

BAB IV ANALISIS

4.1 Analisis Faktor daya

Analisis yang dilakukan dalam skripsi ini pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui berapa besar faktor daya pada penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa jika dibandingkan dengan penyearah dengan metode kendali sudut penyalaan. Oleh karena itu perlu untuk diketahui berapa besar parameter-parameter yang mempengaruhi faktor daya (THD dan $\cos \varphi$).

Dengan menentukan tegangan keluaran pada beban dengan besaran yang sama, faktor daya pada masing-masing metode pengendalian dibandingkan. Sehingga langkah paling awal adalah menentukan V_{dc} maksimum atau Tegangan keluaran beban maksimum yang nantinya akan berfungsi untuk pembanding pada tiap *level* tegangan.

Pada analisis perhitungan akan dilakukan menggunakan deret fourier. Dengan membentuk arus masukan ke dalam persamaan fourier maka akan bisa diketahui berapa THD dan $\cos \varphi$ pada tiap metode pengendalian sehingga bisa diketahui nilai faktor daya. THD berfungsi untuk mencari $\frac{I_{s1}}{I_s}$ yang merupakan salah satu faktor yang menyebabkan faktor daya menurun.

Pada bagian simulasi, akan dilakukan empat simulasi, akan dilakukan simulasi pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalaan dan metode kendali modulasi lebar pulsa yang masing-masing menggunakan beban bersifat resistif dan beban bersifat induktif. Data-data yang diambil pada simulasi adalah nilai faktor daya, nilai awal induktor pada metode kendali sudut penyalaan beban bersifat induktif dan bentuk arus masukan keluaran.

4.1.1 Penyearah dengan metode kendali sudut penyalaan

4.1.1.1 Menentukan tegangan V_{dc} maksimum

Tegangan dc atau V_{dc} adalah tegangan rata-rata keluaran penyearah. V_{dc} maksimum nantinya berfungsi sebagai pembanding antara tiap tegangan keluaran yang akan digunakan. Tegangan keluaran rata-rata dicari dengan menggunakan

persamaan 2.13. Untuk mencari nilai maksimum maka nilai α adalah 0 (nol). Dari sumber tegangan 220 volt rms maka didapatkan tegangan puncak V_m sebesar

$$V_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311.127 \text{ V}$$

Maka akan didapatkan.

$$V_{dcmax} = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega t) = 198.1700 \text{ volt}$$

Setelah V_{dc} maksimum diketahui maka akan ditentukan tegangan rata-rata output pada beban. Tegangan output beban akan diawali dari 20% dari tegangan beban maksimum (V_{dcmax}) sampai 100% dari V_{dcmax} , tegangan akan ditingkatkan dengan *interval* 20%.

4.1.1.2 Penentuan variabel – variabel tegangan beban

Variabel pada penyearah yang akan dicari untuk menentukan nilai tegangan beban adalah besar nilai sudut penyalan atau α . Nilai α akan dicari pada tiap *level* tegangan beban yang telah ditentukan diatas. Dengan nilai α maka akan bisa digunakan untuk mengubah arus dari kawasan waktu menjadi bentuk fourier yang nantinya digunakan untuk analisis pada langkah selanjutnya.

Untuk mencari nilai α bisa menggunakan persamaan 2.14

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{V_{dc} \cdot \pi}{V_m} - 1 \right)$$

Dengan $V_{dc} = 20\% V_{dcmax}$ maka

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{0.2 \cdot V_{dcmax} \cdot \pi}{V_m} - 1 \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{0.2 \cdot 198,17 \cdot \pi}{311,127} - 1 \right)$$

$$\alpha = 2.2142^\circ$$

Dari perhitungan menggunakan persamaan diatas didapatkan hasil pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Nilai sudut penyalan pada tiap level tegangan

Nilai V_{dc} (% V_{dcmax})	Nilai alpha (Derajat radian)
20	2.2143
40	1.7722
60	1.3694
80	0.9273
100	0

Sumber: Hasil perhitungan

4.1.1.3 Analisis menggunakan deret fourier pada beban bersifat resistif

Untuk mengetahui berapa berapa nilai dari parameter-parameter faktor daya maka arus masukan fundamental dan harmonisa arus masukan harus diketahui. Untuk mencari arus fundamental dan harmonisa maka bisa dilakukan dengan analisis menggunakan deret fourier. Dari deret fourier ini nantinya arus masukan akan diuraikan dari sinyal fundamental yaitu I_{s1} sampai arus harmonisa ke 10 atau I_{s10} .

Dalam deret fourier nantinya akan dicari beberapa koefisien fourier yaitu a_0 , a_n dan b_n . Untuk mencari koefisien a_n digunakan persamaan 2.15 dengan memasukkan nilai sudut penyalan $=2.2143^\circ$ (20% V_{dcmax}) dan persamaan untuk mencari koefisien fourier untuk beban bersifat resistif menjadi.

$$a_1 = \frac{311.127}{100} \cdot \frac{1}{\pi} \left[\int_{2.2143}^{\pi} \sin \omega t \cos 1\omega t d(\omega t) + \int_{2.2143+\pi}^{2\pi} \sin \omega t \cos 1\omega t d(\omega t) \right]$$

$$a_1 = -0.6325$$

Untuk menghitung b_n digunakan persamaan 2.16 sehingga persamaan menjadi

$$b_1 = \frac{311.127}{100} \cdot \frac{1}{\pi} \left[\int_{2.2143}^{\pi} \sin \omega t \sin 1\omega t d(\omega t) + \int_{2.2143+\pi}^{2\pi} \sin \omega t \sin 1\omega t d(\omega t) \right]$$

$$b_1 = 0.44138$$

Setelah koefisien fourier diketahui maka perlu dicari berapa nilai dari arus rms ke n sama dengan 1 atau I_{s1} dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$I_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(-0.6325^2 + 0.44138^2)}$$

$$I_{s1} = 0.54537 \text{ ampere}$$

Hasil perhitungan I_{sn} dengan nilai n selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.2:

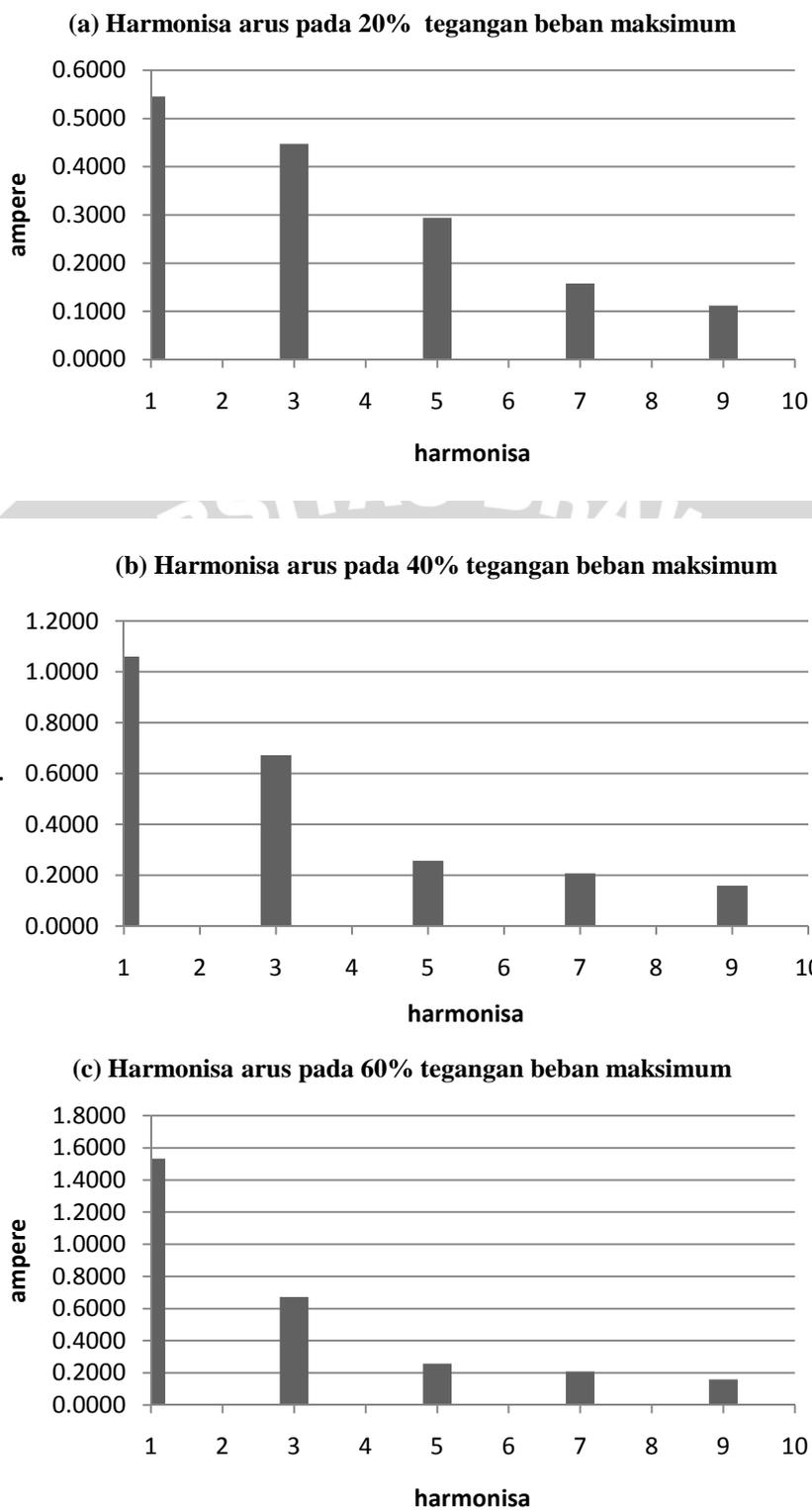
Tabel 4.2. Data arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat resistif.

Harmonisa ke	I_{sn} pada masing-masing level tegangan beban (ampere)				
	20% V_{dcmax}	40% V_{dcmax}	60% V_{dcmax}	80% V_{dcmax}	100% V_{dcmax}
1	0.5454	1.0602	1.5321	1.9381	2.1991
2	0	0	0	0	0
3	0.4472	0.6718	0.6722	0.4483	0
4	0	0	0	0	0
5	0.2940	0.2575	0.2572	0.2942	0
6	0	0	0	0	0
7	0.1578	0.2074	0.2078	0.1577	0
8	0	0	0	0	0
9	0.1119	0.1592	0.1590	0.1122	0
10	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil perhitungan

Representasi dari Tabel 4.2 dapat dilihat di Gambar 4.1 sampai 4.2.

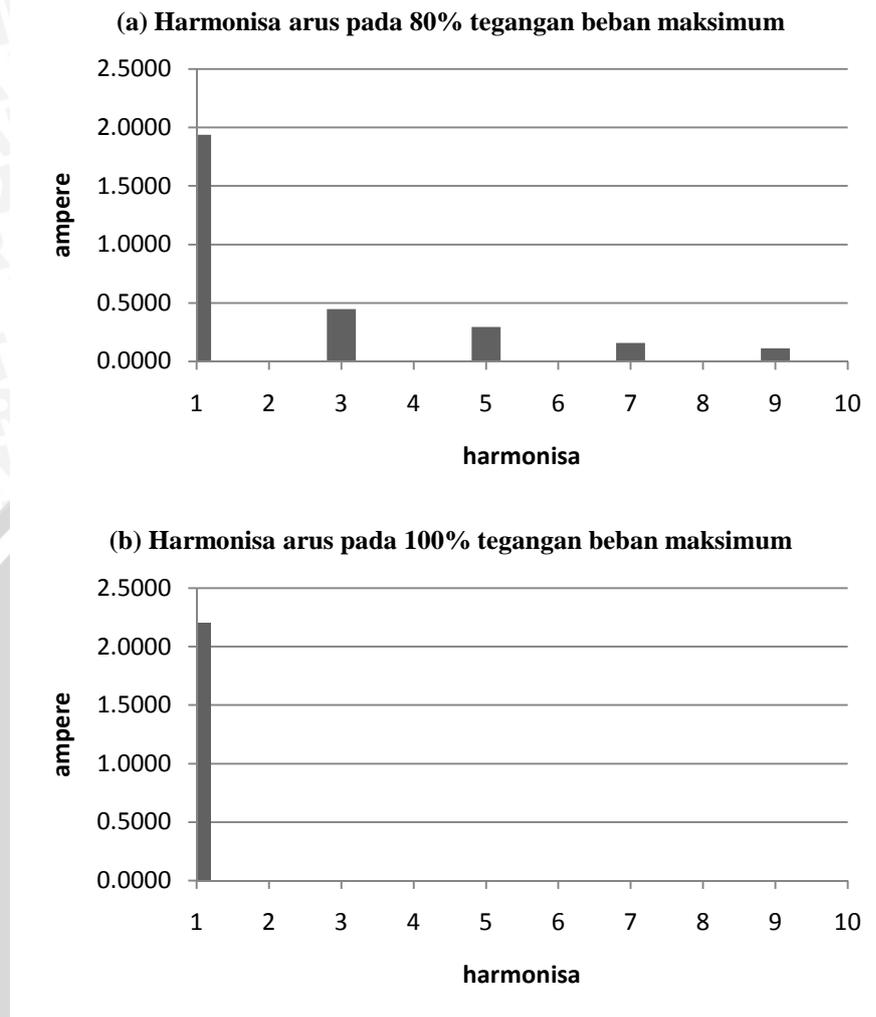
Harmonisa yang keluar pada arus masukan adalah harmonisa ganjil



Gambar 4.1 Grafik arus harmonisa penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat resistif: (a)20% V_{dcmax}

(b)40% V_{dcmax} (c)60% V_{dcmax}

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.2 Grafik arus harmonisa penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat resistif:

(a) 80% V_{dmax} (b) 100% V_{dmax}

Sumber: Hasil perhitungan

Pada tegangan beban maksimum, hanya nilai arus fundamentalnya saja yang keluar, ini disebabkan karena pada kondisi ini konverter konduksi secara alamiah pada sudut $\alpha = 0$ dan terkomutasi secara alamiah pada $\omega t = 3.14$, hal ini sama dengan membuat sumber menghantarkan semua tegangan sumber ke beban, sebagaimana sumber tegangan yang langsung dihubungkan dengan beban. sehingga sebagaimana beban bersifat resistif yang dialiri tegangan sinus maka arus akan berbentuk sama dengan sumber. Dengan arus yang berbentuk sinusoidal murni maka hanya nilai komponen sinus pada frekuensi 50 Hz saja yang keluar yaitu b_{n1} saja yang keluar sedangkan nilai komponen cosinus pada frekuensi 50Hz yaitu a_{n1} bernilai nol.

