

PENGARUH *FILTER* PASIF PADA JARINGAN LISTRIK INDUSTRI DAN RUMAH TANGGA AKIBAT PEMBEBANAN *AIR CONDITION (AC) INVERTER*

Djodi Antono, Adi Wasono, Yusnan Badruzzaman

Dosen Teknik Elektro Polines Semarang,

djodiantono@yahoo.com

Abstrak

Perkembangan teknologi memudahkan orang semakin simpel dalam mengoperasikan suatu alat yang disebut '*plug and play*'. Akan tetapi teknologi yang dipakai akan mempunyai efek samping dibidang lainnya. Sebagai contoh adalah penggunaan beban beban *non linear*, terutama peralatan listrik berbasis elektronik (penggunaan sistem *inverter pada AC*) 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 yang disebut harmonik. Tingginya tingkat kandungan arus harmonik 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. Harmonik yang ditimbulkan oleh *AC Inverter* ini sangat mengganggu bahkan merugikan sistem bila melebihi batas standar yang ditetapkan IEEE 519-1992. Dengan menerapkan *filter pasif single tuned* sebagai upaya mengurangi distorsi arus dan tegangan (*total harmonic distortion THD_v* dan *THD_i*) pada jaringan listrik akibat pengoperasian (*AC Inverter*) dengan daya 2HP atau 1500 watt, pemakaian *filter pasif single tuned* pada *AC Inverter* telah berhasil mengurangi harmonik arus sebesar kurang lebih 78 %. Harmonik arus 95 % saat *AC Inverter* dijalankan pada suhu 31°C tanpa *filter* dan 17% saat *AC Inverter* dijalankan pada suhu 31°C dengan *filter*.

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

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kualitas daya listrik disebut baik apabila memenuhi kriteria gelombang arus dan tegangan berupa sinusoidal murni dan frekuensi fundamentalnya 50 Hertz. Jika tidak, salah satu penyebab adalah adanya harmonik 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)*. Harmonik yang ditimbulkan oleh *AC Inverter* ini sangat mengganggu bahkan merugikan sistem bila melebihi batas standar yang ditetapkan IEEE 519-1992. (Asnil, Universitas Gadjah Mada, 2009)

Pada penelitian ini dipaparkan suatu metoda untuk mengurangi kandungan harmonik arus pada sistem tenaga listrik akibat penerapan *AC Inverter* pada jaringan listrik 1 fasa rumah tangga atau perkantoran. Konsep dasar yang dikembangkan pada metoda ini adalah pengurangan harmonik arus sistem jaringan listrik dilakukan dengan menghilangkan komponen-komponen harmonik arus (harmonik orde) yang mendominasi pada jaringan dengan cara memasang *filter pasif* yang dirangkai *single tuned*.

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* dijalankan tanpa *filter* dan suhu diset 31°C sampai dengan 20°C.
- 3) Karakteristik harmonik yang terjadi saat *AC Inverter* dijalankan dengan *filter* dan suhu diset 31°C sampai dengan 20°C.

1.3 Tujuan Penelitian

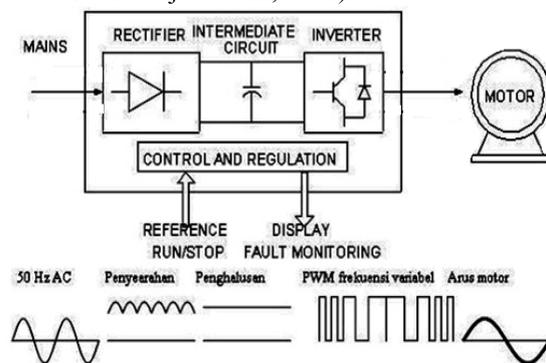
1. Mempelajari timbulnya harmonik pada jaringan listrik tegangan rendah akibat penerapan *Air Condition Inverter*.
2. Mengukur besaran dan bentuk gelombang yang telah “mengotori” jaringan listrik tegangan rendah, dan memberikan solusi pemecahan untuk mengatasinya.
3. Merancang bangun peralatan *filter*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

