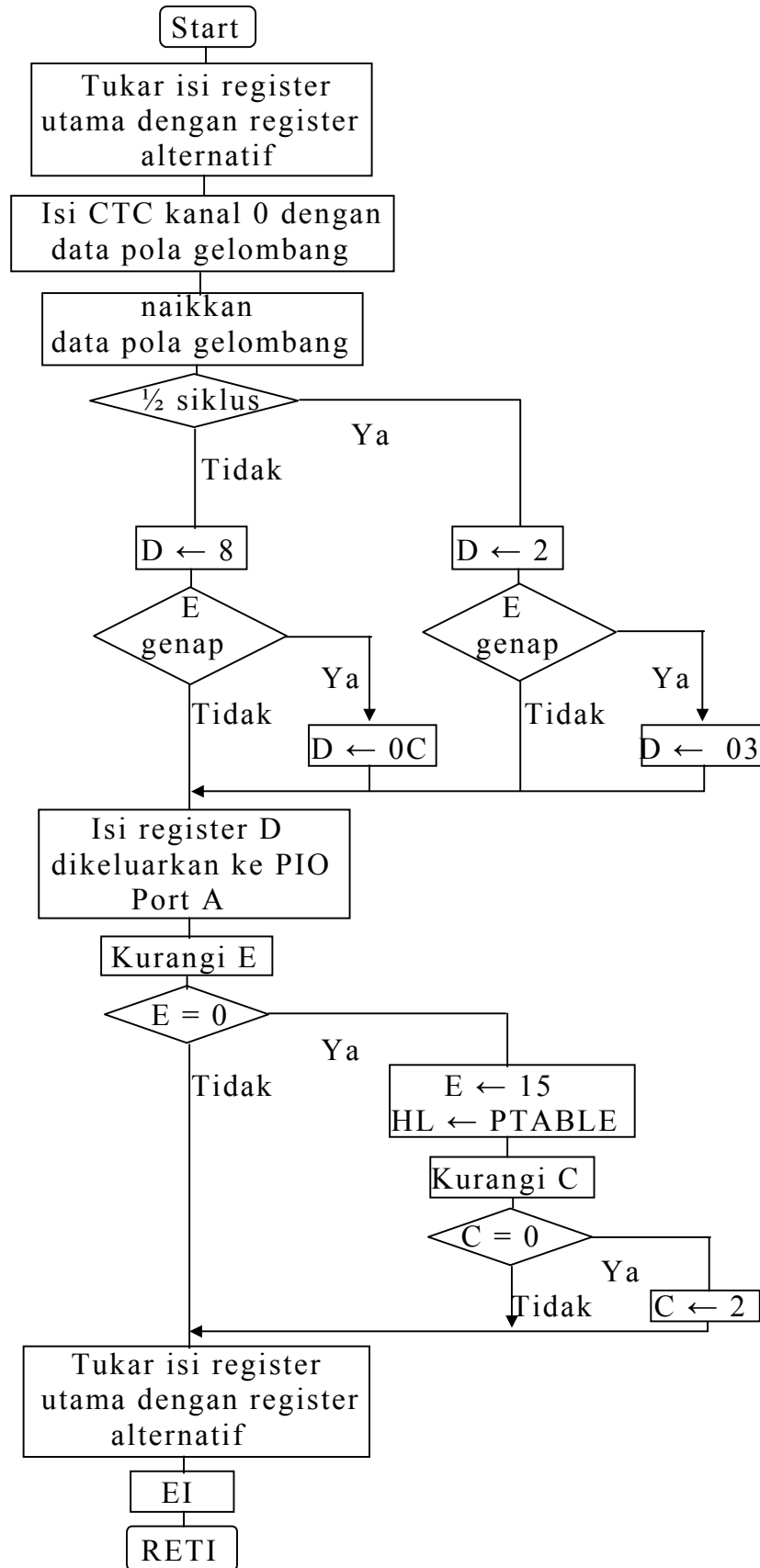
### - Program interupsi

Program interupsi merupakan program untuk membuat gelombang PWM. Bentuk gelombang yang diharapkan dikeluarkan melalui PIO *Port* A kaki PA0, PA1, PA2, dan PA3 (Gambar 4.8)



Gambar 4.8 Bentuk sinyal kendali

Register D digunakan untuk data gelombang yang akan dikeluarkan ke PIO *Port* A. Setengah siklus pertama dapat berisi data 0010B (02H) atau 0011B (03H) sedangkan pada setengah siklus berikutnya register D dapat berisi 1000B (08H) atau 1100B (0CH). Register E digunakan untuk hitungan kondisi gelombang pada PIO *Port* A. Pointer data bentuk gelombang dimuat dalam register HL dan isinya diambil dari data PTABEL.

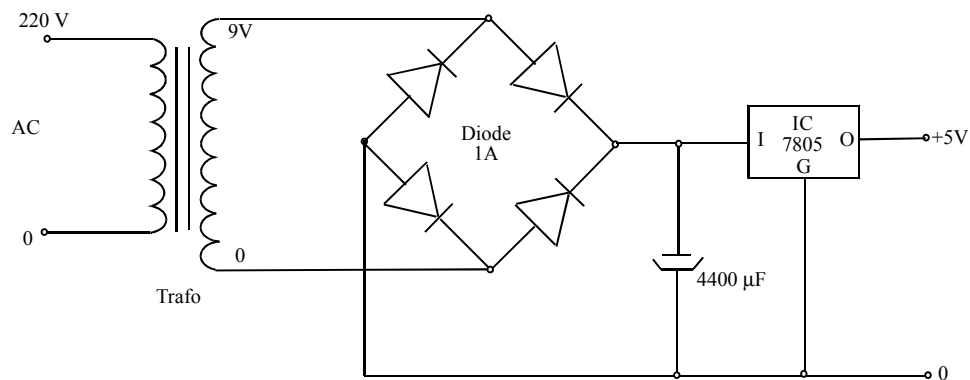


Gambar 4.9 Aliran program interupsi



### 4.3.3 Rangkaian catu daya

Rangkaian catu daya untuk rangkaian pembangkit sinyal kendali diperlihatkan pada Gambar 4.10. Rangkaian catu daya mendapat masukan dari jala-jala 220 Volt dan diturunkan dengan transformator menjadi 9 Volt kemudian disearhkan. Supaya diperoleh tegangan tetap sebesar 5 Volt digunakan regulator IC 7805.



Gambar 4.10 Rangkaian catu daya untuk rangkaian kendali

### 4.4 Rangkaian Daya

Seperti telah disebutkan di atas, rangkaian daya inverter ini menggunakan rangkaian inverter satu fasa jembatan penuh (Gambar 2.3). Komponen dayanya dipilih transistor yang mempunyai kecepatan komutasi yang tinggi dan kendali pemadamannya mudah. Inverter yang dicoba mempunyai rating daya 500 Watt pada tegangan masukan 110 Volt sehingga dapat digunakan transistor tipe 2N3773 yang mempunyai tegangan  $V_{CE} = 140$  Volt dan arus  $I_C = 16$  Ampere.

Sebagai pengaman, setiap transistor dipasang rangkaian *snubber* RC dan diode *freewheel* FD seperti pada Gambar 4.11. *Snubber* berguna untuk membatasi besar kecuraman tegangan  $dV/dt$ . Nilai C diperoleh dari rumus berikut ini.

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{I_L t_f}{2E} \quad (11) & (4.7) \\
 &= \frac{5 \times 10^{-6}}{2 \times 110} \\
 &= 23 \text{ nF}
 \end{aligned}$$

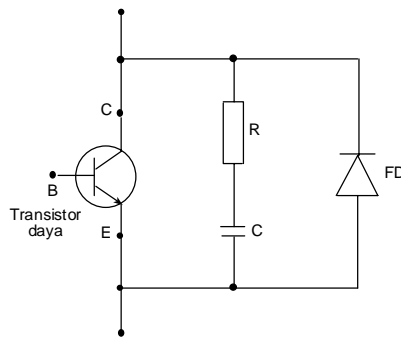
Dengan :

$C$  = Kapasitansi *snubber* (Farad)

$I_L$  = Arus beban inverter (Ampere)

$t_f$  = Waktu pemadaman transistor (detik)

$E$  = Tegangan sumber searah (Volt)



Gambar 4.11 Rangkaian pengaman komponen daya

Untuk memberikan faktor keamanan maka arus pelepasan muatan kapasitor C dibatasi sebesar 2.5 Ampere sehingga nilai R dapat ditentukan.

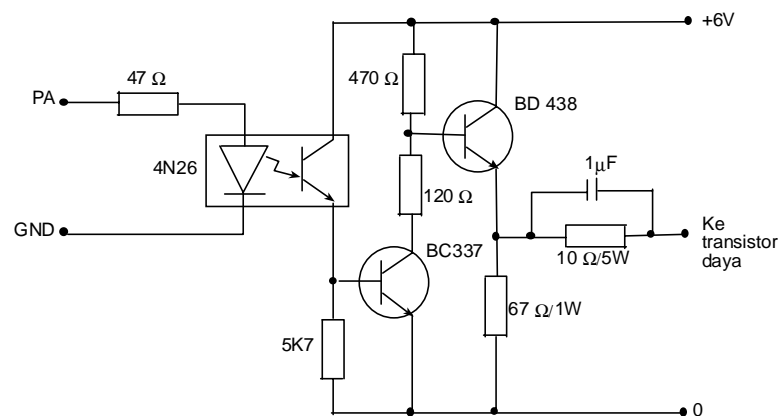
$$\begin{aligned}
 R &= 110 / 2.5 \\
 &= 44 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Diode *freewheel* digunakan untuk jalan arus beban induktif. Karena diode FD dipasang paralel dengan terminal kolektor dan emitor transistor, maka persyaratan tegangan diode sama dengan persyaratan tegangan transistor. Arus yang mengalir ke diode sama dengan arus beban maksimum. Selain itu diode harus dipilih jenis diode cepat.

#### 4.5 Rangkaian Pacu Basis

Rangkaian pacu basis diperlihatkan pada Gambar 4.12. Rangkaian ini digunakan untuk :

- mengisolasi antara rangkaian kendali dengan rangkaian daya.
- Memperkuat gelombang kendali sehingga dapat memicu transistor daya dan proses komutasinya optimum.

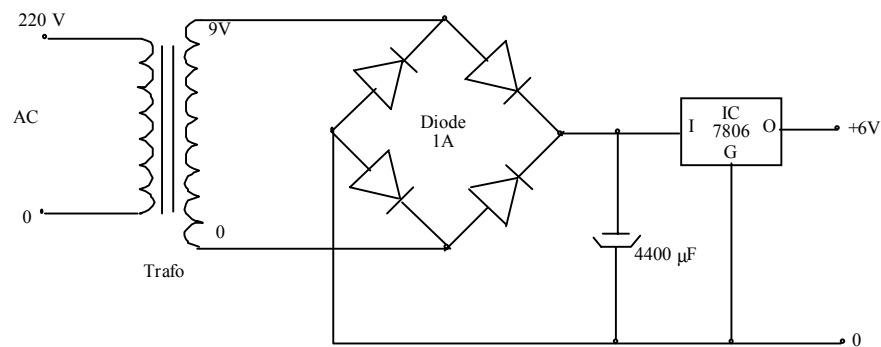


Gambar 4.12 Rangkaian pacu basis

Sinyal kendali keluaran PIO ditransmisikan oleh *opto coupler* ke transistor untuk diperkuat. Rangkaian RC sebelum masuk ke transistor daya berfungsi untuk menimbulkan *overshoot* pada

sisi depan gelombang sehingga proses penyalaan transistor daya berlangsung cepat.

Catu daya untuk rangkaian pacu basis diperlihatkan pada Gambar 4.13. Untuk memperoleh tegangan tetap sebesar 6 Volt digunakan regulator IC 7806.



Gambar 4.13 Catu daya untuk rangkaian pacu basis

## **BAB 5**

### **PENGAMATAN LABORATORIUM**

Bab ini membahas hasil-hasil yang diperoleh dari pengamatan laboratorium. Pengamatan meliputi pengamatan hasil perhitungan dengan komputer, pengamatan bentuk gelombang sinyal kendali, pengamatan bentuk gelombang keluaran, dan pengamatan kendali tegangan.

#### **5.1 Hasil Perhitungan Komputer**

Program untuk menghitung sudut komutasi, menghitung besar amplitude gelombang harmonisa, dan untuk membuat pola gelombang dapat dijalankan dengan komputer IBM PC dan menggunakan perangkat lunak Turbo Pascal Version 4.0. Untuk menjalankan program dilakukan prosedur sebagai berikut:

- Pertama-tama diisikan jumlah pulsa tiap setengah periode yang diinginkan.
- Diisi nama file tempat menyimpan hasil perhitungan.
- Kemudian diisi nilai awal sudut komutasi dalam derajat.

Waktu yang diperlukan untuk melaksanakan perhitungan tergantung dari banyaknya pulsa yang diinginkan. Makin banyak jumlah pulsa untuk setengah periode waktu yang dibutuhkan juga semakin lama.

Dalam tugas akhir ini diambil dua contoh untuk 6 buah pulsa dan 9 buah pulsa untuk setengah periode gelombang

keluaran inverter. Hasil perhitungannya masing-masing diberikan pada Lampiran B dan Lampiran C. Waktu perhitungan untuk 6 pulsa adalah 5 menit sedangkan untuk 9 pulsa dibutuhkan waktu 11 menit.

```

Banyaknya Alpha = 9

Ambil Harga Awal Alpha :
Alpha(1) = 10
Alpha(2) = 20
Alpha(3) = 30
Alpha(4) = 40
Alpha(5) = 50
Alpha(6) = 60
Alpha(7) = 70
Alpha(8) = 80
Alpha(9) = 90

Tidak konvergen

```

Gambar 5.1 Hasil perhitungan bila iterasi tidak konvergen

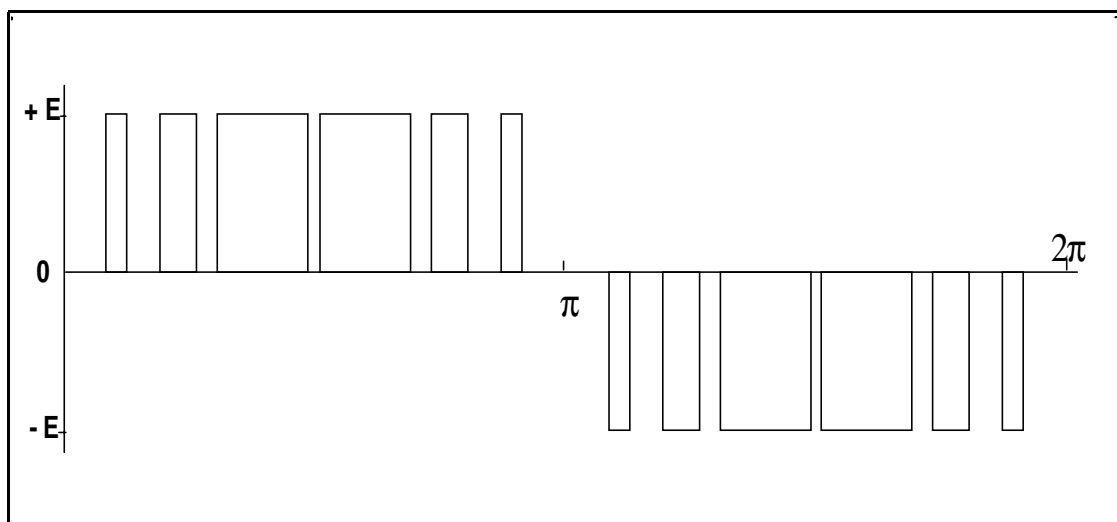
Perhitungan ini tidak selalu mendapatkan hasil tergantung dari nilai awal sudut komutasi yang diambil. Bila nilai awal sudut komutasi tidak menghasilkan solusi yang konvergen maka akan diperoleh hasil seperti pada Gambar 5.1. Supaya diperoleh hasil yang konvergen telah dicoba nilai awal sudut komutasi seperti pada Tabel 8.

Hasil perhitungan yang diperoleh disimpan dalam suatu file dan mudah untuk dilihat atau dicetak dengan perangkat lunak *text editor* yang ada. Besar sudut komutasi yang diperoleh dalam derajat, besar amplitude gelombang harmonisa dalam persentase terhadap gelombang dasar, dan pola gelombang berupa bilangan heksadesimal untuk digunakan sebagai *look up tabel* program pembangkit sinyal kendali.

