

Pembuatan Modul Inverter sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi

Heri Haryanto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Agung Tirtoyoso

Jl. Jend. Sudirman Km. 3, Cilegon Telpn 0254395502

E-mail: elektrojos@yahoo.com

Abstrak

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi tersebut di antaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi yang dikenal dengan kendali V/f konstan. Kendali V/f konstan adalah salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis merancang inverter, khususnya inverter satu fasa dengan kendali V/f konstan, yang diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi. Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata konstanta rasio V/f yang didapat yaitu 2,34. Inverter yang telah dirancang mampu mengatur kecepatan putar motor induksi dengan baik, rentang pengaturan yang dapat dicapai sangat lebar yaitu dari 262 Rpm dengan frekuensi 10 Hz sampai dengan 1826 Rpm pada frekuensi 60 Hz pada keadaan tanpa beban dengan kenaikan dan penurunan setiap 1 Hz. Sedangkan perubahan motor dapat dengan halus, rata-rata 31,2 Rpm/Hz.

Kata kunci: Inverter Satu Fasa, Kendali Kecepatan Motor Induksi

Abstract

There are several ways you can do to control the rotational speed induction motors are among the control voltage and frequency are known to control V/f constant. Control V/f constant is one way to control the rotary speed of an induction motor by changing voltage and frequency, but maintain a constant ratio of the two. It is most common in the application of this way is to use a device known as an inverter. Therefore in this study the authors designed the inverter, especially single-phase inverter with control V/f constant, which is applied to control the rotary speed of an induction motor. Based on test results, the average value of the constant ratio of V / f obtained is 2.34. Inverter has been designed capable of regulating the rotational speed induction motor with a good range of settings that can be achieved very wide, from 262 rpm with a frequency of 10 Hz up to 1826 rpm at a frequency of 60 Hz in the absence of load increase and decrease every 1 Hz. While the motor can be subtle changes, an average of 31.2 rpm / Hz.

Keywords: One Phase Inverter, an Induction Motor Speed Control

Pendahuluan

Motor induksi pada umumnya akan berputar pada kecepatan yang hampir konstan, kecepatannya sangat mendekati kecepatan sinkronnya. Bila torsi beban bertambah, maka kecepatannya akan sedikit mengalami penurunan, sehingga motor induksi sangat cocok digunakan untuk menggerakkan sistem yang membutuhkan kecepatan konstan. Namun dalam hal pemakaian motor listrik tersebut kadang-kadang diinginkan kecepatan putar yang dapat diubah-ubah sesuai dengan perubahan beban, dengan pengaturan perpindahan putaran yang halus (*smooth*) dan *range* pengaturan yang lebar

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi

tersebut di antaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi yang dikenal dengan kendali V/f konstan. Kendali V/f konstan adalah salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya. Sehingga dengan cara kendali ini, torsi yang dihasilkan dapat dijaga konstan sepanjang daerah pengaturan kecepatan. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis mencoba merancang sebuah inverter, khususnya inverter satu fasa dengan kendali V/f konstan, yang selanjutnya dapat diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi.

Metodologi Penelitian

Inverter Satu Fasa

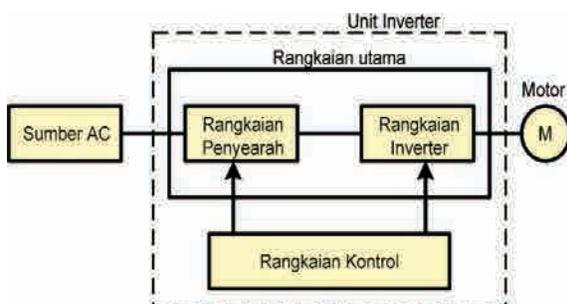
Inverter merupakan suatu rangkaian penyaklaran elektronik yang dapat mengubah sumber tegangan arus searah (*DC*) menjadi tegangan arus bolak-balik (*AC*) dengan besar tegangan dan frekuensi yang dapat di atur. Tegangan bolak-balik yang dihasilkannya berbentuk gelombang persegi dan pada pemakaian tertentu diperlukan *filter* untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoida. Pengaturan besar tegangan dapat dilakukan dengan 2 cara. Pertama, dengan mengatur tegangan input *DC* dari luar tetapi lebar waktu penyaklaran tetap. Kedua, mengatur lebar waktu penyaklaran dengan tegangan input *DC* tetap. Pada cara yang kedua besar tegangan *AC* efektif yang dihasilkan merupakan fungsi dari pengaturan lebar pulsa penyaklaran. Cara inilah yang disebut dengan *Pulse Width Modulation (PWM)*. Struktur inverter umumnya mempunyai bentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Inverter terdiri dari sebuah rangkaian utama yang terbentuk dari rangkaian penyearah/*rectifier* yang dikontrol atau tidak (yang mengubah arus bolak-balik (*AC*) menjadi arus searah (*DC*) dan menghilangkan riak (*ripple*) yang terdapat pada arus searah), sebuah rangkaian inverter (yang mengubah arus searah (*DC*) menjadi arus bolak-balik (*AC*) dengan frekuensi beragam) dan sebuah rangkaian kontrol/rangkaian pengaturan penyalan yang digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan inverter.

