

PERENCANAAN FILTER AKTIF TIGA FASA MENGGUNAKAN KONTROL PROPOTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Tjahja Odinanto, Slamet Winardi, Khoirul Hadi Saputra
Jurusan Teknik Elektro - ITATS

ABSTRAK

Filter pasif telah banyak digunakan dalam mengatasi masalah harmonisa, akan tetapi filter ini tidak untuk menyelesaikan masalah yang ditimbulkan oleh variasi acak bentuk gelombang. Oleh karena itu banyak dikembangkan penggunaan filter aktif dengan berbagai macam metode pengontrolan. Paper ini membahas filter aktif tiga fasa menggunakan kontrol PID (Proportional Integral Derivative) sebagai kontrol yang sederhana untuk mengatasi permasalahan harmonisa pada sistem tenaga listrik. Filter aktif saat beroperasi, menginjeksikan arus kompensasi ke sistem tenaga listrik. Arus beban yang terdistorsi diinputkan pada kontrol filter dan menghasilkan arus trigger untuk inverter, dimana arus trigger ini menentukan besarnya arus kompensasi. Setelah dilakukan simulasi untuk membandingkan kondisi sistem sebelum pemasangan filter aktif, diperoleh THD (Total Harmonic Distortion) arus sebesar 34,91%, setelah pemasangan filter aktif dengan menggunakan kontrol PID, THD arus mengalami penurunan menjadi 11,157%.

Kata kunci : harmonisa, filter aktif, kontrol PID

ABSTRACT

Passive filter has widely used to minimalism the harmonics; however it could be not solve the problem which rise caused of randomly wave shape variables. Therefore, it is developed active filter with many various controls method. This paper concern about three phase active filter using PID (Proportional Integral Derivative) as a simple controls to handled harmonics problems on power system. As active filter operated, it is inject current for compensation to power system. Then distorted load current will input to filter control and gain the trigger current for inverter, which decide how much compensation need are. After simulation was done to compare system condition before filter active installation, we get THD (Total Harmonic Distortion) currents about 34.91 %, then after active filter installation using PID control, the current of THD has decrease to 11.157 %.

Keywords : harmonics, active filter, PID control

1. Pendahuluan.

Penggunaan beban-beban dengan komponen elektronika seperti komputer, televisi, lampu dengan *ballast* elektronika, atau *uninterruptible power supply* (UPS) kini semakin luas. Beban-beban nonlinier tersebut dapat menyebabkan distorsi bentuk gelombang arus maupun tegangan. Distorsi gelombang ini biasa disebut harmonisa, yaitu komponen gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi kelipatan frekuensi fundamental. Masalah-masalah yang dapat ditimbulkan oleh harmonisa antara lain adalah meningkatkan rugi-rugi energi, overheating dan faktor kerja yang rendah. Harmonisa juga dapat mempengaruhi kerja peralatan pengaman dan pengukuran daya listrik. Penggunaan filter pasif telah dilakukan. Akan tetapi filter ini tidak dapat menyelesaikan masalah yang ditimbulkan oleh variasi acak dari bentuk gelombang pada

beban karena filter ini biasanya ditala pada frekuensi tertentu. Filter ini juga dapat menghasilkan resonansi seri dan paralel dengan impedansi sumber. Untuk memecahkan masalah ini, maka telah dikembangkan penggunaan filter aktif yang sekarang banyak digunakan. Akan tetapi penggunaan dari filter ini sangat jarang sekali ditemukan untuk mengurangi adanya arus harmonisa. Salah satu alasannya adalah mahalnya filter jenis ini. Selain itu peralatan penalaan yang berasal dari filter aktif ini pada dasarnya haruslah memiliki dua jenis karakteristik, yaitu mampu ditala dengan frekuensi tinggi dan kemampuan untuk bekerja pada rating daya tinggi.

Dalam perkembangannya filter aktif dengan metode kontrol yang bermacam-macam sedang diselidiki tetapi masih terdapat banyak kerumitan pada rangkaian kontrol. Metode Kontrol PID adalah salah satu solusi untuk mengatasi kerumitan pada

rangkaian kontrol. Metode Kontrol PID mempunyai desain yang lebih sederhana dan tidak memerlukan banyak sensor. Salah satu keuntungan dari metode Kontrol PID adalah mempunyai modulasi frekuensi *switching* yang konstan.

Dari pendahuluan diatas dapat dirumuskan suatu permasalahan, diantaranya adalah :

- Bagaimana pengaruh filter aktif tiga fasa dengan menggunakan kontrol PID terhadap reduksi harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Dari perumusan masalah tersebut, maka dapat ditentukan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Untuk mengetahui pengaruh filter aktif tiga fasa dengan menggunakan kontrol PID terhadap reduksi harmonisa pada sistem tenaga listrik

Manfaat adalah :

- Dengan menggunakan filter aktif tiga fasa dengan menggunakan kontrol propotional integral derivative (PID) hasil yang diharapkan sebagai kontrol yang sederhana untuk mengatasi permasalahan harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Mengingat cukup kompleksnya permasalahan yang ada, maka penelitian ini dibatasi permasalahannya pada :

1. Asumsi sistem dengan kondisi tegangan tiga fasa yang seimbang.
2. Sistem telah terdapat distorsi bentuk gelombang yang harus dikompensasi sebagai akibat adanya harmonisa.
3. Beban non linier yang digunakan berupa *rectifier* yang pada saat beroperasi akan menimbulkan harmonisa.
4. Filter aktif yang digunakan untuk mereduksi harmonisa dengan menggunakan metode Kontrol PID.
5. Analisa perhitungan diambil dari data hasil simulasi PSIM.