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini *Air Condition Inverter* dipakai sebagai obyek penelitian. Karena *Air Condition Inverter* teknologi inverternya menggunakan komponen power elektronik maka akan menimbulkan arus harmonik yang dapat mengakibatkan terkotornya jaringan listrik. Untuk membersihkannya diperlukan cara tertentu dengan merancang suatu *filter* yang dipasangkan dekat sumber penghasil harmonik tersebut. Dengan demikian jika *AC Inverter* 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 dayaini 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 1.1. Prinsip Dasar Inverter

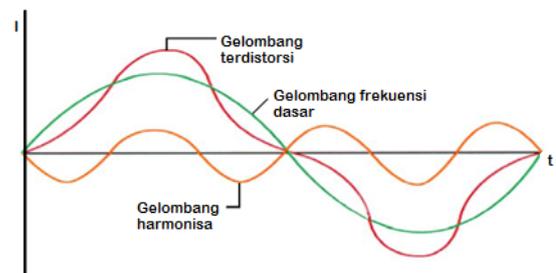
Dengan menerapkan *inverter* pada *air condition*, maka akan banyak diperoleh keuntungan secara teknis bila dibandingkan dengan cara lain. Beberapa keuntungan tersebut antara lain:

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 1.2 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

- Saluran transmisi
Harmonik arus pada konduktor akan menyebabkan bertambahnya rugi-rugi saluran sebagai akibat adanya pemanasan tambahan.
- 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.
- Mesin-Mesin Berputar (*Rotating Machines*)
Harmonik akan menimbulkan panas tambahan sehingga menambah rugi-rugi tembaga dan besi, yang berpengaruh pada efisiensi mesin.
- 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.
- Peralatan konsumen
Peralatan elektronik pada konsumen juga dapat terpengaruh oleh harmonik.
- Televisi: harmonik akan mempengaruhi nilai puncak tegangan yang dapat berdampak perubahan pada ukuran gambar TV dan kecerahan TV.
- Komputer: dapat mengganggu sistem pemrosesan data karena tegangan supply terdistorsi.
- Terjadi kesalahan pada pembacaan di alat pengukur, 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

$$THD_V = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2 / V_h} \quad (1)$$

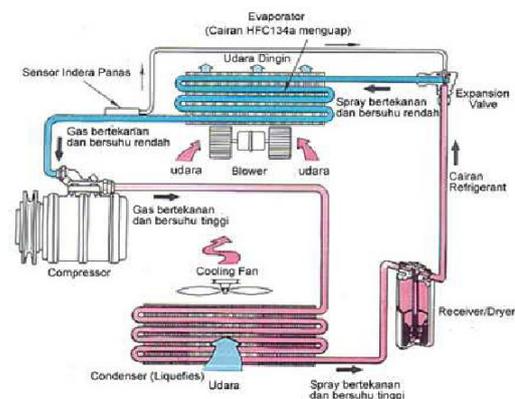
$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2 / I_h} \quad (2)$$

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 jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil *evaporator* dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondenser tekanan *refrigent* yang berada dalam pipa-pipa kondenser relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan *refrigent* yang berada pada pipa-pipa *evaporator*. Setelah *refrigent* lewat kondenser dan melepaskan kalor penguapan dari fase uap ke fase cair maka *refrigent* dilewatkan melalui katup ekspansi, pada katup ekspansi ini *refrigent* tekanannya diturunkan sehingga *refrigent* berubah kondisi dari fase cair ke fase uap yang kemudian dialirkan ke *evaporator*, di dalam *evaporator* ini *refrigent* akan berubah keadaannya dari fase cair ke fase uap, perubahan fase ini disebabkan karena tekanan *refrigent* dibuat sedemikian rupa sehingga *refrigent* setelah melewati katup ekspansi dan melalui *evaporator* tekanannya menjadi sangat turun.