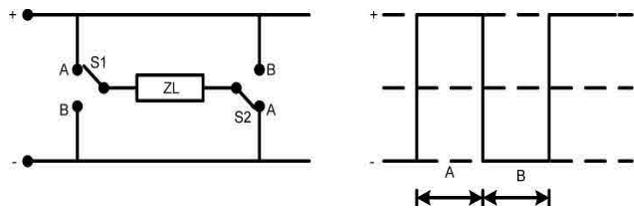
Pada aplikasi-aplikasi industri, inverter digunakan secara luas seperti pada pengaturan kecepatan motor *AC*, pemanasan industri, ataupun pada satu daya tak terputus (*Uninterruptible Power Supply – UPS*).

Prinsip kerja dari inverter secara sederhana dapat dijelaskan dengan menggunakan saklar mekanik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Bila kedudukan S1 dan S2 pada A, beban Z_L mendapatkan tegangan positif, sedangkan tegangan



Gambar 1. Struktur Inverter.



Gambar 2. Rangkaian Inverter Sederhana.

negatif diperoleh ketika S1 dan S2 pada kedudukan B. Dengan demikian pemindahan saklar (S1 dan S2) secara berganti-ganti akan menghasilkan tegangan bolak-balik yang berbentuk persegi yang besarnya ditentukan oleh sumber, dan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan pemindahan saklar.

Berdasarkan jumlah fasanya, inverter dapat dibedakan atas: (1) inverter satu fasa, dan (2) inverter tiga fasa. Sedangkan berdasarkan konfigurasi, rangkaian daya inverter satu fasa dapat dibedakan atas: (1) inverter satu fasa jembatan setengah dan (2) inverter satu fasa jembatan penuh.

Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa pada umumnya akan berputar pada kecepatan yang hampir konstan saat dihubungkan pada tegangan dan frekuensi yang konstan, kecepatannya sangat mendekati kecepatan sinkronnya. Bila torsi beban bertambah, maka kecepatannya akan sedikit mengalami penurunan, sehingga motor induksi sangat cocok digunakan menggerakkan sistem yang membutuhkan kecepatan konstan. Namun dalam kenyataannya terutama di industri terkadang dikehendaki juga adanya pengaturan kecepatan. Pengaturan kecepatan sebuah motor induksi memerlukan biaya yang relatif mahal. Pengaturan kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan beberapa cara, di antaranya [18]:

1. Mengubah jumlah kutub

Karena kecepatan operasi motor induksi mendekati kecepatan sinkron, maka kecepatan motor dapat diubah dengan cara mengubah jumlah kutubnya, sesuai dengan persamaan

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

hal ini dapat dilakukan dengan mengubah hubungan lilitan dari kumparan stator motor. Semakin banyak jumlah kutubnya, semakin rendah putaran yang terjadi. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada

posisi kumparan yang berbeda-beda. Normalnya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub, misalnya dari 2 kutub menjadi 4 kutub.

2. Mengatur frekuensi sumber daya
Selain jumlah kutub, perubahan frekuensi juga akan berpengaruh pada kecepatan putar motor induksi. Hal yang harus diperhatikan, bahwa dengan perubahan frekuensi adalah kerapatan fluks yang ada harus diusahakan tetap, agar kopel yang dihasilkan pun tidak berubah, untuk itu tegangan jaringan pun harus diubah seiring dengan perubahan frekuensi. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal sebagai inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah listrik *dc* menjadi listrik *ac* dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur.
3. Mengatur tegangan terminal

