

HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN PADA JARINGAN LISTRIK AKIBAT PEMBEBANAN *AIR CONDITION* (AC) INVERTER TIGA FASA

Djodi Antono, Adi Wasono, Lukas Joko Dwi Atmanto
Dosen Teknik Elektro Polines Semarang,
djodiantono@yahoo.com

Abstrak

Kualitas daya listrik baik apabila memenuhi kriteria gelombang arus dan tegangan berupa sinusoidal murni, berbeda fasa satu sama lainnya 180 derajat dan frekuensi fundamentalnya 50 Hertz. Jika tidak, salah satu penyebab adalah adanya harmonisa dalam sistem jaringan listrik yang merusak bentuk gelombang sinusoidal tegangan dan arus. Hal ini umumnya dipicu oleh beban non linear, salah satunya adalah *Air Condition Inverter* (AC Inverter). Harmonisa yang ditimbulkan oleh AC Inverter ini sangat mengganggu bahkan merugikan sistem bila melebihi batas standar yang ditetapkan IEEE 519-1992.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh filter pasif *single tuned* sebagai upaya mengurangi distorsi arus dan tegangan (total harmonic distortion THD_V dan THD_I) pada jaringan listrik tiga fasa akibat pengoperasian (AC Inverter) dengan daya 6HP atau 4500 watt dengan sumber daya 3 fasa tegangan 380 volt. Berdasarkan hasil penelitian sementara dapat diketahui, bahwa Nilai harmonisa arus sebelum dipasang filter melebihi batas standar yang diijinkan. Pada saat AC Inverter dinyalakan dengan set suhu tertinggi 30 derajat Celsius harmonisa arus $THD_I=75\%$

Dengan demikian perlu dipasang filter pada AC Inverter supaya jaringan tegangan 3 fasanya aman dan handal.

Kata Kunci : Harmonik arus/tegangan, AC Inverter, Filter

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kemajuan jaman membuat orang semakin dimudahkan dalam melakukan sesuatu meskipun untuk hal tersebut teknologi yang digunakan akan mengganggu sistem yang lainnya. Sebagai contoh beban-beban *nonlinier*, terutama peralatan elektronik (penggunaan sistem inverter) yang banyak terhubung pada sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah telah menyebabkan arus jala-jala sistem menjadi terkotori atau terdistorsi oleh efek gelombang baru yang ditimbulkan oleh peralatan yang berbasis elektronik tersebut, sehingga arus jala-jala sistem banyak mengandung harmonisa. Tingginya tingkat kandungan arus harmonisa yang terdapat pada sistem distribusi tenaga listrik dapat menimbulkan berbagai macam persoalan pada sistem tersebut, antara lain faktor daya sistem menjadi rendah, munculnya arus pada penghantar netral, hal ini dapat menimbulkan kegagalan instalasi meskipun dalam kondisi beban setimbang, demikian juga dapat menimbulkan rugi-rugi daya sistem bertambah, pemanasan lebih pada trafo dan generator, kesalahan operasi pada sistem proteksi, penyimpangan atau kerusakan penunjukan pada alat ukur akibat komponen elektronik yang sensitif, interferensi kepada sistem telekomunikasi dan lain sebagainya.

Untuk mengatasi berbagai persoalan yang ditimbulkan oleh arus harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik, dapat dilakukan dengan cara menghilangkan atau mengurangi kandungan arus harmonisa pada sistem tersebut sampai memenuhi suatu standard batasan harmonisa yang diijinkan. Dua standard batasan harmonisa yang populer yaitu standard IEC 555-2-1991 dan rekomendasi praktis IEEE-159-1994.

Pada penelitian ini akan dicari pengaruh pembebanan jaringan tegangan rendah menggunakan *Air Condition Inverter* (pengaturan frekwensi dengan PWM) akan mengakibatkan besaran dan bentuk gelombang jaringan akan berubah dari bentuk aslinya yang sinusoidal.

1.2 Perumusan Masalah

Peralatan yang berbasis elektronik seperti inverter yang dipakai sebagai penggerak kecepatan apabila dijalankan akan menghasilkan harmonik tegangan dan arus yang akan mengganggu jaringan tegangan rendah, sehingga kualitas tenaga listrik pada jaringan tersebut menjadi jelek, hal ini akan mengakibatkan berbagai permasalahan kelistrikan. Pada penelitian ini akan dirumuskan permasalahan yang meliputi:

- 1) Banyaknya harmonik yang ditimbulkan pada jaringan tegangan rendah akan diukur dan dipelajari pengaruhnya.

- 2) Karakteristik harmonik yang terjadi saat AC *Inverter* tiga fasa dijalankan tanpa *filter* dan suhu diset 30°C, 28°C dan 26°C.
- 3) Perhitungan pembuatan filter single tune tiga fasa untuk mengurangi dampak harmonisa arus yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari timbulnya harmonik pada jaringan listrik tegangan rendah akibat penerapan *Air Condition Inverter* tiga fasa.
2. Mengukur besaran dan bentuk gelombang yang telah “mengotori” jaringan listrik tegangan rendah, dan memberikan solusi pemecahan untuk mengatasinya.
3. Menghitung besaran parameter peralatan *filter* untuk meredam harmonik yang timbul akibat pembebanan *Air Condition Inverter* tiga fasa pada jaringan listrik.

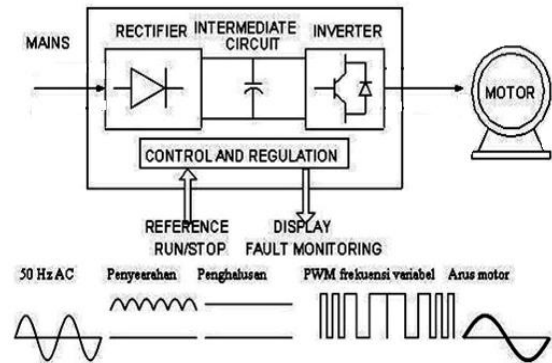
1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini *Air Condition Inverter* tiga fasa dipakai sebagai obyek penelitian. Karena *Air Condition Inverter* tiga fasa teknologi inverternya menggunakan komponen power elektronik maka akan menimbulkan arus harmonik yang dapat mengakibatkan terkotorinya jaringan listrik. Untuk membersihkannya diperlukan cara tertentu dengan merancang suatu *filter* yang dipasangkan dekat sumber penghasil harmonik tersebut. Dengan demikian jika AC *Inverter* tiga fasa telah dipasang *filter* maka diharapkan tidak mengakibatkan timbulnya harmonik arus maupun tegangan yang mengotori jaringan listrik sehingga jaringan listrik aman digunakan.