Gambar 1.3 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,

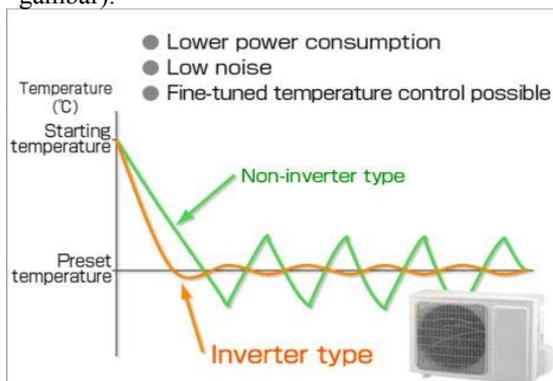
sudah sewajarnya memilih AC hemat listrik. Disinilah peran teknologi *inverter* dimanfaatkan. Untuk menjelaskannya, mari kita gunakan setting suhu sebagai contoh.

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 kenyataanya, 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:

- 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).



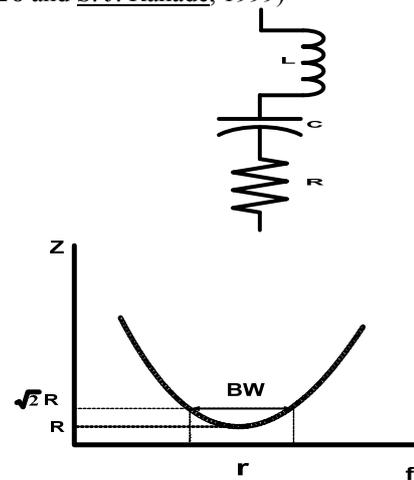
Gambar 1.4 Perbandingan keuntungan AC *inverter* dengan non inverter

1.11 Filter Pasif

Filter ini dapat digolongkan menjadi 2 kelompok

1.11.1 Filter seri

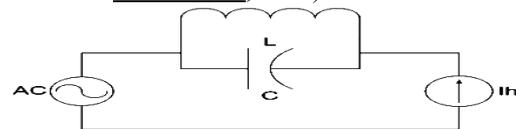
Digolongkan sebagai jenis resonansi paralel dan penghalang dengan impedansi tinggi pada frekwensi yang ditala. Gambar *filter* seri adalah sebagai berikut: (Dr. Gary W. Chang **Dr. Paulo F. Ribeiro** and **S. J. Ranade**, 1999)



Gambar 1.5 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 1.6 Filter paralel

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3) \quad Q = \frac{X_L(f_r)}{R} = \frac{X_C(f_r)}{R} \quad (4) \quad BW = \frac{2R}{Q} \quad (5)$$

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 *filtersingle 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 filtersingle tuned digunakan untuk mengurangi penyimpangan tegangan pada sistem tenaga dan juga sebagai koreksi faktor daya. Nilai-nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi 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

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f L$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad (9)$$

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

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

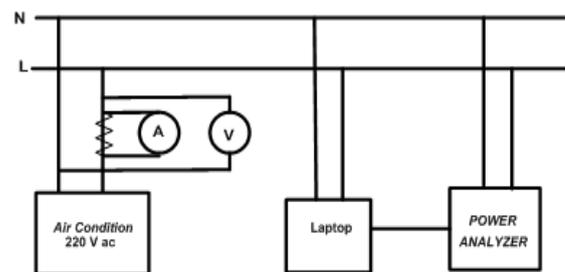
$$X_0 = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (11)$$