2. Tinjauan Pustaka

Keberadaan harmonisa akibat perambatan beban non linier seperti, konverter dengan resistor dan *rectifier*. Telah menjadi masalah yang serius dalam sistem tenaga listrik. Harmonisa tersebut menimbulkan banyak permasalahan yang antara lain mengakibatkan rugi-rugi daya

yang lebih besar dalam sistem distribusi. Penggunaan filter pasif LC untuk mengurangi harmonisa kurang efektif akibat variasi acak bentuk gelombang dan pengaruh impedansi jaringan. Pada paper ini akan disajikan inverter IGBT dan inverter mosfet. Inverter mosfet berfungsi sebagai kompensasi arus harmonisa, yang mana akan membandingkan arus akibat beban nonlinier dan arus harmonisa inverter. Sedangkan inverter IGBT yang berfungsi sebagai kompensasi daya reaktif fundamental yang membandingkan tegangan sumber yang disearahkan dengan arus dc. Dari data simulasi yang didapatkan, bahwa filter aktif Hibrid dapat mereduksi THD dari 28,47% menjadi 2,87% dan dapat meningkatkan faktor daya. (Bagus, Topologi. 2006).

Filter pasif telah banyak digunakan dalam mengatasi masalah harmonisa, akan tetapi filter ini tidak untuk menyelesaikan masalah yang ditimbulkan oleh variasi acak bentuk gelombang. Oleh karena itu banyak dikembangkan penggunaan shunt dan series aktif filter dengan berbagai macam metode pengontrolan. Paper ini membahas filter aktif seri tiga fase menggunakan kontrol logika fuzzy yang memiliki kestabilan keandalan dan dalam mengatasi harmonisa yang memiliki range variabel lebar. Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan penurunan THD arus signifikan, relatif stabil dari 102,39% menjadi 5,4%, sedangkan dengan menggunakan controller THD arus berkurang dari 61,85% menjadi 6,36%. Dan dari 102,39% menjadi 32.05%. (Suprpto, Vendy Hendrawan. 2006).

Pada filter aktif yang disusun secara seri, filter pasif terhubung seri dengan filter aktif (inverter). Sehingga arus yang mengalir pada sisi inverter sama besar dengan arus filter pasif. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan memilih rasio lilitan yang besar dari transformator tidak dapat (sangat sulit dilakukan pada sistem tenaga listrik yang besar, transformator yang berdaya besar (tegangan tinggi) membutuhkan biaya yang besar untuk konstruksinya. Pada paper ini, mengusulkan konfigurasi baru paralel filter aktif Hybrid, yaitu filter aktif yang dihubungkan dengan filter pasif secara paralel melalui sebuah matching transformator yang bertujuan untuk mengurangi besarnya arus pada inverter. Sebagai hasil kompensasi

fundamental arus yang melewati filter tersebut dengan bagian paralel dari 2 induktor pada bagian inverter dan pada bagian filter pasif, maka besar arus dari konverter dapat direduksi. (Sofa, Amarullah. 2006).

2.1 Sumber–Sumber Harmonisa

Pada umumnya harmonisa di timbulkan oleh beban–beban tak linier tersebut dapat menyebabkan distorsi bentuk gelombang arus maupun tegangan. Diantaranya beban-beban yang menyebabkan harmonisa adalah sebagai berikut :

1. Konverter
2. Transformator
3. Mesin – mesin berputar
4. Tanur busur listrik
5. Penyearah enam pulsa
6. Kompensator VAR Statis
7. Lampu Discharge
8. Peralatan Listrik Rumah Tangga

2.2 Pengaruh Harmonisa

Adanya harmonisa pada sistem tenaga listrik akan berpengaruh terhadap beberapa peralatan dan sistem tenaga listrik yang akan menyebabkan rugi-rugi dan kerusakan pada peralatan tersebut. Pengaruh yang ditimbulkan harmonisa antara lain:

1. Pengaruh pada mesin – mesin berputar.
2. Pengaruh terhadap saluran transmisi.
3. Pengaruh pada transformator.
4. Pengaruh pada kapasitor bank.
5. Pengaruh pada power factor.
6. Pengaruh pada rele pengaman.
7. Resonansi.
8. Pengaruh pada interferensi dalam telekomunikasi.
9. Pengaruh pada peralatan konsumen.
10. Pengaruh pada alat-alat ukur listrik

2.3 Besaran – besaran Harmonisa

$\%V_{THD}$ adalah prosentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa, $\%I_{THD}$ adalah prosentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa, diberikan oleh rumus

$$\%V_h = \frac{V_h}{V_s} \times 100 = h \frac{I_h}{I_{sc}} \times 100 \%$$

$$\%V_v = h \frac{(I_h/I_i)}{(I_{sc}/I_i)} \times 100 \%$$

$$\%I_h = \frac{I_h}{I_s} \times 100 \%$$

Dimana:

- V_h : Tegangan harmonisa.
- V_s : Tegangan sistem
- I_h : Arus harmonisa
- I_{sc} : Arus *short circuit*.
- h : Harmonisa ke-n
- I_{sc}/I_i : Rasio pada tabel Limit Distorsi Arus Harmonisa.
- I_i : Arus yang mengambil daya beban elektronik.

Total Harmonic Distortion (THD) untuk arus didefinisikan dengan persamaan :

$$I_{THD} = \frac{\sum_h^{\infty} = 1\sqrt{I_h^2}}{I_i}$$

Total Harmonic Distortion (THD) untuk tegangan didefinisikan dengan persamaan :

$$V_{THD} = \frac{\sum_h^{\infty} = 1\sqrt{V_h^2}}{V_i}$$

Standar THD Arus dan THD Tegangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar IEEE tahun 1992. Dimana untuk arus THD dibawa 15% dan Untuk tegangan THD dibawa 5%.