1.5 Prinsip Dasar Inverter

Inverter merupakan suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengkonversikan sumber daya AC menjadi tegangan DC yang kemudian dikonversikan lagi menjadi sumber daya AC dengan frekuensi yang sesuai. Cara ini bisa dipakai karena diketahui bahwa kecepatan sinkron motor induksi berbanding lurus dengan frekuensi sumber dayanya. Sumber daya dari PLN mempunyai frekuensi yang konstan, yaitu 50 Hz. Salah satu cara yang efektif untuk menghasilkan tegangan dengan frekuensi yang bisa diatur yaitu dengan jalan membangkitkannya sendiri. Untuk itu diperlukan suatu sumber daya DC. Sumber daya ini diperoleh dari sumber daya PLN yang disearahkan dengan *rectifier*. Selanjutnya sumber daya ini ditapis dengan *filter DC* untuk mendapatkan sumber daya DC yang lebih rata. Kemudian dengan melalui suatu rangkaian *switch* (disebut sebagai jembatan *inverter*) yang bisa dikendalikan sedemikian rupa, sumber daya itu bisa diubah

menjadi sumber daya AC pada ujung beban. Dengan cara mengontrol waktu pensaklaran dari *switch-switch* tersebut dengan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) seperti terlihat pada gambar 1.1 (Sigit Budhi Santoso, Aris Rakhmadi, Universitas Gadjah Mada, 2003).



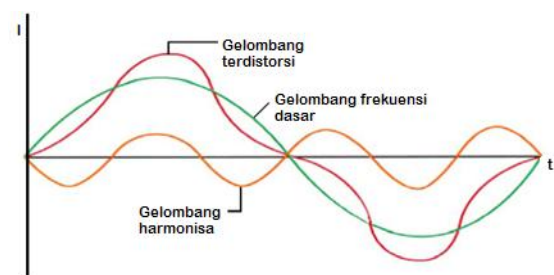
Gambar 1. Prinsip Dasar *Inverter*

Dengan menerapkan *inverter* pada *air condition*, maka akan banyak diperoleh keuntungan secara teknis bila dibandingkan dengan cara lain. Beberapa keuntungan tersebut antara lain: mempunyai jangkauan kecepatan yang lebih lebar, mempunyai beberapa pola untuk hubungan tegangan dan frekuensi, mempunyai fasilitas penunjukan meter, mempunyai lereng akselerasi dan deselerasi yang dapat diatur secara independen, kompak, serta sistem lebih aman

Namun penggunaan komponen elektronika daya pada AC *Inverter* tersebut didalam sistem tenaga listrik menimbulkan masalah baru yaitu gangguan harmonik. Gangguan harmonik ini dapat dikurangi dengan menggunakan kontrol sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation – PWM*) atau memasang *filter* kapasitor.

1.6 Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik

Harmonik merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier, yang pada dasarnya adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya (kelipatan dari frekuensi fundamental, misal: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya) (gambar 2.1)



Gambar 2 Gelombang fundamental dan harmonik ke 3

1.7 Sumber-Sumber Harmonik Yang Utama

1.7.1 Penyearah

Pada saat ini, penyearah adalah sumber utama harmonik. Dari sisi pengendalian, secara garis besar ada tiga jenis penyearah, yaitu :

1. Penyearah tak terkendali (dengan dioda)
2. Penyearah terkendali (dengan thyristor)
3. Penyearah PWM (dengan transistor)

Semua peralatan elektronik, yang meliputi televisi, sistem AV, printer, scanner, UPS dan *battery charger*, komputer, monitor, *oven microwave*, lampu fluorescent dengan ballast elektronik, dll menggunakan penyearah jenis ini pada seksi *front-end*-nya. Penyearah tak terkendali tiga fasa sangat banyak dijumpai dalam sektor industri. Penyearah ini sangat lazim dijumpai pada seksi *front-end* pengendali putaran motor-motor asinkron tiga fasa dalam semua sektor industri .

1.7.2 Lampu Hemat Energi (LHE)

Pada saat ini, berkaitan dengan semakin mahalnya biaya energi, PLN dan produsen lampu rajin mempopulerkan apa yang disebut dengan “lampu hemat energi” (LHE). Sebenarnya, LHE adalah lampu fluorescent yang dioperasikan pada frekuensi tinggi (~10-200kHz). Frekuensi tinggi ini didapat dari *inverter* kecil dalam ballast elektronik. *Inverter* ini disuplai dari suatu penyearah yang tidak lain adalah penyearah dari jenis pertama sebagaimana telah disinggung di atas.

1.7.3. Pengaruh yang ditimbulkan oleh Harmonik

- a. Saluran transmisi
Harmonik arus pada konduktor akan menyebabkan bertambahnya rugi-rugi saluran sebagai akibat adanya pemanasan tambahan.
- b. Transformator
Efek harmonik pada transformator adalah harmonik arus menyebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga. Selain itu harmonik juga dapat menyebabkan pemanasan lebih pada isolasi, dan akan mempersingkat umur penggunaan isolasi.
- c. Mesin-Mesin Berputar (*Rotating Machines*)
Harmonik akan menimbulkan panas tambahan sehingga menambah rugi-rugi tembaga dan besi, yang berpengaruh pada efisiensi mesin.
- d. Bank Kapasitor (*Capasitor Banks*)
Distorsi tegangan akan menyebabkan rugi daya tambahan pada kapasitor. Pada frekuensi yang lebih tinggi, besar reaktansi dari

kapasitor akan menurun sehingga harmonik arus yang mengalir ke kapasitor juga semakin besar.

- e. Peralatan konsumen
Peralatan elektronik pada konsumen juga dapat terpengaruh oleh harmonik.
- f. Televisi: harmonik akan mempengaruhi nilai puncak tegangan yang dapat berdampak perubahan pada ukuran gambar TV dan kecerahan TV.
- g. Komputer: dapat mengganggu sistem pemrosesan data karena tegangan supply terdistorsi.
- h. Terjadi kesalahan pada pembacaan di alat pengukuran, contohnya adalah KWH meter.

1.8 Indeks Harmonik

Definisi indikasi harmonik yang umum digunakan.

1.8.1 Total Harmonic Distortion (*Distortion Factor*)

Definisi yang umum digunakan adalah indeks harmonik

$$\text{THD}_V = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}{V_h}} \quad (1)$$

$$\text{THD}_I = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}{I_h}} \quad (2)$$

Indeks harmonik didefinisikan sebagai rasio dari harga rms komponen harmonik ke harga rms komponen dasar dan biasanya dinyatakan dalam persen. Indeks ini digunakan untuk mengukur *deviasi* dari bentuk gelombang periodik yang terdiri dari harmonik gelombang sinus murni. Untuk gelombang sinus murni pada frekuensi dasar, THD adalah nol. Kerusakan individu harmonik untuk tegangan dan arus ordo h -th didefinisikan sebagai V_h/V_1 dan I_h/I_1 .