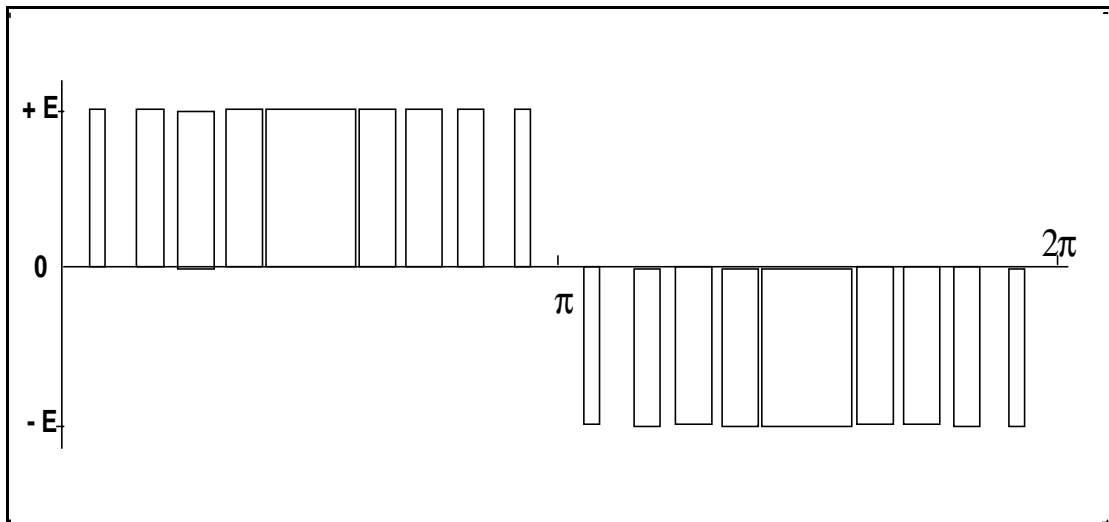
Jumlah Pulsa tiap periode	Harmonisa yang dihilangkan								Nilai awal $\alpha$									
									$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	
2								3	35	80								
3								5 3	25	45	50							
4							7 5 3	20	35	45	85							
5					9 7 5 3				20	30	40	55	65					
6				11 9 7 5 3					20	25	40	50	60	85				
7			13 11 9 7 5 3						20	25	30	45	50	65	70			
8		15 13 11 9 7 5 3							20	25	30	40	50	65	70	85		
9	17 15 13 11 9 7 5 3								15	20	30	35	40	55	60	70	75	

Tabel 8 Nilai awal sudut komutasi supaya iterasi konvergen

Dari hasil perhitungan sudut komutasi dapat dibuat bentuk gelombang PWM yang merupakan tegangan keluaran inverter yang diharapkan. Bentuk gelombang PWM tersebut ditampilkan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 masing-masing untuk 6 pulsa dan 9 pulsa.



Gambar 5.2 Bentuk gelombang keluaran inverter berdasarkan nilai sudut komutasi untuk 6 pulsa



Gambar 5.3 Bentuk gelombang keluaran inverter berdasarkan nilai sudut komutasi untuk 9 pulsa

## 5.2 Pengamatan Sinyal Kendali

Untuk mengamati bentuk sinyal kendali inverter, sistem mikroprosesor dijalankan menggunakan program pembangkit sinyal kendali inverter seperti pada Lampiran D untuk gelombang dengan 9 pulsa. Untuk gelombang dengan 6 pulsa perlu sedikit mengubah program yaitu mengubah isi RAM seperti pada Tabel 9.

Alamat RAM	Isi RAM
1821H	0D
1835H	0D
18B7H	0D
1900H-1FAAH	Diisi Look up Tabel pada Lampiran C

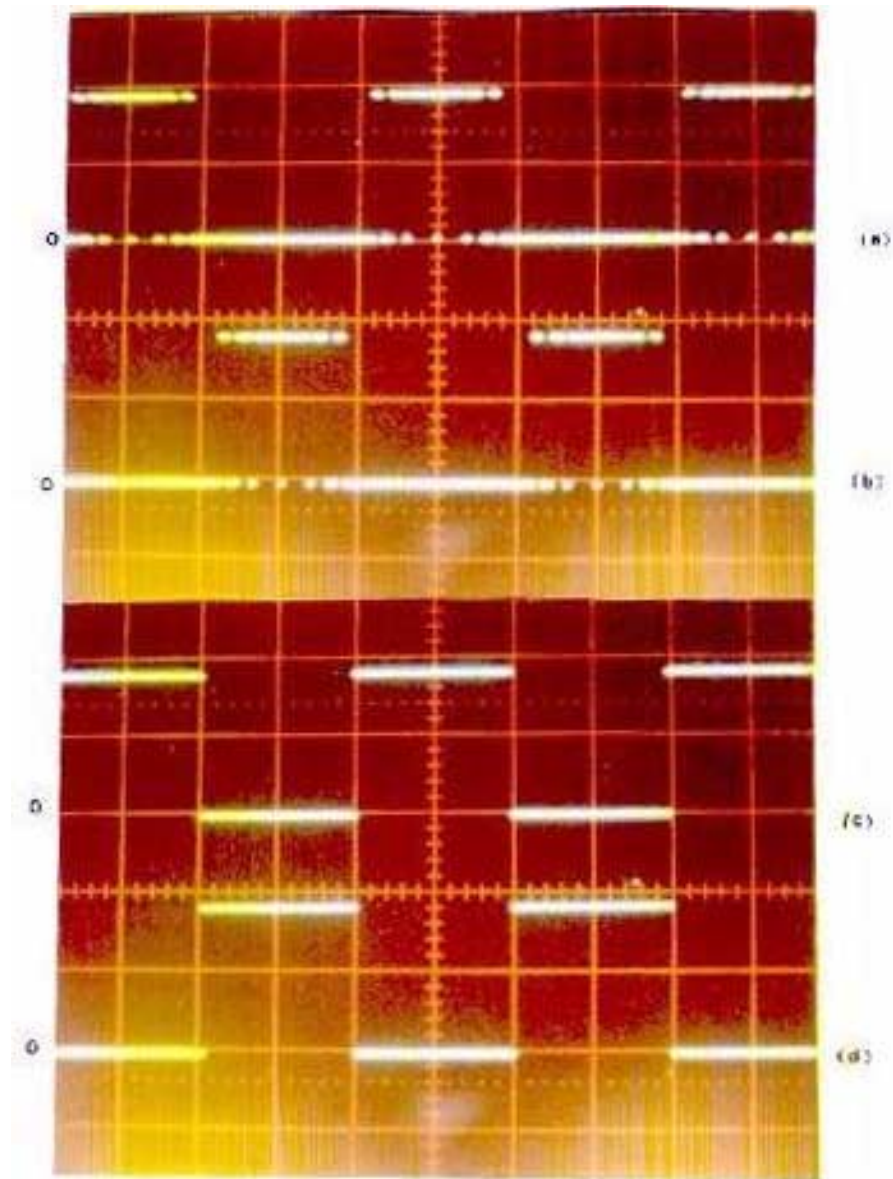
Tabel 9 Perubahan isi RAM untuk gelombang 6 pulsa



Prosedur untuk menjalankan sistem mikroprosesor adalah sebagai berikut.

- Sistem mikroprosesor dihidupkan.
- Tombol  ditekan sehingga RAM berada pada alamat 1800H.
- Tombol  ditekan dan siap untuk menuliskan kode bahasa mesin ke dalam RAM. Sebagai contoh bila diisi 06 berarti memasukkan data angka 06H ke dalam RAM yang alamatnya 1800H.
- Untuk mengisi RAM yang berikutnya ditekan tombol  , kemudian diisikan kode bahasa mesin berikutnya.
- Untuk memasukkan kode bahasa mesin lainnya, dilakukan dengan cara yang sama. Jika terjadi kesalahan pengetikan dapat dibetulkan dengan menyetik ulang angka yang benar dan akan langsung mengganti angka yang salah.
- Setelah semua kode bahasa mesin masuk ke dalam RAM, untuk menjalankan program ditekan tombol berikut ini secara berurutan-turut,    .

Sinyal kendali dihasilkan oleh sistem mikroprosesor pada PIO Port A kaki PA0, PA1, PA2, dan PA3. Dengan menggunakan osiloskop diamati bentuk sinyal kendali dan diambil gambarnya dengan kamera. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5. Masing-masing gambar dengan skala horisontal 5 ms/div dan skala vertikal 2 Volt/div.



Gambar 5.4 Sinyal kendali untuk inverter jembatan penuh (Gambar 2.3) dengan 6 pulsa

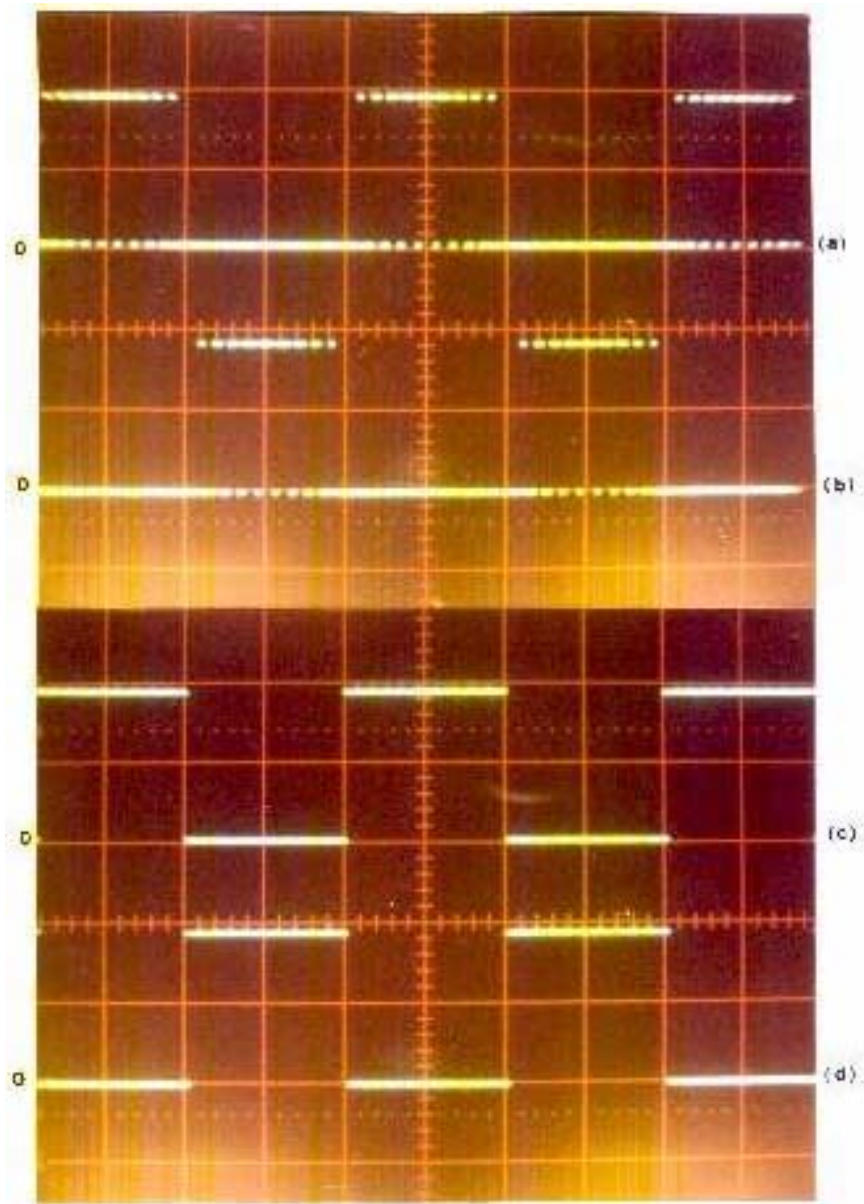
Skala horisontal 5 ms/div dan skala vertikal 2 V/div

(a) Sinyal kendali transistor T1

(a) Sinyal kendali transistor T3

(a) Sinyal kendali transistor T4

(a) Sinyal kendali transistor T2



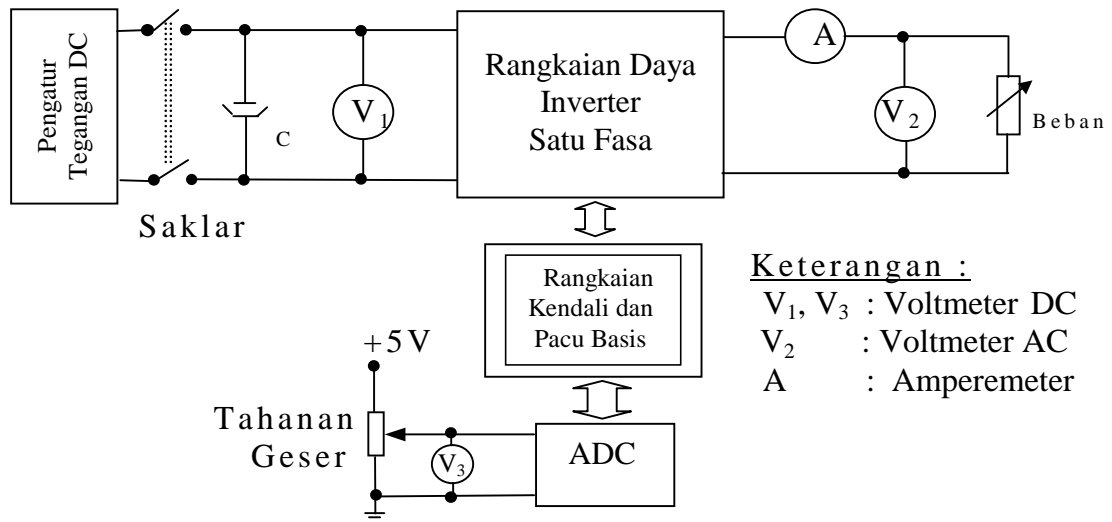
Gambar 5.5 Sinyal kendali untuk inverter jembatan penuh (Gambar 2.3) dengan 9 pulsa

Skala horisontal 5 ms/div dan skala vertikal 2 V/div

- (a) Sinyal kendali transistor T1
- (a) Sinyal kendali transistor T3
- (a) Sinyal kendali transistor T4
- (a) Sinyal kendali transistor T2

### 5.3 Pengamatan Gelombang Keluaran Inverter

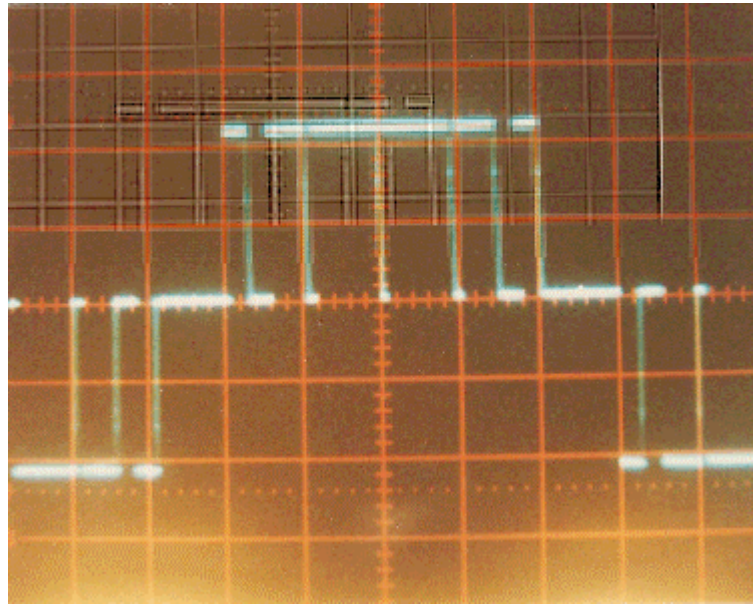
Untuk mengamati bentuk gelombang keluaran inverter digunakan rangkaian percobaan pada Gambar 5.6.



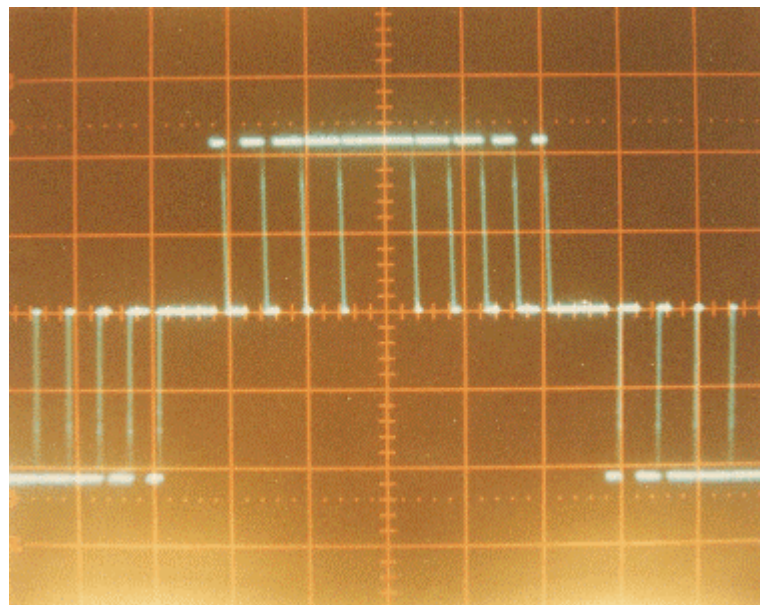
Gambar 5.6 Rangkaian pengujian bentuk gelombang keluaran inveter

Prosedur percobaan sebagai berikut :

- Rangkaian pembangkit sinyal kendali dan rangkaian pacu basis dihidupkan.
- Program pembangkit sinyal kendali dimasukkan ke dalam RAM sistem mikroprosesor dan dijalankan.
- Tegangan masukan searah dinaikkan sampai 110 Volt.
- Beban diatur untuk besar arus tertentu begitu juga tegangan masukan ADC diatur pada nilai tertentu.
- Dilakukan pengamatan tegangan keluaran inverter dengan menggunakan osiloskop dan dilakukan pengambilan gambar.
- Pengamatan dilakukan untuk gelombang dengan 6 pulsa dan 9 pulsa.



Gambar 5.7 Bentuk tegangan inverter dengan 6 pulsa  
Skala horisontal 2ms/div dan skala vertikal 50 V/div  
Setengah periode = 5 div



Gambar 5.8 Bentuk tegangan inverter dengan 9 pulsa  
Skala horisontal 2ms/div dan skala vertikal 50 V/div  
Setengah periode = 5 div

Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8. Untuk masing-masing gambar skala horisontal 2 ms/div dan skala vertikal 50 Volt/div. Pengamatan dengan menggunakan spektrum analiser tidak dilakukan karena kesulitan memperoleh alat tersebut.

