

4. PENGUJIAN SISTEM

4.1. PSIM 6.1

PSIM 6.1 adalah program yang didesain khusus untuk elektronika daya dan kontrol motor. PSIM sangat mudah untuk digunakan, program ini dapat digunakan untuk melakukan simulasi elektronika daya, kontrol motor, kontrol analog dan digital.

Program simulasi PSIM terdiri atas 3 bagian program, yaitu : *circuit schematic* program PSIM, *PSIM simulator*, and *waveform processing* program SIMVIEW.

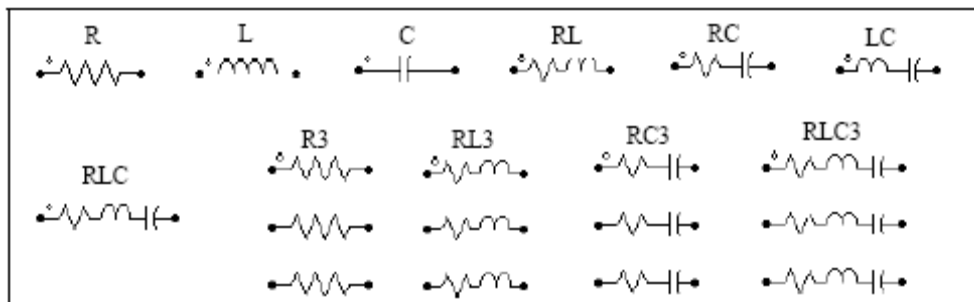
4.1.1. Komponen-Komponen Dalam Program PSIM

4.1.1.1. Komponen sirkuit daya

Komponen dari sirkuit daya ini terdiri atas :

- Resistor-Induktor-Kapasitor

Pada program PSIM terdapat komponen resistor, induktor dan kapasitor secara individu ataupun bergandengan, dengan nilai yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4.1 Resistor, Induktor Dan Kapasitor

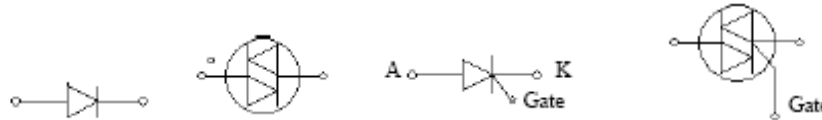
Selain itu juga terdapat rheostat yaitu resistor yang nilainya dapat diubah-ubah.



Gambar 4.2 Rheostat.

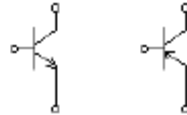
- Switch

Ada 2 macam bentuk *switch* yang terdapat pada program PSIM. Yang pertama adalah *switch* yang beroperasi pada keadaan *cut-off* atau pada kondisi saturasi, yang termasuk *switch* jenis ini adalah : diode, diac, thyristor, triac.



Gambar 4.3 Diode, Diac, Thyristor dan Triac

Yang kedua adalah *switch* yang dapat beroperasi pada kondisi *cut off* atau linier atau pada kondisi saturasi, contohnya adalah : transistor npn, transistor pnp.



Gambar 4.4 Transistor Npn Dan Transistor Pnp

- Induktor bergandeng

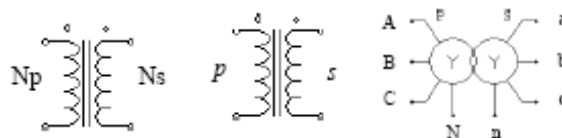
Induktor bergandeng yang ada pada program PSIM tersedia hingga induktor bergandeng 4.



Gambar 4.5 Induktor Bergandeng 2, 3 Dan 4

- Trafo

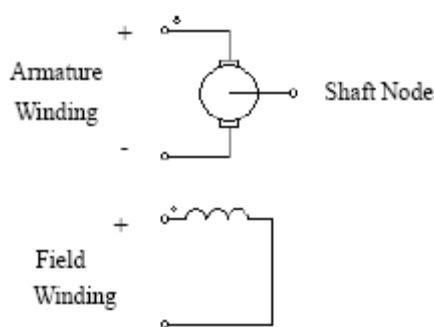
Trafo yang tersedia adalah trafo ideal, trafo 1 fasa dan trafo 3 fasa. Trafo ideal adalah trafo yang tidak memiliki rugi-rugi dan arus bocor.



Gambar 4.6 Trafo Ideal, Trafo 1 Fasa Dan Trafo 3 Fasa

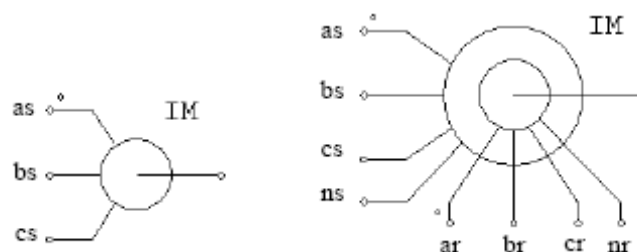
- Motor

Gambar dari motor DC dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.7 Motor DC

Motor induksi yang tersedia adalah motor induksi sangkar tupai dan motor induksi rotor tergulung.



Gambar 4.8 Motor Induksi Sangkar Tupai Dan Rotor Tergulung

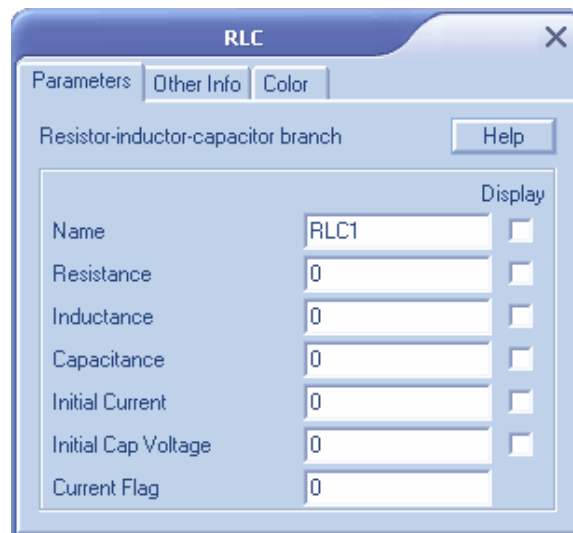
4.1.2. Cara Mendesain Rangkaian Schematic

Program PSIM memiliki tampilan yang menarik dan mudah digunakan untuk mendesain rangkaian *schematic*. Dalam PSIM, semua komponen yang dibutuhkan terdapat pada menu "elements", komponen-komponen yang dibutuhkan tersebut dibagi menjadi 4 bagian, yaitu : *Power* (berisi komponen daya), *Control* (berisi komponen kontrol), *Others* (berisi komponen *switch*, sensor dan komponen yang termasuk komponen daya maupun komponen kontrol), *Sources* (berisi komponen tegangan dan arus).

Di bawah ini adalah fungsi-fungsi yang akan digunakan untuk mendesain rangkaian dalam program PSIM :

- *Get* : Untuk mendapatkan komponen yang dibutuhkan, klik menu "*element*" dan pilih sub menu lalu klik pada komponen yang dibutuhkan.

- *Place* : Setelah komponen dipilih maka gambar dari komponen tersebut akan tampil pada layar, letakkan komponen tersebut pada tempat yang diinginkan dan tekan klik kiri pada *mouse*.
- *Rotate* : untuk memutar komponen gunakan fungsi *rotate*.
- *Wire* : *wire* digunakan untuk menghubungkan dua titik.
- *Label* : jika dua titik atau lebih terhubung pada *label* yang sama maka titik-titik tersebut sudah terhubung, hal ini sama dengan menghubungkan titik-titik tersebut dengan menggunakan *wire*. Penggunaan *label* ini untuk menghindari banyaknya *wiring* yang membuat gambar *schematic* menjadi rumit.
- *Assign* : untuk mengubah nilai dari komponen adalah dengan meng-klik dua kali pada komponen maka akan tampil seperti gambar di bawah, lalu masukkan nilai yang dibutuhkan.