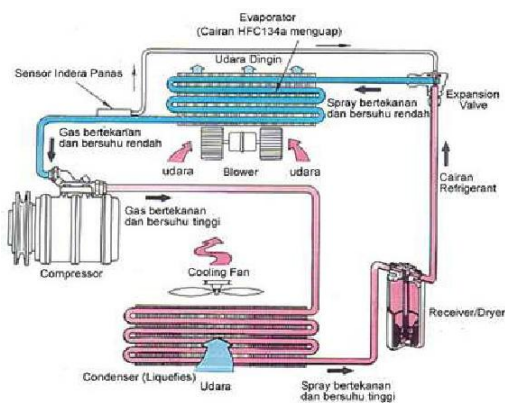
1.9 Cara Kerja Air Condition

Kompresor yang ada pada sistem pendingin dipergunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida kerja (*refrigent*), jadi *refrigent* yang masuk ke dalam kompresor dialirkan ke *condenser* yang kemudian dimampatkan di kondenser. Di bagian kondenser ini *refrigent* yang dimampatkan akan berubah fase dari *refrigent* fase uap menjadi *refrigent* fase cair, maka *refrigent* mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam *refrigent*. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondenser adalah jumlahan dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil *evaporator* dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensor tekanan *refrigent* yang berada dalam pipa-pipa kondenser relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan *refrigent* yang berada pada pipi-pipa *evaporator*. Setelah *refrigent* lewat kondenser dan melepaskan kalor

penguapan dari fase uap ke fase cair maka *refrigerant* dilewatkan melalui katup ekspansi, pada katup ekspansi ini *refrigerant* tekanannya diturunkan sehingga *refrigerant* berubah kondisi dari fase cair ke fase uap yang kemudian dialirkan ke *evaporator*, di dalam *evaporator* ini *refrigerant* akan berubah keadaannya dari fase cair ke fase uap, perubahan

- Waktu yang lebih cepat untuk mencapai suhu ruangan yang kita inginkan.
- "Tarikan" pertama pada listrik 1/3 lebih rendah dibandingkan AC yang tidak menggunakan teknologi *inverter*.
- Lebih hemat energi dan uang karena teknologi ini menggunakan sumber daya yang 30% lebih kecil dibandingkan AC biasa. Beberapa merk *air conditioner* bahkan mengklaim dapat menghemat listrik hingga 60% dibanding AC tanpa *inverter*.
- Dapat menghindari beban yang berlebihan pada saat AC dijalankan.
- Fluktuasi temperatur hampir tidak terjadi (lihat gambar).

fase ini disebabkan karena tekanan *refrigerant* dibuat sedemikian rupa sehingga *refrigerant* setelah melewati katup ekspansi dan melalui *evaporator* tekanannya menjadi sangat turun.



Gambar 3 Instalasi Air Condition

1.10 Air Condition Inverter

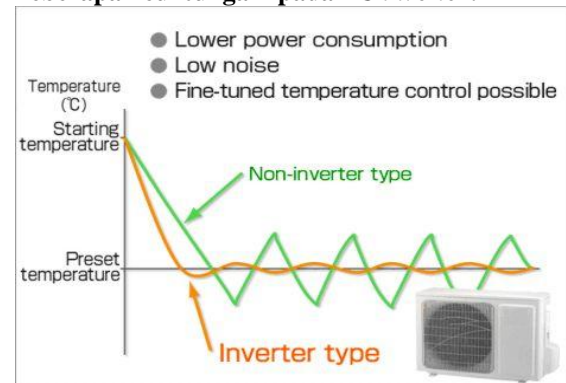
Air conditioner adalah salah satu peralatan rumah tangga yang paling banyak memakan listrik. Maka jika akan memasang *air conditioner* di rumah, sudah sewajarnya memilih AC hemat listrik. Disinilah peran teknologi *inverter* dimanfaatkan. Untuk menjelaskannya, mari kita gunakan setting suhu sebagai contoh.

Jika di siang hari yang panas Anda memilih suhu 25° C pada AC tanpa *inverter*, *air conditioner* otomatis akan mati sendiri ketika suhu ruangan sudah dibawah 25° C, dan akan hidup lagi pada saat suhu naik diatas 25° C. Hal ini akan terus berulang

dan akan menyebabkan banyak energi listrik yang terbuang sia-sia. Selain itu gangguan oleh adanya suara *air conditioner* yang hidup dan mati berulang-ulang dapat dihindari. Pada AC *inverter*, dimungkinkan untuk menjaga ruangan pada suhu tertentu tanpa *air conditioner* harus hidup dan mati berulang-ulang.

Pada *air conditioner*, teknologi *inverter* terintegrasi di dalam unit *outdoor*. *Compressor AC* didalam unit *outdoor* mengubah tingkat kompresi *refrigerant*, maka dalam proses tersebut dimungkinkanlah pengaturan suhu. Pada kenyataannya, pengaturan ini diperoleh dari perubahan kecepatan motor didalam *compressor AC*. Karena kecepatan motor dapat dikontrol dengan halus pada berbagai tingkat, *inverter control* memungkinkan *air conditioner* tidak hanya hemat listrik, namun juga mampu melakukan pengaturan suhu yang lebih baik. Fungsi kunci dari *inverter* ini terletak pada komponen yang disebut *microcontroller*.

Beberapa keuntungan pada AC *inverter*:

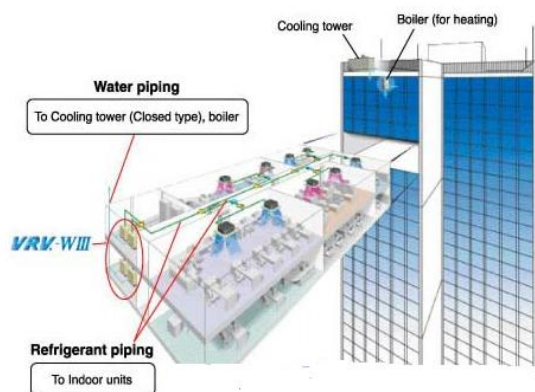


Gambar 4 Perbandingan keuntungan AC *inverter* dengan non inverter

Pada system *air conditioning* terbaru adalah menggunakan teknologi *variable refrigerant volume (VRV)* yang dapat mengeffektifkan penggunaan udara dingin sehemat mungkin baik volume udara dingin dan penggunaan listriknya.

VRV adalah singkatan dari *variable refrigerant volume* yang artinya system kerja *refrigerant* yang berubah-ubah. VRV adalah sebuah teknologi yang sudah dilengkapi dengan *central processing unit* dan kompresor *inverter* dan sudah terbukti menjadi handal, *effisiensi energy*, melampoi banyak aspek dari system ac yang lama seperti AC sentral, AC split, AC duct. Jadi dengan VRV system satu *outdoor* bisa digunakan untuk lebih dari 2 *indoor AC* (*multiple indoor*).

Berikut adalah gambaran aplikasi penggunaan AC tipe VRV pada gedung bertingkat



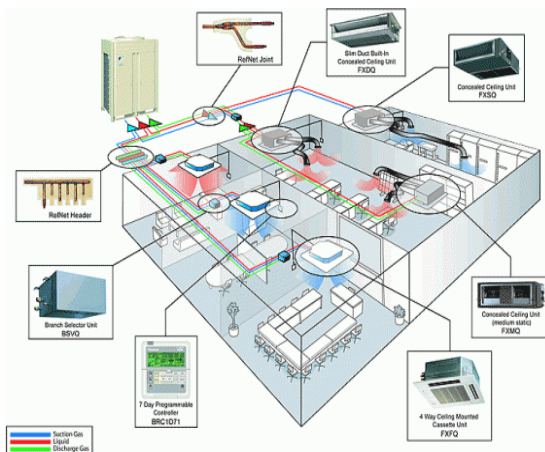
Gambar 5 Aplikasi penggunaan AC Variable Refrigerant Volume

Untuk teknologi VRV ini biasanya dipakai pada gedung bertingkat dimana 1 unit outdoornya dapat mengendalikan udara dingin pada ruangan satu lantai. AC ini dapat mencegah pendinginan yang berlebihan sehingga dapat menghemat listrik sampai dengan 50% (disbanding AC konvensional). Disamping itu AC VRV ini mempunyai tingkat kebisingan yang rendah, menghemat tempat (1 unit outdoor dapat digunakan untuk indoor beberapa ruangan. Dan fitur yang lebih canggih AC tipe ini dapat mengatur jadwal dan temperature AC yang diinginkan secara terkomputerisasi.