Pada sudut penyalan beban pada V_{dcmax} 80%, V_{dcmax} 60%, V_{dcmax} 40%, V_{dcmax} 20%, nilai harmonisa secara urut semakin besar. Hal ini disebabkan karena terjadi konduksi paksa pada rangkaian, sehingga akan memicu arus harmonisa. Pada tegangan rata-rata yang bernilai kecil misal pada V_{dcmax} 20% yang mempunyai nilai paling besar, tegangan terkonduksi secara paksa pada sudut 2.2143, dan terkomutasi secara alamiah pada sudut 3.14°.

4.1.1.4 Analisis faktor daya pada beban bersifat resistif

Nilai rms arus distorsi masukan didapat dari persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{dist} = \sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} I_{sn}^2}$$

Untuk level tegangan beban sebesar 20% V_{dcmax} dengan I_{s1} dari Tabel 4.2, maka nilai distorsi arus masukan sebesar:

$$I_{dist} = \sqrt{0.4472^2 + 0.2940^2 + 0.1578^2 + 0.1119^2} = 0.5691 \text{ ampere}$$

Sehingga bisa didapatkan nilai THD menggunakan persamaan 2.10, maka didapatkan :

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{I_{dist}}{I_{s1}}$$

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{0.5691}{0.5454} = 104.3512\%$$

Untuk menghitung faktor daya, maka perlu dihitung berapa nilai dari DPF yang bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.32, sebelum menghitung DPF perlu diketahui berapa nilai dari sudut pergeserannya menggunakan persamaan 2.7 :

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{a_1}{b_1}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{-63.25}{44.138} = -0.9615$$

Sehingga nilai DPF:

$$DPF = \cos \varphi_1$$

$$DPF = \cos -0.9615 = 0.5723$$

Setelah DPF diketahui maka faktor daya bisa diketahui dengan persamaan 2.34:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} DPF$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{104.3512}{100}\right]^2}} 0.5723$$

$$PF = 0.6919 \cdot 0.5723 = 0.3959$$

Untuk faktor daya dan parameter pembentuknya pada *level* tegangan beban selanjutnya bisa dilihat pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Tabel nilai THD, sudut pergeseran, DPF dan faktor daya pada beban bersifat resistif pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan.

Level tegangan beban (V_{dmax})	THD(%)	sudut pergeseran (radian)	metode $\frac{I_{s1}}{I_s}$	DPF	faktor daya
20%	104.3512	-0.9615	0.6919	0.5723	0.3959
40%	72.2003	-0.6862	0.8108	0.7737	0.6272
60%	49.9846	-0.4542	0.8945	0.8986	0.8038
80%	29.4145	-0.2334	0.9594	0.9729	0.9333
100%	0	0	1	1	1

Sumber: Hasil perhitungan

4.1.1.5 Analisis menggunakan deret fourier pada beban bersifat induktif

Beban yang digunakan pada skripsi ini adalah beban bersifat resistif dan bersifat induktif. Nilai induktor yang digunakan adalah $L=50$ mH dan nilai resistansi yang digunakan adalah $R=100 \Omega$. Untuk nilai impedansi bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$Z = 100 + j 2\pi f \times 50 \times 0.05 \Omega$$

$$Z = 100 + j 15.7 \Omega$$

Maka nilai sudut dari impedansi:

$$\varphi = 0.1556^\circ$$

dan nilai magnitudo Z sama dengan

$$|Z|=101.2249 \text{ ohm}$$

Dalam deret fourier nantinya akan dicari beberapa koefisien fourier yaitu a_0 , a_n dan b_n . Untuk mencari koefisien a_n digunakan persamaan 2.19 dengan memasukkan nilai sudut pernyalaan $\alpha=2.2143^\circ$ (20% $V_{d\max}$) dan Dengan nilai A pada persamaan 2.18 diatas sebesar:

$$A = \frac{V_m}{z} \left[\frac{\sin(\pi - \varphi) e^{-\left(\frac{R}{\omega L}\right)} - \sin(\alpha - \varphi)}{1 - e^{-\left(\frac{\pi R}{\omega L}\right)}} \right]$$

$$A = \frac{311.127}{101.2249} \left[\frac{\sin(\pi - 0.1556) e^{-\left(\frac{2.2143 \cdot 100}{\omega 0.05}\right)} - \sin(2.2143 - 0.1556)}{1 - e^{-\left(\frac{2.2143 \cdot 100}{\omega 0.05}\right)}} \right]$$

$$A = -2.7125 \text{ ampere}$$

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien fourier untuk beban bersifat induktif menjadi.

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{2.2143}^{\pi} \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 2.2143) \frac{100}{\omega 0.05}}] \cos 1\omega t d(\omega t) + \int_{2.2143+\pi}^{2\pi} \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 126.9342) \frac{100}{\omega 0.05}}] \cos 1\omega t d(\omega t) \right]$$

$$a_1 = -0.6386$$

Untuk menghitung b_n digunakan persamaan 2.20 sehingga persamaan menjadi

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{2.2143}^{\pi} \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 2.2143) \frac{100}{\omega 0.05}}] \sin 1\omega t d(\omega t) + \int_{2.2143+\pi}^{2\pi} \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 2.2143) \frac{100}{\omega 0.05}}] \sin 1\omega t d(\omega t) \right]$$

$$b_1 = 0.3410$$

Setelah dicari koefisien fourier dari persamaan arus maka dapat dicari berapa nilai rms dari tiap harmonisa ke n dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$I_{sn} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(-0.6386^2 + 0.3410^2)}$$

$$I_{sn} = 0.51192 \text{ ampere}$$

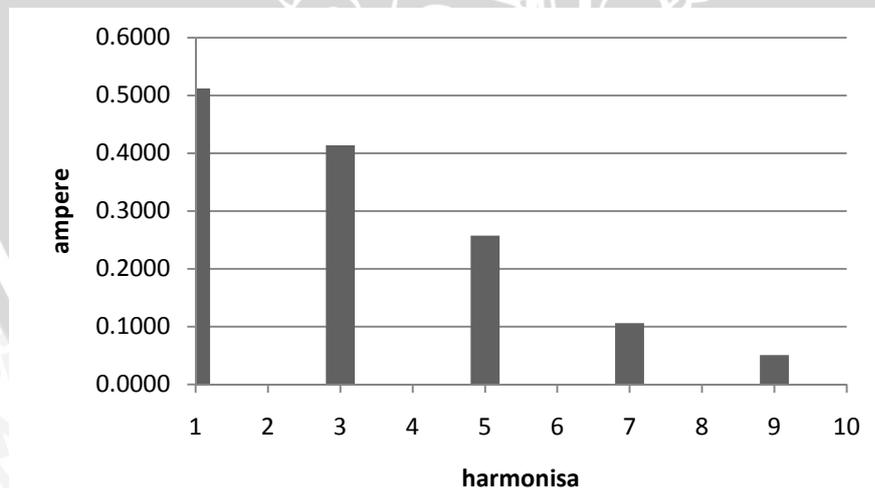
Dengan melanjutkan perhitungan pada nilai n selanjutnya maka didapatkan I_{sn} seperti pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4. Data arus harmonisa pada masukan penyearah dengan kendali sudut penyalan pada beban bersifat induktif

Harmonisa ke	I_{sn} pada masing-masing <i>level</i> tegangan beban (ampere)				
	20% V_{dcmax}	40% V_{dcmax}	60% V_{dcmax}	80% V_{dcmax}	100% V_{dcmax}
1	0.5119	1.0263	1.4990	1.9072	2.1734
2	0	0	0	0	0
3	0.4139	0.6360	0.6366	0.4153	0.0615
4	0	0	0	0	0
5	0.2575	0.1936	0.1927	0.2581	0.0534
6	0	0	0	0	0
7	0.1059	0.1482	0.1491	0.1051	0.0457
8	0	0	0	0	0
9	0.0504	0.1004	0.0995	0.0510	0.0392
10	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil perhitungan

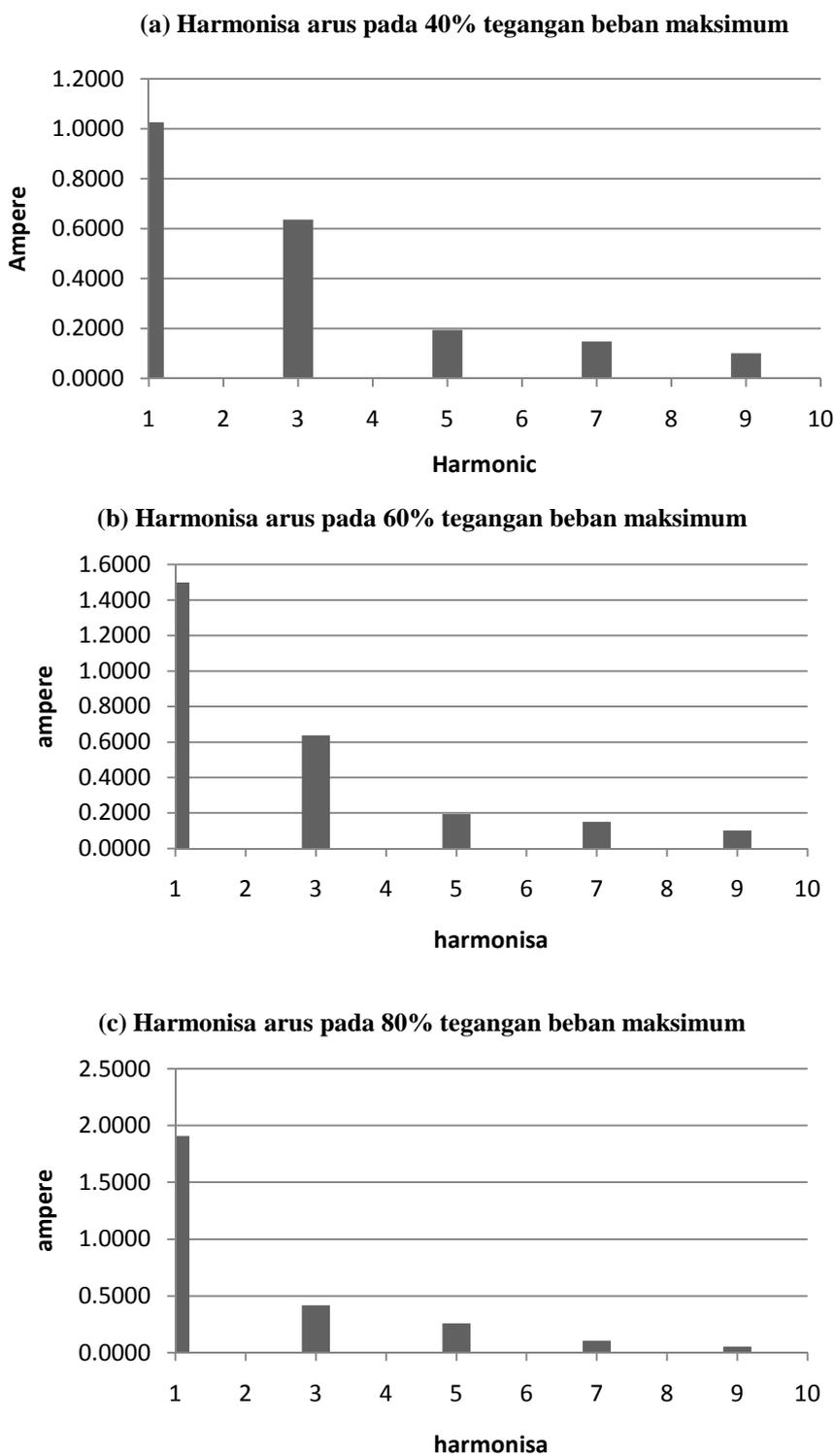
Harmonisa arus masukan pada sudut penyalan pada n yang semakin tinggi bernilai semakin lama semakin kecil. Representasi dari Tabel 4.4 dapat dilihat di Gambar 4.3 sampai dengan Gambar 4.5.



Gambar 4.3 Grafik harmonisa arus masukan pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat Induktif

20% V_{dcmax}

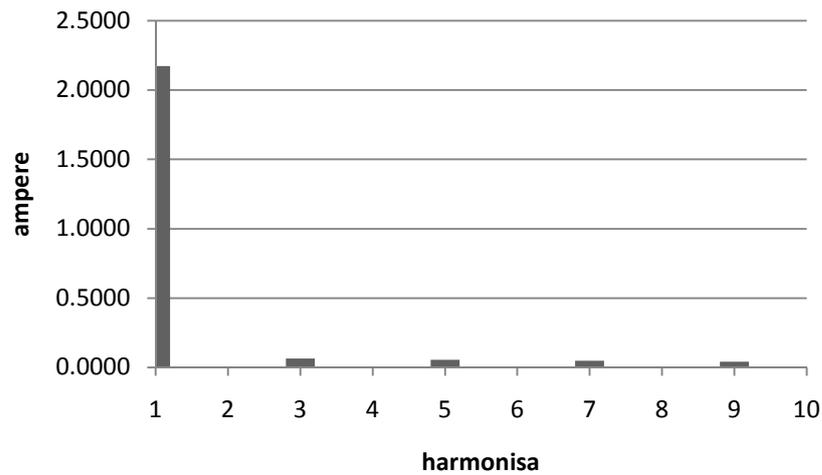
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.4 Grafik harmonisa arus masukan pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat Induktif :

(a)20% V_{dcmax} (b)40% V_{dcmax} (c)60% V_{dcmax}

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.5 Grafik harmonisa arus masukan pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan pada beban bersifat Induktif 100% $V_{dcm\max}$
Sumber: Hasil perhitungan

Pada tegangan beban maksimum (100% $V_{dcm\max}$), munculnya arus harmonisa pada frekuensi kelipatan fundamental yang lain ini disebabkan karena pada kondisi ini konverter menghantarkan semua tegangan sumber ke beban, sehingga sebagaimana beban bersifat Induktif yang dialiri tegangan sinus maka respon arus akan tertinggal dengan tegangan. Arus yang tertinggal pada penyearah setengah terkendali akan diteruskan oleh dioda *freewheel* untuk menyuplai beban bersifat resistif. Karena dioda *freewheel* ini maka arus masukan menjadi terkomutasi dengan arus yang curam oleh diode *freewheel* ini pada sudut 3.14° . Nilai arus fundamental pada beban bersifat induktif lebih kecil dari beban bersifat resistif karena beban induktor adalah komponen yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh nilai frekuensi. Sedangkan untuk harmonisa, hanya nilai komponen sinus pada frekuensi 50 Hz saja yang keluar yaitu b_{n1} sedangkan nilai komponen cosinus pada frekuensi 50Hz yaitu a_1 bernilai relatif kecil.