2.4 Filter Aktif

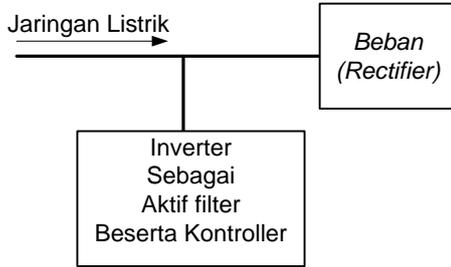
Filter aktif merupakan tipe baru untuk peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga. Filter ini disusun dari peralatan-peralatan elektronika daya.

Komponen utama yang terdapat pada filter aktif adalah:

1. Inverter
Inverter digunakan sebagai filter aktif yang dihubungkan paralel dengan sumber tegangan beban untuk mengkompensasi harmonisa.
2. Kontroller
Kontroller digunakan dalam rangkaian filter aktif untuk memper kecil sinyal error pada sumber tegangan beban terdapat harmonisa. Keluaran

kontroller digunakan untuk mentrigger inverter.

Pemakaian umum dari filter aktif dalam sistem tenaga listrik dapat dilihat seperti gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Pemasangan filter aktif

2.5 Perbaikan Faktor Daya

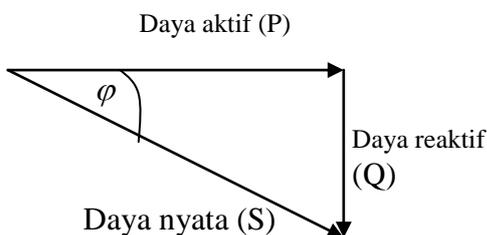
Dari hubungan segitiga yang ditunjukkan gambar 2.2, beberapa persamaan yang sederhana dapat ditulis sebagai berikut:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$\cos \varphi = PF = \frac{\text{daya aktif (P)}}{\text{daya nyata (S)}} = \frac{kW}{kVA}$$

$$\tan \varphi = \frac{\text{daya reaktif (Q)}}{\text{daya aktif (P)}} = \frac{kVar}{kW}$$

$$\sin \varphi = \frac{\text{daya reaktif (Q)}}{\text{daya nyata (S)}} = \frac{kVar}{kVA}$$



Gambar 2.2 Segitiga daya

Pada sistem daya 3 paha seimbang digunakan persamaan berikut ini:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Untuk gelombang yang tak sinusoidal, misalnya terdapat harmonisa, maka factor daya berbanding lurus dengan bentuk gelombang fundamentalnya. Secara umum nilai sesaat dari tegangan dan arus dapat ditulis sebagai berikut

$$pf = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v i dt}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{\sum_1^n V_n I_n \cos \varphi_n}{\left\{ \left(\sum_1^n V_n^2 + \sum_1^m V_m^2 \right) \left(\sum_1^n I_n^2 + \sum_1^p I_p^2 \right) \right\}^{1/2}}$$

Jika bentuk tegangannya adalah sinusoidal maka persamaan tersebut dapat disederhanakan

$$pf = \frac{V_1 I_1 \cos \varphi_1}{V_1 I_{rms}} = \frac{I_1}{I_{rms}} \cos \varphi_1$$

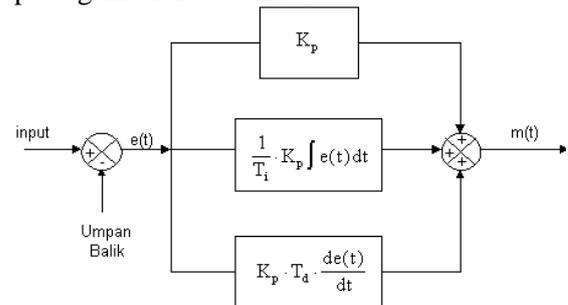
2.6 Kontrol PID

Fungsi transfer dari PID Kontroller akan tampak sebagai berikut :

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

- K_p = Proportional gain
- K_i = Integral gain
- K_d = Derivative gain
- s = fungsi laplace

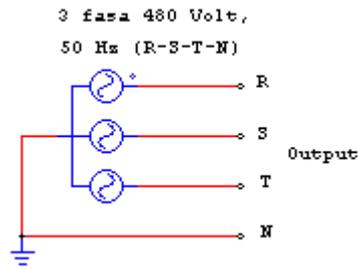
Blok diagram dari kontrol PID ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut :



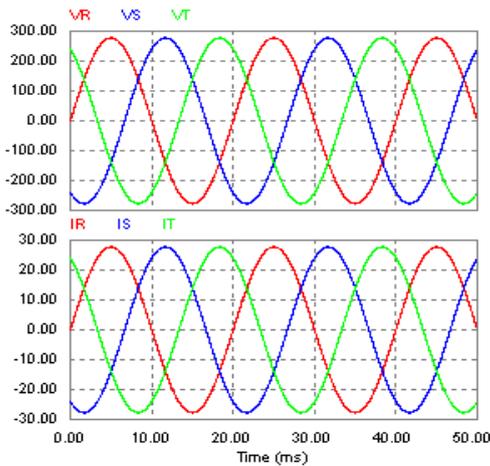
Gambar 2.3 Blok diagram kontroler PID analog

Proportional Kontroller (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak. Integral kontroller (K_i) akan memberikan efek menghapus kesalahan keadaan tunak, tetapi berakibat memburuknya respon transien. Derivatif kontroller akan memberikan efek meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi overshoot, dan menaikkan respon transfer.