Kebanyakan AC jenis VRV ini ramah lingkungan karena telah menggunakan Freon jenis R410A yang ozone free.

Kelebihan fitur VRV dibandingkan dengan AC konvensional

1. Memiliki kapasitas yang besar untuk ruangan yang besar pula dimana
 - Luas jangkauan unit indoor / terhubung hingga 64 unit indoor.
 - Pipanya panjang dan mempunyai beberapa tingkat perbedaan.
 - Tekanan statis eksternalnya tinggi.
2. Instalasi dan Maintenance AC yang cukup mudah



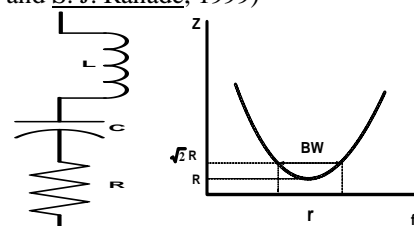
Gambar 6 Instalasi pemipaan dengan beberapa jenis unit indoor

1.11 Filter Pasif

Filter ini dapat digolongkan menjadi 2 kelompok

1.11.1 Filter seri

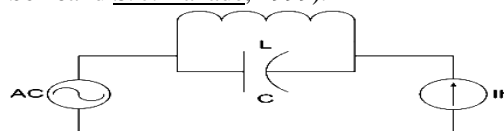
Digolongkan sebagai jenis resonansi paralel dan penghalang dengan impedansi tinggi pada frekwensi yang ditala. Gambar filter seri adalah sebagai berikut: (Dr. Gary W. Chang **Dr. Paulo F. Ribeiro** and **S. J. Ranade**, 1999)



Gambar 7 Filter seri dan karakteristik

1.11.2 Filter paralel

Digolongkan sebagai jenis resonansi seri dan penjebak dengan impedansi tinggi pada frekwensi yang ditala. Gambar filter paralel adalah sebagai berikut: (Dr. Gary W. Chang **Dr. Paulo F. Ribeiro** and **S. J. Ranade**, 1999).



Gambar 8 Filter paralel

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3) \quad Q = \frac{X_L(f_r)}{R} = \frac{X_C(f_r)}{R} \quad (4)$$

$$BW = \frac{2}{Q} \quad (5)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1. Sumber Daya Institusi

Pengembangan penelitian berbasis dengan sumber daya Laboratorium Mesin-mesin Listrik dan Laboratorium Kendali Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang. Sumber daya yang dimiliki institusi yang berupa peralatan dan data akan dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk mendukung penelitian ini.

2.2 Passive Filter Single Tuned

Filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonik. Tipe filter pasif yang paling umum adalah filter single tuned. Filter ini sebagian besar dirancang untuk mengalihkan harmonik arus yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam

pemilihan R, L, C pada saat perencanaan *filter* pasif adalah *quality factor* (Q), nilai ini akan menentukan ketajaman penalaan. Dalam hal ini *filter* dapat berupa tipe Q tinggi untuk ketajaman penalaannya pada ordo harmonik frekuensi rendah biasanya berharga antara 30 sampai dengan 60. Sedangkan tipe Q rendah biasanya pada daerah 0.5 sampai dengan 5 mempunyai impedansi rendah dengan batasan frekuensi yang luas. (Jeong-Chay Jeon, 2004)

Filter single tune termasuk *filter* seri contoh dari *filter single tuned* yang umum digunakan pada tegangan rendah (380 V) seperti gambar 2.5.

Passive filter single tuned digunakan untuk mengurangi penyimpangan tegangan pada sistem tenaga dan juga sebagai koreksi faktor daya. Nilai-nilai resistan, induktan dan kapasitan ditentukan oleh parameter sebagai berikut :

- Daya reaktif pada tegangan nominal (*var*)
- Frekuensi penalaan (*Hz*)
- Faktor kualitas

Perencanaan *filter* antara lain :

- a. Menentukan nilai kapasitansi kapasitor sesuai kebutuhan kompensasi faktor daya

$$Q_c = P (\tan \phi_{awal} - \tan \phi_{akhir}) \quad (6)$$

- b. Menentukan nilai kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (7)$$

$$\frac{1}{2\pi f C} = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \quad (8)$$

dengan :

Q_c = besarnya kompensasi daya reaktif yang diperlukan

V = tegangan sistem yang digunakan (380V)

f = frekuensi fundamental (50Hz)

- c. Menentukan nilai induktor

Nilai induktor dicari berdasarkan prinsip resonansi

$$\begin{aligned} X_c &= X_L \\ \frac{1}{2\pi f C} &= 2\pi f L \\ L &= \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \end{aligned} \quad (9)$$

- d. Faktor kualitas (Q) filter didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi (atau kapasitansi) pada saat resonansi dengan besaran resonansi

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (10)$$

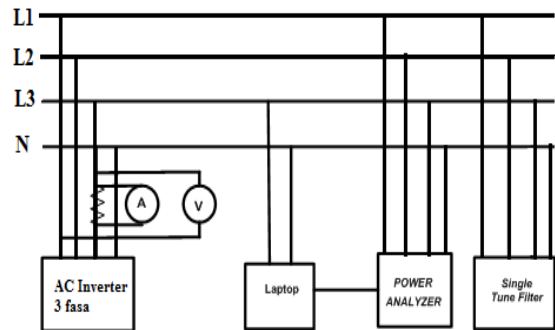
$$X_0 = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

dengan $X_L = X_C = X_0$ pada keadaan resonansi

2.3. Peralatan yang dipergunakan

| | |
|--------------------------------|--------|
| 1. Air Condition Inverter 2 HP | 1 buah |
| 2. Voltmeter | 1 buah |
| 3. Ampere meter | 1 buah |
| 4. Power quality meter | 1 buah |
| 5. Komputer/Laptop | 1 buah |
| 6. Kabel penghubung secukupnya | |
| 7. Unit Filter | 1 buah |