dengan $X_L = X_C = X_0$ pada keadaan resonansi

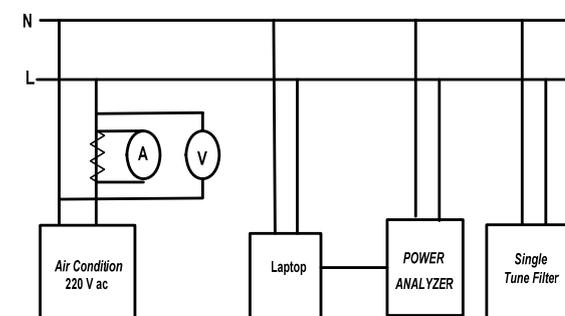
2.3. Peralatan yang dipergunakan

1. Air Condition Inverter 2 HP1 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 2.1 Rangkaian percobaan tanpa *filter*

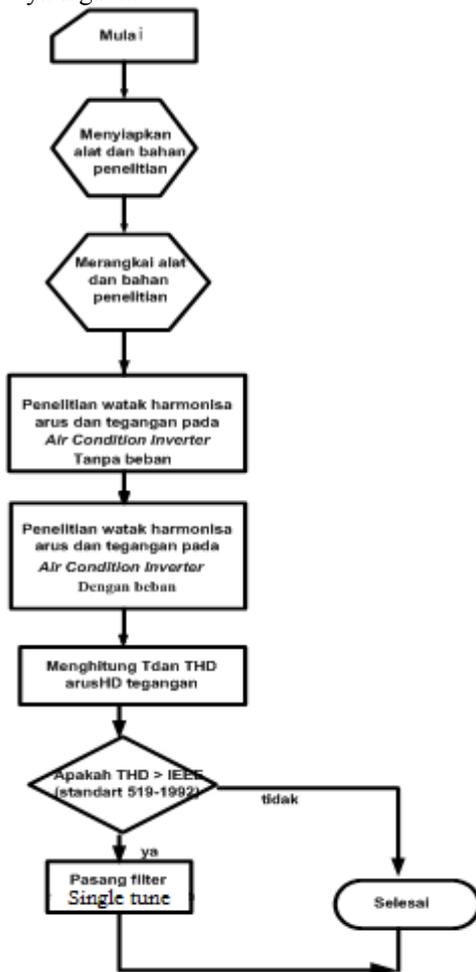


Gambar 2.2 Rangkaian percobaan dengan *filter*

2.5. 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 2.3 Diagram *flowchart* penelitian

2.6. 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 arusnya pun relatif besar, induktor seperti ini tidak ada dipasaran sehingga perlu dibuat sendiri dan diberi bahan inti ferit

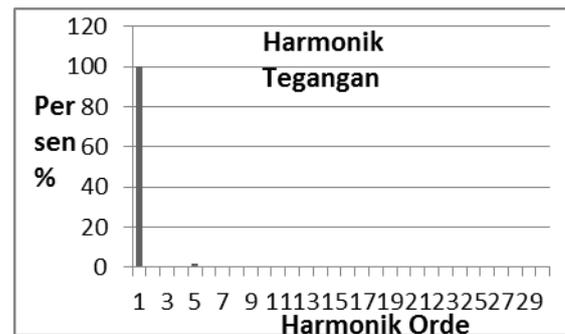
3. HASIL PENELITIAN

3.1. Penelitian watak harmonik sebelum dipasang *filter*

3.1.1 Pengukuran Harmonik Tegangan AC Inverter Tanpa *Filter*

Untuk mengetahui kandungan harmonik arus maupun tegangan AC *Inverter*, maka perlu dilakukan pengukuran dengan menggunakan peralatan *power analyzer* Kyoritsu KEW 6310.