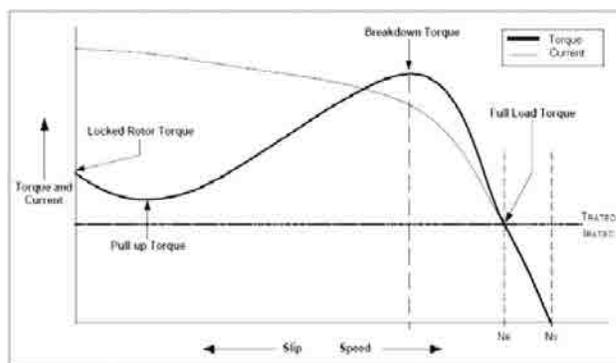
$$T = \frac{3}{\omega} (V_1)^2 \frac{Sa^2R_2}{(a^2R_2)^2 + S^2(a^2X_2)^2} \dots(2)$$

Dari persamaan 2.9[18] terlihat bahwa kopel motor induksi sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Apabila tegangan jaringan diubah, sesuai dengan karakteristiknya, maka kopelnya pun berubah, begitu pula dengan kecepatan putarnya. Cara ini hanya menghasilkan pengaturan putaran yang terbatas (daerah pengaturan sempit).

4. Pengaturan tahanan luar
Pengaturan kecepatan putaran dengan cara pengaturan tahanan luar hanya bisa dilakukan pada motor induksi rotor belitan. Dengan mengubah-ubah nilai tahanan luar yang terhubung ke rotor, maka besarnya kopel akan berubah, demikian juga dengan kecepatan putarnya. Adapun kerugian dari pengaturan jenis ini adalah rendahnya η pada saat kecepatan putarnya dikurangi, di mana rugi-rugi daya dihasilkan cukup besar. Hal ini berlaku pula pada metode pengaturan dengan mengubah tegangan terminal.

Kendali V/f Konstan

Kecepatan motor induksi berbanding lurus dengan frekuensi sumber daya dan jumlah kutub dari motor. Karena jumlah kutub ditetapkan melalui desain, cara terbaik untuk merubah kecepatan dari motor induksi tersebut adalah dengan merubah frekuensi sumber daya.



Gambar 3. Karakteristik Torsi – Kecepatan Motor Induksi

Torsi yang dihasilkan oleh motor induksi adalah berbanding lurus dengan rasio tegangan yang diberikan dan frekuensi sumber daya. Dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya, torsi yang dihasilkan dapat dijaga konstan sepanjang daerah pengaturan kecepatan. Kendali ini disebut sebagai kendali V/f konstan.

Gambar 3 menunjukkan karakteristik torsi-kecepatan dari motor induksi dengan *supply* frekuensi dan tegangan nominal, sedangkan pada gambar 2.3 menunjukkan karakteristik torsi-kecepatan dari motor induksi dengan kendali V/f konstan.

Pada gambar 3 menunjukkan secara khas karakteristik torsi – kecepatan motor induksi. Sumbu x menunjukkan kecepatan dan slip, sedangkan pada sumbu y menunjukkan torsi dan arus. Karakteristik ini diperoleh berdasarkan tegangan nominal dan frekuensi yang diberikan ke motor. Saat mulai berputar, arus asut yang dihasilkan motor cukup tinggi bisa mencapai 5–6 kali arus nominal. Arus tinggi ini akibat dari fluks stator dan rotor, kerugian-kerugian di dalam kumparan stator dan rotor, serta kerugian akibat adanya gesekan pada motor.

Pada saat *start* (asut), motor menghasilkan torsi 1,5 kali dari torsi nominal motor. Torsi *starting* ini disebut juga torsi rotor terkunci (*locked rotor torque/ LRT*). Seperti kecepatan meningkat, arus yang ditarik oleh motor sedikit mulai berkurang (lihat gambar 3).

Arus mulai turun secara signifi ketika kecepatan motor kira-kira mencapai 80% dari kecepatan nominal. Pada kecepatan nominal, motor menarik arus nominal dan memberikan torsi nominal.