#### 5.4 Pengamatan Kendali Tegangan

Pengamatan ini dimaksudkan untuk melihat perubahan tegangan keluaran inverter bila tegangan masukan ADC diubah. Rangkaian percobaan dan prosedur percobaan seperti pada pasal 5.3. Tegangan masukan ADC diatur pada nilai tertentu dan diamati besar tegangan keluaran inverter. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Vdc (Volt)	Vadc (Volt)	Vac (Volt)
110	0.0	77
110	0.2	72
110	0.4	66
110	0.6	61
110	0.8	56
110	1.0	49
110	1.2	43
110	1.4	36

Keterangan :

Vdc = Tegangan sumber searah

Vadc = Tegangan masukan ADC

Vac = Tegangan keluaran inverter

Tabel 10 Pengujian kendali tegangan dengan 6 pulsa

Vdc (Volt)	Vadc (Volt)	Vac (Volt)
110	0.0	75
110	0.2	71
110	0.4	65
110	0.6	59
110	0.8	53
110	1.0	47
110	1.2	40
110	1.4	35
110	1.6	27

Keterangan :

Vdc = Tegangan sumber searah

Vadc = Tegangan masukan ADC

Vac = Tegangan keluaran inverter

Tabel 11 Pengujian kendali tegangan dengan 9 pulsa

## **BAB 6**

### **ANALISIS**

#### **6.1 Analisis Sinyal Kendali**

Dengan memperhatikan hasil pengamatan laboratorium pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 terlihat bahwa frekuensi masing-masing gelombang adalah 50 Hz. Gelombang ini digunakan sebagai sinyal kendali inverter satu fasa jembatan penuh (Gambar 2.3). Gambar 5.4.a dan Gambar 5.4.b serta Gambar 5.5.a dan Gambar 5.5.b merupakan gelombang PWM yang digunakan sebagai sinyal kendali untuk komponen daya  $T_1$  dan  $T_3$  pada Gambar 2.3. Sedangkan Gambar 5.4.c dan Gambar 5.4.d serta Gambar 5.5.c dan Gambar 5.5.d merupakan sinyal kendali untuk komponen daya  $T_2$  dan  $T_4$  pada Gambar 2.3. Sinyal kendali komponen daya  $T_2$  dan  $T_4$  bukan merupakan gelombang PWM sehingga frekuensi komutasi  $T_2$  dan  $T_4$  lebih rendah bila dibandingkan dengan komponen daya  $T_1$  dan  $T_3$ .

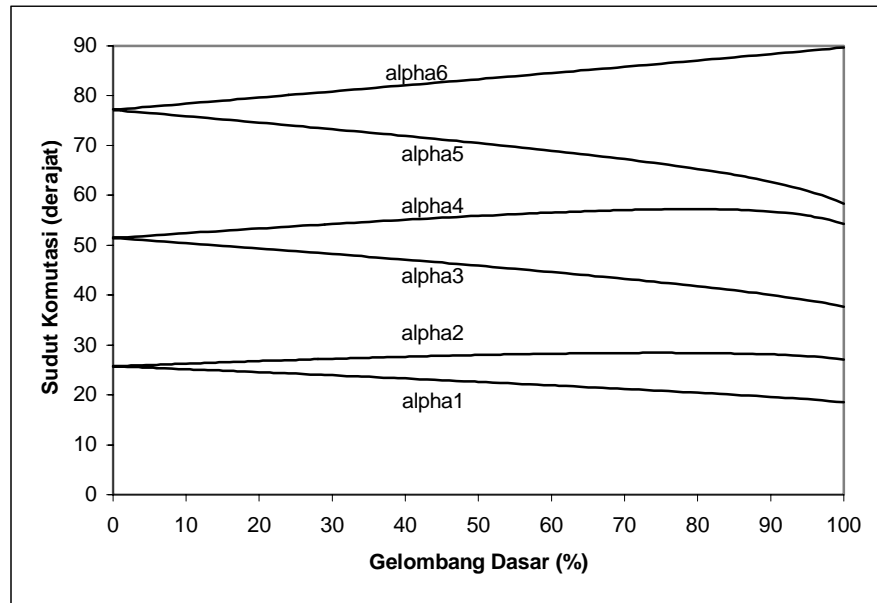
Secara keseluruhan, baik sinyal kendali dengan 6 maupun 9 pulsa, sudah sesuai dengan yang diharapkan.

#### **6.2 Analisis Tegangan Keluaran**

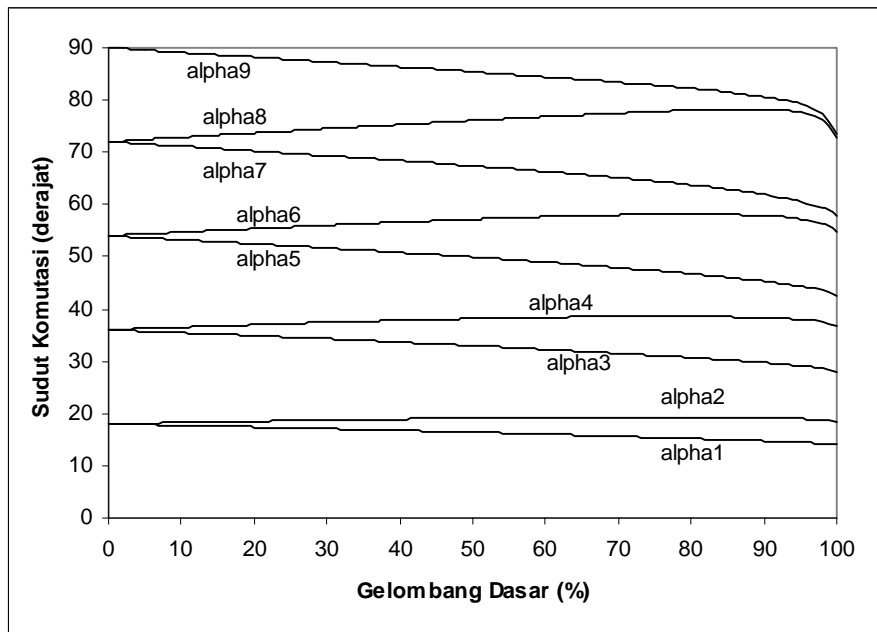
##### **6.2.1 Sudut komutasi**

Berdasarkan besar sudut komutasi yang diperoleh (Lampiran B dan Lampiran C) dapat dibuat kurva besarnya sudut komutasi terhadap perubahan gelombang dasar seperti ditampilkan pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.





Gambar 6.1 Besar sudut komutasi terhadap perubahan gelombang dasar dengan 6 pulsa



Gambar 6.2 Besar sudut komutasi terhadap perubahan gelombang dasar dengan 9 pulsa

Pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 terlihat bahwa besarnya sudut komutasi tidak linear terhadap perubahan gelombang dasar. Untuk menghitung sudut komutasi ini diperlukan waktu yang cukup lama sedangkan sinyal kendali harus mempunyai waktu tanggap yang cepat, sehingga sulit untuk membuat sinyal kendali secara *on line*. Oleh karena itu untuk mewujudkan sinyal kendali pada sistem mikroprosesor digunakan pola gelombang (*look up table*) meskipun hal ini akan memerlukan memori yang besar.

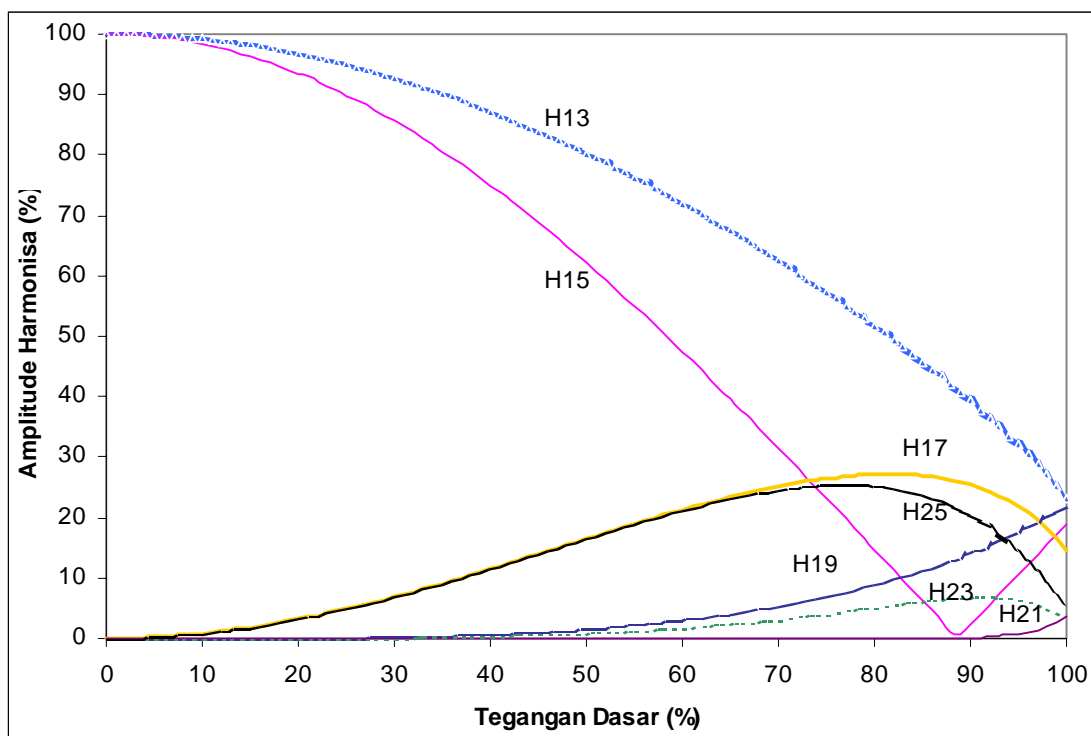
### **6.2.2 Bentuk tegangan keluaran**

Hasil pengamatan bentuk tegangan keluaran inverter dengan menggunakan osiloskop (Gambar 5.2 dan Gambar 5.3). Untuk jarak pulsa yang seharusnya sangat pendek sedikit diperbesar dalam pembangkitan sinyal kendali karena keterbatasan kecepatan komutasi transistor daya dan adanya waktu minimum yang harus tersedia oleh sistem mikroprosesor untuk melayani interupsi.

### **6.2.3 Harmonisa**

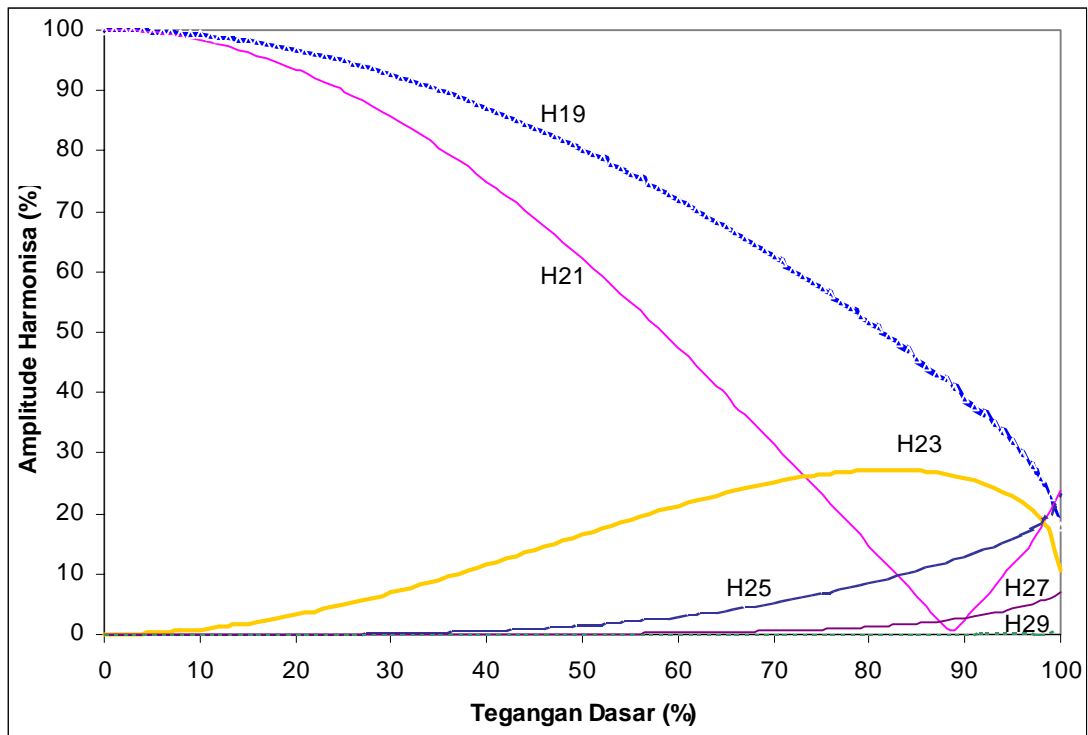
Dari hasil perhitungan sudut komutasi dapat dihitung besar amplitud harmonisa yang masih ada seperti pada Lampiran B untuk 6 pulsa dan pada Lampiran C untuk 9 pulsa. Karena tidak diperoleh alat spektrum analiser untuk mengamati gelombang harmonisa yang masih ada pada tegangan keluaran inverter,

maka pengamatan gelombang harmonisa dilakukan berdasarkan rumus matematik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dapat dibuat gelombang harmonisa orde tertentu hilang serta tegangan keluaran inverter dapat diatur. Besarnya amplitude gelombang harmonisa terhadap perubahan gelombang dasar ditunjukkan pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.



Gambar 6.3 Besar amplitude haronisa terhadap perubahan gelombang dasar dengan 6 pulsa

Pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4 terlihat bahwa harmonisa yang muncul mulai harmonisa orde 13 untuk 6 pulsa dan harmonisa yang muncul mulai orde 19 untuk 9 pulsa. Sehingga terlihat bahwa makin banyak jumlah pulsa yang digunakan maka



Gambar 6.4 Besar amplitude harmonisa terhadap perubahan gelombang dasar dengan 9 pulsa

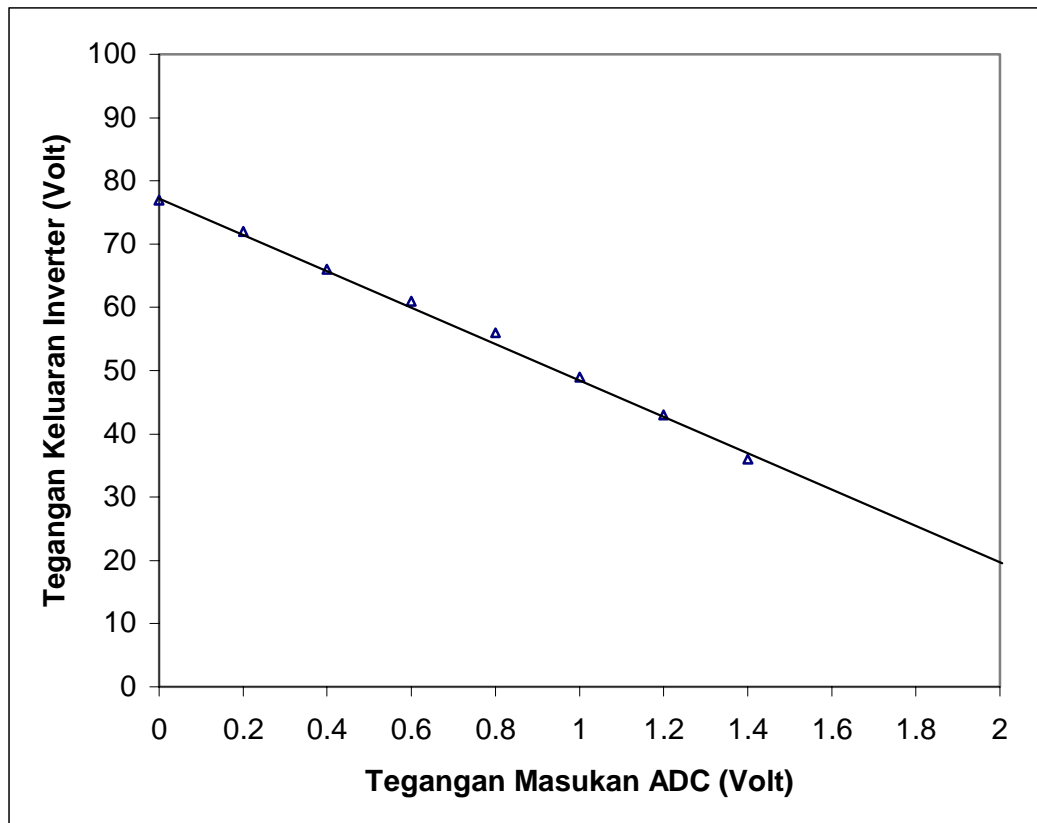
Harmonisa orde rendah yang dihilangkan juga semakin banyak. Besarnya amplitude yang masih ada dipengaruhi oleh perubahan gelombang dasar. Harmonisa orde tinggi yang masih ada ini dapat dihilangkan dengan menggunakan filter.