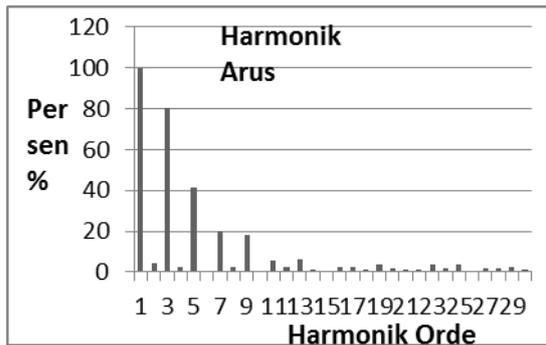
Gambar 3.1 memperlihatkan hasil pengukuran harmonik tegangan sampai dengan harmonik ke-30. Terlihat bahwa harmonik tegangan 2,8 % tidak melebihi dari batas yang ditentukan standar IEEE. Hal ini dapat dijelaskan bahwa *inverter* pada AC tidak mengganggu bentuk gelombang tegangan.



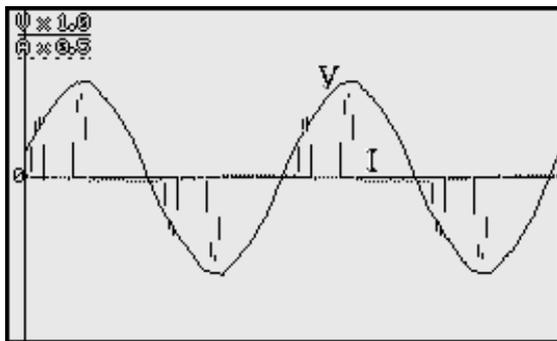
Gambar 3.1 Spektrum Harmonik Tegangan AC *inverter* 2 Hp

3.1.2 Pengukuran Harmonik Arus AC *Inverter* Tanpa *Filter*

Pada gambar 3.2 memperlihatkan spektrum harmonik arus yang terjadi saat AC *Inverter* dijalankan dengan seting suhu adalah 31 °C. *Inverter* akan bekerja menjalankan motor AC *Inverter* dan seperti yang terlihat pada gambar 5.2 spektrum harmonik arus AC *Inverter* 2 HP dengan $THD_i = 95.4\%$. Harmonik arus yang dominan terjadi pada harmonik orde 3, 5, 7, 9. Bentuk gelombang tegangan masih dalam keadaan baik / sinusoidal (tidak cacat) tetapi bentuk gelombang arus sangat tidak beraturan/tidak sinusoidal (cacat) seperti yang terlihat pada gambar 5.3 Gelombang tegangan dan arus AC *inverter* 2 Hp seting suhu 31° celsius. Dari keadaan fisik, motor kompresor AC akan bekerja dengan putaran lebih lambat (*Inverter* bekerja mengubah frekwensinya menjadi lebih kecil dari 50 hz).

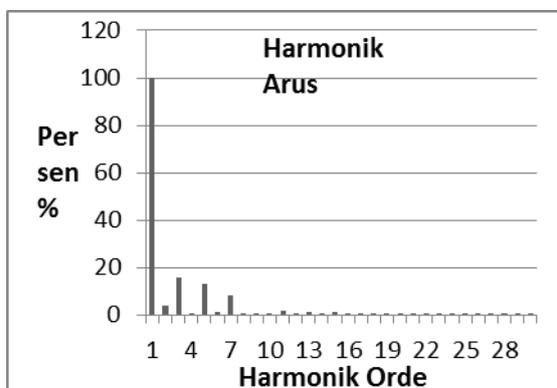


Gambar 3.2 Spektrum Harmonik Arus AC inverter 2 Hp seting suhu 31° celcius



Gambar 3.3 Gelombang tegangan dan arus AC inverter 2 Hp seting suhu 31° celcius

Pada gambar 3.4 memperlihatkan spektrum harmonik arus yang terjadi saat AC Inverter dijalankan dengan seting suhu adalah 20°C. Inverter akan bekerja menjalankan motor AC Inverter dan seperti yang terlihat pada gambar 5.10 spektrum harmonik arus AC Inverter 2 HP dengan $THD_1=23,5\%$. Harmonik arus yang merata (rendah). Dari keadaan fisik, motor kompresor AC akan bekerja dengan putaran cepat dari seting suhu 25°C. Pada keadaan ini Inverter dapat dikatakan tidak bekerja (inverter kerja ringan) dengan harmonik arus yang timbul semakin sedikit.