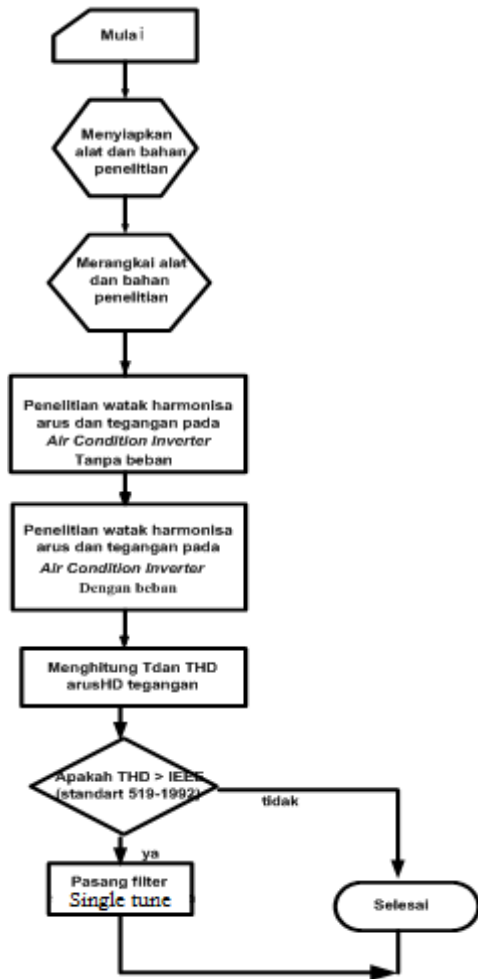
2.4. Rangkaian Percobaan



Gambar 9 Rangkaian percobaan peredam harmonisa arus dengan filter tiga fasa

2.6. Diagram Alir

Penelitian dimulai dengan menyiapkan keseluruhan peralatan dan bahan penelitian (2.3). dan merangkainya seperti gambar 2.1 dan 2.2. kemudian penelitian dengan gambar 2.1 dilakukan untuk mendapatkan data harmonik arus saat AC inverter dijalankan dengan beban ringan (seting suhu tinggi) dan dilanjutkan dengan beban dinaikkan (seting suhu diturunkan). Selanjutnya dihitung dan diamati harmonik arusnya dan dibuatkan rancangan *filter*nya. Dengan menggunakan *filter* tersambung pada rangkaian percobaan gambar 2.2 dilakukan pengukuran harmonik arus. Jika hasilnya terjadi penurunan harmonik arus yang signifikan maka percobaan selesai, tetapi jika tidak rancangan *filter*nya diganti.



Gambar 10 Diagram *flowchart* penelitian

2.7. Kesulitan-Kesulitan

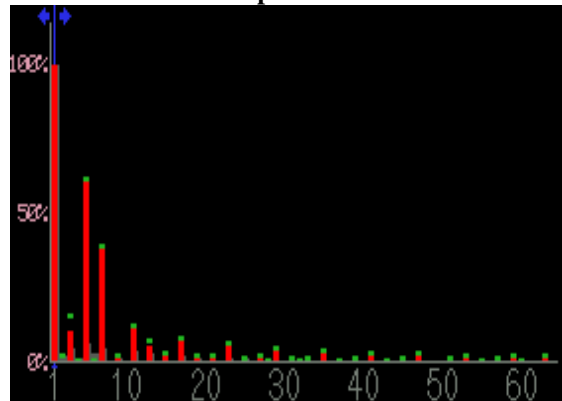
Kesulitan yang ditemui selama melakukan penelitian adalah pada saat pembuatan *filter*, yaitu mencari nilai komponen yang sesuai dengan hasil rancangan. Terutama untuk komponen resistor yang membutuhkan kemampuan daya yang besar dengan nilai kecil, komponen dengan spesifikasi yang seperti ini tidak ditemukan di pasaran. Untuk mengatasi hal ini, dibuat dengan cara memparalel dan menseri resistor yang ada. Nilai resistansi yang dibuat diusahakan sebisa mungkin mendekati nilai rancangan. Demikian pula dalam pembuatan induktor karena diperlukan induktor dengan harga relatif besar dan kemampuan arusnyapun relatif besar, induktor seperti ini tidak ada dipasaran sehingga perlu dibuatkan sendiri dan diberi bahan inti ferit

III. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

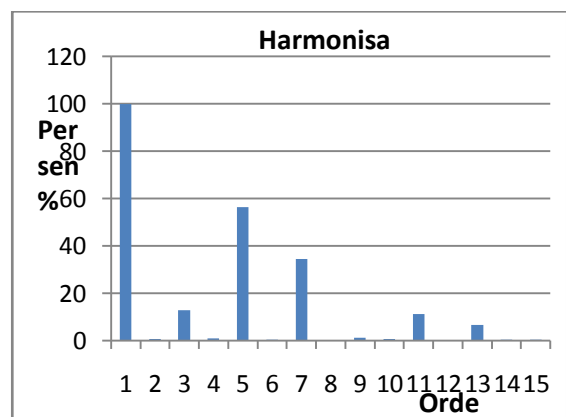
Semua pengukuran harmonisa arus menggunakan clamp sensing arus dengan akurasi pembacaan sampai dengan 50 ampere.

Pada gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran harmonisa arus sebesar 75% pada saat AC Inverter dijalankan dengan set suhu 30 derajat celcius demikian juga pada seting suhu 28 derajat celcius pengukuran harmonisa arus yang terjadi adalah 63.2% (gambar 13), serta pada seting suhu 26 derajat celcius pengukuran harmonisa arus yang terjadi adalah 47.9% (gambar 15). Dengan demikian membuktikan bahwa pemakaian AC Inverter pada suhu mendekati suhu hangat (suhu ruang) akan menimbulkan harmonisa arus yang besarnya melebihi batasan yang diperbolehkan standard IEEE 519-1992.

3.1 Pengukuran Harmonisa Arus AC Inverter Tanpa Filter



Gambar 11 Harmonisa Arus 75.5% AC inverter 6 Hp seting suhu 30° celcius

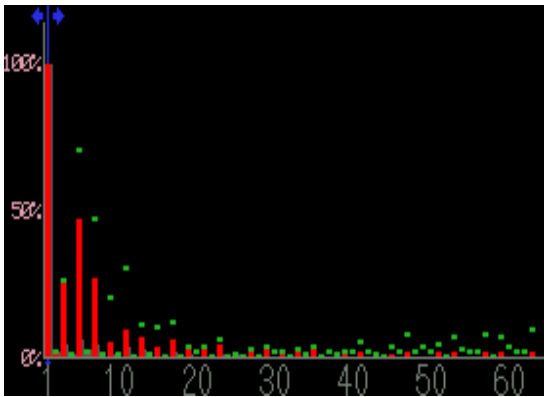


Gambar 12 Harmonisa Arus 75.5% AC inverter 6 Hp seting suhu 30° celcius

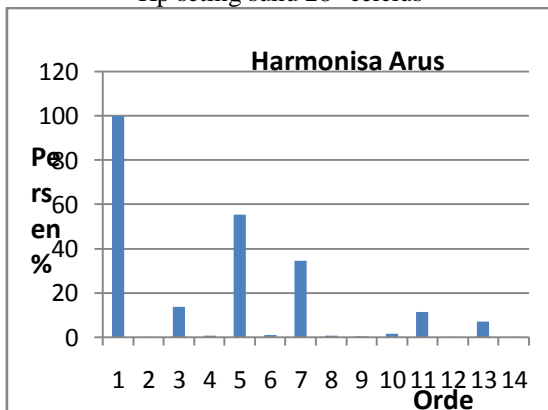
Tabel 1. Harmonisa Arus AC inverter 6 Hp seting suhu 30° celcius