Pada sudut penyalan beban pada $V_{dcm\max}$ 80%, $V_{dcm\max}$ 60%, $V_{dcm\max}$ 40%, $V_{dcm\max}$ 20%, nilai harmonisa secara urut semakin besar. Hal ini disebabkan karena pada tegangan rata-rata yang bernilai kecil misal pada $V_{dcm\max}$ 20% yang mempunyai nilai paling besar, tegangan terkonduksi pada sudut 2.2143° , dan terkomutasi secara alamiah pada sudut 3.14° , dengan konduksi tegangan yang singkat dapat memicu arus harmonisa meningkat.

Sebagai tambahan untuk penyearah dengan metode kendali sudut penyalaaan, untuk melihat hubungan sudut penyalaaan (α) terhadap perbandingan tegangan keluaran $\frac{V_{dc\alpha}}{V_{dc0}}$, maka perlu diketahui nilai tegangan keluaran rata-rata tiap α . Dengan menggunakan persamaan 2.14 maka didapatkan.

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$V_{dc} = \frac{311.127}{\pi} (1 + \cos 10) = 196.6663 \text{ volt}$$

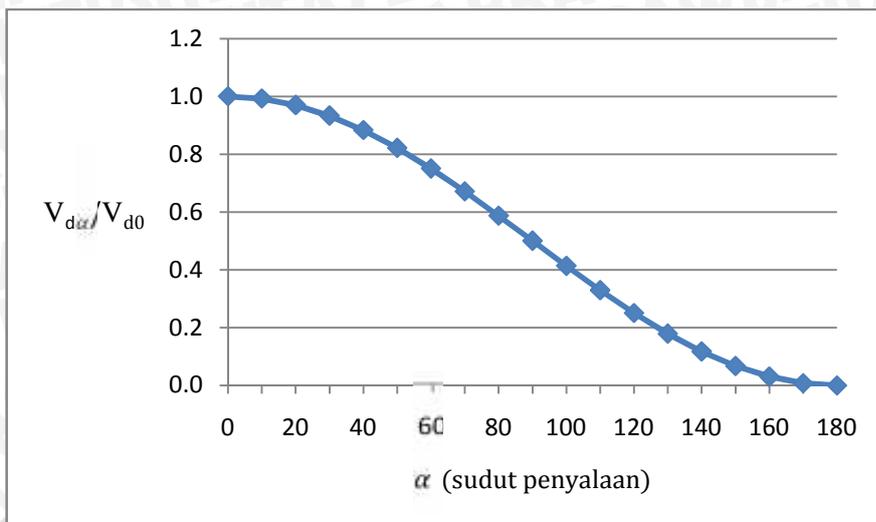
Untuk perhitungan selanjutnya bisa dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data perhitungan tegangan keluaran dengan fungsi α

derajat)	$V_{dc\alpha}$	V_{dc0}	$\frac{V_{dc\alpha}}{V_{dc0}}$
0	198.1701	198.17	1.00
10	196.6663	198.17	0.99
20	192.2005	198.17	0.97
30	184.9083	198.17	0.93
40	175.0111	198.17	0.88
50	162.8092	198.17	0.82
60	148.6731	198.17	0.75
70	133.0318	198.17	0.67
80	116.3600	198.17	0.59
90	99.1639	198.17	0.50
100	81.9654	198.17	0.41
110	65.2866	198.17	0.33
120	49.6337	198.17	0.25
130	35.4817	198.17	0.18
140	23.2604	198.17	0.12
150	13.3407	198.17	0.07
160	6.0236	198.17	0.03
170	1.5313	198.17	0.01
180	0	198.17	0.00

Sumber: Hasil perhitungan

Representasi dari Tabel 4.5 tampak pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Karakteristik pengaturan pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan.

Sumber: Hasil perhitungan

Gambar diatas menunjukkan bahwa penyearah bekerja pada kuadran 1, hal ini bisa diketahui karena dari nilai $\alpha=0$ sampai $\alpha=180^\circ$ nilai tegangan keluaran penyearah selalu bernilai 1.

4.1.1.6 Analisis faktor daya pada beban bersifat induktif

Nilai rms arus distorsi masukan didapat dari persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{dist} = \sqrt{\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} I_{sn}^2}$$

Untuk level tegangan beban sebesar 20% V_{dmax} dengan I_{s1} dari Tabel 4.4, maka nilai distorsi arus masukan sebesar:

$$I_{dist} = \sqrt{0.4139^2 + 0.2575^2 + 0.1059^2 + 0.0504^2} = 0.5014 \text{ ampere}$$

Sehingga bisa didapatkan nilai THD menggunakan persamaan 2.10, maka didapatkan :

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{I_{dist}}{I_{s1}}$$

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{0.5014}{0.5119} = 97.94 \%$$



Untuk menghitung faktor daya, maka perlu dihitung berapa nilai dari DPF yang bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.32, sebelum menghitung DPF perlu diketahui berapa nilai dari sudut pergeserannya menggunakan persamaan 2.7 :

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{a_1}{b_1}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{-0.6386}{0.3410} = -1.0804^\circ$$

Sehingga nilai DPF:

$$DPF = \cos \varphi_1$$

$$DPF = \cos -1.0804 = 0.4710$$

Setelah DPF diketahui maka faktor daya bisa diketahui dengan persamaan 2.34:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} DPF$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1+\left|\frac{97.94}{100}\right|^2}} 0.4710$$

$$PF = 0.7144 \cdot 0.4710 = 0.3365$$

Untuk faktor daya dan parameter pembentuknya pada *level* tegangan beban selanjutnya bisa dilihat pada Tabel 4.6:

Tabel 4.6 Tabel nilai THD, sudut pergeseran, DPF dan faktor daya pada beban bersifat induktif pada penyearah dengan metode kendali sudut penyalan.

Level tegangan beban (V_{dcmax})	THD(%)	sudut pergeseran (radian)	metode $\frac{I_{s1}}{I_s}$	DPF	faktor daya
20%	97.9400	-1.0804	0.7144	0.4710	0.3365
40%	67.0818	-0.8167	0.8305	0.6846	0.5685
60%	45.9535	-0.5899	0.9087	0.8310	0.7551
80%	26.3619	-0.3720	0.9670	0.9316	0.9008
100%	4.6606	-0.1249	0.9989	0.9922	0.9911

Sumber: Hasil perhitungan

4.1.2 Penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa

Penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa mempunyai karakteristik nilai tegangan yang tidak kontinu pada setengah perioda. Berikut akan dilakukan analisis penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa.

4.1.2.1 Penentuan variabel – variabel tegangan beban

Untuk mengetahui variabel tegangan perlu diketahui berapa tegangan beban maksimum atau V_{dc} maksimum. Untuk mengetahui berapa nilai tegangan V_{dc} maksimum yang digunakan bisa dilihat pada sub-bab 4.1.1.1. nilai p yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai p sama dengan 4.

Metode kendali modulasi lebar pulsa mempunyai tegangan keluaran yang simetri. Variabel-variabel pada pengendali modulasi lebar pulsa adalah m dan δ_m . Untuk mencari nilai m harus dicari terlebih dahulu nilai δ_m pada keadaan tegangan beban 20% dari tegangan beban maksimum yaitu menggunakan persamaan 2.23.

$$\delta_m = \frac{0.5}{f} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{\text{persen} V_{dc}}{100} \cdot 2\pi f$$

$$\delta_m = \frac{0.5}{50} \cdot \frac{0.2}{4} \cdot 314 = 0.157^\circ$$

Setelah nilai δ_m diketahui, maka bisa dicari nilai m . m dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.24

$$\alpha_m = \left[\left(\frac{0.5}{f} \cdot \frac{1}{p} \right) - \left\{ \left(\frac{0.5}{f} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{\text{persen} V_{dc}}{100} \right) \right\} \right] 0.5 \cdot 2\pi f$$

$$\alpha_m = \left[\left(\frac{0.5}{50} \cdot \frac{1}{4} \right) - \left\{ \left(\frac{0.5}{50} \cdot \frac{0.2}{4} \right) \right\} \right] 0.5 \cdot 314 = 0.314^\circ$$

Nilai δ_m dan m ditunjukkan pada Tabel 4.7. dan Tabel 4.8

Tabel 4.7. Data lama satu pulsa menyala (δ_m) pada setiap pulsa pada tiap *level* tegangan.

% V_{dc} max	δ_m (radian)
20%	0.157
40%	0.314
60%	0.471
80%	0.628
100%	0.785

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.8. Data sudut awal satu pulsa menyala (α_m) pada setiap pulsa pada tiap *level* tegangan.

% V_{dc} max	α_m (radian)
20%	0.314
40%	0.2355
60%	0.157
80%	0.0785
100%	0

Sumber: Hasil perhitungan

4.1.2.2 Analisis menggunakan deret fourier pada beban bersifat resistif

Dalam deret fourier nantinya akan dicari beberapa koefisien fourier yaitu a_0 , a_n dan b_n . Untuk mencari koefisien a_n digunakan persamaan 2.25 dengan memasukkan nilai variabel-variabel m dan δ_m , dengan nilai $\delta_m = 0.157$ dan $m = 0.314$ sehingga nilai a_n untuk *level* tegangan sebesar 20% V_{dcmax} menjadi:

$$a_n = \frac{311.127}{100} \cdot \frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^4 \left[\int_{0.314}^{0.314+0.157} \sin \omega t \cos n\omega t d(\omega t) + \int_{0.314+\pi}^{0.314+0.157+\pi} \sin \omega t \cos n\omega t d(\omega t) \right]$$

$$a_n = 0$$

Untuk menghitung b_n digunakan persamaan 2.26 sehingga persamaan menjadi

$$b_n = \frac{311.127}{100} \cdot \frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^4 \left[\int_{0.314}^{0.314+0.157} \sin \omega t \sin n\omega t d(\omega t) + \int_{0.314+\pi}^{0.314+0.157+\pi} \sin \omega t \sin n\omega t d(\omega t) \right]$$

$$b_n = 0.622$$

Setelah koefisien fourier diketahui maka perlu dicari berapa nilai dari arus rms ke 1 dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$I_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(0^2 + 0.622^2)} = 0.43982 \text{ ampere}$$

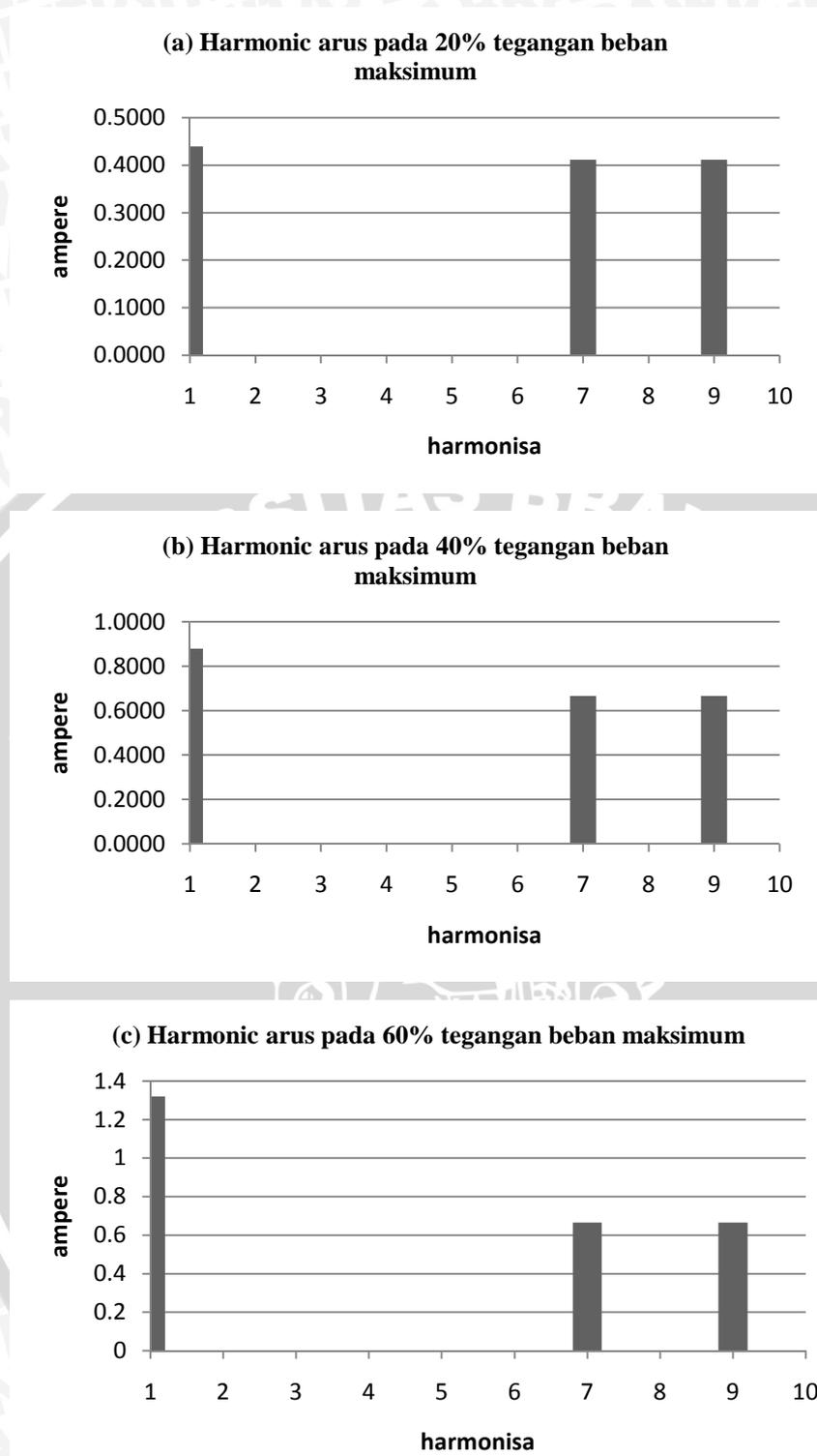
Hasil perhitungan I_{sn} dengan nilai n selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Data arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa dengan beban bersifat resistif.