Volt, dan frekuensi 50 Hz yang terhubung bintang-netral (R-S-T-N).



Gambar 3.3 Sumber tegangan 3 fasa



Gambar 3.4 Bentuk gelombang sumber tegangan dan arus

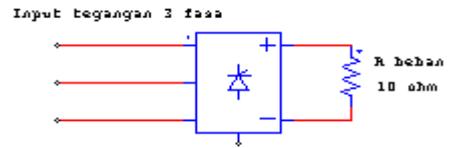
3.2.2 Penyearah (Rectifier)

Pada penelitian ini munculnya harmonisa dikarenakan adanya beban *single-phase full-wave controlled rectifier*, yang saat beroperasi terhubung dengan jaringan akan merubah bentuk gelombang sinus menjadi cacat pada jaringan, yang nantinya akan menimbulkan rugi-rugi pada jaringan.

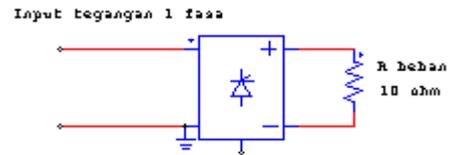
Dalam perancangan sistem, beban *rectifier* yang digunakan ada 4 buah yaitu :

1. Satu buah *three phase full-wave controlled rectifier* dengan beban resistor sebesar 5 ohm. Gambar 3.5. Bentuk gelombang masukan dan keluaran dapat dilihat pada gbr.3.7, gbr.3.9.
2. Tiga buah *single phase full-wave controlled rectifier* sisi input terhubung bintang-netral (R-S-T-N) dan sisi output dengan beban resistor sebesar 10 ohm. Bentuk gelombang masukan dan

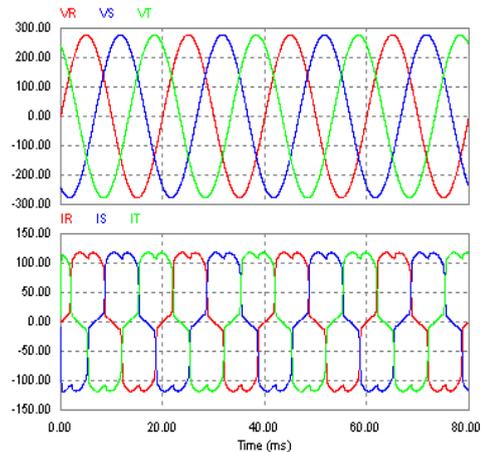
keluaran dapat dilihat pada gbr.3.8, gbr. 3.9.



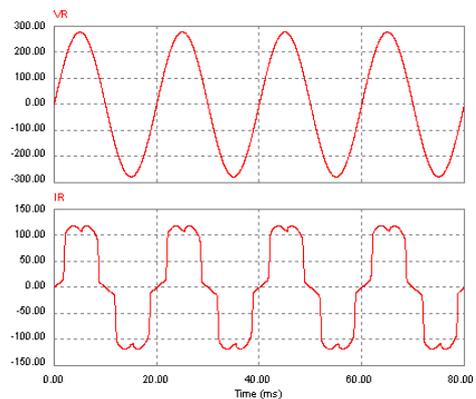
Gambar 3.5 *Three phase full-wave controlled rectifier*



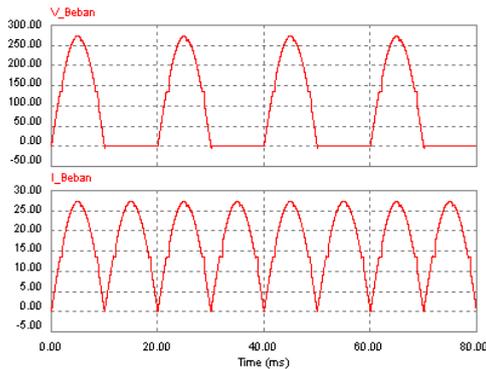
Gambar 3.6 *Single phase full-wave controlled rectifier*



Gambar 3.7 Bentuk gelombang masukan dari *Three phase full-wave controlled rectifier*



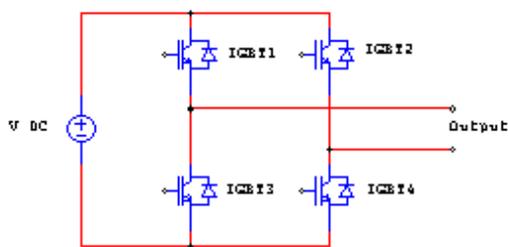
Gambar 3.8 Bentuk gelombang masukan tegangan dan arus dari *Single phase full-wave controlled rectifier*.



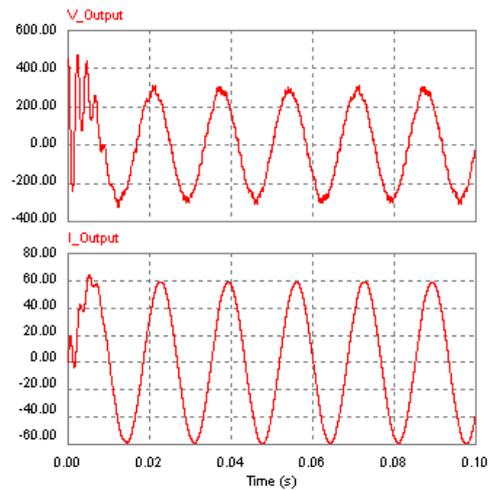
Gambar 3.9 Bentuk gelombang keluaran tegangan dan arus beban dari *Three and Single phase full-wave controlled rectifier*.