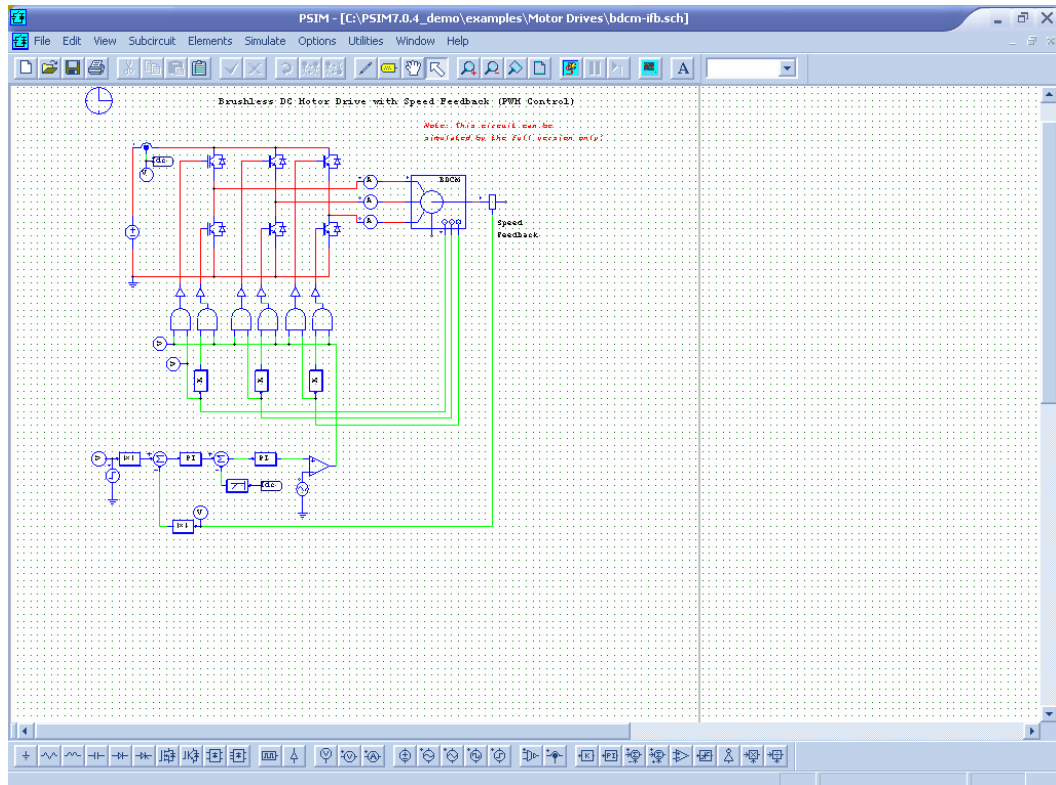
Gambar 4.9 Layar Tampilan Dari *Assign*

4.1.3. Cara Me-Run Simulasi

Setelah gambar *schematic* telah dibuat dan komponen-komponen yang dibutuhkan memiliki nilai yang dibutuhkan, maka klik pada *run simulation* untuk

mulai melakukan simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat dengan menggunakan SIMVIEW.

4.1.4. Penjelasan Bagian-Bagian Pada Penggunaan PSIM 6.1



Gambar 4.10 Tampilan Keseluruhan Layar PSIM 6.1

Gambar di atas adalah tempat dimana dirancang gambar *schematic* yang direncanakan. Terlihat pada gambar *schematic* yang telah jadi dibuat. Gambar *schematic* dibuat dengan menggunakan komponen yang terdapat pada bagian bawah daerah gambar. Dimana terdapat simbol dari komponen yang berisikan transformator, resistor, induktor, kapasitor, komponen dari *load* yang berisikan beban listrik seperti motor, sumber tegangan, arus dan komponen lainnya. Untuk mengetahui nama dari komponen dan nilainya serta untuk memasukkan data ataupun mengedit data pada setiap komponen adalah dengan cara *double click* pada komponen yang ingin diketahui namanya maka akan muncul layar tampilan (lihat gambar di bawah).

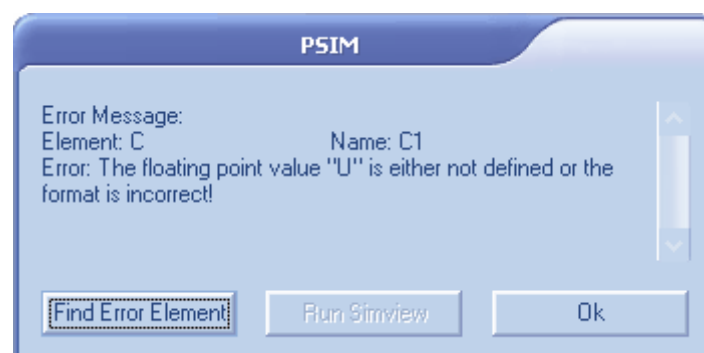


Gambar 4.11 Layar Tampilan Dari Komponen

Dibagian inilah data dari komponen listrik yang direncanakan dimasukkan, yang disesuaikan dengan fungsi dari komponen tersebut.

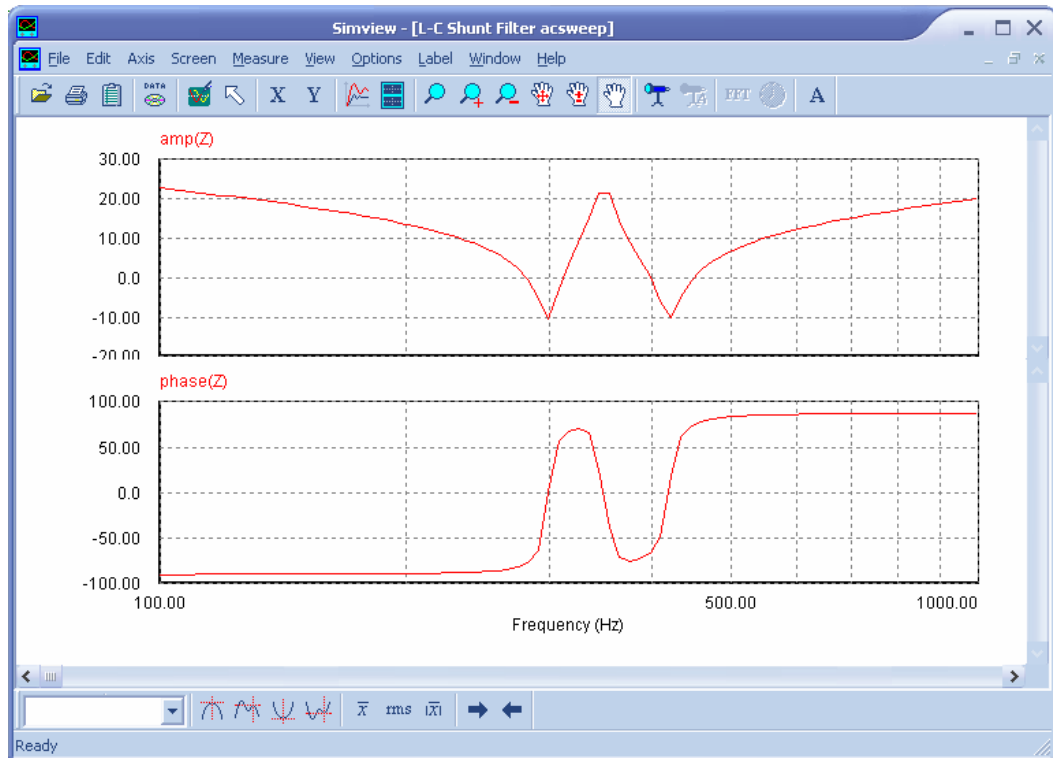
Untuk menghubungkan antar komponen adalah dengan menggunakan "wire" yang terletak pada atas daerah gambar, memberi nama pada komponen juga menggunakan *tools* yang terdapat pada bagian atas daerah gambar.