Pada kecepatan nominal, jika beban pada *shaft* motor ditingkatkan di luar torsi nominal, kecepatan mulai menurun dan slip meningkat. Ketika motor berjalan kira-kira 80% dari kecepatan sinkronnya, beban dapat meningkat sampai 2,5 kali torsi nominal,

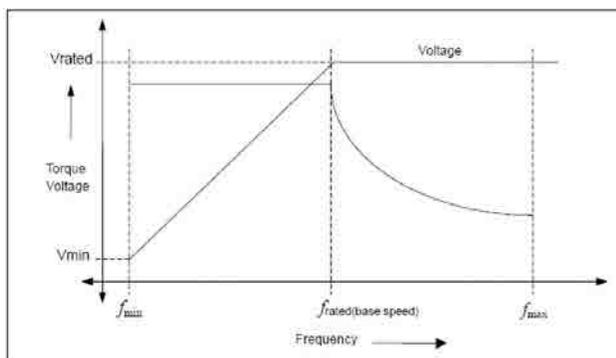
torsi ini disebut *breakdown torque*. Jika beban pada motor itu terus ditingkatkan, motor tidak dapat menangani beban tersebut dan motor akan mulai kritis. Seiring beban yang terus meningkat, arus beban yang dihasilkan pun akan ikut meningkat. Arus beban yang cukup tinggi ini dapat mengakibatkan rugi-rugi pada kumparan motor, dan lama-kelamaan dapat mengakibatkan panas pada motor.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tegangan dan torsi terhadap frekuensi. Gambar 4 menunjukkan tegangan dan frekuensi yang sedang ditingkatkan sampai kecepatan nominal. Pada kecepatan nominal, tegangan dan frekuensi menjangkau nilai nominal seperti yang tertera di *name plate*. Kita dapat menggerakkan motor di luar kecepatan nominal dengan meningkatkan frekuensi lebih lanjut. Bagaimanapun, tegangan yang diberikan tidak dapat ditingkatkan di luar tegangan nominal. Oleh karena itu, hanya frekuensi yang dapat ditingkatkan, yang mengakibatkan perlemahan medan dan torsi yang tersedia menjadi berkurang. Diatas kecepatan nominal, faktor-faktor pengaturan torsi menjadi komplek, karena rugi-rugi gesekan dan pengaruh angin meningkat secara signifi pada kecepatan yang lebih tinggi. Karenanya, kurva torsi menjadi taklinier berkenaan dengan kecepatan atau frekuensi.

Demi terwujudnya tujuan penelitian seperti yang diharapkan, kami menggunakan beberapa metode sebagai berikut:

a. Studi Lapangan

- Mencari dan menemukan gagasan sebagai dasar dari perancangan penelitian ini.
- Melakukan penelitian di industri untuk membandingkan sistem kontrol yang ada di industri dengan sistem kontrol yang akan dirancang dalam skala laboratorium.



Gambar 4. Karakteristik Torsi – Kecepatan dengan Kendali V/f Konstan.

b. Studi Pustaka

- Mengumpulkan bahan-bahan yang berhubungan dengan penelitian
- Mempelajari teori-teori dasar yang menunjang pembuatan penelitian.
- Menyusun laporan penelitian.

c. Perancangan Sistem

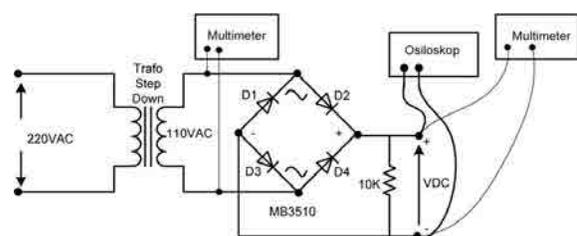
- Membuat alat yang berhubungan dengan penelitian, software dan pengolah sinyal analog dari peralatan instrument untuk sistem kontrol.
- Melakukan pengujian dan pengukuran terhadap respons dari peralatan intrument terhadap sistem kontrol, apakah telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
- Melihat serta menganalisa dan menyimpulkan, apakah sistem kontrol telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

Hasil dan Pembahasan

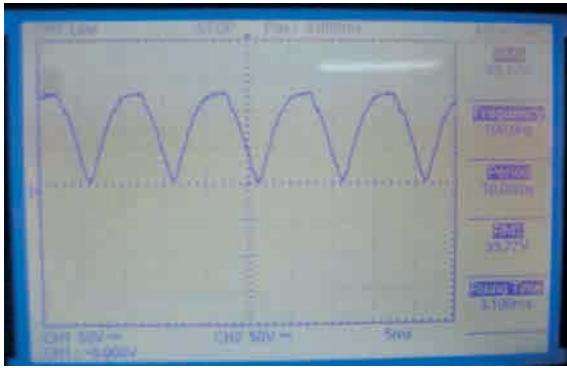
Pengujian Penyearah Sebelum Proses Perata Tegangan

Pada bagian ini dilakukan pengujian rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa sebelum proses perata tegangan, adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat bentuk gelombang serta mengetahui besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan. Sebagai sumber tegangan masukan penyearah, tegangan PLN 220 V_{AC} diturunkan menjadi 110 V_{AC} dengan menggunakan transformator *step down*. Pada gambar 5 ditunjukkan rangkaian pengujian penyearah gelombang penuh satu fasa sebelum proses perata tegangan.