3.2.3 Inverter

Dalam pemodelan filter aktif ini digunakan inverter sumber arus satu fasa. Sedangkan komponen elektronika daya yang dapat digunakan antara lain *thyristor*, *GTO*, *power MOSFET* ataupun *IGBT*. Untuk nilai besar tegangan VDC yang digunakan inverter sebesar 300Volt DC Pada pemodelan ini digunakan empat buah IGBT sebagai switch dari inverternya. Rangkaian inverter dalam penelitian ini seperti gbr.3.10, dan bentuk gelombang gbr.3.11 Berikut:



Gambar 3.10 Inverter 4 pulsa dengan menggunakan IGBT.

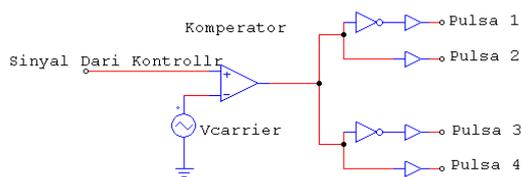


Gambar 3.11 Bentuk gelombang keluaran inverter

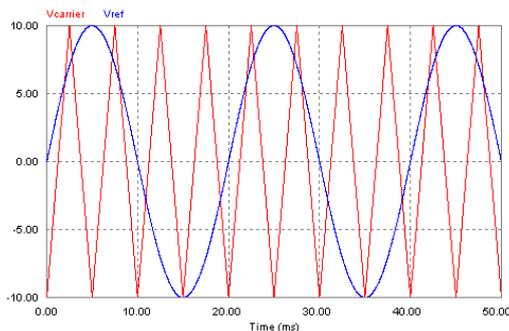
3.2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Dalam prakteknya proses modulasi ini dikerjakan oleh komparator. Inputan dari komparator terdiri atas dua input yang dilambangkan dengan kutub positif dan negatif. Sinyal yang akan dimodulasikan dimasukkan ke inputan positif dan sinyal carrier ke kutub negatif. Output dari komparator berbentuk pulsa *on* dan *off*. Prinsip dari komparator yaitu pulsa output akan *On* jika sinyal yang dimodulasikan lebih besar (lebih positif) jika dibandingkan dengan sinyal carrier, dan pulsa output akan *Off* jika sinyal yang dimodulasikan lebih kecil (lebih negatif) jika dibandingkan dengan sinyal carrier.

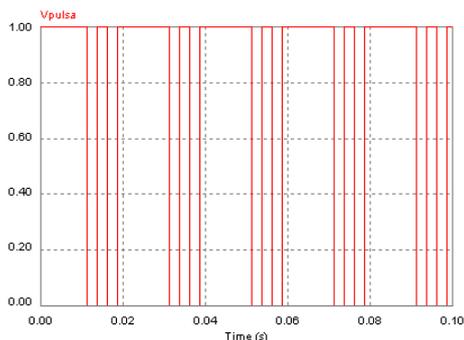
Dalam perancangan filter aktif ini digunakan satu buah PWM yang bertugas menghasilkan sinyal pulsa untuk mentrigger inverter sebagai filter aktifnya. Dalam penelitian ini menggunakan sebuah PWM yang akan menghasilkan dua jenis pulsa (tiap pulsa mempunyai dua pulsa yang saling berkebalikan dengan cara memberi rangkaian inverting). Rangkaian PWMnya dan gelombang pulsa yang terbentuk sebagai *switching* inverter adalah seperti gbr.3.12. dan gbr.3.13 berikut. Bentuk pulsa yang akan mentrigger inverter gbr.3.14



Gambar 3.12 Rangkaian *Pulse Width Modulation* (PWM)



Gambar 3.13 Bentuk gelombang V_{ref} dan $V_{carrier}$



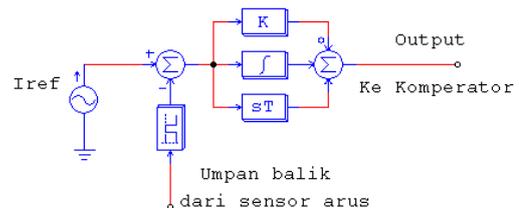
Gambar 3.14 Gelombang pulsa untuk triger inverter

3.2.5 **Kontroller Filter aktif**

Desain kontrol PID yang sederhana ini mampu untuk memperbaiki cacat gelombang yang diakibatkan beban rectifer dan menaikkan faktor daya hingga mendekati $PF = 1$ dan menekan nilai THD dibawah nilai maksimum yang nilainya ditentukan oleh standar internasional dalam hal ini digunakan standar IEEE tahun 1992

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menentukan besar gain dan time constant adalah metode *trial and error* atau coba – coba. Pada metode tabel tidak digunakan karena tanggapan sistem yang terjadi tidak pernah sesuai, terdapat beberapa problem yang harus diketahui sebelum

melakukan *tuning* PID untuk mendapatkan parameter kontrolnya. Pedoman yang utama adalah dengan melihat overshoot sinyal keluaran terlalu tinggi maka gain diturunkan atau sebaliknya jika redaman yang terjadi terlalu tinggi maka time-constant dinaikkan demikian pula sebaliknya untuk merubah duty cycle sinyal switching dilakukan dengan merubah gain yang terdapat pada PID Controller.