Harmonisa ke	I_{sn} pada masing-masing level tegangan beban (ampere)				
	20% V_{dcmax}	40% V_{dcmax}	60% V_{dcmax}	80% V_{dcmax}	100% V_{dcmax}
1	0.4398	0.8796	1.3195	1.7593	2.1991
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0.4115	0.6657	0.6657	0.4115	0
8	0	0	0	0	0
9	0.4115	0.6657	0.6657	0.4115	0
10	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil perhitungan

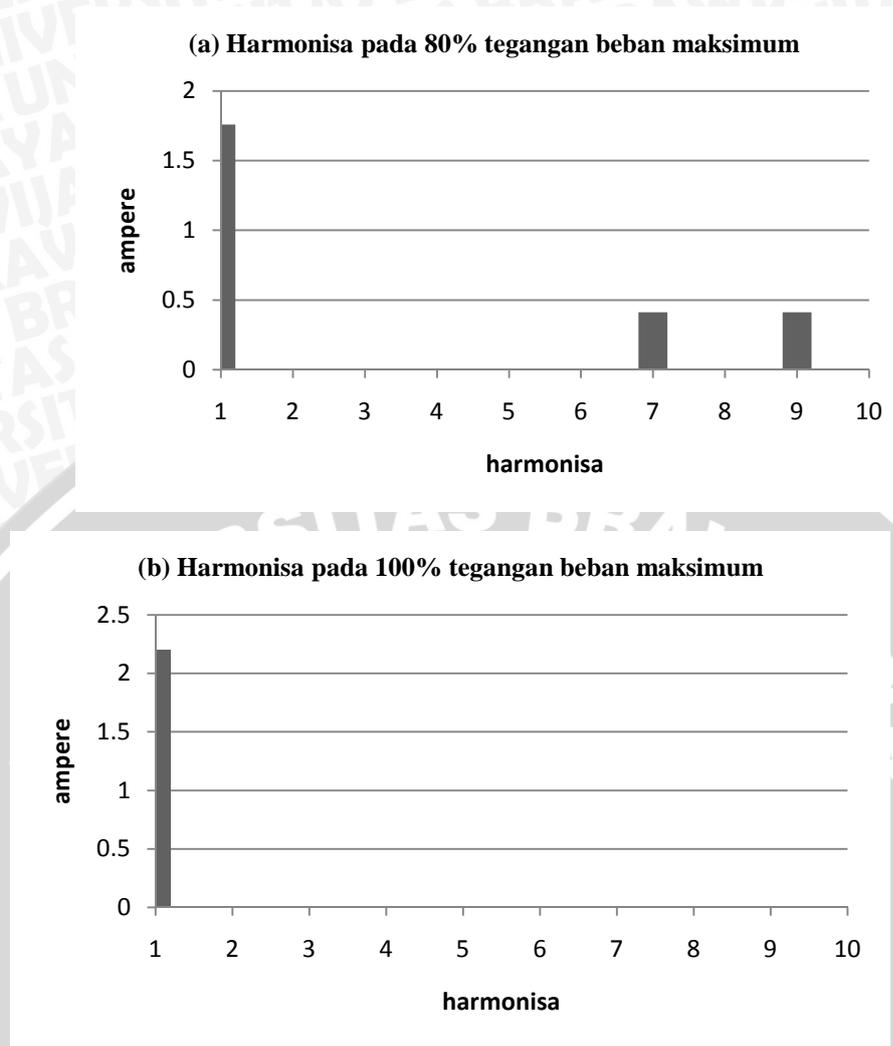
Pada metode kendali modulasi lebar pulsa harmonisa arus masukan pada jumlah pulsa persetengah siklus yang semakin tinggi maka nilai harmonisa akan muncul pada nilai n yang tinggi. Representasi dari Tabel 4.9 dapat dilihat di Gambar 4.7 sampai Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Grafik arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat resistif

(a) 20% V_{dcmax} (b) 40% V_{dcmax} (c) 60% V_{dcmax}

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.8 Grafik arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat resistif

(a) $80\% V_{dcmax}$ (b) $100\% V_{dcmax}$

Sumber: Hasil perhitungan

Pada tegangan beban maksimum, hanya nilai fundamentalnya saja yang keluar, disebabkan pada kondisi ini konverter konduksi secara alamiah pada sudut $\alpha = 0$ dan terkomutasi secara alamiah pada $\beta = 3.14$, hal ini setara dengan membuat sumber menghantarkan semua tegangan sumber ke beban, sebagaimana sumber tegangan yang langsung dihubungkan dengan beban bersifat resistif yang dialiri tegangan sinus maka arus akan berbentuk sama dengan sumber. Dengan arus yang berbentuk sinusoida murni maka hanya nilai koefisien fourier sinus pada frekuensi 50 Hz saja yang keluar yaitu b_{n1} saja yang keluar sedangkan nilai koefisien fourier cosinus pada frekuensi 50Hz a_1 bernilai nol.

Pada 20% sampai 80% tegangan beban maksimum nilai harmonisa yang keluar hanya pada 2 frekuensi kelipatan fundamental dan dengan nilai magnitude arus yang sama dikarenakan hanya nilai komponen sinus pada frekuensi 350 Hz dan 450 Hz saja yang keluar yaitu b_{n7} dan b_{n9} sedangkan nilai komponen cosinus a_{n7} dan a_{n9} bernilai nol. Harmonisa terjadi karena arus terkonduksi dan terkomutasi secara paksa, sehingga menaikkan arus harmonisa. Arus terkonduksi dan terkomutasi beberapa kali sehingga menghasilkan 8 jalur konduksi pada 1 periode, sehingga arus harmonisa yang keluar adalah harmonisa 7 dan 9.

4.1.2.3 Analisis faktor daya pada beban bersifat resistif

Nilai rms arus distorsi masukan didapat dari persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{dist} = \sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} I_{sn}^2}$$

Untuk *level* tegangan beban sebesar 20% V_{dcmax} dengan I_{s1} dari Tabel 4.9, maka nilai distorsi arus masukan sebesar:

$$I_{dist} = \sqrt{0.4115^2 + 0.4115^2} = 0.5289 \text{ ampere}$$

Sehingga bisa didapatkan nilai THD menggunakan persamaan 2.10, maka didapatkan :

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{I_{dist}}{I_{s1}}$$

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{0.5289}{0.4398} = 132.2982\%$$

Untuk menghitung faktor daya, maka perlu dihitung berapa nilai dari DPF yang bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.32, sebelum menghitung DPF perlu diketahui berapa nilai dari sudut pergeserannya menggunakan persamaan 2.7 :

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{a_1}{b_1}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{0}{62.2} = 0^\circ$$

Sehingga nilai DPF:

$$DPF = \cos \varphi_1$$

$$DPF = \cos 0 = 1$$

Setelah DPF diketahui maka faktor daya bisa diketahui dengan persamaan 2.34:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \cdot DPF$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{132.2982}{100}\right]^2}} \cdot 1$$

$$PF = 0,6030 \cdot 1 = 0,6030$$

Untuk faktor daya dan parameter pembentuknya pada *level* tegangan beban selanjutnya bisa dilihat pada Tabel 4.10:

Tabel 4.10 Tabel nilai THD, sudut pergeseran, DPF dan faktor daya pada beban bersifat resistif pada penyearah dengan kendali modulasi lebar pulsa.

Level tegangan beban (V_{dcmax})	THD(%)	sudut pergeseran (radian)	$\frac{I_{s1}}{I_s}$	DPF	faktor daya
20%	132.2982	0	0.6030	1	0.6030
40%	107.0315	0	0.6827	1	0.6827
60%	71.3543	0	0.8140	1	0.8140
80%	33.0745	0	0.9494	1	0.9494
100%	0	0	1	1	1

Sumber: Hasil perhitungan

4.1.2.4 Analisis menggunakan deret fourier pada beban bersifat induktif

Beban yang digunakan pada skripsi ini adalah beban bersifat resistif dan bersifat induktif. Nilai induktor yang digunakan adalah $L=50$ mH dan nilai resistansi yang digunakan adalah $R=100$. Untuk nilai impedansi bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$z = 100 + j 2\pi f \times 50 \times 0.05 \Omega$$

$$z = 100 + j 15.7 \Omega$$

sehingga Nilai magnitude Z sama dengan

$$|Z|=101.2249 \text{ ohm}$$

Maka nilai sudut dari impedansi:

$$\varphi = 0.1556^\circ$$

Dalam deret fourier nantinya akan dicari beberapa koefisien fourier yaitu a_0 , a_n dan b_n . Untuk mencari koefisien a_n digunakan persamaan 2.18 dengan memasukkan nilai sudut $\delta_m = 0.157$ dan $m = 0.314$ ($20\% V_{dcmax}$) dan Dengan nilai A pada persamaan diatas diambil dari simulasi. A adalah nilai awal induktor. Adapun nilai arus awal induktor yang diambil dari simulasi tampak pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Tabel nilai arus sisa pada induktor pada penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa.

Level Tegangan Beban (V_{dcmax})	Arus sisa pada induktor (mA)			
20%	0	0	100	250
40%	0	25	150	570
60%	0	100	350	1100
80%	0	50	300	900

Sumber: simulasi

Sehingga persamaan untuk mencari koefisien fourier untuk beban bersifat induktif menjadi:

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^4 \left[\int_{0.314}^{0.314+0.157} \left\{ \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 0.314) \frac{100}{\omega 0.05}}] \cos 1\omega t d(\omega t) \right\} + \int_{0.314+\pi}^{0.314+0.157+\pi} \left\{ \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 0.314 + \pi) \frac{100}{\omega 0.05}}] \cos 1\omega t d(\omega t) \right\} \right]$$

$$a_1 = -0.01007$$

Untuk menghitung b_n digunakan persamaan 2.28 sehingga persamaan menjadi

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^4 \left[\int_{0.314}^{0.314+0.157} \left\{ \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 0.314) \frac{100}{\omega 0.05}}] \sin 1\omega t d(\omega t) \right\} + \int_{0.314+\pi}^{0.314+0.157+\pi} \left\{ \frac{311.127}{101.2249} [\sin(\omega t - 0.1556) + A e^{-(\omega t - 0.314 + \pi) \frac{100}{\omega 0.05}}] \sin 1\omega t d(\omega t) \right\} \right]$$

$$b_1 = 0.22828$$

Setelah dicari koefisien fourier dari persamaan arus maka dapat dicari berapa nilai rms dari tiap harmonisa ke n sama dengan 1 dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$I_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(-0.01007^2 + 0.22828^2)}$$

$$I_{s1} \approx 0.16157 \text{ ampere}$$

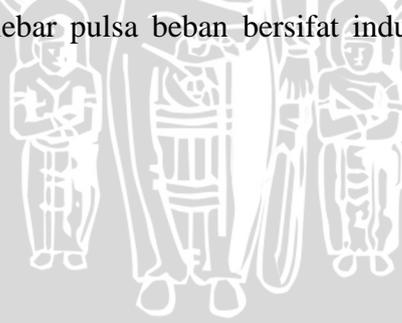
Dengan melanjutkan perhitungan pada nilai n selanjutnya maka didapatkan I_{sn} seperti pada Tabel 4.12:

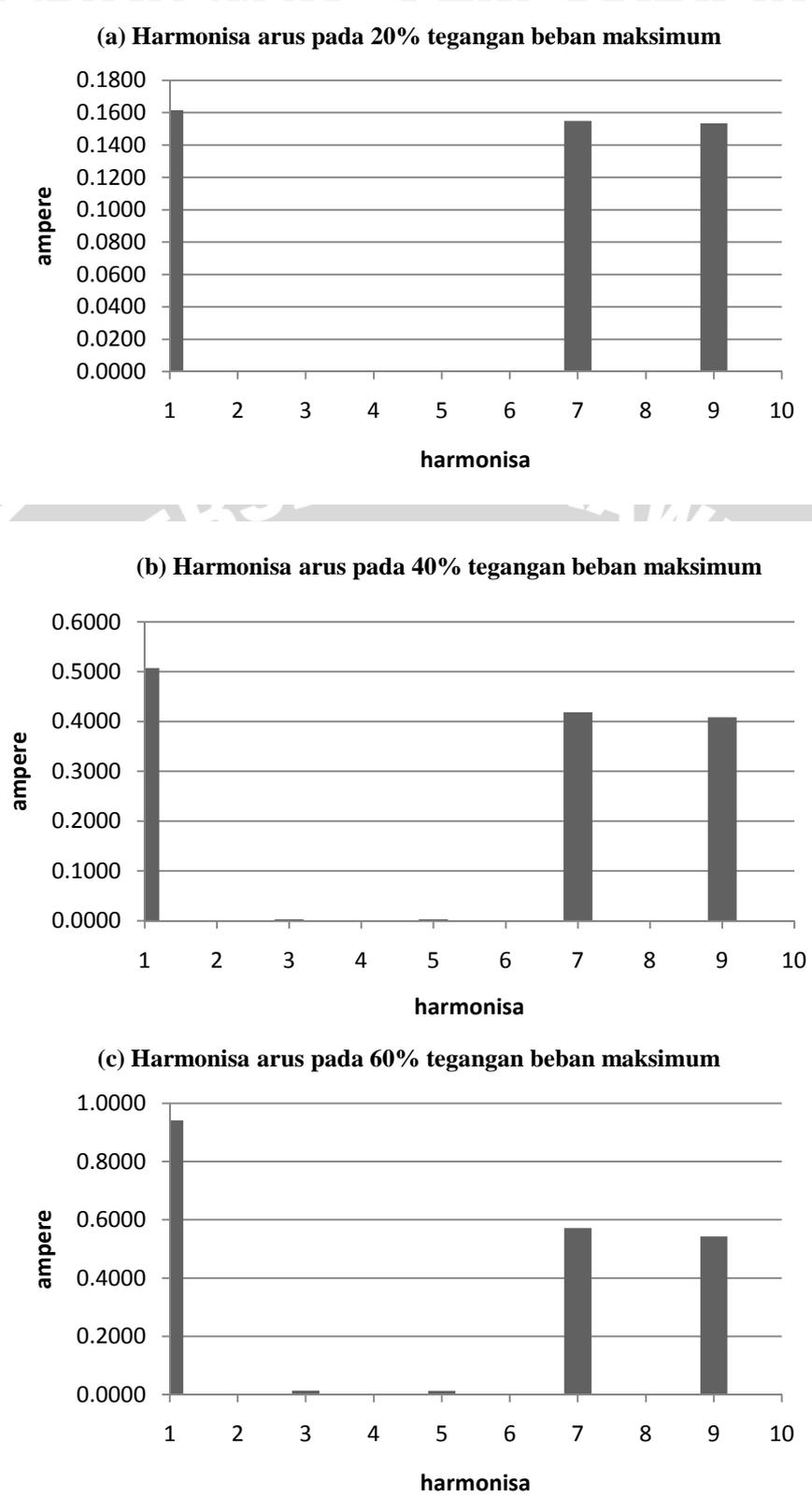
Tabel 4.12. Data arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa beban bersifat induktif