Setelah gambar *schematic* telah selesai dibuat, maka langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi dari gambar rangkaian yang telah dibuat tersebut, caranya adalah dengan menggunakan *tool* "run simulation" yang terletak pada atas daerah gambar. Bila gambar dari rangkaian yang dibuat masih terdapat *error* maka akan muncul tampilan seperti gambar di bawah ini



Gambar 4.12 Tampilan Error Message

Untuk langkah selanjutnya, setelah *error* yang ada telah dibenarkan maka jalankan lagi *tool* "run simulation", apabila tidak terdapat *error* lagi maka akan muncul hasil simulasi tersebut, lihat gambar di bawah ini



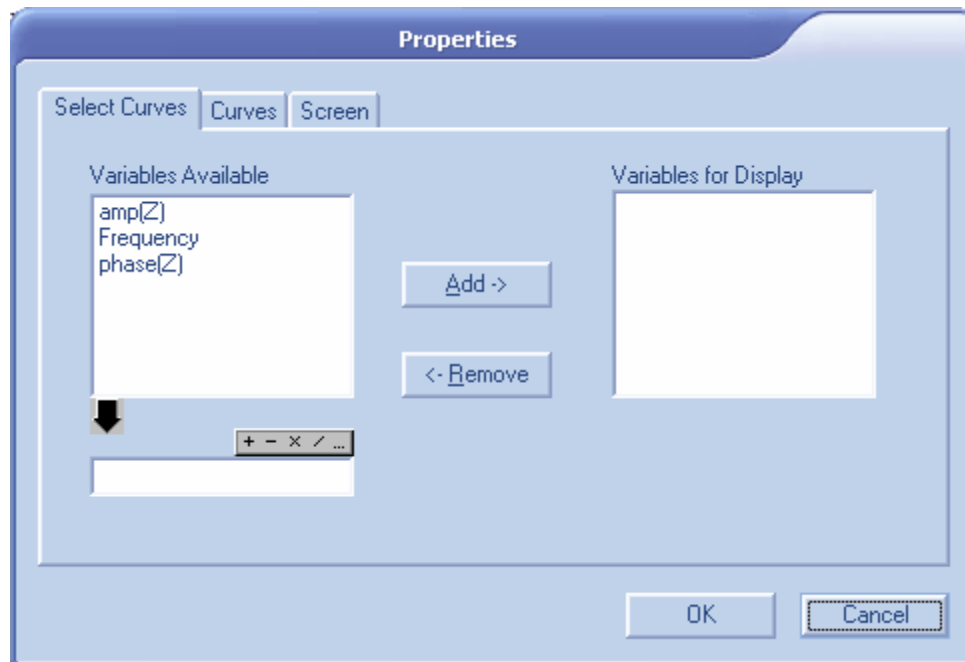
Gambar 4.13 Tampilan Hasil Simulasi

Untuk menampilkan bentuk gelombang yang lainnya dari hasil simulasi adalah dengan *single klik* pada simbol *variables* (lihat gambar di bawah ini).



Gambar 4.14 Simbol *Variables*

Atau dengan cara *double click* pada daerah hasil simulasi. Setelah itu maka akan muncul layar tampilan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.15 Layar Tampilan untuk Menampilkan Bentuk Gelombang Lainnya

4.1.5. *Error / Warning Messages*

Error yang biasa yang terjadi dalam hal pendesainan dari gambar schematic dan saat simulasi akan dijalankan adalah sebagai berikut :

- *Input format errors occurred in the simulation*
Error ini terjadi bisa disebabkan karena : spesifikasi dari komponen yang kurang lengkap atau spesifikasi yang salah dan nilai komponen yang tidak sesuai.
- *The node of an element is floating.*
 Hal ini dapat disebabkan karena koneksi antar komponen yang terhubung dengan menggunakan *wire* tidak terhubung dengan baik.
- *No. Of an element exceeds the limit*
 Pesan error muncul saat nilai komponen yang dimasukkan melebihi batas yang ada pada program PSIM.
- *The program failed to converge after 10 iterations when determining switch positions. The computation continues with the following switch positions: ...*
 ...

Untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah dengan cek rangkaian yang dibuat, apakah sudah benar atau tidak, cek signal dari *switch* atau dengan

cara hubungkan resistor atau induktor secara seri dengan *switch* dan sumber tegangan.

4.2. Analisa dan Perhitungan

Dari data-data yang diperoleh di Bab 3, maka dapat dilakukan analisa terhadap tegangan, arus, dan daya. Dimana akan dianalisa mengenai:

- Nilai rms dan *peak to peak* dari tegangan dan arus yang tercatat oleh alat ukur.
- *Total Harmonic Distortion* (THD) yaitu THD tegangan dan THD arus dimana berguna untuk mengetahui seberapa besar tingkat harmonisa yang terjadi dalam rangkaian lampu tersebut.
- *Power Factor* (PF) dan *Displacement Power Factor* (DPF) yang tercatat pada alat ukur untuk mengetahui ada tidaknya gejala hamonisa.

4.3. Analisa Perhitungan *Total Harmonic Distortion* (THD)

Dalam melakukan perhitungan ini, standar yang dipakai adalah standar dari IEEE 519-1992. Perhitungan THD ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu : perhitungan THD arus dan perhitungan THD tegangan.

4.3.1. Perhitungan THD Arus

Dalam melakukan perhitungan THD arus, terlebih dahulu harus diketahui perbandingan dari besarnya nilai I_{SC} dan nilai I_L . Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui apakah nilai dari hasil pengukuran yang telah dilakukan melebihi batas yang diijinkan atau tidak.

Berdasarkan Tabel 3.10 diketahui bahwa nilai arus harmonisa (5,7,9,11,...) yang terjadi relatif sangat besar. Pada hasil pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai arus harmonisa ke-3,5,7,9,11,...,31, masing-masing adalah : 0,56 A, 10,93 A, 2,22 A, 0,18 A, 1,48 A,..., 0,21 A. maka :

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2} \\ &= \sqrt{37,98^2 + 0,56^2 + 10,93^2 + \dots + 0,21^2} \\ &= 39,63A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^k I_n^2}}{I_1} \\
&= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2}}{I_1} \\
&= \frac{\sqrt{0,56^2 + 10,93^2 + \dots + 0,21^2}}{37,98} \\
&= \frac{\sqrt{128,1319}}{37,98} \\
&= 0,298 \\
&= 29,8\%
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka diketahui bahwa total arus harmonisa yang terjadi melebihi batas standar yang telah ditentukan, yaitu sebesar 15% ($I_{SC}/I_L > 1000$), dengan mengetahui bahwa arus harmonisa yang terjadi telah melebihi batas yang telah ditentukan, maka arus dari harmonisa tersebut harus diturunkan, dengan tujuan agar tidak mengganggu fungsi kerja dari beban tersebut dan tidak menimbulkan efek lainnya.

4.3.2. Perhitungan THD Tegangan

Dalam melakukan perhitungan THD tegangan, digunakan standar untuk tegangan dibawah 69 kV (lihat Tabel 2.2). kemudian dari hasil pengukuran yang telah diperoleh dilakukan perbandingan dengan standar yang sesuai untuk tegangan dibawah 69 kV. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui apakah nilai dari hasil pengukuran yang telah dilakukan melebihi batas yang diijinkan atau tidak.

Berdasarkan Tabel 3.10 diketahui bahwa nilai tegangan harmonisa (5,7,9,...) yang terjadi relatif sangat besar. Pada hasil pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan harmonisa ke-3,5,7,9,11,...,31, masing-masing adalah : 0,66 V, 6,75 V, 0,88 V, 0,41 V, 1,53 V, ..., 0,25 V. maka :

$$\begin{aligned}
V_{rms} &= \sqrt{V_1^2 + V_3^2 + V_5^2 + \dots + V_{31}^2} \\
&= \sqrt{369,63^2 + 0,66^2 + 6,75^2 + \dots + 0,25^2} \\
&= 369,69A
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^k V_n^2}}{V_1} \\
&= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + \dots + V_{31}^2}}{V_1} \\
&= \frac{\sqrt{369,63^2 + 0,66^2 + 6,75^2 + \dots + 0,25^2}}{369,63} \\
&= 1,92\%
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka di ketahui bahwa total tegangan harmonisa yang terjadi masih dalam batas standar yang telah ditentukan, yaitu sebesar 5% untuk tegangan kerja ≤ 69 kV, dengan mengetahui bahwa arus harmonisa yang terjadi telah melebihi batas yang telah ditentukan, maka arus dari harmonisa tersebut harus diturunkan, dengan tujuan agar tidak mengganggu fungsi kerja dari beban tersebut dan tidak menimbulkan efek lainnya.