### 6.3 Analisis Kendali Tegangan

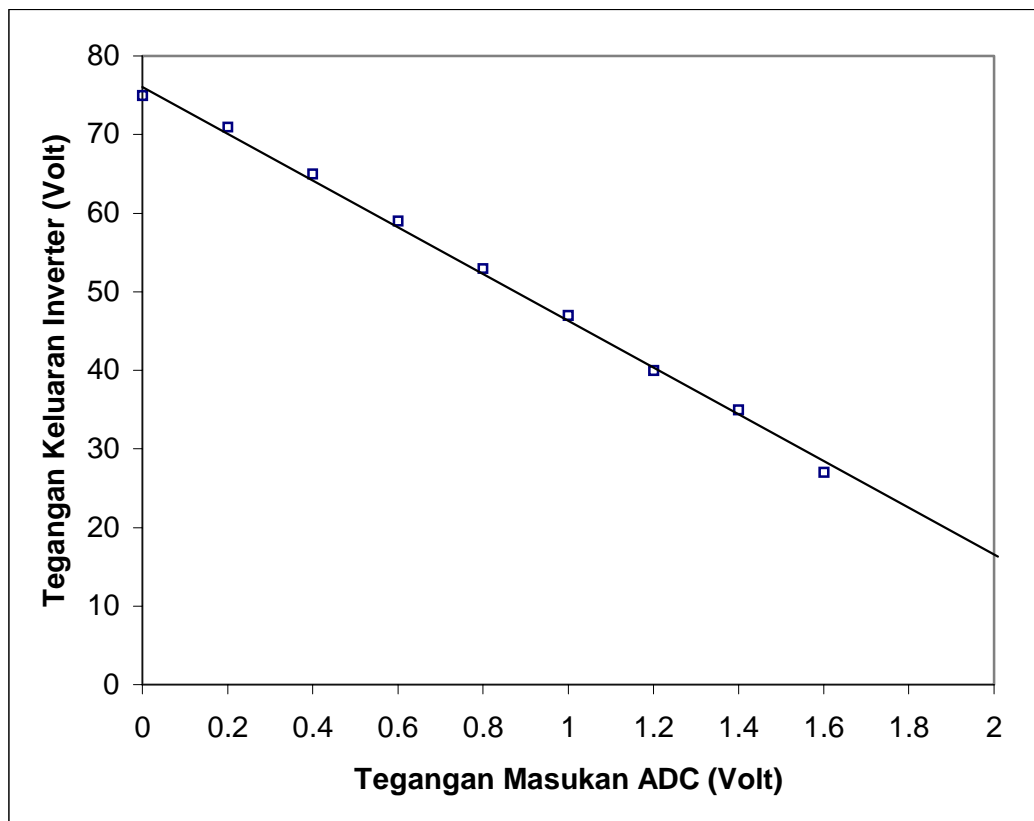
Hasil pengamatan kendali tegangan tercantum pada Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan bahwa dengan mengubah tegangan masuk ADC, tegangan keluaran inverter juga dapat diatur. Pada saat ADC mendapat tegangan nol, program pembangkit sinyal

kendali mengambil data gelombang yang tegangannya maksimum dan sebaliknya pada saat ADC tegangannya dinaikkan, tegangan keluaran inverter akan semakin turun.

Dari hasil pengamatan kendali tegangan yang diperoleh dapat dibuat kurva besar tegangan ADC terhadap besar tegangan keluaran inverter seperti pada Gambar 6.5 dan Gambar 6.6. Dari gambar terlihat bahwa pengendalian tegangan berupa kurva yang linear.



Gambar 6.5 Besar tegangan keluaran inveter terhadap tegangan masukan ADC untuk 6 pulsa



Gambar 6.6 Besar tegangan keluaran inveter terhadap tegangan masukan ADC untuk 9 pulsa

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan pengamatan laboratoriuin serta analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan teknik penghilangan harmonisa dapat diperoleh tegangan keluaran inverter yang harmonisa order rendahnya hilang dan amplitude gelombang dasarnya dapat dikendalikan.
2. Perhitungan sudut komutasi dengan menggunakan program komputer memerlukan waktu yang cukup lama sehingga sinyal kendali tidak dapat dibuat secara *on line* dalam sistem mikroprosesor.
3. Mikroprosesor dapat digunakan sebagai pembangkit sinyal kendali inverter. Karena nilai sudut komutasi tidak linier terhadap perubahan gelombang dasar maka program pembangkit sinyal kendali memerlukan RAM yang cukup besar. RAM tersebut sebagian besar digunakan untuk menyimpan pola gelombang PWM yang akan dibangkitkan.
4. Dengan menggunakan mikroprosesor, rangkaian kendali menjadi lebih kompak.

## 7.2. Saran

Disamping kesimpulan di atas dapat pula diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlu diteliti lebih lanjut penggunaan teknik penghilangan harmonisa untuk inverter tiga fasa dan untuk jumlah pulsa tiap setengah periode yang lebih banyak.
2. Untuk mengurangi besarnya RAM yang digunakan perlu diteliti kemungkinan melinearkan besarnya sudut komutasi terhadap pengendalian gelombang dasar.
3. Penggunaan mikroprosesor sebagai kendali inverter perlu dikembangkan lebih lanjut sehingga selain menghasilkan sinyal kendali juga digunakan untuk kendali *closed loop* dan dapat menangani proteksi keseluruhan sistem.
4. Perlu diteliti lebih lanjut kemungkinan membuat sistem minimal mikroprosesor sehingga rangkaian kendali dapat lebih murah.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Bedford, B.D. dan R.G. Hoft. *Principle of Inverter Circuits*. New York, John Wiley & Sons, 1964.
2. Borland International Inc., ed. *Turbo Pascal Owner's Handbooks Version 4.0*. California, 1987.
3. Chauprade, Robert. *Inverter for Uninterruptible Power Supplies*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-13, No. 4, Juli/Agustus, 1977.
4. Ciarcia, Steve. *Build Your Own Z80 Computer*. Tennessee, Byte Publication Inc., 1981.
5. Coffron, James W. *Z80 Applications*. Berkeley, Sybex Inc., 1983.
6. General Electric, ed. *SCR Manual Sixth Edition*. New York, 1979.
7. Grand, Duncan A. *A New High-Quality PWM AC Drive*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-19, No. 2, Maret/April, 1983.
8. Guru Mikro Saya : *Petunjuk Pemakaian, Daftar Program Monitor, Petunjuk Percobaan GMS-1*. Bandung, 1986.
9. Hyat, William H. dan Jack E. Kemmerly. *Engineering Circuit Analysis*. Tokyo, McGraw-Hill, 1978.
10. Huang, It Bau. Dan Wei Song Lin. *Harmonic Reduction in Inverter by Use of Sinusoidal Pulsewidth Modulation*. IEEE Trans. Ind. Elec. & Cont. Inst., Vol. IECI-27, No. 3, Agustus, 1980.

11. Karmawa, I Wayan. *Inverter Sumber Tegangan Modulasi Lebar Pulsa Sinusoida dengan Menggunakan Transistor Daya Sebagai Interruptor*. Bandung, Jurusan Elektroteknik ITB, 1986.
12. Kreyszig, Erwin. *Advanced Engineering Mathematics*. New York, Joh Wiley & Sons, 1983.
13. Lader, Cyril W. *Power Electronics*. London, McGraw-Hill, 1981.
14. Leventhal, Lance A. *Z80 Assembly Language Programming*. Singapore, McGraw-Hill, 1983
15. Matsuda, Yusuo. et. al. *Development of PWM Inverter Employing GTO*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-19, No. 3, Mei/Juni, 1983.
16. Millman, Jacob. Dan Christos C. Halkias. *Integrated Electronics : Analog and Digital Circuits and System*. Tokyo, McGraw-Hill, 1979.
17. Partogarsodjo, Hartono. *Mikroprosesor Zilog Z80*. Bandung, Jurusan Fisika ITB, 1987.
18. \_\_\_\_\_. *Dasar Pemrograman Mikroprosesor Zilog Z80 di Mikrokomputer Micro-professor MPF-1*. Bandung, Jurusan Fisika ITB, 1987.
19. \_\_\_\_\_. *Dasar Pemrograman Z80 Counter Timer Circuit di Mikrokomputer Micro-professor MPF-1*. Bandung, Jurusan Fisika ITB, 1987.
20. Patel, Hasmukh S. dan Richard G. Hoft. *Generalized Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in*

- Thyristor Inverters : Part I – Harmonic Elimination*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-19, No. 3, Mei/Juni, 1973.
21. \_\_\_\_\_ . *Generalized Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters : Part II – Voltage Control Techniques*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-10, No. 5, September/Okttober, 1974.
  22. Penalver, C.M. et. al. *Microprocessor Control of DC/AC Static Converter*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1E-32, No. 3, Agustus, 1985.
  23. Pitel, Ira J. dan Sarosh N. Talukdar. *Characterization of Programmed-Waveform Pulsewidth Modulation*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-16, No. 5, September/Okttober, 1980.
  24. Peter, J. M. *The Power Transistor in Its Environment*. Aix-en-Provence, Thomson – CSF Semiconductor Division, 1978.
  25. Ramshaw, Raymond. *Power Electronics : Thyristor Controlled Power for Electric Motors*. London, Chapman and Hall, 1973.
  26. Stagg, Glenn W. dan Ahmed H. El-Abiad. *Computer Methods in Power System Analysis*. Tokyo, McGraw-Hill, 1983.
  27. Varnovitsky, Marlen. *A Microcomputer-Based Control Signal Generator for a Three-Phase Switching Power Inverter*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 1A-19, No. 3, Mei/Juni, 1983.

28. Werninck, E.H. *Electric Motor Handbook*. Maidenhead-Berkshire, McGraw-Hill, 1978.
29. Zuckerberger, A. dan Abraham Alexandrovitz. *Determination of Commutation Sequence with a View to Eliminating Harmonics in Microprocessor-Controlled PWM Voltage Inverter*. IEEE Trans. Ind. Elec., Vol. 1E-33, No. 3, Agustus, 1986.

## **LAMPIRAN A**

Program untuk menghitung sudut komutasi,  
amplitude harmonisa dan pola gelombang

```

Program Tugas_Akhir;

{   Program ini digunakan untuk menghitung sudut komutasi,   }
{ menghitung amplitude harmonisa dan membuat pola gelombang }
{   dari gelombang modulasi lebar pulsa dengan menggunakan   }
{           teknik penghilangan harmonisa                       }
{                                                                 }
{           Agus Sugiyono / 7382062 A                           }
{                                                                 }

Uses Crt;

Const
  Epsilon = 1E-6; {Harga maksimum kesalahan}
  Angka   : Array[0..15] of Char = '0123456789ABCDEF';

Var
  Fungsi,Alpha,A,Y,Delta : Array[1..40] of Real;
  Aspl,Bspl,Jacobi        : Array[1..10,1..10] of Real;
  Simpan                  : Array[1..120,1..10] of Real;
  Dasar                   : Array[1..120] of Real;
  Selisih,Tabel          : Array[1..10] of Real;
  Nspl,Bilangan,Tanda    : Integer;
  i,j,k,l,m,n            : Integer;
  Iterasi,xx,yy          : Integer;
  Suku_cos,X,Kondisi     : Real;
  Txt                     : Text;
  NamaFile                : String;
  Heksa                   : String[2];

Procedure Buka_file;
Begin
  Window(25,5,60,15);
  Write('Nama File Hasil : ');
  Readln>NamaFile); Writeln;
  Assign(Txt>NamaFile);
  Rewrite(Txt);
  Write('Banyaknya Alpha = ');
  Write(Txt,'Banyaknya Alpha = ');
  Readln(Nspl); Writeln(Txt,Nspl);
  Writeln(Txt); Writeln;
End;

Procedure Harga_Awal;
Begin
  Writeln('Ambil Harga Awal Alpha :');
  Writeln(Txt,'Ambil Harga Awal Alpha :');
  For i:=1 to Nspl do
    Begin
      Write('Alpha(',i,') = ');
      Write(Txt,'Alpha(',i,') = ');
      Readln(Alpha[i]); Writeln(Txt,Alpha[i]:6:2);
      Alpha[i] := Alpha[i] * Pi/180;
    End;
  End;
End;

```

```

Procedure Harga_Y;
Begin
  Y[1] := 1.0;
  For i:=2 to Nspl do
    Y[i] := 0;
  End;

Procedure Definisi;
Begin
  For i:=1 to Nspl do
    Begin
      Suku_cos := 0;
      k := 2*i - 1;
      For j:=1 to Nspl do
        Begin
          If Odd(j) then Tanda := 1
          Else Tanda := -1;
          Suku_cos := Tanda * Cos(k*Alpha[j]) + Suku_cos;
        End;
      Fungsi[i] := (4/(k*Pi)) * Suku_cos;
    End;
  For i:=1 to Nspl do
    Begin
      k := 2*i - 1;
      For j:=1 to Nspl do
        Begin
          If Odd(j) then Tanda := -1
          Else Tanda := 1;
          Jacobi[i,j] := Tanda * (4/Pi) * Sin(k*Alpha[j]);
        End;
      End;
    End;
  End;

Procedure Transfer;
Begin
  For i:=1 to Nspl do
    For j:=1 to Nspl do
      Aspl[i,j] := Jacobi[i,j];
    For i:=1 to Nspl do
      Aspl[i,Nspl+1] := Y[i] - Fungsi[i];
    End;
  End;

Procedure Spl;
Begin
  For i:=1 to Nspl do
    Begin
      For j:=1 to Nspl+1 do
        Bspl[i,j] := Aspl[i,j] / Aspl[i,i];
      For k:=1 to Nspl do
        Begin
          For l:=1 to Nspl+1 do
            If i<>k then Bspl[k,l] := Aspl[k,l]-Bspl[i,l]*Aspl[k,i];
          End;
        End;
      For m:=1 to Nspl do
        Begin
          For n:=1 to Nspl+1 do

```

```

        Aspl[m,n] := Bspl[m,n];
    End;
End;
For i:=1 to Nspl do
    Delta[i] := Aspl[i,Nspl+1];
End;

Procedure Tulis_alpha;
Begin
    For l:=1 to yy-1 do
        Begin
            Window(40,12,45,12); Write(l:3);
            Write(Txt,'| ',Dasar[l]:5:3,' ');
            For i:=1 to Nspl do
                Write(Txt,Simpan[l,i]*180/Pi:6:2);
                Writeln(Txt,' |');
            End;
        End;
    End;

Procedure Harmonisa;
Begin
    For i:=1 to n do
        Begin
            Suku_cos := 0;
            k := 2*i - 1;
            For j:=1 to Nspl do
                Begin
                    If Odd(j) then Tanda := 1
                    Else Tanda := -1;
                    Suku_cos := Tanda * Cos(k*Alpha[j]) + Suku_cos;
                End;
            A[i] := Abs((4/(k*Pi)) * Suku_cos);
        End;
    End;

Procedure Tulis_Harmonisa;
Begin
    For l:=1 to yy-1 do
        Begin
            Window(40,12,45,12); Write(l:3);
            Write(Txt,'| ',Dasar[l]:5:3,' ');
            For m:=1 to Nspl do
                Alpha[m] := Simpan[l,m];
            Harmonisa;
            For i:=2 to n do
                Begin
                    k := 2*i - 1;
                    Write(Txt,A[i]/A[1]*100:6:1);
                End;
                Writeln(Txt,' |');
            End;
        End;
    End;

Procedure Heksadesimal;
Begin
    Heksa := ' ';

```



```

For i:=1 to 2 do
  Begin
    j      := (Bilangan AND $0F);
    Heksa  := Angka[j] + Heksa;
    Bilangan := Bilangan SHR 4
  End;
End;

Procedure Look_Up_Table;
Begin
  For l:=1 to yy-1 do
    Begin
      Window(40,12,45,12); Write(l:3);
      Write(Txt,' | ',Dasar[l]:5:3,' ');
      Selisih[1] := Simpan[l,1];
      For m:=2 to Nspl do
        Selisih[m] := Simpan[l,m] - Simpan[l,m-1];
      Selisih[Nspl+1] := 2 * (Pi/2 - Simpan[l,Nspl]);
      For m:=1 to Nspl+1 do
        Begin
          Tabel[m] := (Selisih[m]/Pi) * 373;
          Bilangan := Round(Tabel[m]);
          Heksadesimal;
          Write(Txt,' ',Heksa:2);
        End;
      For m:=Nspl downto 1 do
        Begin
          Bilangan := Round(Tabel[m]);
          Heksadesimal;
          Write(Txt,' ',Heksa:2);
        End;
      Writeln(Txt,' | ');
    End;
  End;

Procedure Frame_Atas(Lebar,Isi:Integer;Judul:String);
Begin
  Writeln(Txt);
  Writeln(Txt,'Hasil Perhitungan '+Judul);
  Write(Txt,'+-----+');
  For i:=1 to Lebar do Write(Txt,'-');
  Writeln(Txt,'-+');
  Write(Txt,' | B1 | '+Judul);
  For i:=1 to Lebar-12 do Write(Txt,' ');
  Writeln(Txt,' | ');
  Write(Txt,' |      +');
  For i:=1 to Lebar do Write(Txt,'-');
  Writeln(Txt,'-+');
  Write(Txt,' |      | ');
  Case Isi Of
    1 : For i:=1 to Lebar div 6 do Write(Txt,i:6);
    2 : For i:=1 to Lebar div 6 do Write(Txt,2*i+1:6);
    3 : For i:=1 to Lebar div 3 do Write(txt,i:3);
  End; {Case}
  Writeln(Txt,' | ');
  Write(Txt,'+-----+');

```

```

    For i:=1 to Lebar do Write(Txt,'-');
    Writeln(Txt,'-+');
End;

Procedure Frame_Bawah(Lebar:Integer);
Begin
    Write(Txt,'+-----+');
    For i:=1 to Lebar do Write(Txt,'-');
    Writeln(Txt,'-+');
    Writeln(Txt);
End;

{Program Utama}

Begin
    Clrscr;
    Buka_File;
    Harga_Awal;
    Harga_y;
    yy := 1;
    Clrscr;
    Window(37,10,43,12);
    TextColor(LightBlue);
    Writeln('Proses');
    Repeat
        Iterasi := 0;
        Repeat
            Definisi;
            Transfer;
            Spl;
            X := 0;
            Iterasi := Iterasi +1;
            For xx:=1 to Nspl do
                Begin
                    Alpha[xx] := Alpha[xx] + (Delta[xx]);
                    X := X + Abs(Delta[xx]);
                    If (Alpha[xx] > 1.6) Or (Alpha[xx] < 0) then
                        Iterasi := 11;
                End;
            Kondisi := X;
            Window(36,12,39,12); Write(Iterasi:2);
        Until (Kondisi < Epsilon) Or (Iterasi > 10);
        If Iterasi > 10 then
            Begin
                Writeln(Txt);
                Writeln(Txt,' Tidak konvergen ');
                yy:=111;
            End
        Else
            Begin
                For i:=1 to Nspl do
                    Begin
                        Simpan[yy,i] := Alpha[i];
                        Dasar[yy] := Y[1];
                    End;
            End;
        End;
End;