Berdasarkan hasil pengamatan pengujian rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa sebelum proses perata tegangan terlihat hasil bentuk gelombang keluaran yang terukur, yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Rangkaian Pengujian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa Sebelum Proses Perata Tegangan.



Gambar 6. Bentuk Gelombang Keluaran Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa Sebelum Proses Perata Tegangan.

Sedangkan besarnya tegangan keluaran yang terukur oleh multimeter dari rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa sebelum proses perata tegangan adalah sebesar $92 V_{DC}$. Besarnya hasil yang didapat dari pengujian ini akan dibandingkan secara rumus matematis (teori) dan hasil pengukuran oleh multimeter.

Pada pengujian ini besar sumber tegangan dari sisi sekunder transformator yang terukur oleh multimeter adalah $104 V_{AC}$, yang diturunkan dari $220 V_{AC}$ menjadi $110 V_{AC}$ menggunakan transformator *step down*. Sehingga besar tegangan keluaran DC yang dihasilkan oleh penyearah dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int_0^{T/\pi} V_m \sin \omega t dt \dots\dots(3)$$

$$= \frac{2V_m}{\pi} = 0,636$$

Maka:

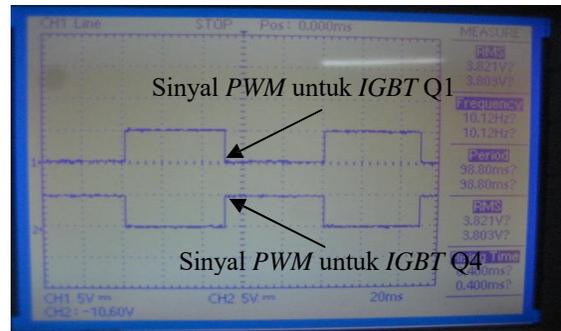
$$V_{dc} = 0,363 \times 104 \times \sqrt{2}$$

$$= 93,540 \text{ Volt}$$

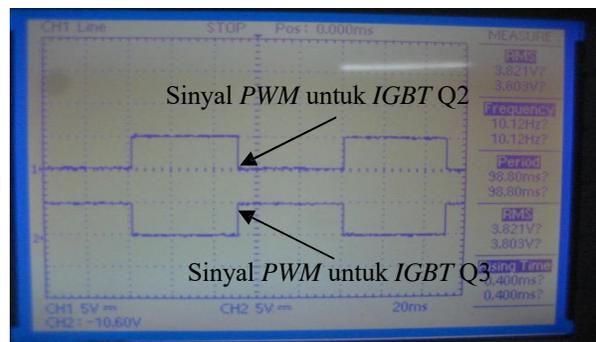
Pada hasil yang didapat di atas secara rumus matematis (teori) dan pengukuran dengan multimeter, besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan tidak jauh berbeda. Adanya sedikit perbedaan besarnya nilai tegangan keluaran yang dihasilkan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya tegangan jala-jala listrik yang digunakan tidak stabil, alat ukur yang digunakan kurang sensitif, serta dapat disebabkan oleh faktor komponen yang digunakan. Sedangkan bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian penyearah di atas sudah sesuai yang diharapkan, dihasilkan bentuk gelombang penuh, hal ini disebabkan karena menggunakan dioda jembatan/bridge.

Pengujian Rangkaian Mikrokontroler

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bentuk gelombang keluaran sinyal PWM yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler dari masing-masing pasangan penggerak transistor daya IGBT Q1 (g1) dan Q4 (g4) pada port D6 dan D4, serta pasangan penggerak transistor daya IGBT Q2 (g2) dan Q3 (g3) pada port D5 dan D7, berdasarkan frekuensi masukan yang berbeda dari keypad. Yang mana pada nantinya sinyal PWM ini akan digunakan sebagai sinyal kendali rangkaian inverter satu fasa, yang sebelumnya sinyal PWM tersebut dikuatkan terlebih dahulu melalui rangkaian penggerak gerbang IGBT. Selain itu juga untuk mengetahui besar nilai frekuensi dan perioda keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler saat diberikan frekuensi masukan tertentu dari keypad. Bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan diukur menggunakan osiloskop digital merk EZ Digital Oscilloscope DS-1150 150MHz. Pada gambar 7 dan gambar 8 ditunjukkan bentuk gelombang keluaran dari rangkaian mikrokontroler berdasarkan frekuensi masukan 10 Hz dari keypad.