Harmonisa ke	I_{sn} pada masing-masing <i>level</i> tegangan beban (ampere)				
	20% V_{dcmax}	40% V_{dcmax}	60% V_{dcmax}	80% V_{dcmax}	100% V_{dcmax}
1	0.1616	0.5072	0.9421	1.4676	2.1725
2	0	0	0	0	0
3	0.00002	0.0030	0.0132	0.0314	0.0615
4	0	0	0	0	0
5	0.00002	0.0028	0.0120	0.0276	0.0534
6	0	0	0	0	0
7	0.1549	0.4185	0.5713	0.4728	0.0457
8	0	0	0	0	0
9	0.1535	0.4082	0.5430	0.4269	0.0392
10	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil perhitungan

Representasi dari Data arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa beban bersifat induktif dapat dilihat pada Gambar 4.9 sampai 4.10



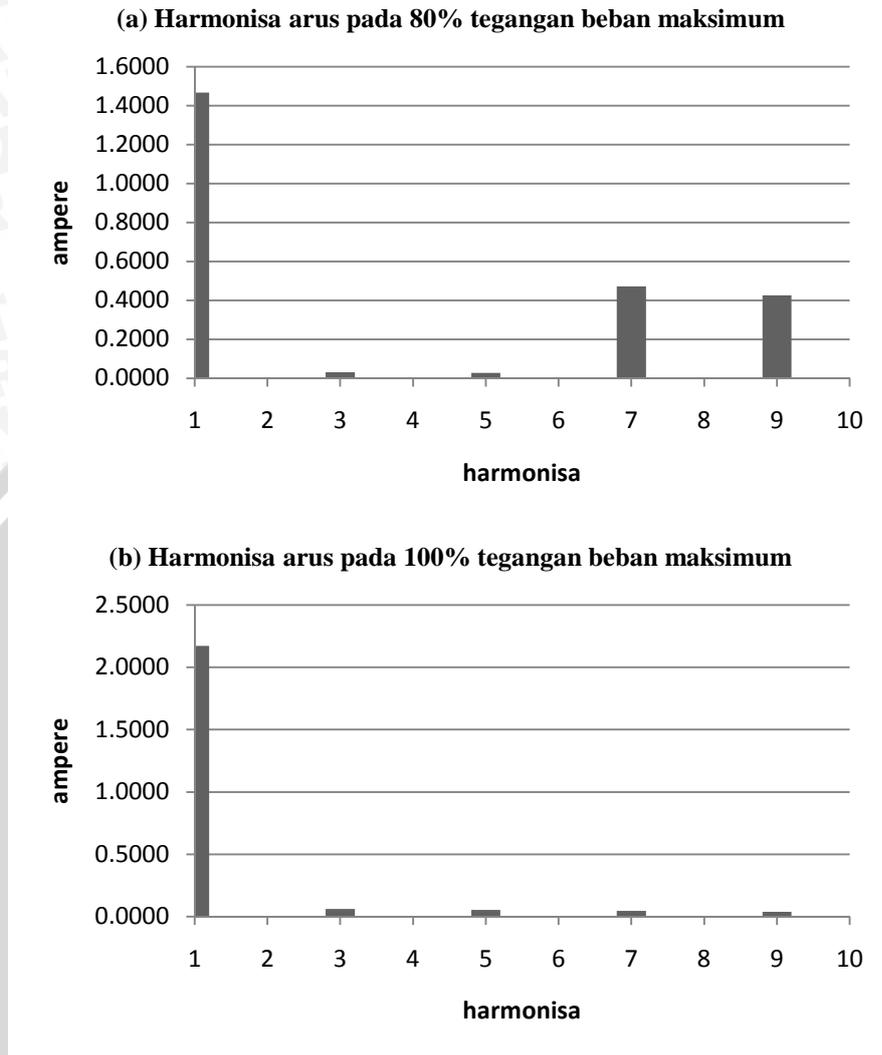


Gambar 4.9 Grafik arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat induktif

(a) 20% V_{dcmax} (b) 40% V_{dcmax} (c) 60% V_{dcmax}

Sumber: Hasil perhitungan





Gambar 4.10 Grafik arus harmonisa pada masukan penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat induktif:

(a) $80\% V_{dcmax}$ (b) $100\% V_{dcmax}$

Sumber: Hasil perhitungan

Pada tegangan beban maksimum ($100\% V_{dcmax}$), munculnya arus harmonisa pada frekuensi kelipatan fundamental yang lain ini disebabkan karena pada kondisi ini konverter menghantarkan semua tegangan sumber ke beban, sehingga sebagaimana beban bersifat induktif yang dialiri tegangan sinus maka respon arus akan tertinggal dengan tegangan. Arus yang tertinggal pada penyearah setengah terkendali akan diteruskan oleh dioda *freewheel* untuk menyuplai beban bersifat resistif. Karena dioda *freewheel* ini maka arus masukan menjadi terkomutasi dengan arus yang curam oleh diode *freewheel* ini pada sudut 3.14. Nilai arus fundamental pada beban bersifat induktif lebih kecil dari beban bersifat

resistif karena beban induktor adalah komponen yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh nilai frekuensi. Sedangkan untuk harmonisa, hanya nilai komponen sinus pada frekuensi 50 Hz saja yang keluar yaitu b_{n1} sedangkan nilai komponen cosinus pada frekuensi 50Hz yaitu a_1 bernilai kecil.

Pada 20% sampai 80% tegangan beban maksimum nilai harmonisa yang keluar hanya pada 2 frekuensi kelipatan fundamental dan dengan nilai magnitude arus yang berbeda hal ini berarti koefisien fourier yang keluar adalah komponen sinus pada frekuensi 350 Hz dan 450 Hz saja yaitu b_{n7} dan b_{n9} sedangkan nilai komponen cosinus a_{n7} dan a_{n9} bernilai nol. Keluarnya harmonisa disebabkan arus terkonduksi dan terkomutasi secara paksa, sehingga menaikkan arus harmonisa. Arus terkonduksi dan terkomutasi beberapa kali sehingga menghasilkan 8 jalur konduksi pada 1 periode, sehingga arus harmonisa yang keluar adalah harmonisa 7 dan 9. Ini merupakan keadaan beban non linier karena terdapat komponen switching yang menyebabkan arus tidak terkonduksi secara penuh.

Analisis selanjutnya adalah analisis untuk menghitung nilai faktor daya pada beban bersifat induktif. Akan dihitung nilai arus distorsi masukan, nilai THD, nilai sudut pergeseran, kemudian akan dihitung nilai dari faktor daya.

4.1.2.5 Analisis faktor daya pada beban bersifat induktif

Nilai rms arus distorsi masukan didapat dari persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{dist} = \sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} I_{sn}^2}$$

Untuk level tegangan beban sebesar 20% V_{dcmax} dengan I_{s1} dari Tabel 4.12, maka nilai distorsi arus masukan sebesar:

$$I_{dist} = \sqrt{0.1549^2 + 0.1535^2} = 0.2180 \text{ ampere}$$

Sehingga bisa didapatkan nilai THD menggunakan persamaan 2.10, maka didapatkan :

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{I_{dist}}{I_{s1}}$$

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{0.2180}{0.1616} = 134.97\%$$

Untuk menghitung faktor daya, maka perlu dihitung berapa nilai dari DPF yang bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.32, sebelum menghitung DPF perlu diketahui berapa nilai dari sudut pergeserannya menggunakan persamaan 2.7 :

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{a_1}{b_1}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{-0.01007}{0.22828} = -0.04408^\circ$$

Sehingga nilai DPF:

$$DPF = \cos \varphi_1$$

$$DPF = \cos -0.04408 = 0.9990$$

Setelah DPF diketahui maka faktor daya bisa diketahui dengan persamaan 2.34:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} \cdot DPF$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{134.97}{100}\right]^2}} \cdot 0.9990$$

$$PF = 0.5953 \cdot 0.9990 = 0.5947$$

Untuk faktor daya dan parameter pembentuknya pada *level* tegangan beban selanjutnya bisa dilihat pada Tabel 4.13:

Tabel 4.13 Tabel nilai THD, sudut pergeseran, DPF dan faktor daya pada beban bersifat induktif pada penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa.

Level tegangan beban (V_{dmax})	THD(%)	sudut pergeseran (radian)	$\frac{I_{s1}}{I_s}$	DPF	faktor daya
20%	134.9700	-0.0441	0.5953	0.9990	0.5947
40%	115.2600	-0.0818	0.6553	0.9967	0.6531
60%	83.6860	-0.1051	0.7669	0.9945	0.7627
80%	43.4950	-0.1202	0.9170	0.9928	0.9104
100%	0.0001	-0.1558	1.0000	0.9912	0.9912

Sumber: Hasil perhitungan

4.2 Simulasi Menggunakan Software Pspice

Simulasi bertujuan untuk mengetahui bentuk arus masukan. Simulasi ini menggunakan software Pspice dengan komponen-komponen yang telah ada pada library Pspice. Pada akhir simulasi akan dibandingkan hasil faktor daya dari hasil simulasi dengan analisis perhitungan.

4.2.1 Penyearah dengan metode kendali sudut penyalan

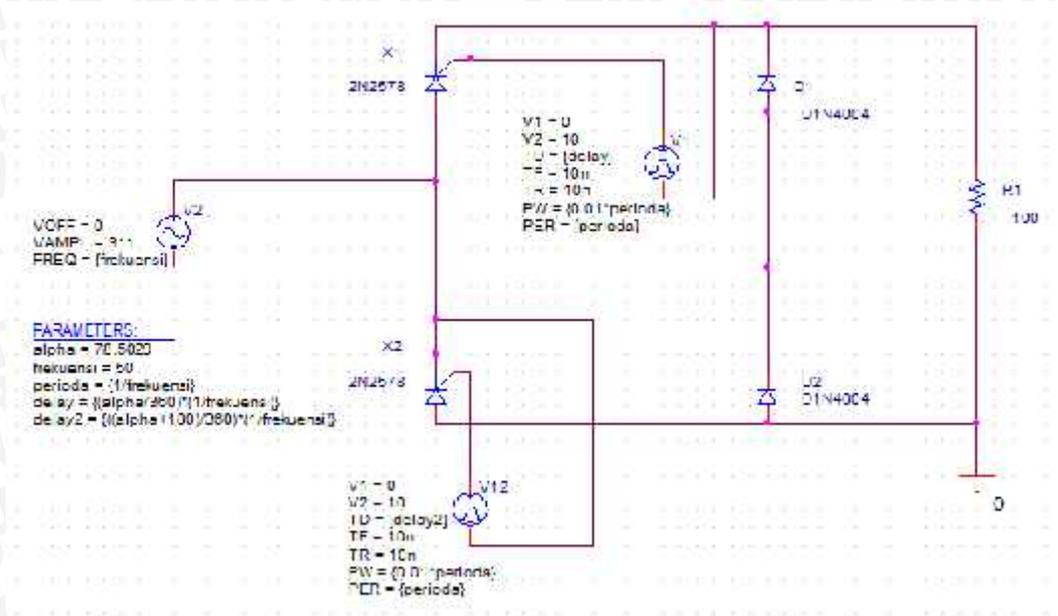
Rangkaian penyearah yang digunakan dalam simulasi ini adalah penyearah setengah terkendali. Salah satu karakteristik dari penyearah setengah terkendali adalah wilayah operasi pada rangkaian ini bekerja pada kuadran satu, artinya keluaran pada rangkaian ini selalu bernilai positif. Penyearah dengan pengendalian sudut penyalan dalam simulasi ini menggunakan komponen SCR dan dioda.

Komponen dioda yang dipilih adalah tipe 1N4004. Dioda ini dipilih karena tegangan puncak yang akan ditahan adalah kurang dari 400 volt. Karakteristik ini dalam datasheet disebut sebagai *Maximum repetitive peak reverse voltage* (V_{RRM}). Tipe dioda 1N4004 adalah tipe general purpose diode. Tipe ini digunakan karena pada penyearah pengendalian sudut penyalan tidak dibutuhkan switching dengan frekuensi tinggi.

Untuk komponen SCR yang dipilih adalah seri 2N2578. *Thyristor* ini dipilih karena komponen ini memiliki V_{DRM} (*Maximum repetitive peak off-stage voltage*) bernilai 400, hal ini berarti tegangan pada kondisi forward yang diterapkan tidak boleh lebih dari 400 volt, sehingga komponen ini sesuai untuk digunakan pada simulasi ini karena tegangan puncak bernilai 311 volt. Tegangan gate yang dibolehkan pada rangkaian ini adalah 10 volt.