```

```
yy := yy + 1;
Y[1] := Y[1] - 0.01;
Window(40,12,45,12); Write(yy-1:3);
Until yy > 100;

If yy < 111 then
  Begin

    Frame_Atas(6*Nspl,1,'Alpha      ');
    Tulis_Alpha;
    Frame_Bawah(6*Nspl);

    N := 15;
    Frame_Atas(6*(N-1),2,'Harmonisa  ');
    Tulis_Harmonisa;
    Frame_Bawah(6*(N-1));

    Frame_Atas(3*(2*Nspl+1),3,'LookUpTable ');
    Look_Up_Table;
    Frame_Bawah(6*Nspl+3);

  End;
Close(Txt);
End.
```

## **LAMPIRAN B**

Hasil perhitungan komputer untuk 6 pulsa

Banyaknya Alpha = 6

Ambil Harga Awal Alpha :

Alpha(1) = 20.00

Alpha(2) = 25.00

Alpha(3) = 40.00

Alpha(4) = 50.00

Alpha(5) = 60.00

Alpha(6) = 85.00

Hasil Perhitungan Alpha

B1	Alpha					
	1	2	3	4	5	6
1.000	18.52	27.12	37.66	54.22	58.30	89.69
0.990	18.65	27.29	37.97	54.69	58.92	89.55
0.980	18.78	27.44	38.25	55.08	59.48	89.41
0.970	18.90	27.56	38.51	55.42	60.00	89.28
0.960	19.01	27.67	38.76	55.70	60.47	89.14
0.950	19.11	27.76	38.99	55.95	60.91	89.00
0.940	19.22	27.85	39.22	56.16	61.31	88.87
0.930	19.32	27.92	39.43	56.35	61.69	88.73
0.920	19.41	27.99	39.64	56.51	62.05	88.60
0.910	19.51	28.05	39.84	56.64	62.39	88.47
0.900	19.60	28.10	40.04	56.76	62.71	88.34
0.890	19.69	28.15	40.22	56.86	63.02	88.20
0.880	19.77	28.19	40.41	56.94	63.31	88.07
0.870	19.86	28.23	40.59	57.01	63.59	87.94
0.860	19.95	28.26	40.77	57.07	63.86	87.81
0.850	20.03	28.29	40.94	57.12	64.12	87.68
0.840	20.11	28.32	41.11	57.16	64.37	87.55
0.830	20.20	28.34	41.28	57.19	64.61	87.43
0.820	20.28	28.36	41.44	57.21	64.84	87.30
0.810	20.36	28.37	41.60	57.22	65.07	87.17
0.800	20.44	28.39	41.76	57.23	65.29	87.04
0.790	20.51	28.40	41.92	57.23	65.51	86.91
0.780	20.59	28.41	42.08	57.23	65.72	86.79
0.770	20.67	28.41	42.23	57.22	65.93	86.66
0.760	20.75	28.42	42.38	57.21	66.13	86.53
0.750	20.82	28.42	42.53	57.19	66.33	86.41
0.740	20.90	28.42	42.68	57.17	66.52	86.28
0.730	20.97	28.42	42.83	57.14	66.71	86.16
0.720	21.05	28.41	42.97	57.11	66.90	86.03
0.710	21.12	28.41	43.12	57.08	67.08	85.90
0.700	21.20	28.40	43.26	57.04	67.26	85.78
0.690	21.27	28.39	43.40	57.00	67.44	85.65
0.680	21.34	28.38	43.54	56.96	67.62	85.53
0.670	21.42	28.37	43.68	56.91	67.79	85.40
0.660	21.49	28.36	43.82	56.87	67.96	85.28
0.650	21.56	28.34	43.95	56.82	68.13	85.16
0.640	21.63	28.33	44.09	56.77	68.30	85.03
0.630	21.71	28.31	44.22	56.71	68.47	84.91

0.620	21.78	28.29	44.36	56.66	68.63	84.78	
0.610	21.85	28.27	44.49	56.60	68.79	84.66	
0.600	21.92	28.25	44.62	56.54	68.95	84.54	
0.590	21.99	28.23	44.75	56.48	69.11	84.41	
0.580	22.06	28.21	44.88	56.42	69.27	84.29	
0.570	22.13	28.18	45.01	56.36	69.42	84.16	
0.560	22.20	28.16	45.14	56.29	69.58	84.04	
0.550	22.27	28.13	45.26	56.23	69.73	83.92	
0.540	22.34	28.10	45.39	56.16	69.88	83.79	
0.530	22.40	28.08	45.52	56.09	70.03	83.67	
0.520	22.47	28.05	45.64	56.02	70.18	83.55	
0.510	22.54	28.02	45.77	55.95	70.33	83.43	
0.500	22.61	27.99	45.89	55.88	70.48	83.30	
0.490	22.68	27.96	46.01	55.81	70.63	83.18	
0.480	22.74	27.92	46.14	55.73	70.77	83.06	
0.470	22.81	27.89	46.26	55.66	70.92	82.93	
0.460	22.88	27.86	46.38	55.58	71.06	82.81	
0.450	22.95	27.82	46.50	55.50	71.20	82.69	
0.440	23.01	27.79	46.62	55.43	71.35	82.57	
0.430	23.08	27.75	46.74	55.35	71.49	82.44	
0.420	23.14	27.71	46.86	55.27	71.63	82.32	
0.410	23.21	27.68	46.97	55.19	71.77	82.20	
0.400	23.28	27.64	47.09	55.11	71.91	82.08	
0.390	23.34	27.60	47.21	55.03	72.05	81.95	
0.380	23.41	27.56	47.33	54.94	72.19	81.83	
0.370	23.47	27.52	47.44	54.86	72.32	81.71	
0.360	23.54	27.48	47.56	54.78	72.46	81.59	
0.350	23.60	27.44	47.67	54.69	72.60	81.46	
0.340	23.67	27.40	47.79	54.61	72.73	81.34	
0.330	23.73	27.36	47.90	54.52	72.87	81.22	
0.320	23.79	27.31	48.01	54.44	73.01	81.10	
0.310	23.86	27.27	48.13	54.35	73.14	80.97	
0.300	23.92	27.23	48.24	54.26	73.27	80.85	
0.290	23.98	27.18	48.35	54.17	73.41	80.73	
0.280	24.05	27.14	48.46	54.09	73.54	80.61	
0.270	24.11	27.09	48.58	54.00	73.67	80.48	
0.260	24.17	27.05	48.69	53.91	73.81	80.36	
0.250	24.24	27.00	48.80	53.82	73.94	80.24	
0.240	24.30	26.95	48.91	53.73	74.07	80.12	
0.230	24.36	26.91	49.02	53.64	74.20	79.99	
0.220	24.42	26.86	49.13	53.55	74.33	79.87	
0.210	24.48	26.81	49.23	53.45	74.46	79.75	
0.200	24.54	26.76	49.34	53.36	74.59	79.62	
0.190	24.60	26.71	49.45	53.27	74.72	79.50	
0.180	24.67	26.66	49.56	53.18	74.85	79.38	
0.170	24.73	26.62	49.67	53.08	74.98	79.25	
0.160	24.79	26.56	49.77	52.99	75.11	79.13	
0.150	24.85	26.51	49.88	52.89	75.24	79.01	
0.140	24.91	26.46	49.98	52.80	75.37	78.88	
0.130	24.97	26.41	50.09	52.70	75.50	78.76	
0.120	25.02	26.36	50.20	52.61	75.62	78.64	
0.110	25.08	26.31	50.30	52.51	75.75	78.51	
0.100	25.14	26.26	50.40	52.41	75.88	78.39	
0.090	25.20	26.20	50.51	52.32	76.01	78.26	
0.080	25.26	26.15	50.61	52.22	76.13	78.14	

0.070	25.32	26.10	50.72	52.12	76.26	78.02	
0.060	25.37	26.04	50.82	52.02	76.39	77.89	
0.050	25.43	25.99	50.92	51.93	76.51	77.77	
0.040	25.49	25.93	51.02	51.83	76.64	77.64	
0.030	25.55	25.88	51.13	51.73	76.77	77.52	
0.020	25.60	25.83	51.23	51.63	76.89	77.39	
0.010	25.66	25.77	51.33	51.53	77.02	77.27	

-----+-----

Hasil Perhitungan Harmonisa

	-----+-----													
	B1	Harmonisa												
	-----+-----													
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
	-----+-----													
1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	18.8	14.5	21.7	3.8	3.5	5.1	13.0	1.0
0.990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	17.3	16.5	20.9	2.8	4.3	7.1	12.6	0.9
0.980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	15.7	18.2	20.1	2.0	5.0	9.1	11.9	2.3
0.970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	14.0	19.6	19.3	1.4	5.6	10.9	10.9	3.3
0.960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	12.4	20.9	18.4	1.0	6.0	12.7	9.7	4.0
0.950	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.0	10.7	21.9	17.6	0.7	6.4	14.3	8.3	4.3
0.940	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.6	9.0	22.9	16.8	0.5	6.6	15.8	7.0	4.3
0.930	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.1	7.3	23.6	16.1	0.3	6.7	17.2	5.6	4.0
0.920	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	5.6	24.3	15.4	0.2	6.8	18.4	4.2	3.6
0.910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9	3.9	24.9	14.7	0.1	6.8	19.5	2.9	3.0
0.900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	2.2	25.4	14.1	0.0	6.7	20.5	1.6	2.2
0.890	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.7	0.5	25.8	13.4	0.0	6.6	21.3	0.4	1.4
0.880	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	1.1	26.1	12.8	0.0	6.5	22.1	0.8	0.5
0.870	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.3	2.8	26.4	12.3	0.0	6.4	22.8	1.8	0.5
0.860	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.5	4.5	26.7	11.7	0.0	6.2	23.3	2.7	1.5
0.850	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	6.2	26.8	11.2	0.0	6.0	23.8	3.6	2.5
0.840	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	7.9	27.0	10.7	0.0	5.9	24.3	4.3	3.5
0.830	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.2	9.6	27.0	10.2	0.0	5.7	24.6	4.9	4.5
0.820	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.4	11.3	27.1	9.8	0.0	5.5	24.9	5.5	5.5
0.810	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	13.0	27.1	9.3	0.0	5.3	25.1	5.9	6.4
0.800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	14.7	27.0	8.9	0.0	5.1	25.3	6.2	7.3
0.790	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.9	16.4	27.0	8.5	0.0	4.9	25.4	6.4	8.1
0.780	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0	18.1	26.9	8.1	0.0	4.7	25.5	6.5	8.9
0.770	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.1	19.8	26.7	7.7	0.0	4.5	25.5	6.5	9.6
0.760	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.2	21.5	26.6	7.3	0.0	4.3	25.5	6.4	10.2
0.750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.3	23.1	26.4	7.0	0.0	4.1	25.4	6.2	10.7
0.740	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.3	24.8	26.2	6.6	0.0	3.9	25.3	5.9	11.2
0.730	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.4	26.5	26.0	6.3	0.0	3.7	25.2	5.5	11.5
0.720	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.4	28.1	25.7	6.0	0.0	3.5	25.0	5.0	11.8
0.710	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.5	29.8	25.4	5.7	0.0	3.3	24.8	4.4	11.9
0.700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.5	31.4	25.1	5.4	0.0	3.1	24.6	3.7	12.0
0.690	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.5	33.1	24.8	5.1	0.0	3.0	24.3	3.0	12.0
0.680	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.5	34.7	24.5	4.9	0.0	2.8	24.1	2.1	11.8
0.670	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.5	36.3	24.1	4.6	0.0	2.7	23.8	1.2	11.6
0.660	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.4	37.9	23.8	4.3	0.0	2.5	23.4	0.1	11.2
0.650	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.4	39.6	23.4	4.1	0.0	2.4	23.1	1.0	10.8
0.640	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.3	41.1	23.0	3.9	0.0	2.2	22.7	2.2	10.2
0.630	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.3	42.7	22.6	3.7	0.0	2.1	22.4	3.4	9.5
0.620	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.2	44.3	22.2	3.4	0.0	2.0	22.0	4.7	8.7

0.610	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.1	45.9	21.7	3.2	0.0	1.8	21.6	6.2	7.9	
0.600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0	47.4	21.3	3.0	0.0	1.7	21.2	7.6	6.9	
0.590	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.9	49.0	20.9	2.9	0.0	1.6	20.7	9.2	5.8	
0.580	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.7	50.5	20.4	2.7	0.0	1.5	20.3	10.7	4.6	
0.570	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.6	52.0	19.9	2.5	0.0	1.4	19.8	12.4	3.3	
0.560	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.4	53.5	19.4	2.4	0.0	1.3	19.4	14.1	1.9	
0.550	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.3	55.0	19.0	2.2	0.0	1.2	18.9	15.9	0.4	
0.540	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.1	56.4	18.5	2.0	0.0	1.1	18.4	17.7	1.1	
0.530	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.9	57.9	18.0	1.9	0.0	1.1	17.9	19.5	2.8	
0.520	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.7	59.3	17.5	1.8	0.0	1.0	17.4	21.4	4.5	
0.510	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5	60.7	17.0	1.6	0.0	0.9	17.0	23.3	6.3	
0.500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.2	62.1	16.5	1.5	0.0	0.8	16.5	25.3	8.2	
0.490	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0	63.5	16.0	1.4	0.0	0.8	16.0	27.3	10.2	
0.480	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.7	64.9	15.5	1.3	0.0	0.7	15.5	29.3	12.3	
0.470	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.5	66.2	15.0	1.2	0.0	0.7	15.0	31.4	14.4	
0.460	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.2	67.5	14.5	1.1	0.0	0.6	14.5	33.4	16.5	
0.450	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.9	68.8	14.0	1.0	0.0	0.6	14.0	35.5	18.8	
0.440	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.6	70.1	13.5	0.9	0.0	0.5	13.5	37.6	21.0	
0.430	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.2	71.4	13.0	0.9	0.0	0.5	13.0	39.8	23.4	
0.420	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.9	72.6	12.5	0.8	0.0	0.4	12.5	41.9	25.7	
0.410	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.5	73.8	12.0	0.7	0.0	0.4	12.0	44.0	28.1	
0.400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2	75.0	11.5	0.6	0.0	0.3	11.5	46.2	30.6	
0.390	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.8	76.2	11.0	0.6	0.0	0.3	11.0	48.3	33.1	
0.380	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.4	77.4	10.5	0.5	0.0	0.3	10.5	50.4	35.6	
0.370	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.0	78.5	10.0	0.5	0.0	0.3	10.0	52.5	38.1	
0.360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.6	79.6	9.5	0.4	0.0	0.2	9.5	54.7	40.6	
0.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.1	80.6	9.1	0.4	0.0	0.2	9.1	56.7	43.1	
0.340	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	81.7	8.6	0.3	0.0	0.2	8.6	58.8	45.7	
0.330	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.2	82.7	8.2	0.3	0.0	0.2	8.2	60.9	48.2	
0.320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	83.7	7.7	0.3	0.0	0.1	7.7	62.9	50.7	
0.310	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.2	84.7	7.3	0.2	0.0	0.1	7.3	64.9	53.2	
0.300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.7	85.6	6.9	0.2	0.0	0.1	6.9	66.9	55.7	
0.290	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.2	86.5	6.4	0.2	0.0	0.1	6.4	68.8	58.2	
0.280	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	87.4	6.0	0.2	0.0	0.1	6.0	70.7	60.6	
0.270	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.1	88.3	5.6	0.1	0.0	0.1	5.6	72.6	63.0	
0.260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	89.1	5.3	0.1	0.0	0.1	5.3	74.4	65.4	
0.250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.9	89.9	4.9	0.1	0.0	0.1	4.9	76.2	67.7	
0.240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.3	90.7	4.5	0.1	0.0	0.0	4.5	77.9	70.0	
0.230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.7	91.4	4.2	0.1	0.0	0.0	4.2	79.6	72.2	
0.220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.1	92.2	3.8	0.1	0.0	0.0	3.8	81.2	74.4	
0.210	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.4	92.9	3.5	0.1	0.0	0.0	3.5	82.8	76.5	
0.200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.7	93.5	3.2	0.0	0.0	0.0	3.2	84.3	78.5	
0.190	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.0	94.1	2.9	0.0	0.0	0.0	2.9	85.8	80.5	
0.180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.3	94.7	2.6	0.0	0.0	0.0	2.6	87.2	82.4	
0.170	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.6	95.3	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3	88.5	84.2	
0.160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.9	95.8	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	89.8	85.9	
0.150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	96.3	1.8	0.0	0.0	0.0	1.8	91.0	87.5	
0.140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.4	96.8	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	92.1	89.1	
0.130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.6	97.2	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	93.2	90.5	
0.120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.8	97.6	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	94.2	91.9	
0.110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	98.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	95.1	93.2	
0.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.2	98.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	95.9	94.3	
0.090	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.3	98.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7	96.7	95.4	
0.080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	98.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	97.4	96.4	
0.070	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.6	99.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	98.0	97.2	



0.060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.7	99.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	98.5	97.9
0.050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8	99.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	99.0	98.6
0.040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	99.3	99.1
0.030	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	99.6	99.5
0.020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8	99.8
0.010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	99.9