| No | Arus (%) | Sudut (°) |
|----|----------|-----------|
| 1 | 100 | 0.00 |
| 2 | 0,89078 | 34.49 |
| 3 | 12,91151 | -159.10 |
| 4 | 0,974938 | -61.43 |
| 5 | 56,4047 | -14.62 |
| 6 | 0,459777 | 71.52 |
| 7 | 34,46782 | 148.60 |
| 8 | 0,239882 | -80.50 |
| 9 | 1,381188 | -38.00 |
| 10 | 0,727723 | 82.26 |
| 11 | 11,3521 | 124.80 |
| 12 | 0,26086 | -107.70 |
| 13 | 0,26086 | -28.15 |
| 14 | 6,633663 | 57.06 |
| 15 | 0,63026 | -158.20 |

| | | |
|----|-----------|---------|
| 1 | 100 | 0.00 |
| 2 | 0,313577 | 130.00 |
| 3 | 13,67735 | 82.31 |
| 4 | 0,723948 | 112.50 |
| 5 | 55,511022 | 156.80 |
| 6 | 0,965932 | 120.90 |
| 7 | 34,67936 | 174.80 |
| 8 | 0,629259 | 70.70 |
| 9 | 1,555611 | -96.82 |
| 10 | 0,346693 | -117.20 |
| 11 | 11,55812 | -30.68 |
| 12 | 0,258317 | 82.90 |
| 13 | 7,214429 | 39.18 |
| 14 | 0,184719 | 51.84 |
| 15 | 3,044088 | 19.79 |



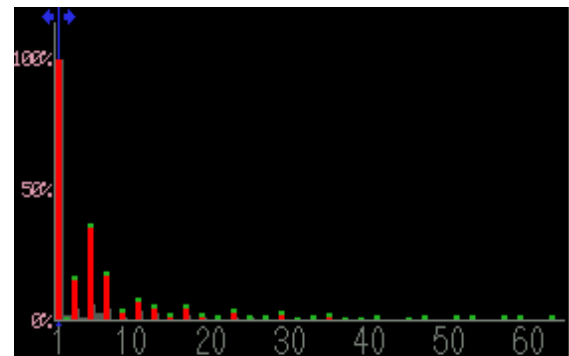
Gambar 13 Harmonisa Arus 63,2% AC inverter 6 Hp seting suhu 28° celcius



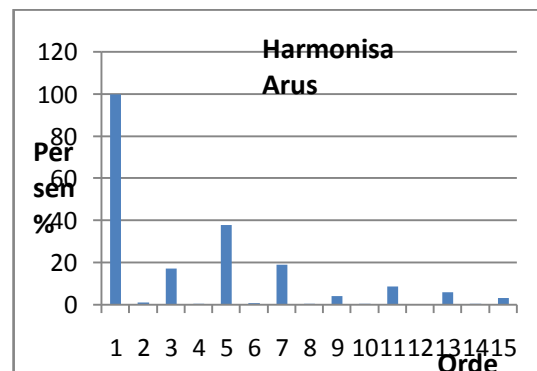
Gambar 14 Harmonisa Arus 63,2% AC inverter 6 Hp seting suhu 28° celcius

Tabel 2 Harmonisa Arus AC inverter 6 Hp seting suhu 28° celcius

| No | Arus (%) | Sudut (°) |
|----|----------|-----------|
|----|----------|-----------|



Gambar 15 Harmonisa Arus 47,9% AC inverter 6 Hp seting suhu 26° celcius



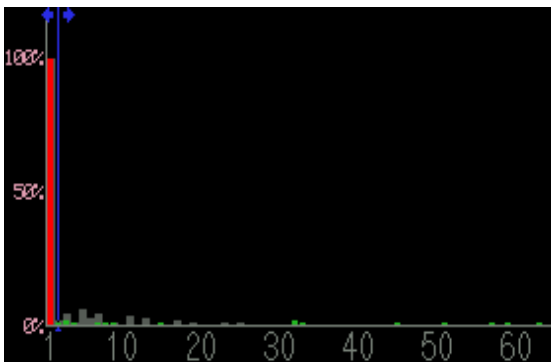
Gambar 15 Harmonisa Arus 47,9% AC inverter 6 Hp seting suhu 26° celcius

Tabel 3 Harmonisa Arus AC inverter 6 Hp seting suhu 26° celcius

| No | Arus (%) | Sudut (°) |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 100 | 0.00 |
| 2 | 1,075303 | -149.90 |
| 3 | 17,0052 | 135.80 |
| 4 | 0,497399 | 93.42 |
| 5 | 37,800347 | -84.56 |
| 6 | 0,702997 | -66.55 |
| 7 | 18,8754 | 107.00 |

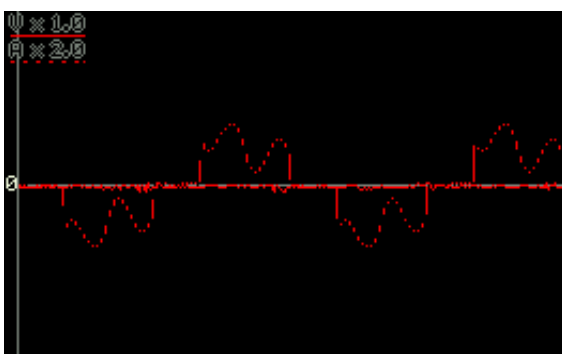
| | | |
|----|----------|---------|
| 8 | 0,457766 | 81.85 |
| 9 | 4,109487 | -134.40 |
| 10 | 0,293535 | -167.8 |
| 11 | 8,669804 | 15.64 |
| 12 | 0,073 | 33.90 |
| 13 | 5,731979 | -145.40 |
| 14 | 0,502849 | -156.20 |
| 15 | 3,08645 | -68.42 |

Gambar 16 memperlihatkan hasil pengukuran harmonisa tegangan. Terlihat bahwa harmonisa tegangan 2,8 % tidak melebihi dari batas yang ditentukan standart IEEE. Hal ini dapat dijelaskan bahwa *inverter* pada AC tidak mengganggu bentuk gelombang tegangan.

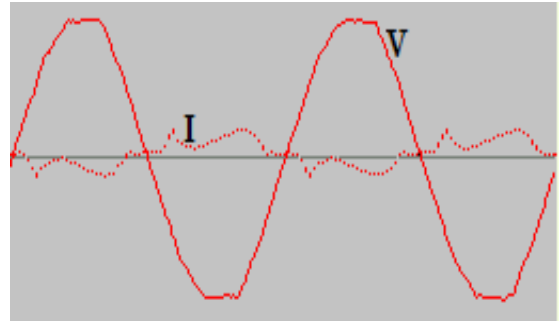


Gambar 16 Harmonisa tegangan 4,7% AC Inverter 6 HP pada semua setting suhu

Gambar 17 dan 18 memperlihatkan bahwa harmonisa arus pada seting suhu 30 dan 28 derajat celsius bentuk gelombang arus sangat tidak beraturan ini menandakan bahwa arus telah terdistorsi dan berubah bentuknya.