4.2.1.1 Beban bersifat resistif

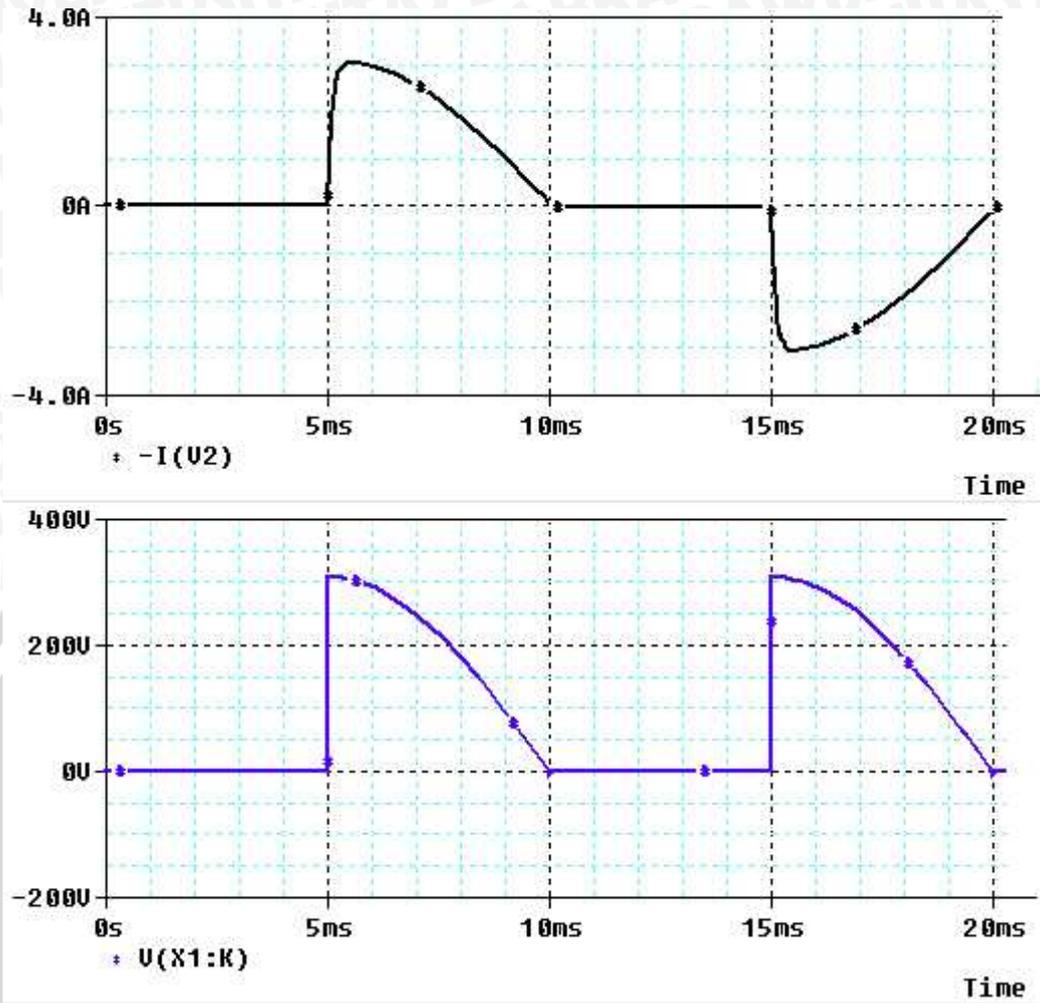
Penyearah setengah terkendali pada simulasi ini terdiri dari dua dioda dan dua *thyristor*. Susunannya sebagaimana penyearah jembatan. Rangkaian simulasi pspice penyearah setengah terkendali ditunjukkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Rangkaian penyearah dengan metode kendali sudut penyalan dengan beban bersifat resistif
 Sumber: Perancangan

Pada Gambar perancangan diatas pengukuran dilakukan pada arus antara X1 dan V2 dengan V12 dan V1 sebagai sumber tegangan untuk memicu *thyristor* agar menyala pada sudut tertentu. Untuk hasil simulasi berupa arus masukan ditampilkan pada Gambar 4.12 Arus masukan pada rangkaian diatas adalah pada keadaan 60% dari V_{dmax} , ekuivalen dengan sudut penyalan dengan nilai $=78.5029^\circ$ atau $=1.3694^\circ$ radian.

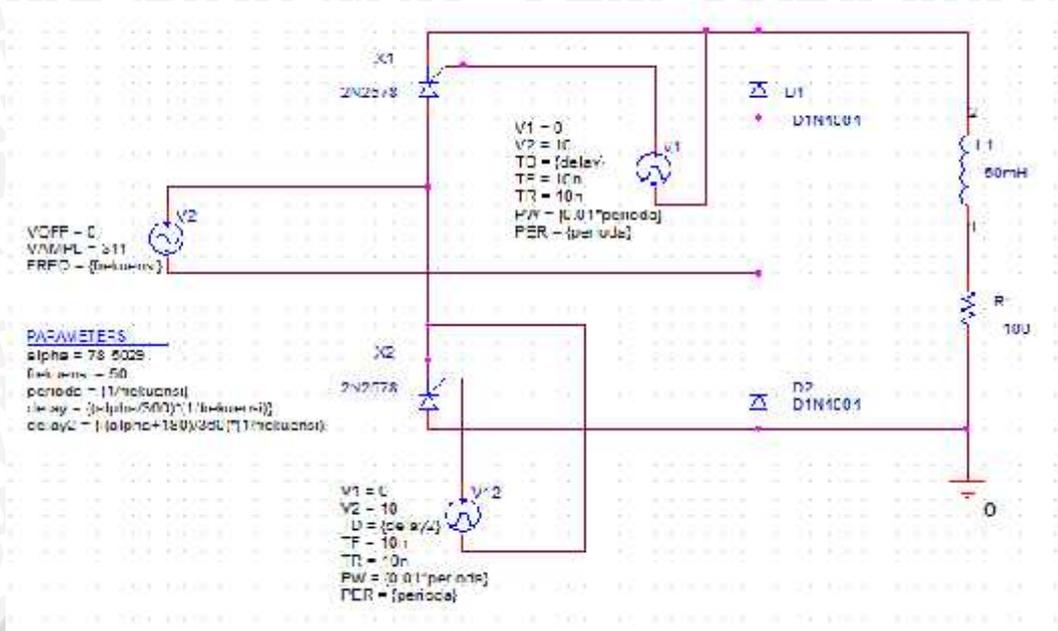
Pada beban bersifat resistif meskipun pada dasarnya beban tidak menyebabkan arus tertinggal akan tetapi *delay* tegangan yang dilakukan oleh *thyristor* menyebabkan bentuk arus menjadi terpotong sesuai dengan nilai sudut penyalan. Hal ini menyebabkan nilai arus fundamental arus masukan menjadi tertinggal.



Gambar 4.12 Arus masukan dan tegangan keluaran penyearah dengan metode kendali sudut penyalaan dengan beban bersifat resistif ($60\% V_{dcmax}$)
 Sumber: Hasil simulasi

4.2.1.2 Beban bersifat resistif – induktif

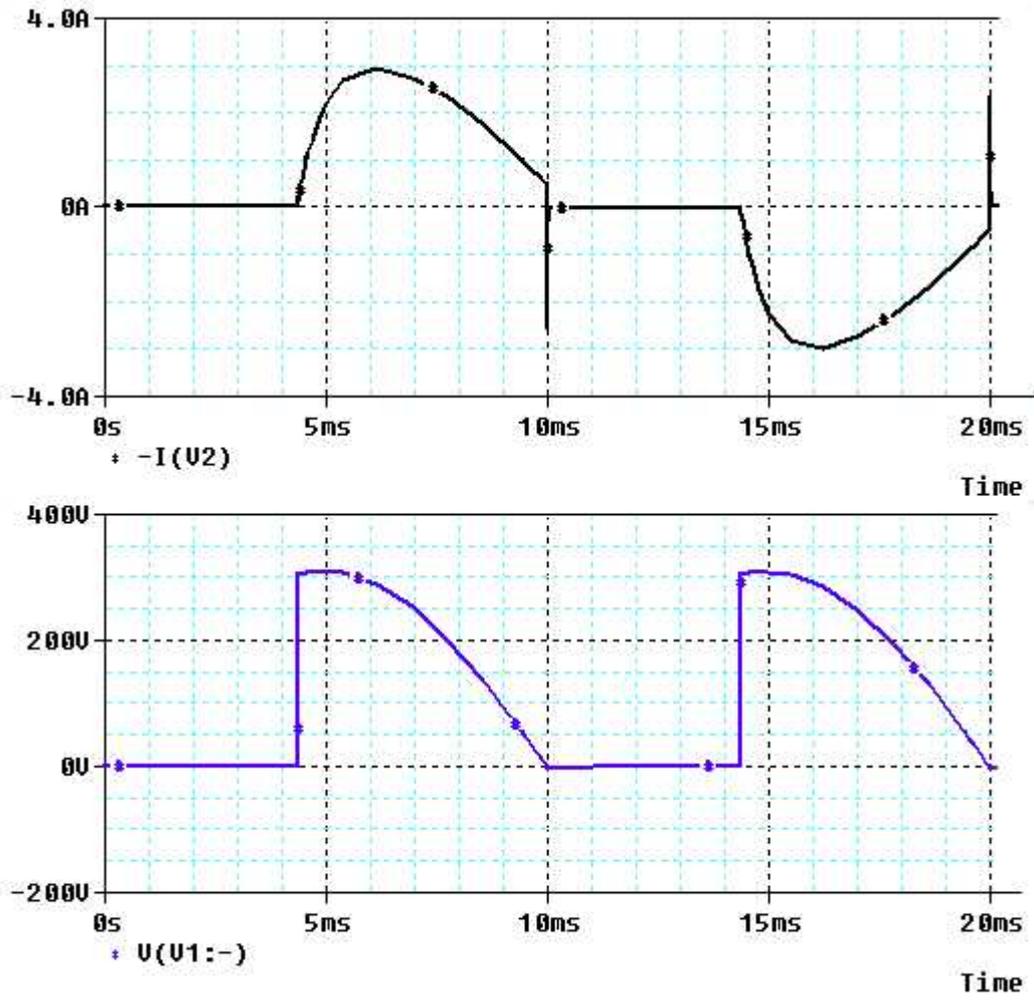
Penyearah setengah terkendali pada simulasi ini terdiri dari dua dioda dan dua thyristor. Susunannya sebagaimana penyearah jembatan. Rangkaian simulasi pspice penyearah setengah terkendali ditunjukkan pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Rangkaian penyearah dengan metode kendali sudut penyalan dengan beban bersifat induktif
Sumber: Perancangan

Gambar diatas adalah salah satu dari beberapa tipe topologi penyearah setengah terkendali atau penyearah yang kuadran kerjanya ada pada kuadran 1. Arus balik dari beban yang diakibatkan adanya energi yang tersimpan dari komponen induktif diteruskan oleh diode D1 atau diode D2 yang keduanya sekaligus berfungsi sebagai diode *freewheel* yang memotong tegangan balik sehingga tidak menyebabkan tegangan negatif pada beban.

Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa arus tidak serupa dengan beban bersifat resistif, dikarenakan ada komponen induktif yang menyebabkan arus masukan yang menjadi landai. Untuk tiap setengah periode seperti terlihat pada sumbu waktu 10 ms terlihat hasil pemotongan arus oleh diode D1 dan D2.



Gambar 4.14 Arus masukan dan tegangan keluaran penyearah dengan metode kendali sudut penyalan dengan beban bersifat resistif induktif ($60\% V_{dcmax}$)

Sumber: Hasil simulasi

4.2.2 Penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa

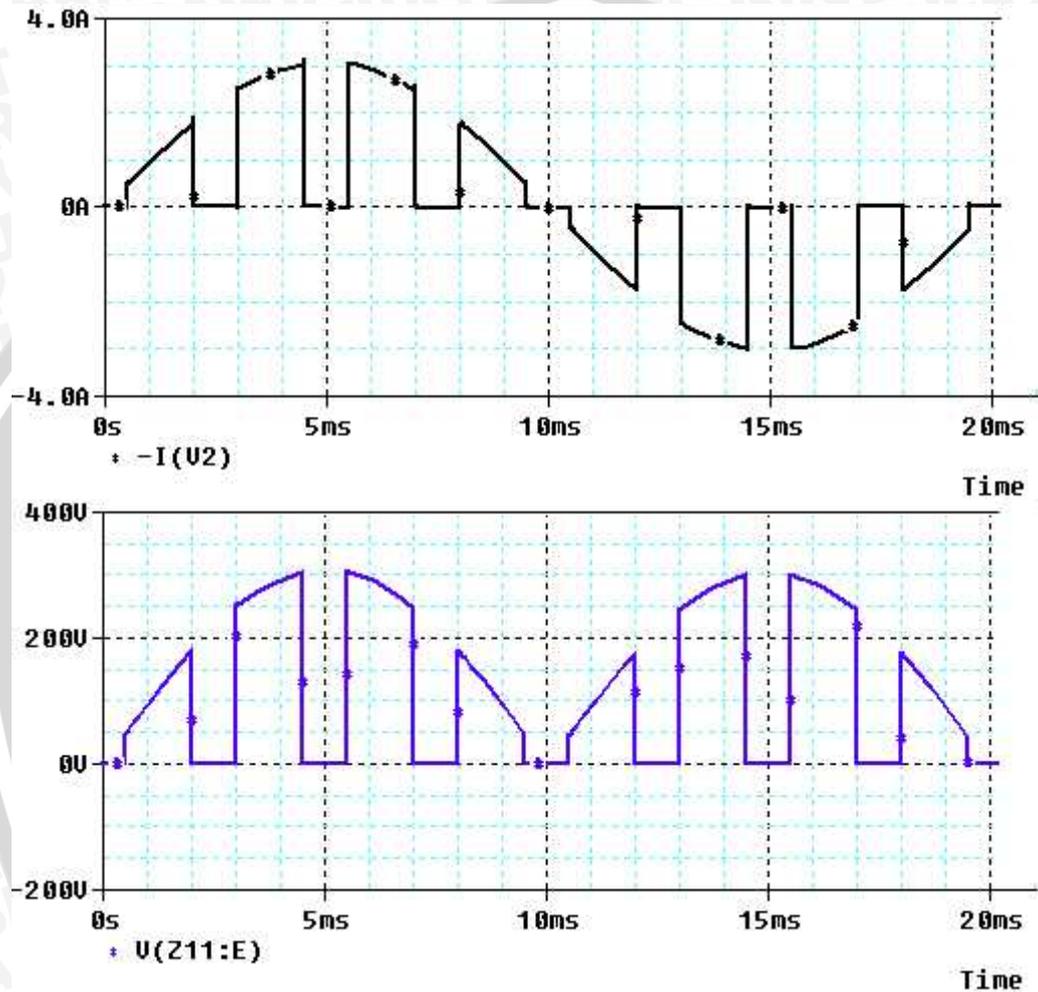
Penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa dalam simulasi ini menggunakan komponen elektronika daya yaitu IGBT dan dioda. Dalam sub-bab selanjutnya akan ditunjukkan hasil simulasi yang telah dilakukan.