Gambar 3.15 Kontrol PID

Dari gbr.3.15 diatas dapat dijelaskan V_{ref} adalah suatu bentuk gelombang yang diinginkan pada tegangan dan arus jaringan. Dimana V_{ref} merupakan acuan gelombang tegangan dan arus yang tidak cacat, yang kemudian dibandingkan dengan bentuk gelombang pada umpan balik dari sensor. Antara V_{ref} dan Umpan balik yang mana perbedaan *error*nya mendekati 0. Saat V_{ref} dibandingkan dengan tegangan dan arus pada inputan beban, selisih besar tegangan dan arus akan diolah oleh parameter kontroller yang berupa Gain dan Time Constan. Dari control PID hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan sinyal kontrol yang diinginkan, sehingga bentuk gelombang yang masuk pada beban tidak cacat. Keluaran dari kontroller akan di olah lagi dengan komparator untuk

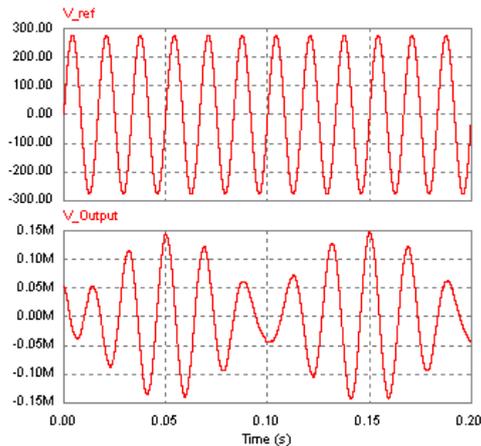
merubah sinyal menjadi pulsa untuk mentrigger inverter.

Adapun *seting* nilai besaran yang digunakan dalam kontrol pada gambar 3.12 adalah :

1. V_{ref} :
 - Peak Amplitudo = 277 Volt
 - Frequency = 50 Hz
 - Phase Angle R-S-T = 0; -120; 120
2. Proportional :
 - Gain = 15
3. Integrator :
 - Time Constant = 0.5

4. Differentiator :
 - Time Constant = 0.125
5. Bendpass filter :
 - Center Frequency = 50 Hz

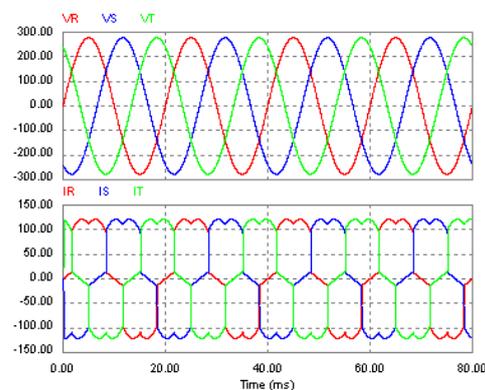
Berikut ini bentuk gelombang Vref sebagai referensi dan gelombang keluaran kottroller Voutput. Gambar 3.16



Gambar 3.16 Bentuk gelombang Vref dan Voutput kottroller

3.3 Hasil Simulasi

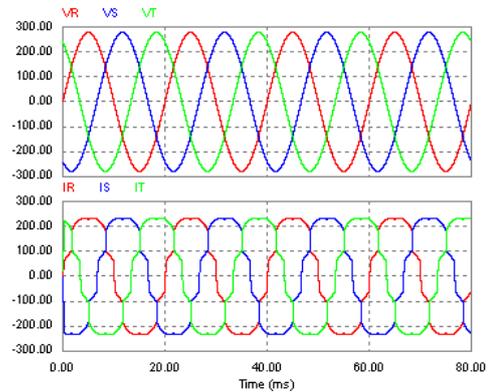
Untuk simulasi awal, sistem yang dignakan adalah sistem tanpa menggunakan filter aktif dan kontrol PID, yaiu sistem yang terdiri dari sumber tegangn dan beban non linier (*rectifier*). Berikut ini bentuk gelombang hasil simulasi. Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Tegangan dan arus tanpa filter dan kontrol PID

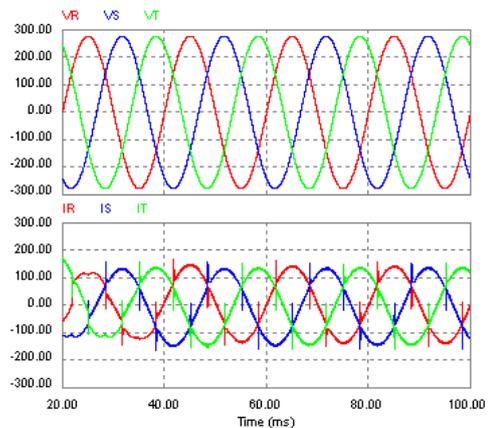
Untuk simulasi kedua, sistem yang digunakan adalah sistem tanpa menggunakan

kontrol PID. Yaitu sistem yang terdiri dari sumber tegangan, beban *rectifier*. dan filter aktif (Inverter). Berikut ini bentuk gelombang hasil simulasi. Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Tegangan dan arus tanpa kontrol PID

Untuk simulasi terakhir, sistem yang digunakan adalah sistem gabungan dari filter aktif dengan kontrol PID, yaitu sistem yang terdiri dari sumber tegangan, beban *rectifier*, filter aktif (Inverter) beserta kontrolnya (PID). Gambar 3.19 berikut ini ialah bentuk gelombang hasil simulasi.