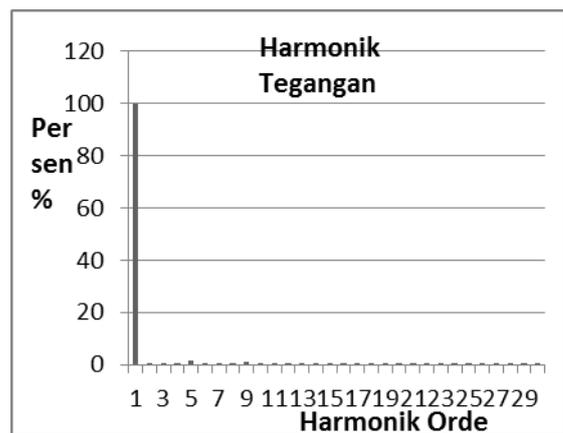
Gambar 3.4 Harmonik Arus AC inverter 2 Hp seting suhu 20° celcius

Untuk menghilangkan harmonik arus yang timbul saat unit inverter AC Inverter 2 HP bekerja pada suhu diseting 31°C sampai dengan 20°C

dirancang dan dibuat *filtersingle tune* sesuai kebutuhan untuk AC Inverter 2 HP.

3.2 Pengukuran Harmonik Arus AC Inverter Dengan Filter

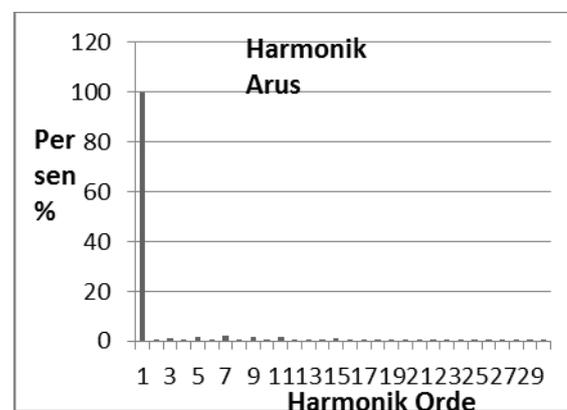
Gambar 3.5 memperlihatkan hasil pengukuran harmonik tegangan sampai dengan harmonik ke-30. Terlihat bahwa harmonik tegangan 2,8 % tidak melebihi dari batas yang ditentukan standart IEEE. Hal ini dapat dijelaskan bahwa harmonik tegangan pada AC inverter tidak mengganggu bentuk gelombang tegangan.



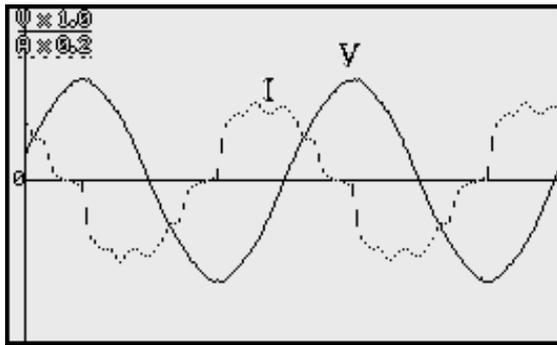
Gambar 3.5 Spektrum Harmonik Tegangan AC inverter 2 Hp dengan filter

Pada gambar 3.6 memperlihatkan hasil pengukuran harmonik arus AC Inverter 2 HP dengan filter telah terpasang pada jaringan listrik dan menghasilkan $THD_1 = 15,8\%$. AC Inverter dijalankan dengan seting suhu 31°C, dengan demikian setelah pemasangan filter terjadi penurunan harmonik arus 80% yaitu dari $THD_1 = 95,5\%$ menjadi $THD_1 = 15,8\%$.