Gambar 7. Bentuk Gelombang Keluaran Rangkaian Mikrokontroler Untuk Sinyal Kendali Transistor Daya IGBT Q1 dan Q4 Berdasarkan Frekuensi Masukan 10 Hz.

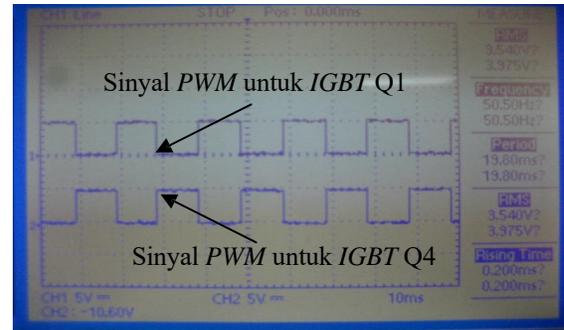


Gambar 8. Bentuk Gelombang Keluaran Rangkaian Mikrokontroler Untuk Sinyal Kendali Transistor Daya IGBT Q2 dan Q3 Berdasarkan Frekuensi Masukan 10 Hz.

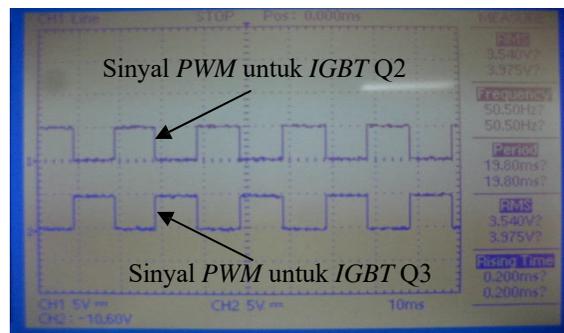
Dari hasil pengamatan bentuk gelombang keluaran sinyal *PWM* pada gambar 7 dan gambar 8 dapat diketahui besarnya frekuensi keluaran yang dihasilkan, yaitu 10,12 Hz. Besar masing-masing frekuensi keluaran yang dihasilkan ini berdasarkan frekuensi masukan dari *keypad* sebesar 10 Hz, jadi dapat dikatakan bahwa frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran yang dihasilkan sudah sesuai. Sedangkan perioda dari lebar pulsa yang dihasilkan adalah 98,80 ms, nilai perioda dari lebar pulsa ini menentukan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter satu fasa. Jadi nilai frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian inverter satu fasa akan sangat tergantung dari besar perioda dan *duty cycle* yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler. Pada perancangan ini, untuk mendapatkan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter yang bervariasi, nilai perioda dari lebar pulsa diubah-ubah dengan *duty cycle* yang tetap yaitu 50%. Penetapan *duty cycle* 50% ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konstanta rasio V/f yang konstan yaitu 2. Besar frekuensi keluaran inverter ditentukan dari kecepatan penyalaan dan pemadaman transistor daya *IGBT*, sedangkan tegangan keluaran inverter diperoleh dari pemindahan penyalaan transistor daya *IGBT* Q1 dan Q2 ke transistor daya *IGBT* Q3 dan Q4, yang besarnya ditentukan tegangan sumber *DC*.

Pada gambar 9 dan gambar 10 ditunjukkan bentuk gelombang keluaran sinyal *PWM* dari rangkaian mikrokontroler berdasarkan frekuensi masukan 50 Hz dari *keypad*.

Dari hasil pengamatan bentuk gelombang keluaran sinyal *PWM* pada gambar 9 dan gambar 10 dapat diketahui besarnya frekuensi keluaran yang dihasilkan, yaitu 50,50 Hz. Besar masing-masing frekuensi keluaran yang dihasilkan ini berdasarkan frekuensi masukan dari *keypad* sebesar 50 Hz, jadi dapat dikatakan bahwa frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran yang dihasilkan sudah sesuai. Sedangkan nilai perioda dari lebar pulsa yang dihasilkan adalah 19,80 ms, nilai perioda dari lebar pulsa ini menentukan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter satu fasa. Jadi nilai frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan akan sangat tergantung dari besar perioda dan *duty cycle* yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler. Pada perancangan ini, untuk mendapatkan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter yang bervariasi, nilai perioda dari lebar pulsa diubah-ubah dengan *duty cycle* yang tetap yaitu 50%. Penetapan *duty cycle* 50% ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konstanta rasio V/f yang konstan yaitu 2. Besar



Gambar 9. Bentuk Gelombang Keluaran Rangkaian Mikrokontroler Untuk Sinyal Kendali Transistor Daya *IGBT* Q1 dan Q4 Berdasarkan Frekuensi Masukan 50 Hz.