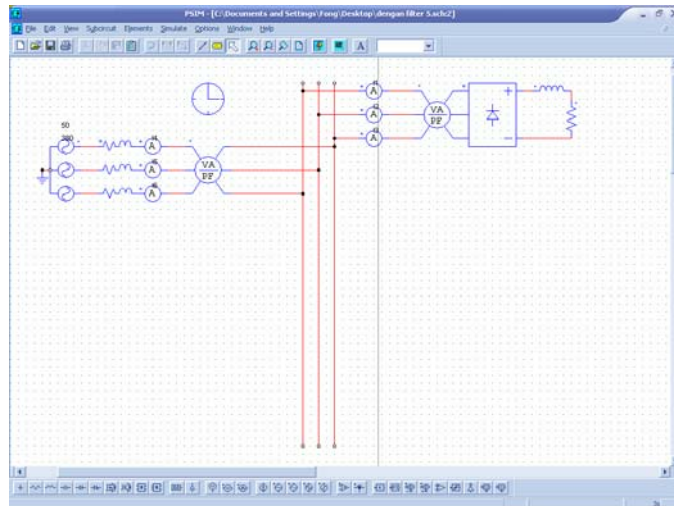
Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan (pada Bab 3), diketahui bahwa beban yang dipakai mengandung harmonisa ke-5 dan harmonisa ke-7. Beban yang digunakan untuk pengukuran adalah PP1 *Winder Extruder* 1 dengan daya 27,1 kVA, 380 V, 3 Ph.

4.4. Simulasi, Pemilihan Dan Perhitungan Komponen Filter Pasif

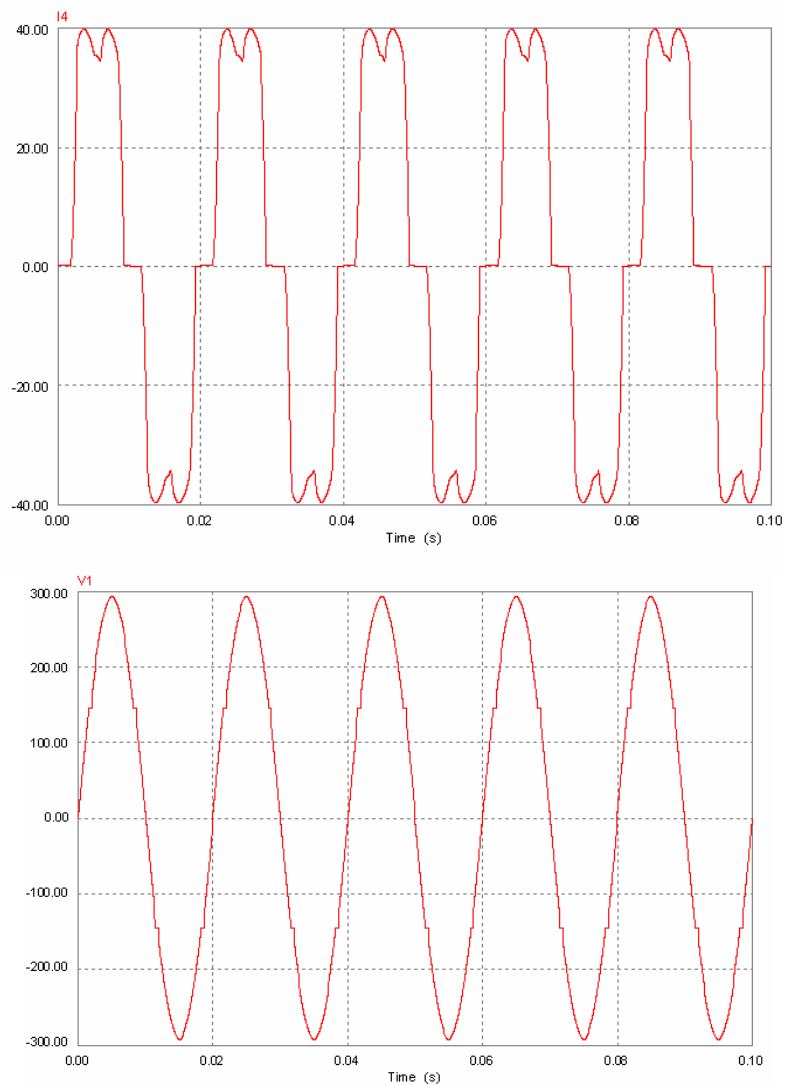
Dari spesifikasi beban tersebut akan dibuat pemodelan beban dengan menggunakan program PSIM 6.1. Pada pemodelan tersebut akan dibuat model beban dengan besar arus yang mendekati arus beban yang sebenarnya, yaitu sebesar 39.63 A. Pemodelan beban tersebut dibuat dengan menggunakan *rectifier* 3 fasa dengan beban R dan L yang digunakan untuk menghasilkan arus harmonisa ke-5 dan arus harmonisa ke-7 yang mendekati hasil pengukuran pada beban yang sebenarnya.

4.4.1. Simulasi Beban

Pada simulasi ini akan dibuat pemodelan rangkaian sumber pembangkit dan beban, simulasi beban ini digunakan untuk melihat karakter gangguan yang terjadi berupa bentuk gelombang dan spektrum harmonisa terjadi pada beban.

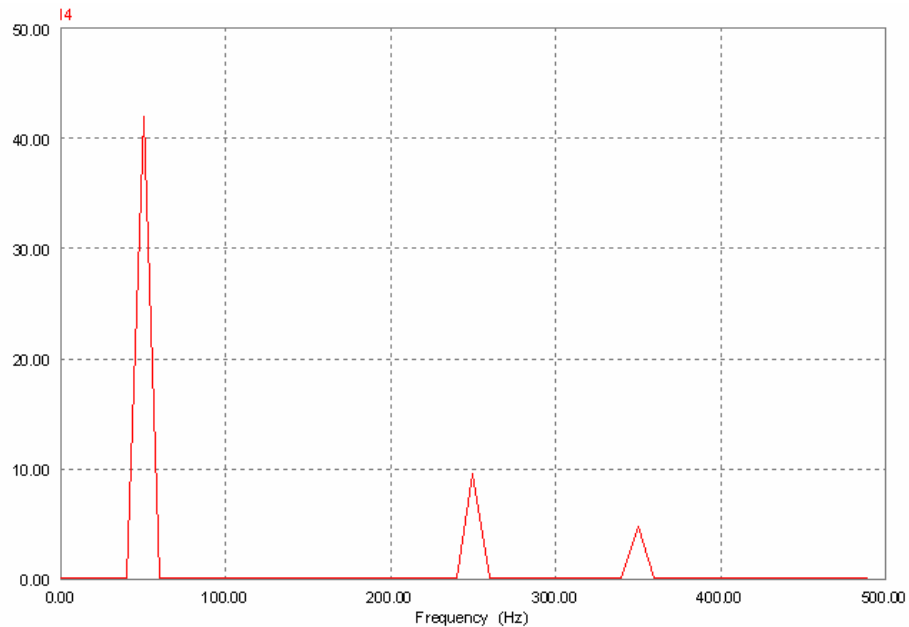


Gambar 4.16 Rangkaian Simulasi Beban



Gambar 4.17 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Beban

Dari hasil simulasi tersebut di atas didapatkan nilai persentase I_{THD} yang mengalir pada beban sebesar 27,07 %. Dari hasil simulasi tersebut juga diketahui bahwa nilai arus harmonisa yang terjadi pada tiap orde harmonisanya adalah sebagai berikut :