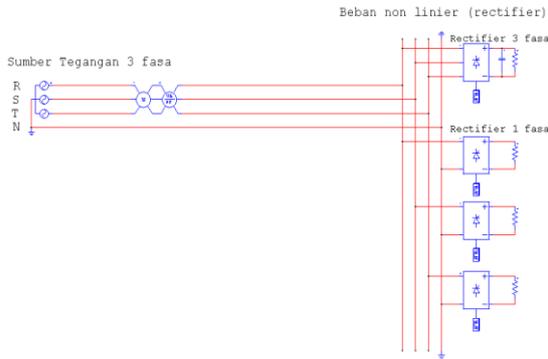
Gambar 3.18 Tegangan dan arus menggunakan filter aktif dengan kontrol PID

4 . Simulasi dan Analisa

Karena sistem dianggap seimbang maka hanya dilakukan analisa satu fasa. Filter aktif dengan kontrol PID pada simulasi ini brfungsi untuk mengkompensasi munculnya harmonisa. Untuk mensimulasikan pengaruh beban non linier, digunakan sebuah *rectifier*. *Rectifier* yang digunakan adalah *full-wave controlled rectifier* tiga fasa dan satu fasa

untuk membangkitkan harmonisa pada sistem.

4.1 Simulasi Sistem tanpa filter



Gambar 4.1 Rangkaian sistem tanpa filter

Tabel 4.1 THD arus sumber sistem tanpa filter

Orde Harmonisa Ke-n	Magnitude Arus (amper)	Terhadap Arus Fundamental (%)
5	22,914	17,745
7	11,392	8,822
11	9,072	7,025
13	6,206	4,806
17	5,564	4,308
19	4,373	3,386
23	3,935	3,047
25	3,251	2,517
29	2,974	2,301
31	2,525	1,955

Data hasil simulasi :

Arus fundamental(50Hz)=129.129 Ampere

$V_{S_{rms}} = 204,198$ Volt

$I_{S_{rms}} = 96,7122$ Ampere

PF = 96,7122

$$I_{s1_{rms}} = \frac{I_s}{\sqrt{2}} = \frac{129,129 A}{\sqrt{2}}$$

$$I_{s1_{rms}} = 91,3079 \text{ Amp}$$

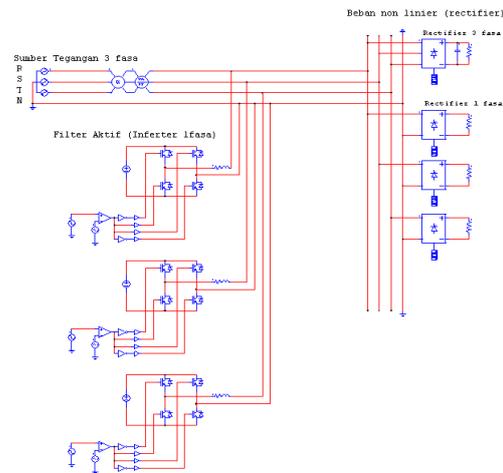
$$THD_1 = \left[\left(\frac{96,7122}{91,3079} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \times 100\%$$

$$THD_1 = 34,91\%$$

Tabel 4.2 Hasil pengukuran dan perhitungan sistem tanpa filter

Besaran yang diukur	Nilai
Daya Aktif (Watt)	19189,55703
Daya Reaktif (VAR)	4663,778496
Daya Nyata (VA)	19748,39885
Faktor Daya	0,9717
$V_{S_{rms}}$ (Volt)	204,198
$I_{S_{rms}}$ (Ampere)	96,7122
THD Arus Sumber (%)	34,91

4.2 Simulasi Sistem Dengan Filter Aktif



Gambar 4.2 Rangkaian sistem dengan filter aktif

Tabel 4.3 THD arus sumber sistem dengan filter aktif

Orde Harmonisa Ke-n	Magnitude Arus (amper)	Terhadap Arus Fundamental (%)
3	25,351	9,71
5	7,936	3,041
9	7,977	3,056
11	15,428	5,911
13	11,662	4,468
15	4,411	1,690
17	1,863	0,713
21	2,698	1,033
23	6,292	2,41
25	5,345	2,047
35	3,407	1,305
37	2,985	1,143

Data hasil simulasi :

Arus fundamental (50Hz)=260.988Ampere

$V_{S_{rms}} = 204,235$ Volt

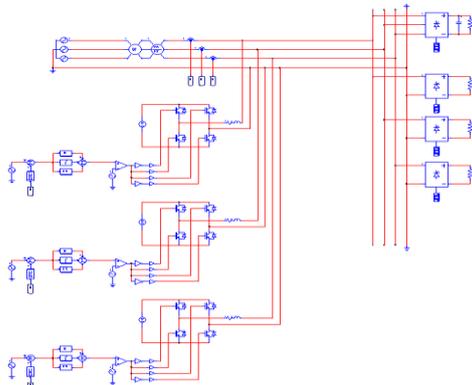
$I_{S_{rms}} = 192,083$ Ampere

PF = 0,9873

Tabel 4.4 Hasil pengukuran dan perhitungan sistem dengan filter aktif

Besaran yang diukur	Nilai
Daya Aktif (Watt)	38731,8496
Daya Reaktif (VAR)	6229,7353
Daya Nyata (VA)	39229,65429
Faktor Daya	0,9873
$V_{s_{rms}}$ (Volt)	204,235
$I_{s_{rms}}$ (Ampere)	192,083
THD Arus Sumber (%)	28,87

4.3 Simulasi Sistem Dengan Filter Aktif Menggunakan Kontrol PID



Gambar 4.3 Rangkaian sistem dengan filter aktif menggunakan

Tabel 4.5 THD arus sumber sistem dengan filter menggunakan kontrol PID

Orde Harmonisa Ke-n	Magnitude Arus (ampere)	Terhadap Arus Fundamental (%)
5	3,178	2,209
7	2,282	1,586
11	2,416	1,679
13	2,037	1,416
17	2,193	1,524
19	1,723	1,198
23	2,137	1,485
25	1,636	1,137
29	1,829	1,271
31	1,427	0,992