4.2.2.1 Beban Bersifat resistif

Penyearah setengah terkendali pada simulasi ini terdiri dari dua IGBT dan dua diode. Susunannya sebagaimana penyearah jembatan. Rangkaian simulasi pspice penyearah setengah terkendali ditunjukkan pada Gambar 4.15

Komponen yang digunakan adalah IGBT IXGH10N60. Pemilihan komponen ini digunakan karena komponen ini bisa menahan tegangan maksimum sebesar 600 volt atau *Collector-Emitter Blocking Voltage* bernilai 600 volt ,

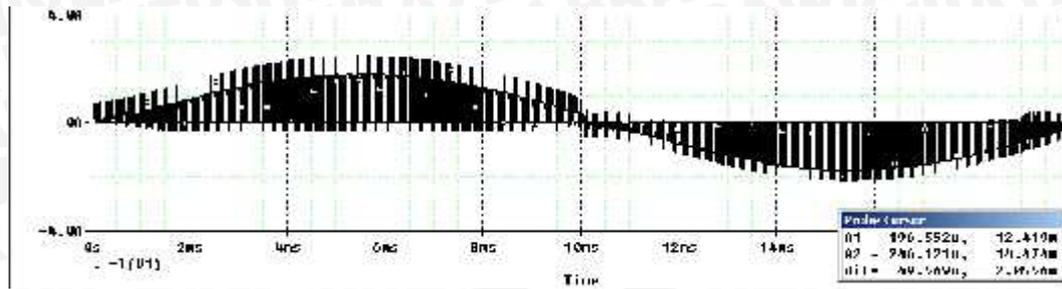
IGBT Z1 dan dicuplik oleh IGBT Z1 dan mengalir ke beban setelah itu tegangan mengalir ke diode D2 sampai akhirnya kembali ke sumber. Untuk tegangan negatif dialirkan dari IGBT Z2 dan dicuplik oleh IGBT Z2 kemudian dialirkan ke beban kemudian ke dioda D1 dan kembali ke sumber.



Gambar 4.16 Arus masukan dan tegangan keluaran penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa dengan beban bersifat resistif
Sumber: Hasil simulasi

Keluaran pada rangkaian diatas pada V_{dc} rata-rata 60% ekuivalen dengan nilai $\delta_m = 0.471$ dan $m = 0.157$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Pada hasil simulasi terlihat bentuk arus yang simetri.

Penyearah dengan pengendalian modulasi lebar pulsa dioperasikan secara konvensional pada frekuensi pensaklaran diatas 20 KHz. Seperti tampak pada Gambar 4.17.

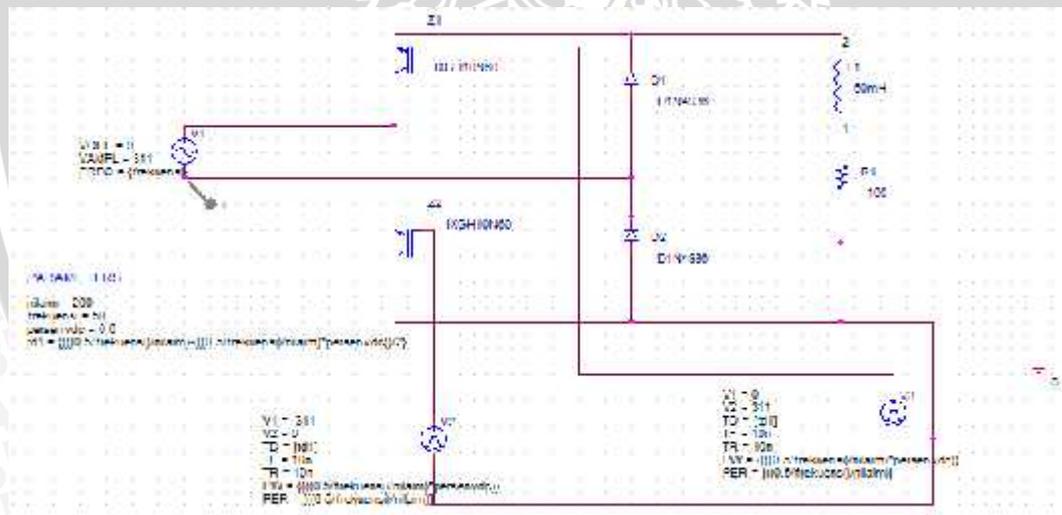


Gambar 4.17 Arus masukan penyearah dengan frekuensi pensaklaran 20 KHz pada beban bersifat resistif
 Sumber: Hasil simulasi

Pada tampilan gambar 4.17 diatas nilai periode tiap sinyal adalah 49.569 μ s, hal ini menunjukkan bahwa frekuensi pensaklaran adalah bernilai sekitar 20 KHz.

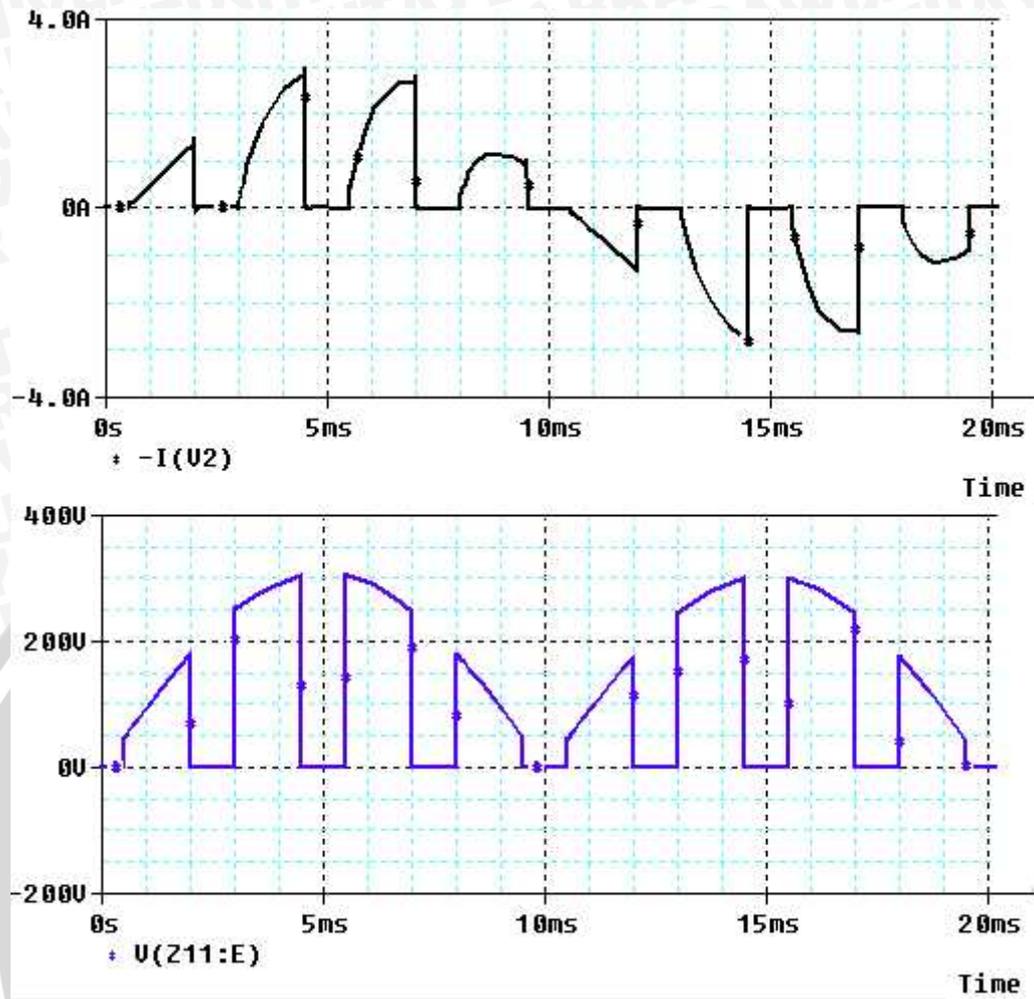
4.2.2.2 Beban Bersifat resistif – Induktif

. Susunan pada rangkaian penyearah sebagaimana penyearah jembatan, hanya saja komponen yang digunakan adalah diode dan IGBT. Rangkaian simulasi pspice penyearah setengah terkendali ditunjukkan pada Gambar 4.18



Gambar 4.18 Rangkaian penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa dengan beban bersifat induktif
 Sumber: Perancangan

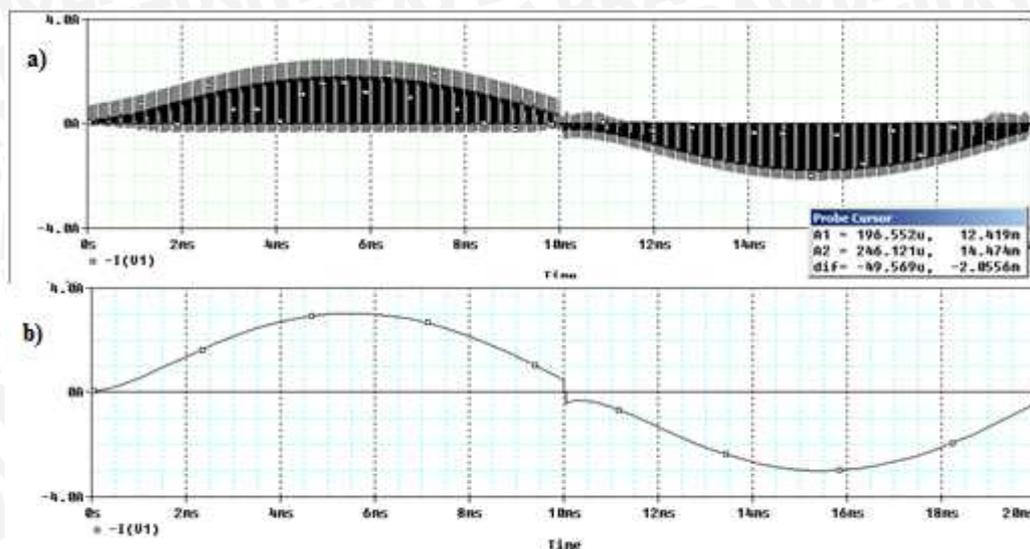
Rangkaian simulasi diatas pada bagian “parameter” terdapat variabel “nilaim” yang berfungsi untuk mengatur frekuensi pensaklaran dari komponen pensaklaran. Untuk mengatur pensaklaran pada 4 pulsa persetengah siklus maka variabel “nilaim” diganti dengan nilai 4.



Gambar 4.19 Arus masukan dan tegangan keluaran penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa dengan beban bersifat induktif

Sumber: Hasil simulasi

Bentuk arus masukan pada beban bersifat induktif berbeda pada beban bersifat resistif. Hal ini dikarenakan adanya tanggapan alamiah dan paksa yang disebabkan oleh adanya komponen induktif. Simulasi selanjutnya adalah pada frekuensi kerja 20KHz, yang hasil simulasi keluaran ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Arus masukan penyearah dengan frekuensi pensaklaran 20 KHz pada beban bersifat induktif: a) 60% V_{dcmax} b) 100% V_{dcmax}

Sumber: Hasil simulasi

Agar DPF pada arus masukan terlihat pada tampilan simulasi, maka bisa dilakukan dengan mensimulasikan V_{output} sama dengan 100% V_{dcmax} . Seperti yang terlihat pada Gambar 4.20(b). Terlihat bentuk arus yang landai pada awalnya dan terpotong oleh dioda pada perioda setengah siklus (10 ms). Hal ini menunjukkan bahwa arus tertinggal oleh tegangan.

Untuk mengetahui berapa faktor kesalahan dari faktor daya dari hasil analisis perhitungan dengan hasil simulasi maka perlu untuk dibandingkan kedua nilainya, sebagaimana tampak pada Tabel 4.14. Nilai perbedaan faktor daya untuk faktor kesalahan yang ditampilkan adalah nilai faktor daya pada beban bersifat resistif saja.

Tabel 4.14. Tabel faktor daya pada beban bersifat resistif dan faktor kesalahan hasil perbandingan antara simulasi dan perhitungan.

Level Tegangan beban	perhitungan		simulasi		faktor kesalahan(%)	
	penyalan	Modulasi lebar pulsa	penyalan	Modulasi lebar pulsa	penyalan	Modulasi lebar pulsa
20%	0.3959	0.6030	0.3911	0.5941	1.2160	1.4672
40%	0.6272	0.6827	0.6197	0.6753	1.2108	1.0795
60%	0.8038	0.8140	0.7986	0.8127	0.6409	0.1576
80%	0.9333	0.9494	0.9323	0.9390	0.2077	1.0936
100%	1.0000	1.0000	1	1	0.0004	0.0023

Sumber: Analisis

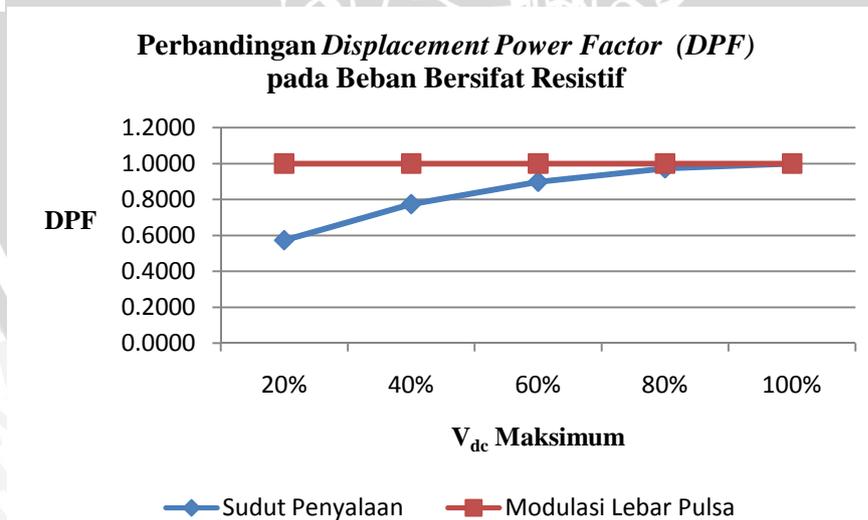
Nilai faktor daya dari hasil simulasi memiliki nilai yang lebih kecil, hal ini dikarenakan bentuk dari gelombang arus masukan pada Pspice memiliki cacat yang lebih besar meskipun pada simulasi digunakan *library* komponen elektronik yang ideal.

4.3 Perbandingan Faktor Daya Masukan Penyearah dengan Metode Kendali Sudut Penyalan dan Kendali Modulasi Lebar Pulsa

Hasil akhir dari penelitian ini adalah perbandingan faktor daya antara dua metode pengendalian yang akan dijelaskan pada sub-bab ini. Perbandingan yang akan dibahas dibandingkan berdasarkan jenis beban, yaitu beban bersifat resistif dan bersifat induktif. Sehingga akan ada 2 perbandingan.