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 3.7.

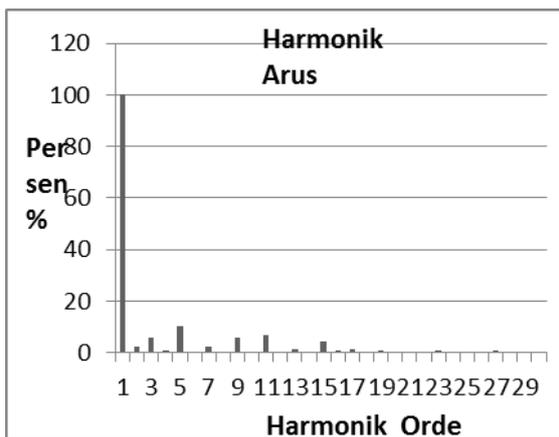


Gambar 3.6 Harmonik Arus AC inverter 2 Hp dengan Filter seting suhu 31° celcius

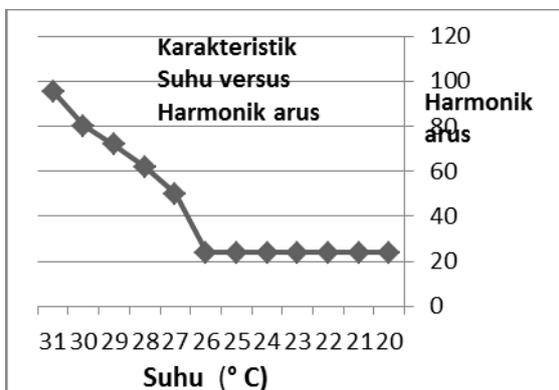


Gambar 3.7 Gelombang tegangan dan arus AC inverter 2 Hp dengan Filter seting suhu 31° celcius

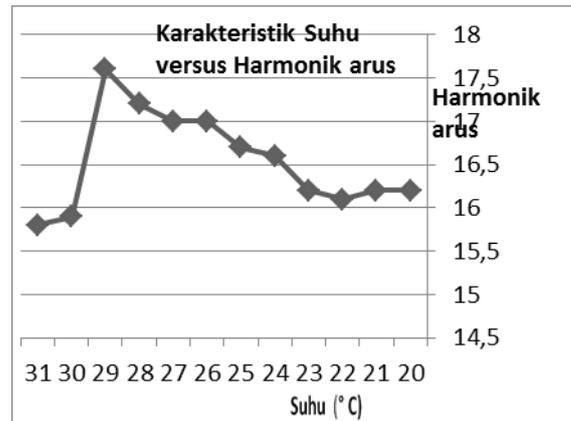
Pada gambar 3.8 memperlihatkan hasil pengukuran harmonik arus AC Inverter 2 HP dengan filter telah terpasang pada jaringan listrik dan menghasilkan $THD_I = 16,2\%$. AC Inverter dijalankan dengan seting suhu 20°C, dengan demikian setelah pemasangan filter terjadi penurunan harmonik arus 79,3% yaitu dari $THD_I = 95,5\%$ menjadi $THD_I = 17,6\%$.



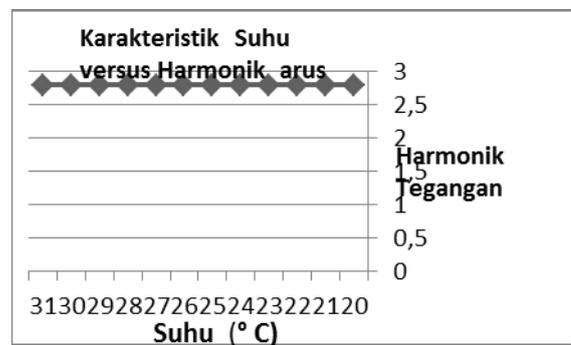
Gambar 3.8 Harmonik Arus AC Inverter 2 HP dengan filter seting suhu 20° Celcius



Gambar 3.9 Karakteristik Suhu versus Harmonik arus AC Inverter 2 HP tanpa filter



Gambar 3.10 Karakteristik Suhu versus Harmonik arus AC Inverter 2 HP dengan filter



Gambar 3.11 Karakteristik Suhu versus Harmonik arus AC Inverter 2 HP tanpa / dengan filter

Gambar 3.9 dan gambar 5.10 memperlihatkan karakteristik suhu versus harmonik arus AC Inverter 2 HP tanpa filter dan dengan filter.