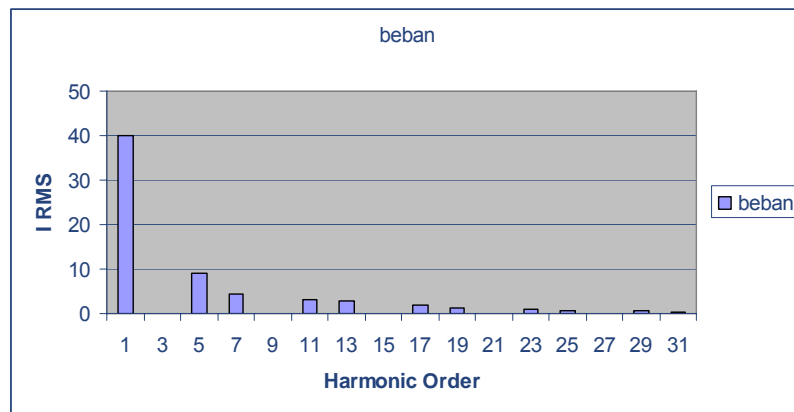
Gambar 4.18 Bentuk Spektrum Arus Beban

Tabel 4.1 Arus Harmonisa Beban

Orde Harmonisa	Arus (A)
1	41,8333
3	0,0054
5	9,059
7	4,1554
9	0,0045
11	3,3849
13	2,2342
15	0,0038
17	1,759
19	1,2469
21	0,003
23	0,9334

Tabel 4.1 Arus Harmonisa Beban (sambungan)

Orde Harmonisa	Arus (A)
25	0,7471
27	0,0021
29	0,5239
31	0,4184



Gambar 4.19 Grafik Nilai Harmonisa Dari Beban

Dari hasil simulasi tersebut maka dapat dihitung arus RMS yang mengalir pada beban dan juga total arus harmonisanya, yaitu :

$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2} \\
 &= \sqrt{41,8333^2 + 0,0054^2 + 9,059^2 + \dots + 0,4184^2} \\
 &= 43,2705A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^k I_n^2}}{I_1} \\
&= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2}}{I_1} \\
&= \frac{\sqrt{0,0054^2 + 9,059^2 + \dots + 0,4184^2}}{41,8333} \\
&= \frac{\sqrt{128,3099}}{41,8333} \\
&= 0,2707 \\
&= 27,07\%
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa total arus harmonisa yang terjadi adalah sebesar 27,07 %, dimana total arus harmonisa ini telah melewati batas standar yang telah ditentukan yaitu sebesar 15 %.

4.4.2. Pemilihan Filter

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa arus harmonisa yang terjadi telah melebihi batas standar yang telah ditentukan, hal ini dapat mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari beban maupun dari peralatan-peralatan lainnya. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya (lihat Bab 3) diketahui bahwa pada mesin *winder extruder* 1 di PT. Yanaprima Hastapersada, Sidoarjo terdapat harmonisa dengan orde harmonisa yang dominan adalah orde ke-5 dan ke-7. Untuk mengurangi besarnya arus harmonisa tersebut maka perlu digunakan sebuah alat yang dapat mengurangi arus harmonisa tersebut hingga batas normal. Salah satu cara untuk mengurangi adalah dengan menggunakan filter pasif (filter pasif digunakan bila orde harmonisa tidak berubah-ubah).

Filter pasif dapat berfungsi untuk meminimalisasi arus harmonisa yang timbul pada sistem. Filter pasif didesain sebagai rangkaian resonansi seri, yang biasanya juga disebut sebagai “jebakan” karena digunakan untuk menjebak atau mengontrol aliran dari arus harmonisa. Filter pasif tersusun dari kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang diatur pada frekuensi tegangan harmonisa yang akan dihilangkan.

Filter pasif ini dipilih karena orde harmonisa yang terjadi pada mesin *winder extruder* 1 di PT. Yanaprima Hastapersada, Sidoarjo hanya pada orde ke-5 dan ke-7 saja, sedangkan orde harmonisa yang lainnya tidak terjadi perubahan (konstan) dan tipe filter pasif yang digunakan adalah jenis *shunt filter*, pemilihan ini disesuaikan dengan keadaan faktor daya dari mesin *winder extruder* 1 yang berada dibawah batas standar. *Shunt filter* bersifat kapasitif pada frekuensi settingnya, untuk memberikan kompensasi daya reaktif.

4.4.3. Perhitungan Komponen Filter Pasif

Dari hasil pengukuran (lihat Bab 3 hal. 36) diambil hanya pada fasa T, karena dari hasil pengukuran diketahui bahwa beban yang terukur adalah seimbang dan arus pada fasa T adalah yang paling besar. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk mencari besarnya komponen-komponen yang dibutuhkan dalam mendesain filter pasif :

Dari hasil pengukuran (lihat Bab 3 hal.36) maka diketahui :

$$S = 27,1 \text{ kVA} \quad \text{Cos } \theta = 0,63$$

$$V = 380 \text{ V}$$

Daya reaktif yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} Q_1 &= S \times \sin[\arccos(\theta_1)] \\ &= 27,1 \times \sin [\arccos 0,63] \\ &= 21,0457 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Bila faktor daya dinaikkan menjadi 0,85, maka daya reaktif (Q) yang diperlukan:

$$\begin{aligned} Q_2 &= S \times \sin[\arccos(\theta_2)] \\ &= 27,1 \times \sin [\arccos 0,86] \\ &= 13,8289 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Daya reaktif (Q) yang diperlukan sebesar:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 - Q_2 \\ &= 21,0457 - 13,8289 \\ &= 7,2168 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Untuk sistem 380 V, reaktansi filter (X_{filter}):

$$X_{filter} = \frac{kV^2(1000)}{kVAR}$$

$$\begin{aligned} X_{filter} &= \frac{0,38^2(1000)}{7,2168} \\ &= 20,0088 \Omega \end{aligned}$$

Untuk harmonisa tingkat ke-5 (250 Hz), maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$X_{cap} = \frac{X_{filter} h^2}{h^2 - 1}$$

nilai penalaan (4,7) untuk menghasikan frekuensi resonansi 235 Hz, pada frekuensi fundamental 50 Hz (lihat hal.25).

$$\begin{aligned} X_{cap} &= \frac{20,0088(4,7^2)}{4,7^2 - 1} \\ &= 20,9575 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} kVAR &= \frac{kV^2(1000)}{X_{Cap}} \\ &= \frac{0,38^2(1000)}{20,9575} \\ &= 6,8901 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_{cap}}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 20,9575} \\ &= 152 \mu\text{F} \end{aligned}$$

$$X_L = \frac{X_{cap}}{h^2}$$

$$X_L = \frac{20,9575}{4,7^2}$$

$$= 0,9487 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times 50}$$

$$L = \frac{0,9487}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$= 3,0213 \text{ mH}$$

$$I_{Filter} = \frac{kV/\sqrt{3}}{X_{Filt}}$$

$$= \frac{380/\sqrt{3}}{20,0088}$$

$$= 10,96 \text{ A}$$

Pada hasil pengukuran (lihat Tabel 3.10), diketahui bahwa harmonisa ke-5 sebesar 28 %, maka total harmonisa beban dapat dicari sesuai dengan perhitungan di bawah ini :

$$I_{\text{harmonisa beban}} = I_h (pu) \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$= 0,28 \frac{27,2}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$= 11,57 \text{ A}$$

Maka total arus yang dibutuhkan untuk induktor adalah :

$$I_{RMS,Total} = \sqrt{I_{Filter}^2 + I_{\text{Harmonisa Beban}}^2}$$

$$= \sqrt{10,96^2 + 11,57^2}$$

$$= 15,94 \text{ A}$$

Untuk harmonisa tingkat ke-7 (350 Hz), maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$X_{cap} = \frac{X_{filter} h^2}{h^2 - 1}$$

nilai penalaan (6,7) untuk menghasilkan frekuensi resonansi 335 Hz, pada frekuensi fundamental 50 Hz (lihat hal.25).

$$\begin{aligned} X_{cap} &= \frac{20,0088(6,7^2)}{6,7^2 - 1} \\ &= 20,4647 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} kVAR &= \frac{kV^2(1000)}{X_{Cap}} \\ &= \frac{0,38^2(1000)}{20,4647} \\ &= 7,0561 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{\omega X_{cap}} \\ C &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 20,4647} \\ &= 156 \mu\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_L &= \frac{X_{cap}}{h^2} \\ X_L &= \frac{20,4647}{6,7^2} \\ &= 0,4559 \Omega \end{aligned}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times 50}$$

$$L = \frac{0,4559}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$= 1,4519 \text{ mH}$$

$$I_{Filter} = \frac{kV/\sqrt{3}}{X_{Filt}}$$

$$= \frac{380/\sqrt{3}}{20,0088}$$

$$= 10,96 \text{ A}$$

4.4.4. Simulasi Rangkaian Dengan Filter Harmonisa Ke-5

Rangkaian filter terdiri dari komponen R, L, dan C yang memiliki nilai yang didapat dari perhitungan di atas:

Filter pasif dirancang dengan menggunakan rangkaian *resonant shunt*. Filter pasif di-*setting* pada frekuensi 250 Hz. Dari hasil perhitungan didapat nilai kapasitansi (C) = 152 μ F, dan nilai induktansi (L) = 3,0213 mH.