Gambar 17 Bentuk gelombang arus AC Inverter 6 HP pada seting suhu 30⁰ celsius



Gambar 18 Bentuk gelombang tegangan AC Inverter 6 HP pada seting suhu 28⁰ celsius

Dengan demikian perlu dibuatkan filter untuk mengatasi harmonisa arus yang terjadi akibat pembebanan AC *Inverter* tiga fasa 6 HP ini agar harmonisa arus dapat turun sesuai dengan standard yang telah ditetapkan IEEE 519 – 1992

3.2 Penelitian perancangan *filter single tuned*

Berdasarkan data pada penelitian watak harmonisa pada kondisi AC Inverter 3 fasa bekerja dengan seting suhu 20°C, akan dihasilkan arus tertinggi yang terlihat pada gambar 5.10a printscreen harmonisa arus AC *Inverter* yaitu 36 ampere tegangan sumber 380 volt. Sedangkan orde harmonisa tertinggi adalah 3, 5, 7. dan daya motor kompresor $P_{watt} = 11400$ watt. Serta faktor kualitas Q berharga pada rentang 30 sampai dengan 60. Supaya tanggapan *filter* tidak terlalu sensitif dan tidak terlalu lambat maka dipilih factor kualitas $Q = 45$.

Dengan demikian perhitungan komponen *filter AC Inverter* 2 HP adalah sebagai berikut

Untuk orde 3

$$S_{VA} = V \cdot I = 380 \times 36 = 13680 \quad \text{VA}$$

$$Q_{VAR} = \sqrt{S_{VA}^2 - P_{watt}^2} \\ = \sqrt{13680^2 - 11200^2} \\ = 7855.1 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q_{VAR}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2} \\ = \frac{7855}{2 \times 3.14 \times 50 \times 380^2} = \frac{7855}{45341600} \\ = 173 \mu\text{F} \text{ tersedia dipasaran } 150 \mu\text{F}$$

Frekuensi tuning = 150 Hz (orde 3), sehingga reaktor *filter*:

$$L = \frac{1}{C(\omega_n)^2} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 3)^2} = \frac{1}{59.15} \\ = 7.51 \text{ mH}$$

$$X_0 = \frac{1}{C(\omega_n)} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 3)} = 7.077$$

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{7.077}{45} = 0,157 \text{ ohm}$$

Untuk orde 5

$$S_{VA} = V \cdot I = 380 \times 36 = 13680 \text{ VA}$$

$$Q_{VAR} = \sqrt{S_{VA}^2 - P_{watt}^2}$$

$$= \sqrt{13680^2 - 11200^2}$$

$$= 7855.1 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q_{VAR}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2}$$

$$= \frac{7855}{2 \times 3.14 \times 50 \times 380^2} = \frac{7855}{45341600}$$

$$= 173 \mu\text{F} \text{ tersedia dipasaran } 150 \mu\text{F}$$

Frekuensi tuning = 250 Hz (orde 5),
sehingga reaktor filter:

$$L = \frac{1}{C(\omega_n)^2} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 5)^2} = \frac{1}{369.7}$$

$$= 2.7 \text{ mH}$$

$$X_0 = \frac{1}{C(\omega_n)} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 5)} = 4.24$$

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{4.24}{45} = 0.09 \text{ ohm}$$

Untuk orde 7

$$S_{VA} = V \cdot I = 380 \times 36 = 13680 \text{ VA}$$

$$Q_{VAR} = \sqrt{S_{VA}^2 - P_{watt}^2}$$

$$= \sqrt{13680^2 - 11200^2}$$

$$= 7855.1 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q_{VAR}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2}$$

$$= \frac{7855}{2 \times 3.14 \times 50 \times 380^2} = \frac{7855}{45341600}$$

$$= 173 \mu\text{F} \text{ tersedia dipasaran } 150 \mu\text{F}$$

$$L = \frac{1}{C(\omega_n)^2} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 7)^2} = \frac{1}{724}$$

$$= 1.38 \text{ mH}$$

$$X_0 = \frac{1}{C(\omega_n)} = \frac{1}{0.000150 \times (2 \times 3.14 \times 50 \times 7)} = 3.033$$

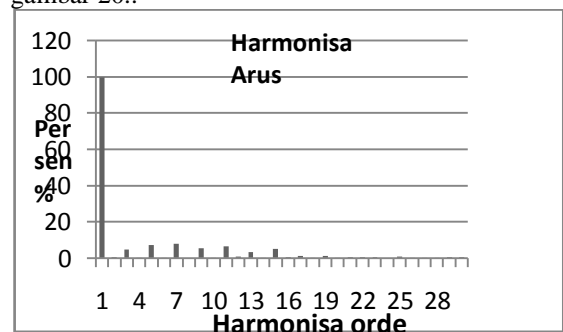
$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{3.033}{45} = 0.067 \text{ ohm}$$

| | | | | | | | | | |
|---|-------|------|-----|------|-----|-----|-------|------|-----|
| T | 0.157 | 7.51 | 150 | 0.09 | 2.7 | 150 | 0.067 | 1.38 | 150 |
|---|-------|------|-----|------|-----|-----|-------|------|-----|

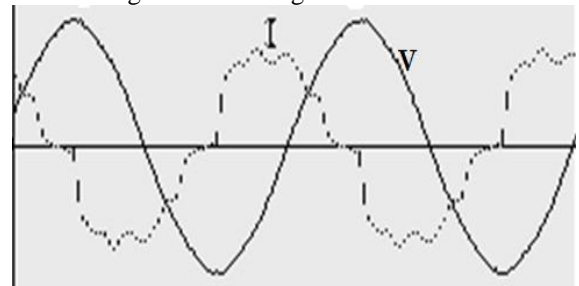
Pengukuran Harmonisa Arus AC Inverter dengan Filter

Pada gambar 19 memperlihatkan hasil pengukuran harmonisa arus AC Inverter 3 fasa dengan filter telah terpasang pada jaringan listrik dan menghasilkan $THD_1 = 17.2\%$. AC Inverter dijalankan dengan seting suhu 30°C , dengan demikian setelah pemasangan filter terjadi penurunan harmonisa arus 57.8% yaitu dari $THD_1 = 75\%$ menjadi $THD_1 = 17.2\%$.

Bentuk gelombang tegangan masih utuh berbentuk sinusoidal, sedangkan bentuk gelombang arus sudah terbaiki terlihat bentuk sinusoidalnya meski belum sempurna, hal ini seperti terlihat pada gambar 20..