Gambar 10. Bentuk Gelombang Keluaran Rangkaian Mikrokontroler Untuk Sinyal Kendali Transistor Daya *IGBT* Q2 dan Q3 Berdasarkan Frekuensi Masukan 50 Hz.

frekuensi keluaran inverter ditentukan dari kecepatan penyalaan dan pemadaman transistor daya *IGBT*, sedangkan tegangan keluaran inverter diperoleh dari pemindahan penyalaan transistor daya *IGBT* Q1 dan Q2 ke transistor daya *IGBT* Q3 dan Q4, yang besarnya ditentukan tegangan sumber *DC*.

Berdasarkan hasil pengamatan secara keseluruhan dari pengujian rangkaian mikrokontroler bahwa sinyal *PWM* yang dihasilkan, baik dengan frekuensi masukan 10 Hz maupun frekuensi masukan 50 Hz adalah sesuai dengan yang diharapkan, di mana sinyal kendali untuk masing-masing penggerak yaitu transistor daya *IGBT* Q1, Q4 dan Q2, Q3 adalah saling berkebalikan. Hal ini dikarenakan untuk mencegah terjadinya penyalaan transistor daya *IGBT* secara bersamaan yang dapat mengakibatkan hubung singkat (*short circuit*) pada rangkaian.

Pengujian Rangkaian Inverter Satu Fasa

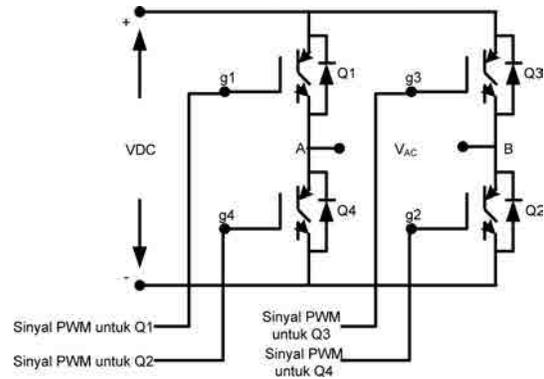
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai perioda dari lebar pulsa sinyal

PWM yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler atau rangkaian penggerak gerbang *IGBT* terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi keluaran dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa tersebut, selain itu untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) dari *keypad* terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa serta untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) terhadap nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan.

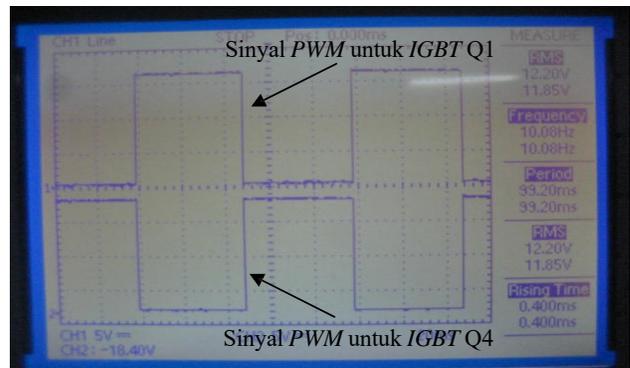
Untuk mengamati dan mengetahui pengaruh perubahan nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi keluaran dan tegangan keluaran inverter diambil dua nilai periode yang berbeda dan signifikan. Dua nilai periode yang berbeda ini diperoleh berdasarkan frekuensi masukan dari *keypad* yaitu 10 Hz dan 50 Hz. Pada gambar 11 ditunjukkan rangkaian pengujian inverter satu fasa tanpa beban.

Pada gambar 12 dan gambar 13 ditunjukkan bentuk gelombang keluaran sinyal *PWM* dari masing-masing rangkaian penggerak gerbang *IGBT* berdasarkan frekuensi masukan dari *keypad* sebesar 10 Hz.