-----+

Hasil Perhitungan LookUpTable

-----+														
B1	LookUpTable													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
-----+														
1.000	26	12	16	22	08	41	01	41	08	22	16	12	26	
0.990	27	12	16	23	09	3F	02	3F	09	23	16	12	27	
0.980	27	12	16	23	09	3E	02	3E	09	23	16	12	27	
0.970	27	12	17	23	09	3D	03	3D	09	23	17	12	27	
0.960	27	12	17	23	0A	3B	04	3B	0A	23	17	12	27	
0.950	28	12	17	23	0A	3A	04	3A	0A	23	17	12	28	
0.940	28	12	18	23	0B	39	05	39	0B	23	18	12	28	
0.930	28	12	18	23	0B	38	05	38	0B	23	18	12	28	
0.920	28	12	18	23	0B	37	06	37	0B	23	18	12	28	
0.910	28	12	18	23	0C	36	06	36	0C	23	18	12	28	
0.900	29	12	19	23	0C	35	07	35	0C	23	19	12	29	
0.890	29	12	19	22	0D	34	07	34	0D	22	19	12	29	
0.880	29	11	19	22	0D	33	08	33	0D	22	19	11	29	
0.870	29	11	1A	22	0E	32	09	32	0E	22	1A	11	29	
0.860	29	11	1A	22	0E	32	09	32	0E	22	1A	11	29	
0.850	2A	11	1A	22	0E	31	0A	31	0E	22	1A	11	2A	
0.840	2A	11	1B	21	0F	30	0A	30	0F	21	1B	11	2A	
0.830	2A	11	1B	21	0F	2F	0B	2F	0F	21	1B	11	2A	
0.820	2A	11	1B	21	10	2F	0B	2F	10	21	1B	11	2A	
0.810	2A	11	1B	20	10	2E	0C	2E	10	20	1B	11	2A	
0.800	2A	10	1C	20	11	2D	0C	2D	11	20	1C	10	2A	
0.790	2B	10	1C	20	11	2C	0D	2C	11	20	1C	10	2B	
0.780	2B	10	1C	1F	12	2C	0D	2C	12	1F	1C	10	2B	
0.770	2B	10	1D	1F	12	2B	0E	2B	12	1F	1D	10	2B	
0.760	2B	10	1D	1F	12	2A	0E	2A	12	1F	1D	10	2B	
0.750	2B	10	1D	1E	13	2A	0F	2A	13	1E	1D	10	2B	
0.740	2B	10	1E	1E	13	29	0F	29	13	1E	1E	10	2B	
0.730	2B	0F	1E	1E	14	28	10	28	14	1E	1E	0F	2B	
0.720	2C	0F	1E	1D	14	28	10	28	14	1D	1E	0F	2C	
0.710	2C	0F	1E	1D	15	27	11	27	15	1D	1E	0F	2C	
0.700	2C	0F	1F	1D	15	26	11	26	15	1D	1F	0F	2C	
0.690	2C	0F	1F	1C	16	26	12	26	16	1C	1F	0F	2C	
0.680	2C	0F	1F	1C	16	25	13	25	16	1C	1F	0F	2C	
0.670	2C	0E	20	1B	17	24	13	24	17	1B	20	0E	2C	
0.660	2D	0E	20	1B	17	24	14	24	17	1B	20	0E	2D	
0.650	2D	0E	20	1B	17	23	14	23	17	1B	20	0E	2D	
0.640	2D	0E	21	1A	18	23	15	23	18	1A	21	0E	2D	
0.630	2D	0E	21	1A	18	22	15	22	18	1A	21	0E	2D	
0.620	2D	0D	21	19	19	21	16	21	19	19	21	0D	2D	
0.610	2D	0D	22	19	19	21	16	21	19	19	22	0D	2D	

| 0.600 2D 0D 22 19 1A 20 17 20 1A 19 22 0D 2D |  
 | 0.590 2E 0D 22 18 1A 20 17 20 1A 18 22 0D 2E |  
 | 0.580 2E 0D 23 18 1B 1F 18 1F 1B 18 23 0D 2E |  
 | 0.570 2E 0D 23 18 1B 1F 18 1F 1B 18 23 0D 2E |  
 | 0.560 2E 0C 23 17 1C 1E 19 1E 1C 17 23 0C 2E |  
 | 0.550 2E 0C 24 17 1C 1D 19 1D 1C 17 24 0C 2E |  
 | 0.540 2E 0C 24 16 1C 1D 1A 1D 1C 16 24 0C 2E |  
 | 0.530 2E 0C 24 16 1D 1C 1A 1C 1D 16 24 0C 2E |  
 | 0.520 2F 0C 24 16 1D 1C 1B 1C 1D 16 24 0C 2F |  
 | 0.510 2F 0B 25 15 1E 1B 1B 1B 1E 15 25 0B 2F |  
 | 0.500 2F 0B 25 15 1E 1B 1C 1B 1E 15 25 0B 2F |  
 | 0.490 2F 0B 25 14 1F 1A 1C 1A 1F 14 25 0B 2F |  
 | 0.480 2F 0B 26 14 1F 19 1D 19 1F 14 26 0B 2F |  
 | 0.470 2F 0B 26 13 20 19 1D 19 20 13 26 0B 2F |  
 | 0.460 2F 0A 26 13 20 18 1E 18 20 13 26 0A 2F |  
 | 0.450 30 0A 27 13 21 18 1E 18 21 13 27 0A 30 |  
 | 0.440 30 0A 27 12 21 17 1F 17 21 12 27 0A 30 |  
 | 0.430 30 0A 27 12 21 17 1F 17 21 12 27 0A 30 |  
 | 0.420 30 09 28 11 22 16 20 16 22 11 28 09 30 |  
 | 0.410 30 09 28 11 22 16 20 16 22 11 28 09 30 |  
 | 0.400 30 09 28 11 23 15 21 15 23 11 28 09 30 |  
 | 0.390 30 09 29 10 23 15 21 15 23 10 29 09 30 |  
 | 0.380 31 09 29 10 24 14 22 14 24 10 29 09 31 |  
 | 0.370 31 08 29 0F 24 13 22 13 24 0F 29 08 31 |  
 | 0.360 31 08 2A 0F 25 13 23 13 25 0F 2A 08 31 |  
 | 0.350 31 08 2A 0F 25 12 23 12 25 0F 2A 08 31 |  
 | 0.340 31 08 2A 0E 26 12 24 12 26 0E 2A 08 31 |  
 | 0.330 31 08 2B 0E 26 11 24 11 26 0E 2B 08 31 |  
 | 0.320 31 07 2B 0D 26 11 25 11 26 0D 2B 07 31 |  
 | 0.310 31 07 2B 0D 27 10 25 10 27 0D 2B 07 31 |  
 | 0.300 32 07 2C 0C 27 10 26 10 27 0C 2C 07 32 |  
 | 0.290 32 07 2C 0C 28 0F 26 0F 28 0C 2C 07 32 |  
 | 0.280 32 06 2C 0C 28 0F 27 0F 28 0C 2C 06 32 |  
 | 0.270 32 06 2D 0B 29 0E 27 0E 29 0B 2D 06 32 |  
 | 0.260 32 06 2D 0B 29 0E 28 0E 29 0B 2D 06 32 |  
 | 0.250 32 06 2D 0A 2A 0D 28 0D 2A 0A 2D 06 32 |  
 | 0.240 32 06 2D 0A 2A 0D 29 0D 2A 0A 2D 06 32 |  
 | 0.230 32 05 2E 0A 2B 0C 29 0C 2B 0A 2E 05 32 |  
 | 0.220 33 05 2E 09 2B 0B 2A 0B 2B 09 2E 05 33 |  
 | 0.210 33 05 2E 09 2C 0B 2A 0B 2C 09 2E 05 33 |  
 | 0.200 33 05 2F 08 2C 0A 2B 0A 2C 08 2F 05 33 |  
 | 0.190 33 04 2F 08 2C 0A 2C 0A 2C 08 2F 04 33 |  
 | 0.180 33 04 2F 07 2D 09 2C 09 2D 07 2F 04 33 |  
 | 0.170 33 04 30 07 2D 09 2D 09 2D 07 30 04 33 |  
 | 0.160 33 04 30 07 2E 08 2D 08 2E 07 30 04 33 |  
 | 0.150 33 03 30 06 2E 08 2E 08 2E 06 30 03 33 |  
 | 0.140 34 03 31 06 2F 07 2E 07 2F 06 31 03 34 |  
 | 0.130 34 03 31 05 2F 07 2F 07 2F 05 31 03 34 |  
 | 0.120 34 03 31 05 30 06 2F 06 30 05 31 03 34 |  
 | 0.110 34 03 32 05 30 06 30 06 30 05 32 03 34 |  
 | 0.100 34 02 32 04 31 05 30 05 31 04 32 02 34 |  
 | 0.090 34 02 32 04 31 05 31 05 31 04 32 02 34 |  
 | 0.080 34 02 33 03 32 04 31 04 32 03 33 02 34 |  
 | 0.070 34 02 33 03 32 04 32 04 32 03 33 02 34 |  
 | 0.060 35 01 33 02 32 03 32 03 32 02 33 01 35 |

```
| 0.050  35 01 34 02 33 03 33 03 33 02 34 01 35 |  
| 0.040  35 01 34 02 33 02 33 02 33 02 34 01 35 |  
| 0.030  35 01 34 01 34 02 34 02 34 01 34 01 35 |  
| 0.020  35 00 35 01 34 01 34 01 34 01 35 00 35 |  
| 0.010  35 00 35 00 35 01 35 01 35 00 35 00 35 |  
+-----+
```

## **LAMPIRAN C**

Hasil perhitungan komputer untuk 9 pulsa

Banyaknya Alpha = 9

Ambil Harga Awal Alpha :

Alpha(1) = 15.00

Alpha(2) = 20.00

Alpha(3) = 30.00

Alpha(4) = 35.00

Alpha(5) = 40.00

Alpha(6) = 55.00

Alpha(7) = 60.00

Alpha(8) = 70.00

Alpha(9) = 75.00

Hasil Perhitungan Alpha

B1	Alpha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.000	13.98	18.42	28.13	36.77	42.65	54.93	57.71	72.74	73.47
0.990	14.15	18.66	28.50	37.30	43.28	55.95	58.82	75.18	76.00
0.980	14.25	18.77	28.71	37.56	43.65	56.45	59.43	76.34	77.31
0.970	14.33	18.85	28.88	37.73	43.93	56.78	59.89	77.01	78.15
0.960	14.40	18.91	29.03	37.87	44.17	57.03	60.28	77.43	78.74
0.950	14.46	18.96	29.16	37.98	44.39	57.23	60.61	77.70	79.20
0.940	14.52	19.00	29.29	38.07	44.59	57.39	60.91	77.90	79.57
0.930	14.58	19.04	29.41	38.15	44.78	57.53	61.19	78.03	79.88
0.920	14.63	19.07	29.52	38.21	44.96	57.64	61.45	78.12	80.15
0.910	14.69	19.10	29.63	38.27	45.13	57.74	61.69	78.19	80.39
0.900	14.74	19.12	29.74	38.33	45.30	57.82	61.92	78.23	80.61
0.890	14.79	19.14	29.84	38.37	45.46	57.89	62.13	78.25	80.81
0.880	14.84	19.16	29.94	38.41	45.61	57.95	62.34	78.26	80.99
0.870	14.89	19.18	30.04	38.45	45.76	58.00	62.54	78.25	81.17
0.860	14.94	19.20	30.13	38.48	45.91	58.04	62.72	78.24	81.33
0.850	14.98	19.21	30.23	38.51	46.05	58.07	62.91	78.22	81.49
0.840	15.03	19.22	30.32	38.53	46.19	58.09	63.08	78.19	81.64
0.830	15.08	19.23	30.41	38.55	46.33	58.11	63.25	78.16	81.78
0.820	15.12	19.24	30.50	38.57	46.46	58.13	63.41	78.12	81.92
0.810	15.17	19.25	30.59	38.58	46.59	58.14	63.57	78.08	82.06
0.800	15.21	19.25	30.68	38.59	46.72	58.14	63.73	78.04	82.19
0.790	15.25	19.26	30.77	38.60	46.85	58.14	63.88	77.99	82.32
0.780	15.30	19.26	30.85	38.61	46.97	58.14	64.03	77.94	82.44
0.770	15.34	19.27	30.94	38.61	47.09	58.13	64.17	77.89	82.57
0.760	15.38	19.27	31.02	38.61	47.21	58.12	64.32	77.83	82.69
0.750	15.42	19.27	31.10	38.61	47.33	58.11	64.45	77.78	82.81
0.740	15.47	19.27	31.19	38.61	47.45	58.09	64.59	77.72	82.92
0.730	15.51	19.27	31.27	38.61	47.56	58.07	64.72	77.66	83.04
0.720	15.55	19.27	31.35	38.60	47.68	58.05	64.86	77.60	83.15
0.710	15.59	19.27	31.43	38.59	47.79	58.03	64.98	77.54	83.26
0.700	15.63	19.27	31.51	38.58	47.90	58.00	65.11	77.47	83.37
0.690	15.67	19.26	31.59	38.57	48.01	57.97	65.24	77.41	83.48
0.680	15.71	19.26	31.66	38.56	48.12	57.94	65.36	77.34	83.59
0.670	15.75	19.25	31.74	38.55	48.23	57.91	65.48	77.28	83.70
0.660	15.79	19.25	31.82	38.53	48.33	57.88	65.60	77.21	83.80

0.650	15.83	19.24	31.89	38.52	48.44	57.84	65.72	77.14	83.91	
0.640	15.87	19.24	31.97	38.50	48.54	57.81	65.84	77.07	84.01	
0.630	15.91	19.23	32.04	38.48	48.65	57.77	65.96	77.00	84.11	
0.620	15.95	19.22	32.12	38.46	48.75	57.73	66.07	76.93	84.22	
0.610	15.98	19.21	32.19	38.44	48.85	57.69	66.18	76.86	84.32	
0.600	16.02	19.20	32.26	38.42	48.95	57.65	66.30	76.79	84.42	
0.590	16.06	19.19	32.34	38.40	49.05	57.61	66.41	76.72	84.52	
0.580	16.10	19.18	32.41	38.38	49.15	57.56	66.52	76.65	84.62	
0.570	16.14	19.17	32.48	38.35	49.25	57.52	66.63	76.57	84.72	
0.560	16.17	19.16	32.55	38.33	49.35	57.47	66.74	76.50	84.82	
0.550	16.21	19.15	32.62	38.30	49.44	57.43	66.85	76.43	84.92	
0.540	16.25	19.14	32.69	38.28	49.54	57.38	66.95	76.35	85.02	
0.530	16.28	19.13	32.76	38.25	49.63	57.33	67.06	76.28	85.12	
0.520	16.32	19.11	32.83	38.22	49.73	57.28	67.16	76.20	85.21	
0.510	16.36	19.10	32.90	38.19	49.82	57.23	67.27	76.13	85.31	
0.500	16.39	19.09	32.97	38.16	49.92	57.18	67.37	76.05	85.41	
0.490	16.43	19.07	33.04	38.13	50.01	57.13	67.47	75.98	85.50	
0.480	16.47	19.06	33.11	38.10	50.10	57.08	67.58	75.90	85.60	
0.470	16.50	19.04	33.18	38.07	50.19	57.02	67.68	75.82	85.69	
0.460	16.54	19.03	33.24	38.03	50.28	56.97	67.78	75.75	85.79	
0.450	16.57	19.01	33.31	38.00	50.37	56.92	67.88	75.67	85.88	
0.440	16.61	19.00	33.38	37.97	50.46	56.86	67.98	75.59	85.98	
0.430	16.64	18.98	33.44	37.93	50.55	56.81	68.08	75.51	86.07	
0.420	16.68	18.96	33.51	37.90	50.64	56.75	68.18	75.44	86.17	
0.410	16.71	18.95	33.58	37.86	50.73	56.69	68.28	75.36	86.26	
0.400	16.75	18.93	33.64	37.82	50.82	56.64	68.37	75.28	86.36	
0.390	16.78	18.91	33.71	37.79	50.90	56.58	68.47	75.20	86.45	
0.380	16.82	18.89	33.77	37.75	50.99	56.52	68.57	75.12	86.54	
0.370	16.85	18.87	33.84	37.71	51.08	56.46	68.66	75.04	86.64	
0.360	16.88	18.86	33.90	37.67	51.16	56.40	68.76	74.97	86.73	
0.350	16.92	18.84	33.96	37.63	51.25	56.34	68.86	74.89	86.82	
0.340	16.95	18.82	34.03	37.59	51.33	56.28	68.95	74.81	86.91	
0.330	16.99	18.80	34.09	37.55	51.42	56.22	69.05	74.73	87.01	
0.320	17.02	18.78	34.15	37.51	51.50	56.16	69.14	74.65	87.10	
0.310	17.05	18.76	34.21	37.47	51.59	56.10	69.23	74.57	87.19	
0.300	17.09	18.74	34.28	37.43	51.67	56.04	69.33	74.49	87.28	
0.290	17.12	18.71	34.34	37.39	51.75	55.97	69.42	74.41	87.37	
0.280	17.15	18.69	34.40	37.35	51.83	55.91	69.51	74.33	87.47	
0.270	17.18	18.67	34.46	37.30	51.92	55.85	69.61	74.25	87.56	
0.260	17.22	18.65	34.52	37.26	52.00	55.78	69.70	74.16	87.65	
0.250	17.25	18.63	34.58	37.22	52.08	55.72	69.79	74.08	87.74	
0.240	17.28	18.61	34.64	37.17	52.16	55.65	69.88	74.00	87.83	
0.230	17.31	18.58	34.70	37.13	52.24	55.59	69.97	73.92	87.92	
0.220	17.34	18.56	34.76	37.08	52.32	55.52	70.06	73.84	88.01	
0.210	17.38	18.54	34.82	37.04	52.40	55.46	70.15	73.76	88.10	
0.200	17.41	18.51	34.88	36.99	52.48	55.39	70.24	73.68	88.19	
0.190	17.44	18.49	34.94	36.95	52.56	55.33	70.33	73.59	88.29	
0.180	17.47	18.47	35.00	36.90	52.64	55.26	70.42	73.51	88.38	
0.170	17.50	18.44	35.06	36.85	52.72	55.19	70.51	73.43	88.47	
0.160	17.53	18.42	35.11	36.80	52.79	55.12	70.60	73.35	88.56	
0.150	17.56	18.39	35.17	36.76	52.87	55.06	70.69	73.26	88.65	
0.140	17.59	18.37	35.23	36.71	52.95	54.99	70.78	73.18	88.74	
0.130	17.62	18.34	35.29	36.66	53.03	54.92	70.87	73.10	88.83	
0.120	17.65	18.32	35.34	36.61	53.10	54.85	70.96	73.01	88.92	
0.110	17.68	18.29	35.40	36.56	53.18	54.78	71.05	72.93	89.01	