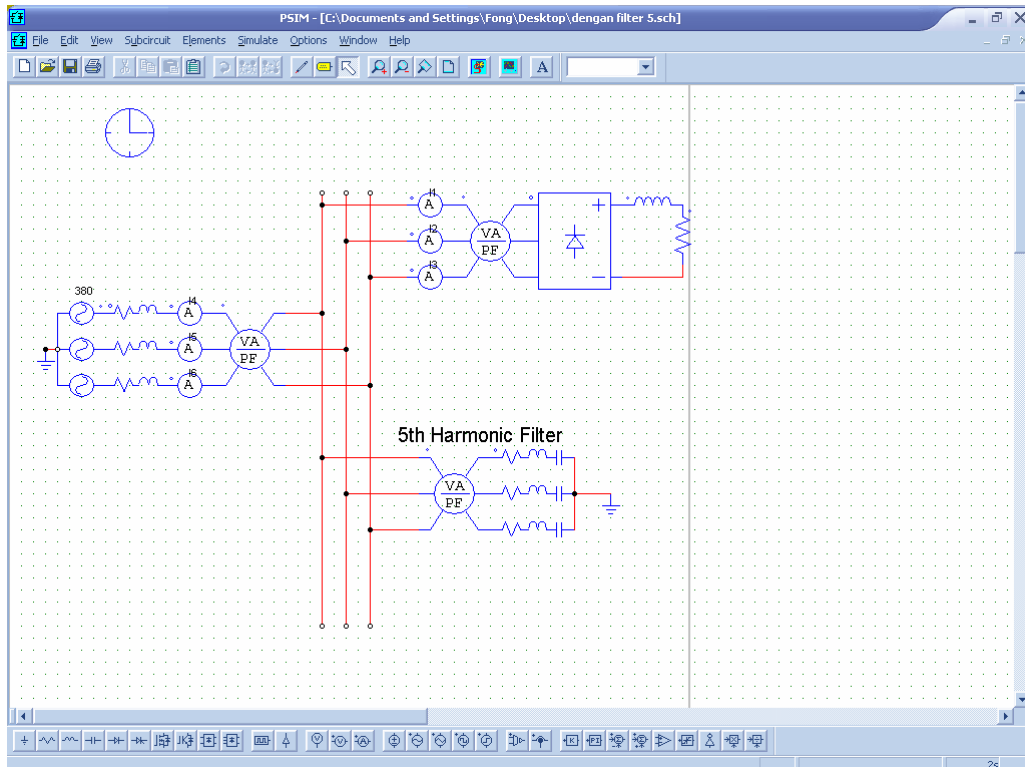
Dengan impedansi dari filter dengan rumus:

$$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ maka } X_0 \text{ dapat diketahui dengan nilai: } 4,4517.$$

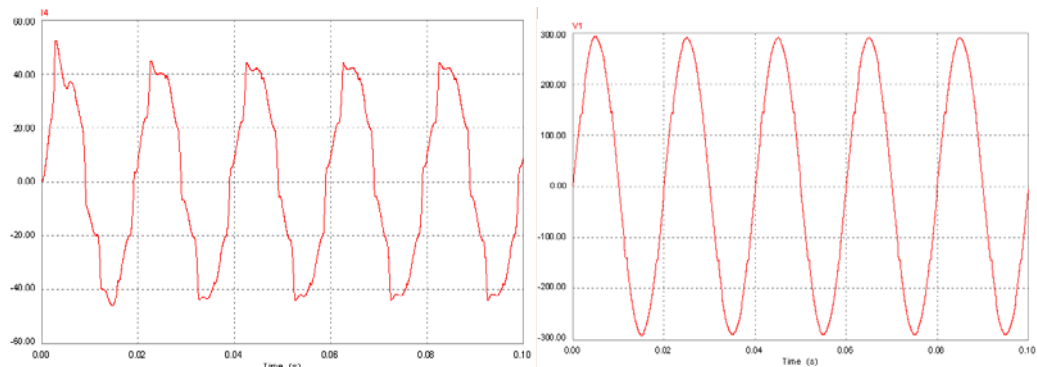
Karena inti reaktor menggunakan inti udara maka nilai q adalah 75. dari sini dapat ditentukan tahanan reaktor dengan rumus:

$$r = \frac{X_0}{q}, \text{ maka } r \text{ dapat diketahui dengan nilai: } 0,0594 \text{ } \Omega .$$

Setelah didapatkan besar komponen yang dibutuhkan, maka dibuat desain filter pasif dengan menggunakan besar komponen yang telah dihitung.

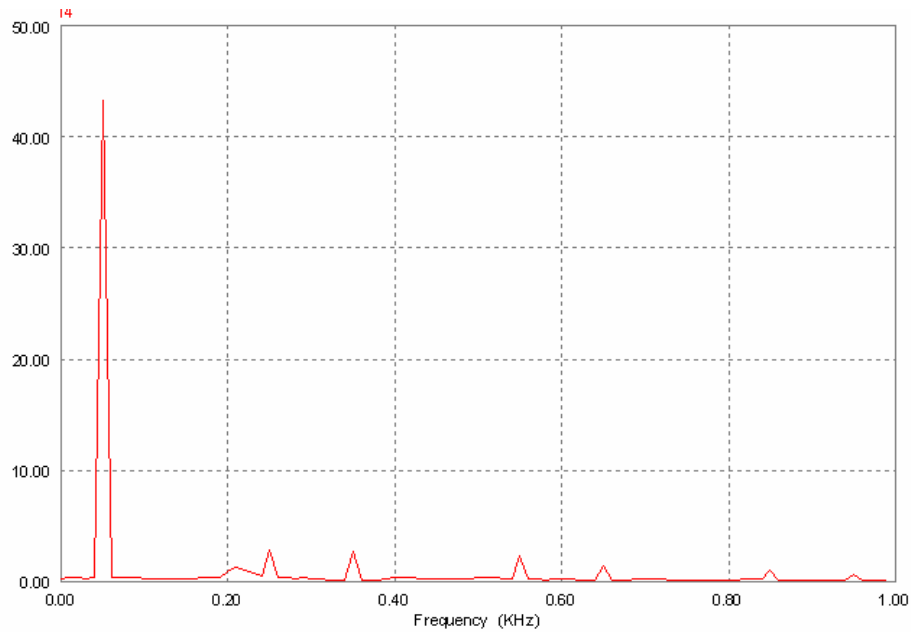


Gambar 4.20 Rangkaian Simulasi Dengan Filter Pasif



Gambar 4.21 Bentuk Gelombang Arus Dan Tegangan Yang Telah Terfilter

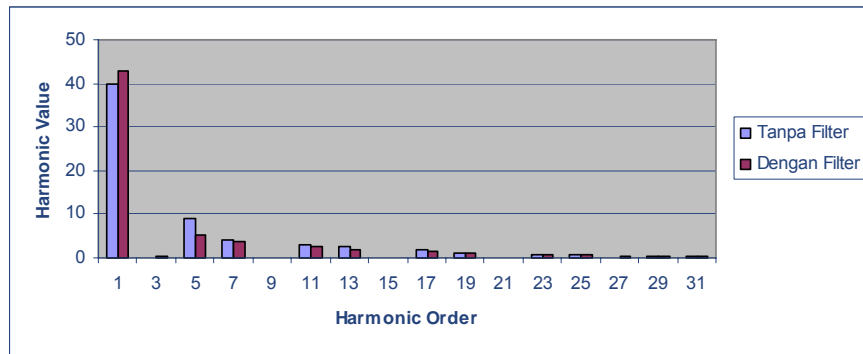
Dari hasil simulasi tersebut di atas didapatkan nilai persentase I_{THD} yang mengalir adalah sebesar 17,41% . Dari hasil simulasi tersebut juga diketahui bahwa nilai arus harmonisa yang terjadi pada tiap orde harmonisnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.22 Bentuk Spektrum Arus Yang Telah Terfilter