Terlihat bahwa jika AC Inverter dijalankan dengan seting suhu hangat yaitu pada suhu 31, 30, 29, 28, dan 27 unit inverter AC Inverter akan bekerja dan menghasilkan harmonik arus THD_I yang cukup besar (95% sampai dengan 24%).

Setelah dipasang filter single tune, pada gambar 3.10 karakteristik suhu versus Harmonik arus AC Inverter 2 HP, Terlihat bahwa harmonik arus THD_I jauh turun pada kisaran 17%

Sedangkan pada gambar 3.11 Karakteristik suhu versus harmonik tegangan terlihat sama besarnya harmonik tegangan THD_V baik AC Inverter 2 HP dipasang filter single tune maupun tidak dipasang filter single tune

4. KESIMPULAN

1. Harmonik arus yang dihasilkan AC Inverter untuk menggerakkan motor induksi masih relative tinggi (pada penelitian ini $THDI$ 95%), sedangkan harmonik tegangan relative rendah (pada penelitian ini $THDV$ 2%).
2. Pada keadaan AC Inverter tanpa filter single tuned dan saat inverter aktif harmonik arus dominan akan muncul pada orde 3, 5, 7, 9 (orde ganjil selain 1 dengan frekuensi dibawah 1500 hertz).

3. Pada keadaan *AC Inverter* dengan *filter single tuned* dan berbeban motor kompresor, harmonik arus turun menjadi THD_1 17%. Sedangkan harmonik tegangan pada semua kondisi penelitian relatif tetap kurang lebih 2 %.
4. Semakin seting suhu diturunkan, maka harmonik arus semakin menurun.
- 5 *Passive filter single tuned* mampu mereduksi harmonik arus sebesar THD_1 78% pada keadaan *AC Inverter* aktif unit *inverter* nya.

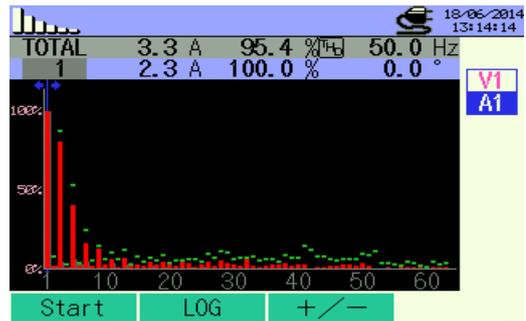
DAFTAR PUSTAKA

- [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

Printscreen Harmonik Arus AC Inverter 2 Hp Tanpa Filter

Semua pengukuran harmonik arus menggunakan clamp sensing arus jenis Rogowski dengan dikalungkan dua putaran sehingga arus yang tertera pada gambar berikut adalah dibagi 2, contoh gambar berikut ini arus terbaca 3,3 A arus sesungguhnya adalah 1,65 A.



Gambar Lampiran 1 Spektrum Harmonik Arus AC

inverter 2 Hp tanpa filter seting suhu 31° celcius



Gambar Lampiran 2 Harmonik Arus AC *inverter* 2 Hp dengan filter seting suhu 31° celcius



Gambar Lampiran 3 Filter single tune AC Inverter



Gambar lampiran 4 AC Inverter 2 Hp



Gambar Lampiran 5 Implementasi Instalasi Rangkaian Pengukuran Harmonik tegangan dan arus AC Inverter