0.100	17.71	18.27	35.46	36.51	53.26	54.71	71.13	72.85	89.10	
0.090	17.74	18.24	35.51	36.46	53.33	54.64	71.22	72.76	89.19	
0.080	17.77	18.22	35.57	36.41	53.41	54.57	71.31	72.68	89.28	
0.070	17.80	18.19	35.62	36.36	53.48	54.50	71.40	72.59	89.37	
0.060	17.83	18.16	35.68	36.31	53.56	54.43	71.48	72.51	89.46	
0.050	17.86	18.14	35.73	36.26	53.63	54.36	71.57	72.43	89.55	
0.040	17.89	18.11	35.79	36.21	53.71	54.29	71.66	72.34	89.64	
0.030	17.92	18.08	35.84	36.16	53.78	54.22	71.74	72.26	89.73	
0.020	17.94	18.06	35.89	36.11	53.85	54.14	71.83	72.17	89.82	
0.010	17.97	18.03	35.95	36.05	53.93	54.07	71.91	72.09	89.91	

Hasil Perhitungan Harmonisa

B1	Harmonisa														
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	
1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	24.0	10.7	22.9	7.0	1.0	
0.990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.7	20.4	16.6	19.9	6.0	0.3	
0.980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.7	17.7	19.1	18.4	5.5	0.1	
0.970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	15.5	20.6	17.4	5.0	0.3	
0.960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.9	13.4	21.8	16.6	4.6	0.3	
0.950	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.7	11.5	22.8	15.9	4.2	0.3	
0.940	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	9.6	23.6	15.3	3.8	0.3	
0.930	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9	7.8	24.3	14.7	3.5	0.2	
0.920	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	6.0	24.9	14.1	3.2	0.2	
0.910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.8	4.2	25.4	13.6	2.9	0.1	
0.900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.2	2.4	25.8	13.0	2.7	0.1	
0.890	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	0.7	26.1	12.5	2.5	0.1	
0.880	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.9	1.0	26.4	12.0	2.3	0.1	
0.870	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2	2.8	26.7	11.5	2.1	0.0	
0.860	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.5	4.5	26.9	11.1	1.9	0.0	
0.850	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	6.2	27.0	10.6	1.8	0.0	
0.840	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	7.9	27.1	10.2	1.7	0.0	
0.830	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.2	9.6	27.2	9.8	1.5	0.0	
0.820	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.4	11.3	27.2	9.4	1.4	0.0	
0.810	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	13.0	27.2	9.0	1.3	0.0	
0.800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	14.7	27.1	8.6	1.2	0.0	
0.790	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.8	16.4	27.0	8.2	1.1	0.0	
0.780	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0	18.1	26.9	7.8	1.0	0.0	
0.770	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.1	19.8	26.8	7.5	1.0	0.0	
0.760	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.2	21.5	26.6	7.1	0.9	0.0	
0.750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.3	23.1	26.4	6.8	0.8	0.0	
0.740	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.3	24.8	26.2	6.5	0.7	0.0	
0.730	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.4	26.5	26.0	6.2	0.7	0.0	
0.720	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.4	28.1	25.7	5.9	0.6	0.0	
0.710	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.5	29.8	25.5	5.6	0.6	0.0	
0.700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.5	31.4	25.2	5.3	0.5	0.0	
0.690	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.5	33.1	24.8	5.1	0.5	0.0	
0.680	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.5	34.7	24.5	4.8	0.4	0.0	
0.670	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.5	36.3	24.1	4.5	0.4	0.0	
0.660	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.4	37.9	23.8	4.3	0.4	0.0	
0.650	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.4	39.6	23.4	4.1	0.3	0.0	

0.640	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.3	41.1	23.0	3.8	0.3	0.0
0.630	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.3	42.7	22.6	3.6	0.3	0.0
0.620	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.2	44.3	22.2	3.4	0.3	0.0
0.610	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.1	45.9	21.7	3.2	0.2	0.0
0.600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0	47.4	21.3	3.0	0.2	0.0
0.590	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.9	49.0	20.9	2.8	0.2	0.0
0.580	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.7	50.5	20.4	2.7	0.2	0.0
0.570	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.6	52.0	19.9	2.5	0.2	0.0
0.560	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.4	53.5	19.5	2.3	0.1	0.0
0.550	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.3	55.0	19.0	2.2	0.1	0.0
0.540	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.1	56.4	18.5	2.0	0.1	0.0
0.530	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.9	57.9	18.0	1.9	0.1	0.0
0.520	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.7	59.3	17.5	1.8	0.1	0.0
0.510	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5	60.7	17.0	1.6	0.1	0.0
0.500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.2	62.1	16.5	1.5	0.1	0.0
0.490	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0	63.5	16.0	1.4	0.1	0.0
0.480	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.7	64.9	15.5	1.3	0.1	0.0
0.470	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.5	66.2	15.0	1.2	0.0	0.0
0.460	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.2	67.5	14.5	1.1	0.0	0.0
0.450	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.9	68.8	14.0	1.0	0.0	0.0
0.440	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.6	70.1	13.5	0.9	0.0	0.0
0.430	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.2	71.4	13.0	0.9	0.0	0.0
0.420	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.9	72.6	12.5	0.8	0.0	0.0
0.410	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.5	73.8	12.0	0.7	0.0	0.0
0.400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2	75.0	11.5	0.6	0.0	0.0
0.390	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.8	76.2	11.0	0.6	0.0	0.0
0.380	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.4	77.4	10.5	0.5	0.0	0.0
0.370	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.0	78.5	10.0	0.5	0.0	0.0
0.360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.6	79.6	9.5	0.4	0.0	0.0
0.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.1	80.6	9.1	0.4	0.0	0.0
0.340	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	81.7	8.6	0.3	0.0	0.0
0.330	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.2	82.7	8.2	0.3	0.0	0.0
0.320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	83.7	7.7	0.3	0.0	0.0
0.310	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.2	84.7	7.3	0.2	0.0	0.0
0.300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.7	85.6	6.9	0.2	0.0	0.0
0.290	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.2	86.5	6.4	0.2	0.0	0.0
0.280	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	87.4	6.0	0.2	0.0	0.0
0.270	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.1	88.3	5.6	0.1	0.0	0.0
0.260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	89.1	5.3	0.1	0.0	0.0
0.250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.9	89.9	4.9	0.1	0.0	0.0
0.240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.3	90.7	4.5	0.1	0.0	0.0
0.230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.7	91.4	4.2	0.1	0.0	0.0
0.220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.1	92.2	3.8	0.1	0.0	0.0
0.210	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.4	92.9	3.5	0.1	0.0	0.0
0.200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.7	93.5	3.2	0.0	0.0	0.0
0.190	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.0	94.1	2.9	0.0	0.0	0.0
0.180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.3	94.7	2.6	0.0	0.0	0.0
0.170	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.6	95.3	2.3	0.0	0.0	0.0
0.160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.9	95.8	2.1	0.0	0.0	0.0
0.150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	96.3	1.8	0.0	0.0	0.0
0.140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.4	96.8	1.6	0.0	0.0	0.0
0.130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.6	97.2	1.4	0.0	0.0	0.0
0.120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.8	97.6	1.2	0.0	0.0	0.0
0.110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	98.0	1.0	0.0	0.0	0.0
0.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.2	98.4	0.8	0.0	0.0	0.0



0.090	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.3	98.7	0.7	0.0	0.0	0.0	
0.080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	98.9	0.5	0.0	0.0	0.0	
0.070	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.6	99.2	0.4	0.0	0.0	0.0	
0.060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.7	99.4	0.3	0.0	0.0	0.0	
0.050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8	99.6	0.2	0.0	0.0	0.0	
0.040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.7	0.1	0.0	0.0	0.0	
0.030	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	
0.020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

-----+  
 Hasil Perhitungan LookUpTable

	B1	LookUpTable																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1.000	1D	09	14	12	0C	19	06	1F	02	45	02	1F	06	19	0C	12	14	09	1D		
0.990	1D	09	14	12	0C	1A	06	22	02	3A	02	22	06	1A	0C	12	14	09	1D		
0.980	1E	09	15	12	0D	1B	06	23	02	35	02	23	06	1B	0D	12	15	09	1E		
0.970	1E	09	15	12	0D	1B	06	23	02	31	02	23	06	1B	0D	12	15	09	1E		
0.960	1E	09	15	12	0D	1B	07	24	03	2F	03	24	07	1B	0D	12	15	09	1E		
0.950	1E	09	15	12	0D	1B	07	23	03	2D	03	23	07	1B	0D	12	15	09	1E		
0.940	1E	09	15	12	0E	1B	07	23	03	2B	03	23	07	1B	0E	12	15	09	1E		
0.930	1E	09	15	12	0E	1A	08	23	04	2A	04	23	08	1A	0E	12	15	09	1E		
0.920	1E	09	16	12	0E	1A	08	23	04	29	04	23	08	1A	0E	12	16	09	1E		
0.910	1E	09	16	12	0E	1A	08	22	05	28	05	22	08	1A	0E	12	16	09	1E		
0.900	1F	09	16	12	0E	1A	08	22	05	27	05	22	08	1A	0E	12	16	09	1F		
0.890	1F	09	16	12	0F	1A	09	21	05	26	05	21	09	1A	0F	12	16	09	1F		
0.880	1F	09	16	12	0F	1A	09	21	06	25	06	21	09	1A	0F	12	16	09	1F		
0.870	1F	09	17	11	0F	19	09	21	06	25	06	21	09	19	0F	11	17	09	1F		
0.860	1F	09	17	11	0F	19	0A	20	06	24	06	20	0A	19	0F	11	17	09	1F		
0.850	1F	09	17	11	10	19	0A	20	07	23	07	20	0A	19	10	11	17	09	1F		
0.840	1F	09	17	11	10	19	0A	1F	07	23	07	1F	0A	19	10	11	17	09	1F		
0.830	1F	09	17	11	10	18	0B	1F	08	22	08	1F	0B	18	10	11	17	09	1F		
0.820	1F	09	17	11	10	18	0B	1E	08	21	08	1E	0B	18	10	11	17	09	1F		
0.810	1F	08	18	11	11	18	0B	1E	08	21	08	1E	0B	18	11	11	18	08	1F		
0.800	20	08	18	10	11	18	0C	1E	09	20	09	1E	0C	18	11	10	18	08	20		
0.790	20	08	18	10	11	17	0C	1D	09	20	09	1D	0C	17	11	10	18	08	20		
0.780	20	08	18	10	11	17	0C	1D	09	1F	09	1D	0C	17	11	10	18	08	20		
0.770	20	08	18	10	12	17	0D	1C	0A	1F	0A	1C	0D	17	12	10	18	08	20		
0.760	20	08	18	10	12	17	0D	1C	0A	1E	0A	1C	0D	17	12	10	18	08	20		
0.750	20	08	19	10	12	16	0D	1C	0A	1E	0A	1C	0D	16	12	10	19	08	20		
0.740	20	08	19	0F	12	16	0D	1B	0B	1D	0B	1B	0D	16	12	0F	19	08	20		
0.730	20	08	19	0F	13	16	0E	1B	0B	1D	0B	1B	0E	16	13	0F	19	08	20		
0.720	20	08	19	0F	13	15	0E	1A	0C	1C	0C	1A	0E	15	13	0F	19	08	20		
0.710	20	08	19	0F	13	15	0E	1A	0C	1C	0C	1A	0E	15	13	0F	19	08	20		
0.700	20	08	19	0F	13	15	0F	1A	0C	1B	0C	1A	0F	15	13	0F	19	08	20		
0.690	20	07	1A	0E	14	15	0F	19	0D	1B	0D	19	0F	15	14	0E	1A	07	20		
0.680	21	07	1A	0E	14	14	0F	19	0D	1B	0D	19	0F	14	14	0E	1A	07	21		
0.670	21	07	1A	0E	14	14	10	18	0D	1A	0D	18	10	14	14	0E	1A	07	21		
0.660	21	07	1A	0E	14	14	10	18	0E	1A	0E	18	10	14	14	0E	1A	07	21		
0.650	21	07	1A	0E	15	13	10	18	0E	19	0E	18	10	13	15	0E	1A	07	21		
0.640	21	07	1A	0E	15	13	11	17	0E	19	0E	17	11	13	15	0E	1A	07	21		

| 0.630 21 07 1B 0D 15 13 11 17 0F 18 0F 17 11 13 15 0D 1B 07 21 |  
 | 0.620 21 07 1B 0D 15 13 11 17 0F 18 0F 17 11 13 15 0D 1B 07 21 |  
 | 0.610 21 07 1B 0D 16 12 12 16 0F 18 0F 16 12 12 16 0D 1B 07 21 |  
 | 0.600 21 07 1B 0D 16 12 12 16 10 17 10 16 12 12 16 0D 1B 07 21 |  
 | 0.590 21 06 1B 0D 16 12 12 15 10 17 10 15 12 12 16 0D 1B 06 21 |  
 | 0.580 21 06 1B 0C 16 11 13 15 11 16 11 15 13 11 16 0C 1B 06 21 |  
 | 0.570 21 06 1C 0C 17 11 13 15 11 16 11 15 13 11 17 0C 1C 06 21 |  
 | 0.560 22 06 1C 0C 17 11 13 14 11 15 11 14 13 11 17 0C 1C 06 22 |  
 | 0.550 22 06 1C 0C 17 11 14 14 12 15 12 14 14 11 17 0C 1C 06 22 |  
 | 0.540 22 06 1C 0C 17 10 14 13 12 15 12 13 14 10 17 0C 1C 06 22 |  
 | 0.530 22 06 1C 0B 18 10 14 13 12 14 12 13 14 10 18 0B 1C 06 22 |  
 | 0.520 22 06 1C 0B 18 10 14 13 13 14 13 13 14 10 18 0B 1C 06 22 |  
 | 0.510 22 06 1D 0B 18 0F 15 12 13 13 13 12 15 0F 18 0B 1D 06 22 |  
 | 0.500 22 06 1D 0B 18 0F 15 12 13 13 13 12 15 0F 18 0B 1D 06 22 |  
 | 0.490 22 05 1D 0B 19 0F 15 12 14 13 14 12 15 0F 19 0B 1D 05 22 |  
 | 0.480 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 14 12 14 11 16 0E 19 0A 1D 05 22 |  
 | 0.470 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 14 12 14 11 16 0E 19 0A 1D 05 22 |  
 | 0.460 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 15 11 15 11 16 0E 19 0A 1D 05 22 |  
 | 0.450 22 05 1E 0A 1A 0E 17 10 15 11 15 10 17 0E 1A 0A 1E 05 22 |  
 | 0.440 22 05 1E 0A 1A 0D 17 10 16 11 16 10 17 0D 1A 0A 1E 05 22 |  
 | 0.430 22 05 1E 09 1A 0D 17 0F 16 10 16 0F 17 0D 1A 09 1E 05 22 |  
 | 0.420 23 05 1E 09 1A 0D 18 0F 16 10 16 0F 18 0D 1A 09 1E 05 23 |  
 | 0.410 23 05 1E 09 1B 0C 18 0F 17 0F 17 0F 18 0C 1B 09 1E 05 23 |  
 | 0.400 23 05 1E 09 1B 0C 18 0E 17 0F 17 0E 18 0C 1B 09 1E 05 23 |  
 | 0.390 23 04 1F 08 1B 0C 19 0E 17 0F 17 0E 19 0C 1B 08 1F 04 23 |  
 | 0.380 23 04 1F 08 1B 0B 19 0E 18 0E 18 0E 19 0B 1B 08 1F 04 23 |  
 | 0.370 23 04 1F 08 1C 0B 19 0D 18 0E 18 0D 19 0B 1C 08 1F 04 23 |  
 | 0.360 23 04 1F 08 1C 0B 1A 0D 18 0E 18 0D 1A 0B 1C 08 1F 04 23 |  
 | 0.350 23 04 1F 08 1C 0B 1A 0C 19 0D 19 0C 1A 0B 1C 08 1F 04 23 |  
 | 0.340 23 04 20 07 1C 0A 1A 0C 19 0D 19 0C 1A 0A 1C 07 20 04 23 |  
 | 0.330 23 04 20 07 1D 0A 1B 0C 19 0C 19 0C 1B 0A 1D 07 20 04 23 |  
 | 0.320 23 04 20 07 1D 0A 1B 0B 1A 0C 1A 0B 1B 0A 1D 07 20 04 23 |  
 | 0.310 23 04 20 07 1D 09 1B 0B 1A 0C 1A 0B 1B 09 1D 07 20 04 23 |  
 | 0.300 23 03 20 07 1E 09 1C 0B 1B 0B 1B 0B 1C 09 1E 07 20 03 23 |  
 | 0.290 23 03 20 06 1E 09 1C 0A 1B 0B 1B 0A 1C 09 1E 06 20 03 23 |  
 | 0.280 24 03 21 06 1E 08 1C 0A 1B 0B 1B 0A 1C 08 1E 06 21 03 24 |  
 | 0.270 24 03 21 06 1E 08 1D 0A 1C 0A 1C 0A 1D 08 1E 06 21 03 24 |  
 | 0.260 24 03 21 06 1F 08 1D 09 1C 0A 1C 09 1D 08 1F 06 21 03 24 |  
 | 0.250 24 03 21 05 1F 08 1D 09 1C 09 1C 09 1D 08 1F 05 21 03 24 |  
 | 0.240 24 03 21 05 1F 07 1D 09 1D 09 1D 09 1D 07 1F 05 21 03 24 |  
 | 0.230 24 03 21 05 1F 07 1E 08 1D 09 1D 08 1E 07 1F 05 21 03 24 |  
 | 0.220 24 03 22 05 20 07 1E 08 1D 08 1D 08 1E 07 20 05 22 03 24 |  
 | 0.210 24 02 22 05 20 06 1E 07 1E 08 1E 07 1E 06 20 05 22 02 24 |  
 | 0.200 24 02 22 04 20 06 1F 07 1E 07 1E 07 1F 06 20 04 22 02 24 |  
 | 0.190 24 02 22 04 20 06 1F 07 1E 07 1E 07 1F 06 20 04 22 02 24 |  
 | 0.180 24 02 22 04 21 05 1F 06 1F 07 1F 06 1F 05 21 04 22 02 24 |  
 | 0.170 24 02 22 04 21 05 20 06 1F 06 1F 06 20 05 21 04 22 02 24 |  
 | 0.160 24 02 23 04 21 05 20 06 20 06 20 06 20 05 21 04 23 02 24 |  
 | 0.150 24 02 23 03 21 05 20 05 20 06 20 05 20 05 21 03 23 02 24 |  
 | 0.140 24 02 23 03 22 04 21 05 20 05 20 05 21 04 22 03 23 02 24 |  
 | 0.130 25 01 23 03 22 04 21 05 21 05 21 05 21 04 22 03 23 01 25 |  
 | 0.120 25 01 23 03 22 04 21 04 21 04 21 04 21 04 22 03 23 01 25 |  
 | 0.110 25 01 23 02 22 03 22 04 21 04 21 04 22 03 22 02 23 01 25 |  
 | 0.100 25 01 24 02 23 03 22 04 22 04 22 04 22 03 23 02 24 01 25 |  
 | 0.090 25 01 24 02 23 03 22 03 22 03 22 03 22 03 23 02 24 01 25 |