Tabel 4.2 Arus Harmonisa Setelah Terfilter

Orde Harmonisa	Arus (A)
1	43,6664
3	0,2378
5	5,0772
7	3,8151
9	0,1362
11	3,0111
13	2,0119
15	0,0054
17	1,6373
19	1,1623
21	0,0696
23	0,9331
25	0,7598
27	0,0508
29	0,5188
31	0,4198



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai Harmonisa Dengan Dan Tanpa Filter

Dari hasil simulasi tersebut maka dapat dihitung arus RMS yang mengalir pada beban dan juga total arus harmonisanya, yaitu :

$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2} \\
 &= \sqrt{43,6664^2 + 0,2378^2 + 5,0772^2 + \dots + 0,4198^2} \\
 &= 44,3419A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^k I_n^2}}{I_1} \\
 &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2}}{I_1} \\
 &= \frac{\sqrt{0,2378^2 + 5,0772^2 + \dots + 0,4198^2}}{43,6664} \\
 &= \frac{\sqrt{56,0464}}{43,6664} \\
 &= 0,1766 \\
 &= 17,66\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa total arus harmonisa yang terjadi adalah sebesar 17,66 %, dimana total arus harmonisa ini telah diminimalisasi. Dibandingkan tanpa penggunaan filter pasif total arus harmonisa sebesar 27,07 %, dimana telah terjadi penurunan sebesar 34,76 % arus harmonisa.

4.4.5. Simulasi Rangkaian Dengan Filter Harmonisa Ke-5 Dan Ke-7

Pada bagian ini akan dirancang simulasi dengan filter pasif disetting pada frekuensi 250 Hz dan 350 Hz. Dari hasil perhitungan didapat nilai kapasitansi (C) = 152 μ F (pada 250 Hz) dan 156 μ F (pada 350 Hz), dan nilai induktansi (L) = 3,0213mH (pada 250 Hz) dan 1,4519mH (pada 350 Hz).

Dengan impedansi dari filter dengan rumus:

$X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$, maka X_0 dapat diketahui dengan nilai: 4,4517 (pada 250 Hz) dan 3,0507 (pada 350 Hz).

Karena inti reaktor menggunakan inti udara maka nilai q adalah 75. dari sini dapat ditentukan tahanan reaktor dengan rumus:

$r = \frac{X_0}{q}$, maka r dapat diketahui dengan nilai: 0,0594 Ω (pada 250 Hz) dan 0,407 Ω (pada 350 Hz).

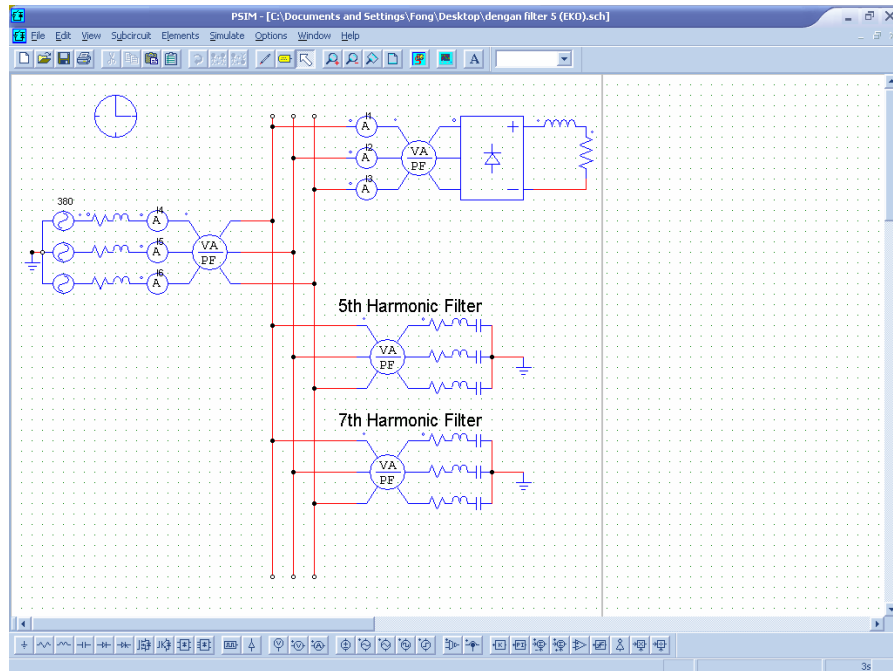
Pada hasil pengukuran (lihat Tabel 3.10), diketahui bahwa harmonisa ke-5 sebesar 28 % dan ke-7 sebesar 6,26 %, maka total harmonisa beban dapat dicari sesuai dengan perhitungan di bawah ini :

$$\begin{aligned} I_{\text{harmonisa beban}} &= I_h (pu) \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} \\ &= (0,063) \frac{27,2}{\sqrt{3} \times 0,38} \\ &= 2,60 \text{ A} \end{aligned}$$

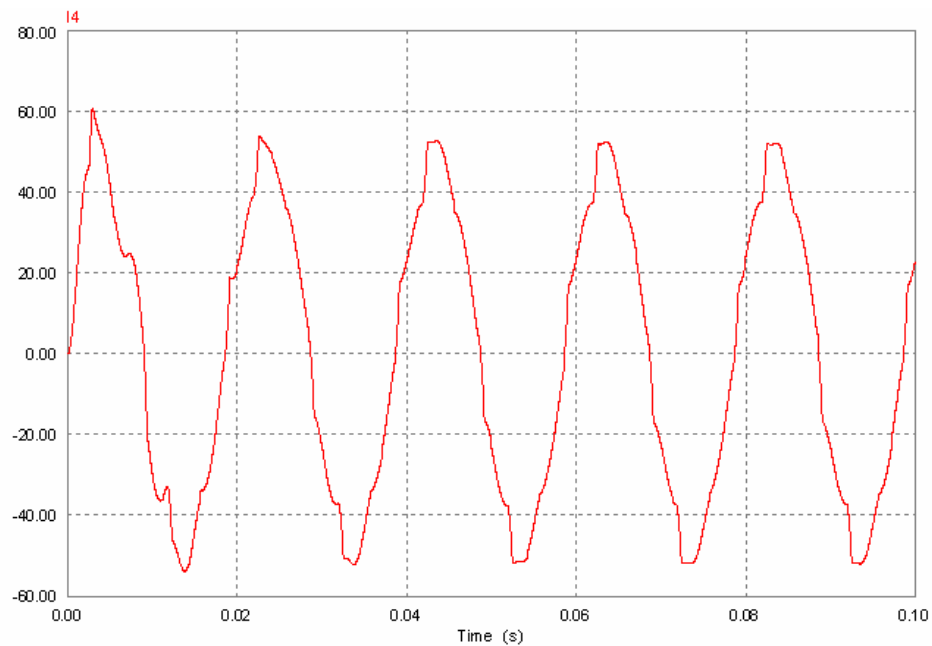
Maka total arus yang dibutuhkan untuk induktor adalah :

$$\begin{aligned} I_{RMS,Total} &= \sqrt{I_{Filter}^2 + I_{Harmonisa\ Beban}^2} \\ &= \sqrt{10,96^2 + 2,60^2} \\ &= 11,26 \text{ A} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan besar komponen yang dibutuhkan, maka dibuat desain filter pasif dengan menggunakan besar komponen yang telah dihitung.