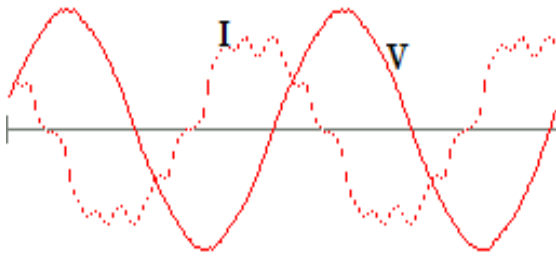
Gambar 19 Harmonisa Arus AC inverter 3 fasa dengan Filter seting suhu 30°C



Gambar 20 Gelombang tegangan dan arus AC inverter tiga fasa dengan Filter seting suhu 30°C

Tabel 4 Komponen filter single tuned AC Inverter tiga fasa

| Fasa | Orde 3 | | | Orde 5 | | | Orde 7 | | |
|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| | R | L | C | R | L | C | R | L | C |
| | (Ω) | (mH) | (μF) | (Ω) | (mH) | (μF) | (Ω) | (mH) | (μF) |
| R | 0.157 | 7.51 | 150 | 0.09 | 2.7 | 150 | 0.067 | 1.38 | 150 |
| S | 0.157 | 7.51 | 150 | 0.09 | 2.7 | 150 | 0.067 | 1.38 | 150 |



Gambar 5.9 Gelombang tegangan dan arus AC inverter tiga fasa dengan Filter seting suhu 28° celcius

Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Harmonisa Arus AC Inverter 3 fasa dengan filter seting suhu 30° Celcius

| No | Arus (%) | Sudut (°) |
|----|----------|-----------|
| 1 | 100 | 0.00 |
| 2 | 0.16 | 133.40 |
| 3 | 1.27 | 18.95 |
| 4 | 0.14 | 148.7 |
| 5 | 1.95 | 138.50 |
| 6 | 0.11 | -173.0 |
| 7 | 2.12 | 154.60 |
| 8 | 0.05 | -162.80 |
| 9 | 1.49 | 140.60 |
| 10 | 0.10 | -110.60 |
| 11 | 1.71 | -159.80 |
| 12 | 0.25 | 16.88 |
| 13 | 0.92 | -58.58 |
| 14 | 0.08 | 12.34 |
| 15 | 1.37 | -32.88 |
| 16 | 0.16 | 76.75 |
| 17 | 0.34 | 42.71 |
| 18 | 0.07 | -170.70 |
| 19 | 0.36 | 94.96 |
| 20 | 0.09 | -177.00 |
| 21 | 0.23 | 120.50 |
| 22 | 0.16 | -148.80 |
| 23 | 0.17 | 125.60 |
| 24 | 0.01 | 85.59 |
| 25 | 0.23 | -105.70 |
| 26 | 0.11 | -66.40 |
| 27 | 0.12 | -106.10 |
| 28 | 0.13 | -3.72 |
| 29 | 0.16 | -169.20 |
| 30 | 0.18 | 4.06 |

V. KESIMPULAN

1. Kesimpulan

- 1 Harmonisa arus yang dihasilkan AC Inverter tiga fasa 6HP jenis VRV untuk menggerakkan motor kompresor masih relative tinggi (pada penelitian ini THDI 75,5%), sedangkan harmonisa tegangan relative rendah (pada penelitian ini THDV 4,7%).
2. Pada keadaan AC Inverter tiga fasa 6HP jenis VRV tanpa filter single tuned dan saat inverter aktif harmonisa arus dominan akan muncul pada orde 3, 5, 7 (orde ganjil selain 1 dengan frekuensi dibawah 1500 hertz).
3. Perlu dibuatkan filter untuk mengurangi besaran harmonisa arus, sehingga bentuk gelombang yang terdistorsi dapat berkurang.

2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan serta dari kesulitan-kesulitan yang ditemui selama melakukan penelitian, maka disarankan untuk mencoba dan mengembangkan metode lain yang lebih baik.
2. Beban dengan bahan semikonduktor khususnya elektronika daya merupakan beban non linear yang menimbulkan harmonik, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap beban elektronika daya yang lain.

Daftar Pustaka

- [1]Asnil, aplikasi filter pasif untuk mereduksi harmonik pada inverter, Tesis, Alumni Program Studi Teknik Elektro Program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, 2009.
- [2]Djodi Antono, “ Pengaruh Filter Pasif Single Tune Pada Jaringan Listrik Tegangan Rendah Akibat Pembebanan Penggerak yang Dapat Diatur Kecepatannya”, Tesis, Alumni Program Studi Teknik Elektro Program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, 2011. 9
- [3]Gary W Dr. Chang Dr. Paulo F. Ribeiro and S. J. Ranade, “Harmonic Theory“, IEEE, 199
- [4]Sigit Budhi Santoso, Aris Rakhmadi, Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Melalui Inverter Altivar 18 Berdasarkan Kendali Fuzi Berbasis PLC, Alumni Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2003.
- [5]Usman Saleh Baafai, “ Sistem Tenaga Listrik : Polusi Dan Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Masyarakat”, PIDATO Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, 2000

Lampiran



Gambar lamp.1a Real visualisasi AC Inverter 6 HP



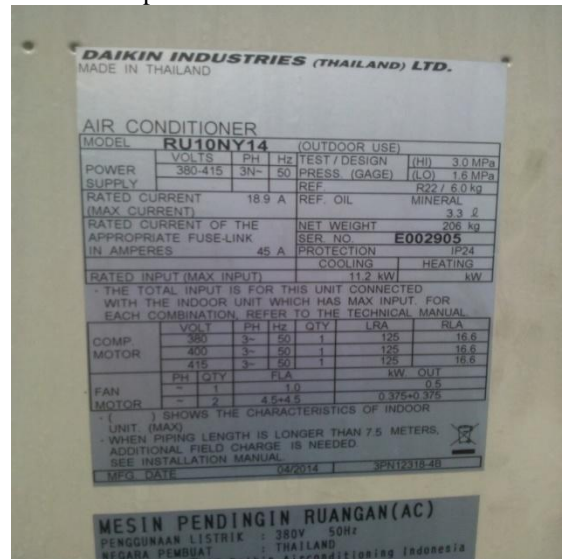
Gambar lamp.1b Real visualisasi AC Inverter 6 HP



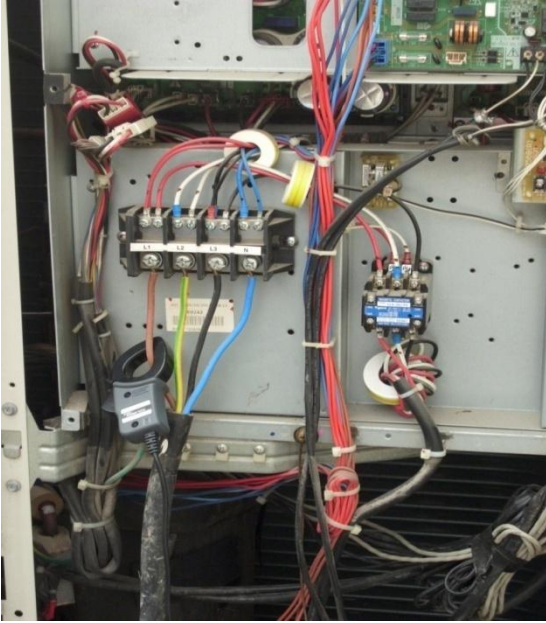
Gambar lamp.1c Real visualisasi AC Inverter 6 HP



Gambar lamp.1d Real visualisasi AC Inverter 6 HP



Gambar lamp.2 Spesifikasi AC Inverter 6 HP



Gambar lamp.3 Instalasi input power AC Inverter 6 HP



Gambar lamp.5 Real visualisasi AC Inverter 6 HP blower indoor



Gambar lamp.4 Real visualisasi AC Inverter 6 HP blower indoor