Data hasil simulasi :

Arus fundamental(50 Hz)=143.820Ampere

$V_{s_{rms}} = 204,244$ Volt

$I_{s_{rms}} = 102,327$ Ampere

PF = 0,999255

Tabel 4.6 Hasil pengukuran dan perhitungan sistem dengan filter menggunakan kontrol PID

Besaran yang diukur	Nilai
Daya Aktif (Watt)	20884,10553
Daya Reaktif (VAR)	806,5811877
Daya Nyata (VA)	20899,67552
Faktor Daya	0,999255
$V_{s_{rms}}$ (Volt)	204,244
$I_{s_{rms}}$ (Ampere)	102,327
THD Arus Sumber (%)	11,157

4.4 Perbandingan Dengan Tiga Keadaan Sistem

Tabel 4.7 Hasil Perbandingan antar ketiga sistem

Besaran yang diukur	Sistem tanpa filter	Sistem dengan filter aktif tanpa kontrol	Sistem dengan filter aktif menggunakan kontrol PID
P	19189,55703	38731,849	20884,10553
Q	4664,778496	6229,7353	806,5811877
S	19748,39885	39229,65429	20899,67552
PF	0,9717	0,9873	0,999255
$V_{s_{rms}}$	204,198	204,235	204,244
$I_{s_{rms}}$	96,7122	192,083	102,327
THDi (%)	34,91	28,87	11,157

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat diketahui dampak pemasangan filter aktif 3 fasa dengan menggunakan kontrol PID pada sistem tenaga listrik, mampu untuk mereduksi harmonisa yang di sebabkan oleh adanya beban *rectifier* dengan $THD_i = 34,91\%$ dan setelah pemasangan filter aktif dengan kontrol PID diperoleh THD_i yang lebih kecil sebesar 11,157% dimana THD_i lebih baik dari sebelumnya dan sesuai dengan standar IEEE tahun 1992, maksimum THD_i yang diperbolehkan dalam sistem tenaga listrik sebesar 15 % untuk THD_i . Selain dapat mereduksi harmonisa filter aktif 3 fasa dengan kontrol PID juga dapat memperbaiki kualitas daya. Sebelum pemasangan filter aktif diketahui daya aktif (P) = 19189 Watt, daya Nyata (S) = 19748 VA, dan daya reaktif (Q) = 4664 VAR. Setelah pemasangan filter aktif 3 fasa dengan menggunakan kontrol PID

daya aktif dan daya nyata pada sistem tenaga listrik mengalami peningkatan sebesar $P = 20884$ Watt dan $S = 20899$ VA dan daya reaktif mengalami penurunan sebesar $Q = 806$ Var. Penurunan daya reaktif juga akan menaikkan faktor daya. Kenaikan daya aktif dan daya nyata beserta penurunan daya reaktif tersebut, berasal dari daya yang diinputkan ke sistem tenaga listrik. Daya tersebut ditimbulkan oleh komponen-komponen dari filter aktif

6. Daftar Pustaka

- Bagus, Topologi**, 2006, *filter aktif hibrid dengan metode kombinasi inverter IGBT dan inverter mosfet ferdinansyah*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Chang, Gary W., Ribeiro, Paulo F**, 1992, *HARMONIC THEORY*, Broklyn Park, MN, USA: Siemens Power T&D, BWX Technologies, Inc.
- Gunterus, Frans**, 1994, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Hermawan, Anung**, 2006, *Perencanaan dan simulasi filter aktif tiga fasa menggunakan Y- Δ transformator dengan two switch pulse width modulation (PWM) controlled untuk mengurangi harmonisa pada kawat netral*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- J. Arrillaga, D. A. Bradley, P. S. Bodger**, 1985, *Power Systems Harmonics*, John Wiley & Sons.
- Johan, Bustomo**, 2007, *Analisa pemilihan tempat koneksi filter aktif shunt pada sistem multi bus distribusi tenaga listrik*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Keyue M. Smedley, Luowei Zhou, Chongming Qiao**, 2001, *Unified Constant-Frequency Integratoion Control Of Single-Phase Active Power Filters*, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 16, pp 428-436.
- Mc Granaghan, Mark**, 2000, *Active Filter Design and Specification For Control of Harmonics In Industrial and Commercial Fasilities*, Knoxville TN, USA: Electrotek Concepts, Inc.
- Nunez-Noriega, Carlos V., Karady, George G.**, Oct, 1999, *Five Step- Low Frequency Active Power Filter for Network Harmonic Compensation in Substation*, IEEE Transaction on Power Delivery 14,4:1298-1303.
- Ogata, Katsuhiko**, 1991, *Teknik Kontrol Automatik jilid 1*, terjemahan: Ir. Edi Laksono, Erlangga, Jakarta.
- Rashid, Muhammad H**, 1993, *Power Electronics*, Second Edetion, Prentice-Hall International Inc.
- Prambayanto, prasetyo**, 2005, *Perencanaan dan simulasi filter aktif shunt satu paha menggunakan metode sliding mode control*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Sofa, Amarullah**, 2006, *Desain konfigurasi paralel filter hybrid untuk meminimalis ukuran filter aktif*, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya.
- Stevenson, William D.**, 1984, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Alih Bahasa Ir. Kamal Idris, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Suprpto, vandy Hendrawan**, 2006, *Perencanaan dan simulasi filter aktif tiga fasa menggunakan fuzzy logic control untuk mereduksi harmonisa pada sistem tenaga*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Windarko, novi Ayub**, 1999, *Filter aktif dengan komponen penyimpan energi kapasitif*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.