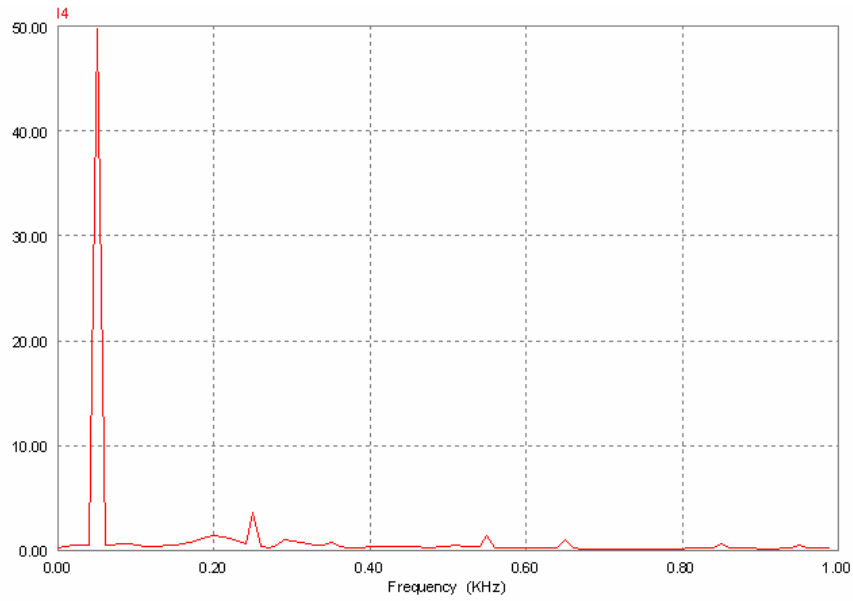


Gambar 4.24 Rangkaian Simulasi Dengan Filter Pasif Harmonisa Ke-5 Dan Ke-7



Gambar 4.25 Bentuk Gelombang Arus Setelah Dipasang Filter Harmonisa Ke-5 Dan Ke-7

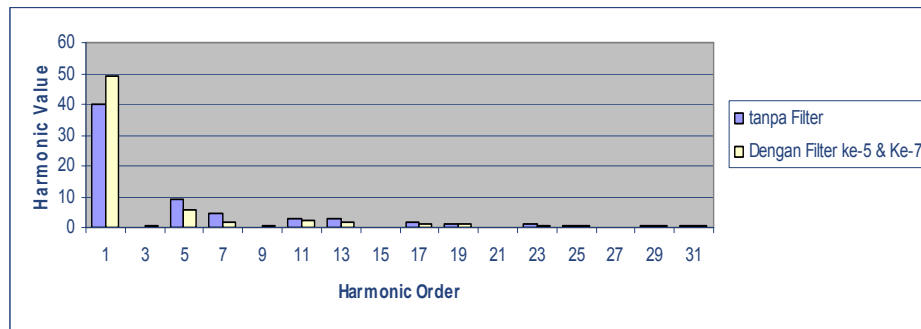
Dari hasil simulasi tersebut di atas didapatkan nilai persentase I_{THD} yang mengalir yang terjadi adalah sebesar 14,10 %. Dari hasil simulasi tersebut juga diketahui bahwa nilai arus harmonisa yang terjadi pada tiap orde harmonisnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.26 Bentuk Spektrum Arus Setelah Dipasang Filter Harmonisa Ke-5
Dan Ke-7

Tabel 4.3 Arus Harmonisa Setelah Dipasang Filter Harmonisa Ke-5 Dan Ke-7

Orde Harmonisa	Arus (A)
1	49,7094
3	0,3351
5	5,8215
7	1,5714
9	0,2962
11	2,3617
13	1,6329
15	0,0478
17	1,3506
19	0,9326
21	0,1297
23	0,8693
25	0,7088
27	0,1247
29	0,4589
31	0,3793



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Nilai Harmonisa Filter ke-5 & ke-7 Dengan Tanpa Filter

Dari hasil simulasi tersebut maka dapat dihitung arus RMS yang mengalir pada beban dan juga total arus harmonisanya, yaitu :

$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2} \\
 &= \sqrt{49,7094^2 + 0,3351^2 + 5,8215^2 + \dots + 0,3793^2} \\
 &= 50,2013A
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^k I_n^2}}{I_1} \\
 &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{31}^2}}{I_1} \\
 &= \frac{\sqrt{0,3351^2 + 5,8215^2 + \dots + 0,3793^2}}{49,7094} \\
 &= \frac{\sqrt{46,7831}}{49,7094} \\
 &= 0.1410 \\
 &= 14,10 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa total arus harmonisa yang terjadi adalah sebesar 14,10 %, dimana total arus harmonisa ini telah diminimalisasi. Dibandingkan tanpa penggunaan filter pasif total arus harmonisa sebesar 27,07 %, dimana telah terjadi penurunan sebesar 47,91 % arus harmonisa.

Tabel 4.4 Perbandingan %I_{THD} Dengan Batas Standar

	Arus Fundamenta l (A)	Standar % I _{THD} (%)	% I _{THD} (%)	Standar % V _{THD} (%)
Tanpa Filter	41,8333	15	27,07	5
Dengan Filter Harmonisa Ke-5	43,6664	15	17,66	5
Dengan Filter Harmonisa Ke-5 dan Ke-7	49,7094	15	14,10	5

4.5. Pemilihan Komponen Sesuai Dengan Perhitungan

Pada bagian ini akan ditentukan untuk pemilihan komponen filter, yaitu kapasitor dan induktor. Pemilihan komponen ini sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Kapasitor yang dibutuhkan untuk kompensasi daya reaktif pada sistem dan untuk meredam harmonisa ke-5 dan ke-7 adalah sebesar 152 μF (lihat hal.58) dan 156 μF (lihat hal.59), induktor yang dibutuhkan adalah sebesar 3,0213 mH (lihat hal.59) dan 1,4519 mH (lihat hal.61).

Dari hasil perhitungan yang telah didapatkan tersebut maka dicari produk kapasitor dan induktor yang ada di pasaran dengan nilai yang disesuaikan dengan nilai kapasitor dan induktor yang telah didapatkan dari hasil perhitungan.

4.5.1. Kapasitor

Untuk kapasitor digunakan produk dari *Galco Industrial Electronics*, produk kapasitor ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

- Mengurangi biaya tambahan akibat factor daya yang rendah.
- Mengurangi rugi-rugi daya pada kabel dan trafo.
- Meningkatkan kapasitas penghantar pada kabel.
- Meningkatkan kapasitas trafo.
- Stabilisasi tegangan untuk kabel yang panjang.



Gambar 4.28 *Power Factor Correction Capacitors*

Sumber : Galco Industrial Electronics. *ABB Low-Voltage Network Quality*
<<http://www.galco.com/scripts/cgiip.exe/wa/wcat/webpromo.htm?promo=200AB BCC484>>

Prinsip komponen dasar dari ABB kapasitor 3 fasa:

- *Sequential Protection System*
- *Discharge Resistors*
- *Terminal Studs*
- *Enclosure*

4.5.2. Reaktor

Untuk reaktor digunakan produk dari *Galco Industrial Electronics*. Produk reaktor ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu :

- Mengkompensasi harmonisa.
- Melindungi motor dari efek jangka panjang.
- Mengurangi distorsi harmonisa.
- Meningkatkan faktor daya.



Gambar 4.29 Reaktor

Sumber : Galco Industrial Electronics. *MTE Line & Load Reactors*
<<http://www.galco.com/scripts/cgiip.exe/wa/wcat/webpromo.htm?promo=200MTERL>>

Untuk besarnya impedansi yang dapat dipilih adalah 3 % dan 5 %. Besar impedansi 5 % digunakan untuk :

- Mengurangi distorsi harmonisa.
- Menurunkan suhu motor dan mengurangi suara dari motor.
- Memperpanjang umur dari motor.