4.3.1 Beban bersifat resistif

Dari dua macam pengendalian pada penyearah yaitu metode kendali sudut penyalan dan modulasi lebar pulsa terdapat karakteristik faktor daya yang berbeda. Berikut ini adalah parameter-parameter yang diperoleh dari hasil analisis penyearah dengan metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa masing-masing adalah DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$. Beban yang digunakan dalam sub-bab ini adalah beban bersifat resistif.

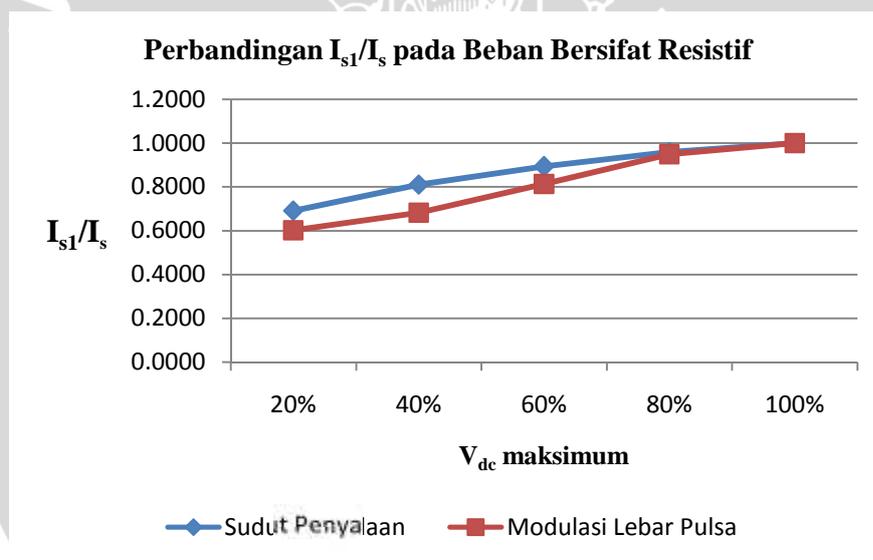


Gambar 4.21 Perbandingan DPF antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat resistif

Sumber: Hasil analisis

DPF pada *level* tegangan beban 100% V_{dcmax} pada penyearah semikonverter dengan metode kendali modulasi lebar pulsa maupun sudut penyalan mempunyai nilai yang sama yaitu satu, karena pada kedua penyearah terkonduksi dan terkomutasi secara alamiah, sehingga bentuk arus mempunyai waktu konduksi yang sama.

Untuk 80% V_{dcmax} ,..., 20% V_{dcmax} DPF pada metode kendali modulasi lebar pulsa selalu bernilai satu, hal ini disebabkan arus masukan mempunyai periode konduksi yang sefasa dengan tegangan masukan, sedangkan pada metode kendali sudut penyalan mempunyai DPF yang lebih rendah dikarenakan pada sudut penyalan arus masukan fundamental mempunyai perbedaan sudut fasa dari tegangan sumber, disebabkan adanya sudut penyalan yang menyebabkan arus fundamental masukan tertinggal oleh tegangan masukan. Untuk parameter $\frac{I_{s1}}{I_s}$ bisa dilihat pada Gambar 4.22.



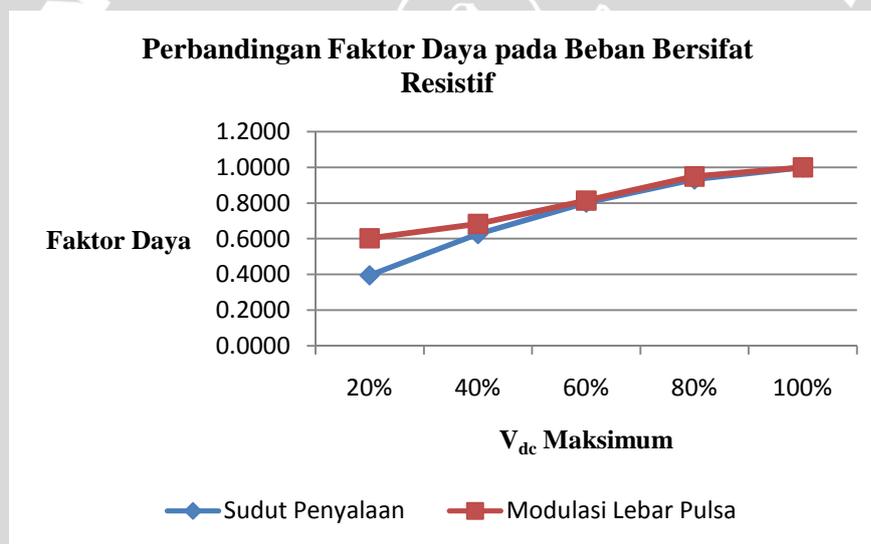
Gambar 4.22 Perbandingan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat resistif
 Sumber: Hasil analisis

Perbandingan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ pada *level* tegangan sebesar 100% tegangan beban maksimum mempunyai nilai sama, hal ini dikarenakan pada *level* tegangan ini baik penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa maupun penyearah dengan metode kendali sudut penyalan keduanya akan terkonduksi maupun

terkomutasi secara alamiah sehingga menghasilkan bentuk arus masukan yang sama.

Pada *level* tegangan 80% V_{dcmax} sampai *level* tegangan 20% V_{dcmax} nilai dari $\frac{I_{s1}}{I_s}$ pada metode kendali modulasi lebar pulsa mempunyai nilai yang lebih kecil, hal ini dikarenakan pada metode kendali modulasi lebar pulsa mempunyai nilai harmonisa yang lebih besar. Harmonisa yang besar pada metode kendali modulasi lebar pulsa disebabkan arus terkonduksi dan terkomutasi secara paksa beberapa kali dalam satu periode, sehingga menaikkan arus harmonisa. Sedangkan pada kendali sudut penyalan yang hanya terjadi kondisi peralihan paksa hanya pada waktu penyalan saja.

Dari kedua parameter yang saling mempengaruhi diatas dapat diketahui faktor dayanya. Untuk tampilan grafik faktor daya bisa dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Perbandingan faktor daya antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat resistif
Sumber: Hasil Analisis

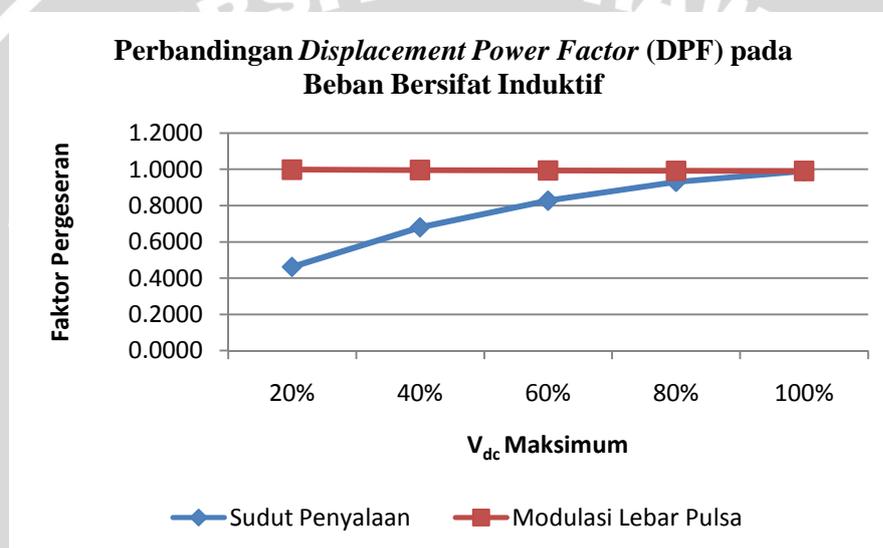
Faktor daya pada *level* tegangan beban 100% V_{dcmax} mempunyai nilai yang hampir sama untuk kedua penyearah yaitu satu, dikarenakan perkalian parameter-parameter yang mempengaruhi nilai faktor daya yaitu DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ menghasilkan nilai hampir sama.

Untuk faktor daya pada penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa pada 80% V_{dcmax} , 60% V_{dcmax} , 40% V_{dcmax} , 20% V_{dcmax} bernilai lebih besar,

dikarenakan perkalian parameter-parameter pada *level* tegangan ini yaitu DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ menghasilkan nilai yang lebih besar.

4.3.2 Beban bersifat induktif

Pada sub-bab ini parameter-parameter yang mempengaruhi faktor daya dan perlu dibandingkan adalah DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ pada penyearah setengah terkendali dengan metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa. Beban yang digunakan dalam sub-bab ini adalah beban bersifat induktif. Untuk parameter yang pertama adalah DPF yang hasilnya tampak pada Gambar 4.24.

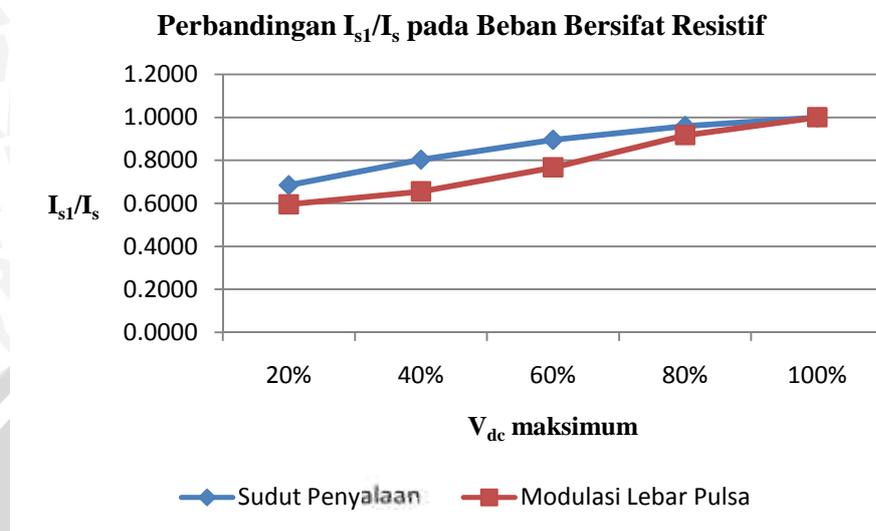


Gambar 4.24 Perbandingan DPF antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat induktif
Sumber: Hasil Analisis

DPF pada *level* tegangan beban 100% V_{dcmax} pada penyearah semikonverter dengan metode kendali modulasi lebar pulsa maupun kendali sudut penyalan mempunyai nilai yang sama, karena pada kedua penyearah terkonduksi dan terkomutasi secara alamiah, sehingga bentuk arus mempunyai waktu konduksi yang sama.

Untuk 20% V_{dcmax} , ..., 80% V_{dcmax} DPF pada metode kendali modulasi lebar pulsa keadaanya akan menurun, hal ini disebabkan karena semakin lama arus masukan terkonduksi dengan beban induktif, sedangkan pada metode kendali sudut penyalan mempunyai DPF yang lebih rendah dikarenakan pada sudut

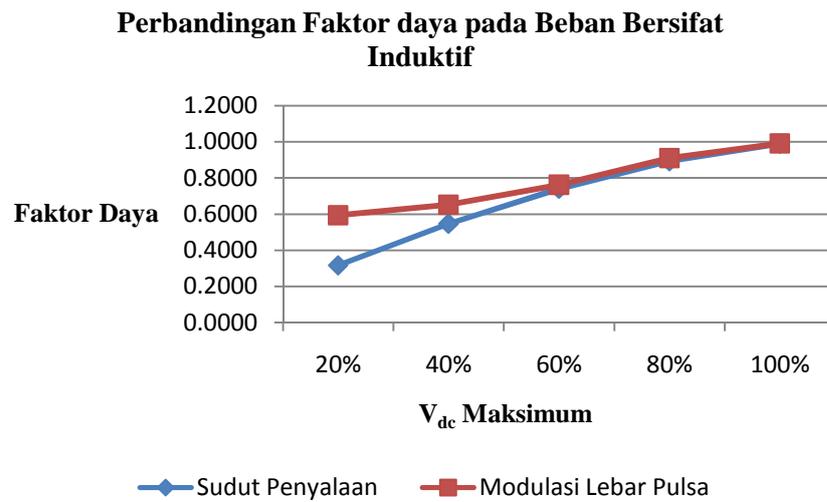
penyalan arus masukan fundamental mempunyai perbedaan sudut fasa dari tegangan sumber. Untuk parameter $\frac{I_{s1}}{I_s}$ bisa dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Perbandingan nilai $\frac{I_{s1}}{I_s}$ antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat induktif
Sumber: Hasil analisis

Nilai $\frac{I_{s1}}{I_s}$ pada *level* tegangan sebesar 100% tegangan beban maksimum mempunyai nilai sama, hal ini dikarenakan pada *level* tegangan ini baik penyearah dengan metode kendali modulasi lebar pulsa maupun penyearah dengan metode kendali sudut penyalan keduanya akan terkonduksi maupun terkomutasi secara alamiah sehingga menghasilkan bentuk arus masukan yang sama

Pada *level* tegangan 80% V_{dmax} sampai *level* tegangan 20% V_{dmax} $\frac{I_{s1}}{I_s}$ pada kendali modulasi lebar pulsa mempunyai nilai yang lebih kecil, hal ini dikarenakan pada metode kendali modulasi lebar pulsa mempunyai nilai harmonisa yang lebih besar. Harmonisa yang besar pada metode kendali modulasi lebar pulsa disebabkan arus terkonduksi dan terkomutasi secara paksa beberapa kali dalam satu perioda, sehingga menaikkan arus harmonisa. Sedangkan pada metode kendali sudut penyalan yang hanya terjadi kondisi peralihan paksa hanya pada waktu penyalan saja.



Gambar 4.26 Perbandingan faktor daya antara metode kendali sudut penyalan dan metode kendali modulasi lebar pulsa pada beban bersifat induktif
Sumber: Hasil analisis

Faktor daya pada *level* tegangan beban dan 100% V_{dcmax} mempunyai nilai yang hampir sama untuk kedua penyearah yaitu satu, dikarenakan perkalian parameter-parameter yang mempengaruhi nilai faktor daya yaitu DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ menghasilkan nilai yang hampir sama.

Untuk faktor daya pada metode kendali modulasi lebar pulsa pada 80% V_{dcmax} , 60% V_{dcmax} , 40% V_{dcmax} dan 20% V_{dcmax} bernilai lebih besar, dikarenakan perkalian parameter-parameter pada *level* tegangan ini yaitu DPF dan $\frac{I_{s1}}{I_s}$ menghasilkan nilai yang lebih besar.