## **LAMPIRAN D**

Program pembangkit sinyal kendali inverter

```

;*****
;*
;* Program Pembangkit Sinyal Kendali Inverter dengan Z80 *
;* Disusun oleh : Agus Sugiyono *
;* NIM : 7382062 *
;* Laboratorium : Konversi Energi Elektrik ITB *
;*
;*****
;
;
; Alamat Peralatan
;
;
; CTC0 EQU 40H
; CTC2 EQU 42H
; PIODA EQU 80H
; PIOCA EQU 82H
; ADC EQU C0H
;
1800 ED 5E IM2 ; Interupsi mode 2
;
; Inisialisasi pointer alamat pelayanan interupsi
;
1802 3E 18 LD A,18H ; Pointer byte tinggi
1804 ED 47 LD I,A
1806 3E 80 LD A,PIODA ; Pointer byte rendah
1808 D3 40 OUT (CTC),A
;
; Inisialisasi PIO
;
180A 3E 0F LD A,0FH ; PIO A sebagai output
180C D3 82 OUT (PIOCA),A
;
; Inisialisasi CTC
;
180E 3E 55 LD A,55H ; CTC 2 sebagai counter
1810 D3 42 OUT (CTC2),A ; tidak menginterupsi
1812 3E 17 LD A,17H ; Data konstanta waktu
1814 D3 42 OUT (CTC2),A
1816 3E D5 LD A,D5H ; CTC 0 sebagai counter
1818 D3 40 OUT (CTC0),A ; menginterupsi
181A 3E 0E LD A,0EH ; Data konstanta waktu
191C D3 40 OUT (CTC0),A
;
; Data awal gelombang
;
181E 16 00 LD D,00H ; Data bentuk gelombang
1820 1E 13 LD E,13H ; Jumlah gelombang
1822 0E 02 LD C,02H ; Data setengah siklus
1824 2A 82 18 LD HL,(PTABLE) ; Pointer data gelombang
1827 D9 EXX
;
; Siapkan interupsi
;
1828 FB EI
;

```

```

; Program Utama
;
1829 D3 C0      MULAI : OUT (ADC),A      ; Start ADC
182B 06 90      LD B,90H              ; Tunggu konversi ADC
182D 10 FE      DJNZ $
182F DB C0      IN A,(ADC)           ; Baca data ADC
1831 32 84 18   LD (INDAT),A         ; Masukkan ke INDAT
1834 1E 13      LD E,13H            ; Jumlah gelombang
;
; Fungsi Perkalian
; untuk menempatkan pointer pola gelombang sesuai data ADC
;
1836 06 08      MULT : LD B,08H
1838 16 00      LD D,00H
183A 21 00 00   LD HL,0000H
183D 29        GESER : ADD HL,HL
183E 07        RLCA
183F 30 01     JR NC,KOSONG
1841 19        ADD HL,DE
1842 10 F9     KOSONG : DJNZ GESER
1844 11 00 19  LD DE,TABEL
1847 19        ADD HL,DE
;
; Akhir Fungsi Perkalian
;
1848 22 82 18   LD (PTABEL),HL
184B 18 DC     JR MULAI              ; Loop ke MULAI
;
1880 90 18     DW 1890H              ; Pointer pelayanan int.
1882 00 19     PTABLE : DW 1900H     ; Pointer data gelombang
1884 00        INDAT : DB 00H        ; Lokasi simpan data ADC
;
; Program Interupsi
;
1890 08        EX AF,AF'            ; Tukar register
1891 D9        EXX
1892 3E D7     LD A,11010111B       ; CTC dihentikan
1894 D3 40     OUT (CTC0),A
1896 7E        LD A,(HL)            ; CTC dijalankan
1897 D3 40     OUT (CTC0),A         ; dengan data baru
1899 23        INC HL               ; Naikkan Pointer
189A CB 41     BIT 0,C              ; Cek setengah siklus
189C 20 0A     JR NZ,CGANJIL
189E 16 02     LD D,02H
18A0 CB 43     BIT 0,E              ; Cek E genap
18A2 20 0C     JR NZ,TEMU
18A4 16 03     LD D,03H
18A6 18 08     JR TEMU
18A8 16 08     CGANJIL : LD D,08H
;
18AA CB 43     BIT 0,E              ; Cek E genap
18AC 20 02     JR NZ,TEMU
18AE 16 0C     LD D,0CH
18B0 7A        TEMU : LD A,D
18B1 D3 80     OUT (PIODA),A        ; Keluarkan gelombang

```

```

18B3 1D          DEC E          ; Kurangi E
18B4 20 0A      JR NZ,OUT     ; Cek E = 0
18B6 1E 13      LD E,13H
18B8 2A 82 18   LD HL,(PTABEL)
18BB 0D          DEC C          ; Kurangi C
18BC 20 02      JR NZ,OUT     ; Cek C = 0
18BE 0E 02      LD C,02H
18C0 D9          OUT :     EXX          ; Tukar register
18C1 08          EX AF,AF'
18C2 FB          EI
18C3 ED 4D      RETI
;
; Data gelombang PWM
;
1900 1D 09 14 12 0C 19 06 1E 04 43
      04 1E 06 19 0C 12 14 09 1D
1913 1D 09 14 12 0C 1A 06 22 04 39
      04 22 06 1A 0C 12 14 09 1D
1926 1E 09 15 12 0D 1B 06 23 04 31
      04 23 06 1B 0D 12 15 09 1E
1939 1E 09 15 12 0D 1B 06 23 04 2F
      04 23 06 1B 0D 12 15 09 1E
194C 1E 09 15 12 0D 1B 07 24 04 2D
      04 24 07 1B 0D 12 15 09 1E
195F 1E 09 15 12 0D 1B 07 23 04 2D
      04 23 07 1B 0D 12 15 09 1E
1972 1E 09 15 12 0E 1B 07 23 04 2B
      04 23 07 1B 0E 12 15 09 1E
1985 1E 09 15 12 0E 1A 08 23 04 2B
      04 23 08 1A 0E 12 15 09 1E
1998 1E 09 16 12 0E 1A 08 23 04 29
      04 23 08 1A 0E 12 16 09 1E
19AB 1E 09 16 12 0E 1A 08 22 05 29
      05 22 08 1A 0E 12 16 09 1E
19BE 1F 09 16 12 0E 1A 08 22 05 27
      05 22 08 1A 0E 12 16 09 1F
19D1 1F 09 16 12 0F 1A 09 21 05 25
      05 21 09 1A 0F 12 16 09 1F
19E4 1F 09 16 12 0F 1A 09 21 06 25
      06 21 09 1A 0F 12 16 09 1F
19F7 1F 09 17 11 0F 19 09 21 06 25
      06 21 09 19 0F 11 17 09 1F
1A0A 1F 09 17 11 0F 19 0A 20 06 23
      06 20 0A 19 0F 11 17 09 1F
1A1D 1F 09 17 11 10 19 0A 20 07 23
      07 20 0A 19 10 11 17 09 1F
1A30 1F 09 17 11 10 19 0A 1F 07 23
      07 1F 0A 19 10 11 17 09 1F
1A43 1F 09 17 11 10 18 0B 1F 08 21
      08 1F 0B 18 10 11 17 09 1F
1A56 1F 09 17 11 10 18 0B 1E 08 21
      08 1E 0B 18 10 11 17 09 1F
1A69 1F 08 18 11 11 18 0B 1E 08 21
      08 1E 0B 18 11 11 18 08 1F
1A7C 20 08 18 10 11 18 0C 1E 08 21
      08 1E 0C 18 11 10 18 08 20

```

1A8F	20 08 18 10 11 17 0C 1D 09 21
	09 1D 0C 17 11 10 18 08 20
1AA2	20 08 18 10 12 17 0C 1D 09 1F
	09 1D 0C 17 12 10 18 08 20
1AB5	20 08 18 10 12 17 0D 1C 0A 1F
	0A 1C 0D 17 12 10 18 08 20
1AC8	20 08 18 10 12 17 0D 1C 0A 1D
	0A 1C 0D 17 12 10 18 08 20
1ADB	20 08 19 10 12 16 0D 1C 0A 1D
	0A 1C 0D 16 12 10 19 08 20
1AEE	20 08 19 0F 12 16 0D 1B 0B 1D
	0B 1B 0D 16 12 0F 19 08 20
1B01	20 08 19 0F 12 16 0E 1B 0B 1D
	0B 1B 0E 16 12 0F 19 08 20
1B14	20 08 19 0F 13 15 0E 1A 0C 1D
	0C 1A 0E 15 13 0F 19 08 20
1B27	20 08 19 0F 13 15 0E 1A 0C 1D
	0C 1A 0E 15 13 0F 19 08 20
1B3A	20 08 19 0F 13 15 0F 1A 0C 1B
	0C 1A 0F 15 13 0F 19 08 20
1B4D	20 07 1A 0E 14 15 0F 19 0D 1B
	0D 19 0F 15 14 0E 1A 07 20
1B60	21 07 1A 0E 14 14 0F 19 0D 1B
	0D 19 0F 14 14 0E 1A 07 21
1B73	21 07 1A 0E 14 14 10 18 0D 1B
	0D 18 10 14 14 0E 1A 07 21
1B86	21 07 1A 0E 14 14 10 18 0E 19
	0E 18 10 14 14 0E 1A 07 21
1B99	21 07 1A 0E 15 13 10 18 0E 19
	0E 18 10 13 15 0E 1A 07 21
1BAC	21 07 1A 0E 15 13 11 17 0E 19
	0E 17 11 13 15 0E 1A 07 21
1BBF	21 07 1B 0D 15 13 11 17 0F 17
	0F 17 11 13 15 0D 1B 07 21
1BD2	21 07 1B 0D 15 13 11 17 0F 17
	0F 17 11 13 15 0D 1B 07 21
1BE5	21 07 1B 0D 16 12 12 16 0F 17
	0F 16 12 12 16 0D 1B 07 21
1BF8	21 07 1B 0D 16 12 12 16 10 17
	10 16 12 12 16 0D 1B 07 21
1C0B	21 06 1B 0D 16 12 12 15 10 17
	10 15 12 12 16 0D 1B 06 21
1C1E	21 06 1B 0C 16 11 13 15 11 17
	11 15 13 11 16 0C 1B 06 21
1C31	21 06 1C 0C 17 11 13 15 11 15
	11 15 13 11 17 0C 1C 06 21
1C44	22 06 1C 0C 17 11 13 14 11 15
	11 14 13 11 17 0C 1C 06 22
1C57	22 06 1C 0C 17 11 14 14 12 15
	12 14 14 11 17 0C 1C 06 22
1C6A	22 06 1C 0C 17 10 14 13 12 15
	12 13 14 10 17 0C 1C 06 22
1C7D	22 06 1C 0B 18 10 14 13 12 15
	12 13 14 10 18 0B 1C 06 22
1C90	22 06 1C 0B 18 10 14 13 13 13
	13 13 14 10 18 0B 1C 06 22



1CA3 22 06 1D 0B 18 0F 15 12 13 13  
 13 12 15 0F 18 0B 1D 06 22  
 1CB6 22 06 1D 0B 18 0F 15 12 13 13  
 13 12 15 0F 18 0B 1D 06 22  
 1CC9 22 05 1D 0B 19 0F 15 12 14 13  
 14 12 15 0F 19 0B 1D 05 22  
 1CDC 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 14 13  
 14 11 16 0E 19 0A 1D 05 22  
 1CEF 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 14 11  
 14 11 16 0E 19 0A 1D 05 22  
 1D02 22 05 1D 0A 19 0E 16 11 15 11  
 15 11 16 0E 19 0A 1D 05 22  
 1D15 22 05 1E 0A 1A 0E 17 10 15 11  
 15 10 17 0E 1A 0A 1E 05 22  
 1D28 22 05 1E 0A 1A 0D 17 10 16 11  
 16 10 17 0D 1A 0A 1E 05 22  
 1D3B 22 05 1E 09 1A 0D 17 0F 16 11  
 16 0F 17 0D 1A 09 1E 05 22  
 1D4E 23 05 1E 09 1A 0D 18 0F 16 0F  
 16 0F 18 0D 1A 09 1E 05 23  
 1D61 23 05 1E 09 1B 0C 18 0F 17 0F  
 17 0F 18 0C 1B 09 1E 05 23  
 1D74 23 05 1E 09 1B 0C 18 0E 17 0F  
 17 0E 18 0C 1B 09 1E 05 23  
 1D87 23 04 1F 08 1B 0C 19 0E 17 0F  
 17 0E 19 0C 1B 08 1F 04 23  
 1D9A 23 04 1F 08 1B 0B 19 0E 18 0F  
 18 0E 19 0B 1B 08 1F 04 23  
 1DAD 23 04 1F 08 1C 0B 19 0D 18 0F  
 18 0D 19 0B 1C 08 1F 04 23  
 1DC0 23 04 1F 08 1C 0B 1A 0D 18 0D  
 18 0D 1A 0B 1C 08 1F 04 23  
 1DD3 23 04 1F 08 1C 0B 1A 0C 19 0D  
 19 0C 1A 0B 1C 08 1F 04 23  
 1DE6 23 04 20 07 1C 0A 1A 0C 19 0D  
 19 0C 1A 0A 1C 07 20 04 23  
 1DF9 23 04 20 07 1D 0A 1B 0C 19 0D  
 19 0C 1B 0A 1D 07 20 04 23  
 1E0C 23 04 20 07 1D 0A 1B 0B 1A 0B  
 1A 0B 1B 0A 1D 07 20 04 23  
 1E1F 23 04 20 07 1D 09 1B 0B 1A 0B  
 1A 0B 1B 09 1D 07 20 04 23  
 1E32 23 04 20 07 1D 09 1C 0B 1B 0B  
 1B 0B 1C 09 1D 07 20 04 23  
 1E45 23 04 20 06 1D 09 1C 0A 1B 0B  
 1B 0A 1C 09 1D 06 20 04 23  
 1E58 24 04 21 06 1E 08 1C 0A 1B 0B  
 1B 0A 1C 08 1E 06 21 04 24  
 1E6B 24 04 21 06 1E 08 1D 0A 1C 0B  
 1C 0A 1D 08 1E 06 21 04 24  
 1E7E 24 04 21 05 1E 08 1D 09 1C 09  
 1C 09 1D 08 1E 05 21 04 24  
 1E91 24 04 21 05 1F 07 1D 09 1C 09  
 1C 09 1D 07 1F 05 21 04 24  
 1EA4 24 04 21 05 1F 07 1D 09 1D 09  
 1D 09 1D 07 1F 05 21 04 24

```
1EB7  24 04 21 05 1F 07 1D 08 1D 09
      1D 08 1D 07 1F 05 21 04 24
1ECA  24 04 21 05 20 07 1E 07 1D 07
      1D 07 1E 07 20 05 21 04 24
1EDD  24 04 22 04 20 06 1E 07 1D 07
      1D 07 1E 06 20 04 22 04 24
1EF0  24 04 22 04 20 06 1E 07 1E 07
      1E 07 1E 06 20 04 22 04 24
1F03  24 04 22 04 20 06 1E 07 1E 07
      1E 07 1E 06 20 04 22 04 24
1F16  24 04 22 04 20 05 1F 06 1F 07
      1F 06 1F 05 20 04 22 04 24
1F29  24 04 22 04 20 05 1F 06 1F 07
      1F 06 1F 05 20 04 22 04 24
1F3C  24 04 22 04 21 05 20 05 20 07
      20 05 20 05 21 04 22 04 24
1F4F  24 04 22 04 21 05 20 05 20 05
      20 05 20 05 21 04 22 04 24
1F62  24 04 23 03 21 04 20 05 20 05
      20 05 20 04 21 03 23 04 24
1F75  25 04 22 04 21 04 20 05 20 05
      20 05 20 04 21 04 22 04 25
1F88  25 04 22 03 21 04 20 04 20 04
      20 04 20 04 21 03 22 04 25
;
; Akhir data gelombang
;
```

## **LAMPIRAN E**

Rangkaian pembangkit sinyal kendali inverter