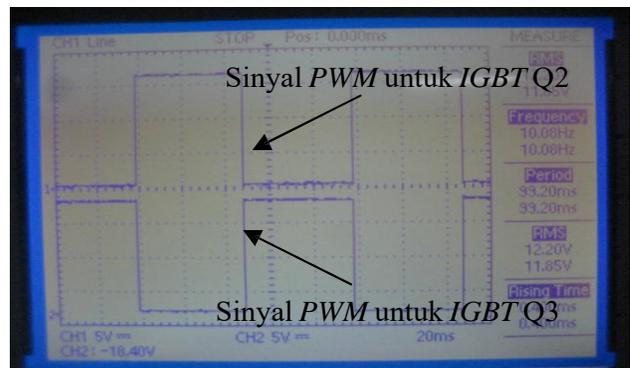
Berdasarkan ke empat sinyal *PWM* di atas, transistor daya *IGBT* pada rangkaian pengujian yang ditunjukkan gambar 12, akan dikontrol penyalan dan pemadamannya secara bergantian. Di mana untuk menghasilkan tegangan keluaran AC, transistor daya *IGBT* Q1 dan Q2 akan dihidupkan oleh sinyal *PWM* yang masuk ke transistor daya Q1 dan Q2 sedangkan transistor daya *IGBT* Q3 dan Q4 akan dimatikan oleh sinyal *PWM* yang masuk ke transistor daya Q3 dan Q4, hal ini dilakukan secara cepat dan bergantian. Besar frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan pada inverter tersebut tergantung dari nilai periode dan *duty cycle* yang diberikan. Pada perancangan ini, untuk mendapatkan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter yang bervariasi, nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* diubah-ubah sedangkan nilai *duty cycle* dibuat tetap sebesar 50%. Penetapan *duty cycle* 50 % ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konstanta rasio V/f konstan yaitu 2. Dari gambar 12 dan 13, nilai periode yang dihasilkan adalah 99,20 ms. Jadi masing-masing pasangan transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa ini akan dihidupkan selama 49,6 ms, dan akan dimatikan selama 49,6 ms. Berdasarkan tabel data hasil pengujian rangkaian dengan frekuensi



Gambar 11. Rangkaian Pengujian Inverter Satu Fasa Tanpa Beban.

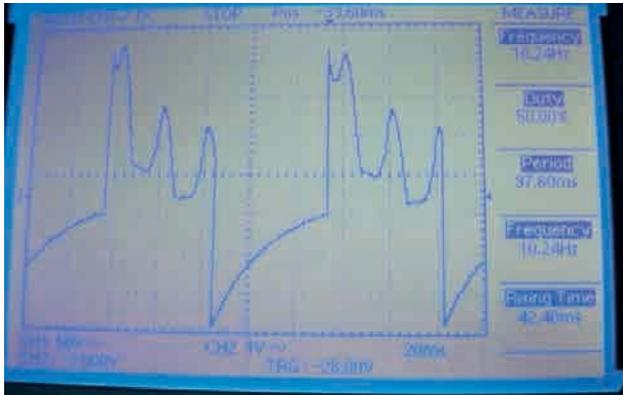


Gambar 12. Bentuk Gelombang Keluaran Sinyal *PWM* untuk *Switching* Transistor Daya *IGBT* Q1 dan Q4 Berdasarkan Frekuensi Masukan 10 Hz.



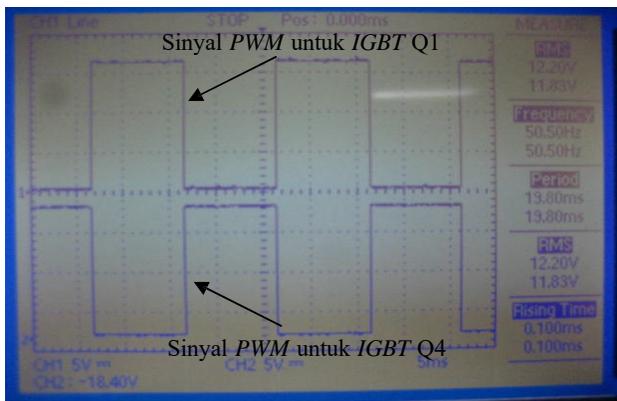
Gambar 13. Bentuk Gelombang Keluaran Sinyal *PWM* untuk *Switching* Transistor Daya *IGBT* Q2 dan Q3 Berdasarkan Frekuensi Masukan 10 Hz.

masukan 10 Hz atau periode 99,20 ms, frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa adalah 10,24 Hz, sedangkan tegangan keluaran AC yang dihasilkan inverter tersebut adalah 104,8 V_{AC} . Pada gambar 14 ditunjukkan bentuk gelombang keluarannya.

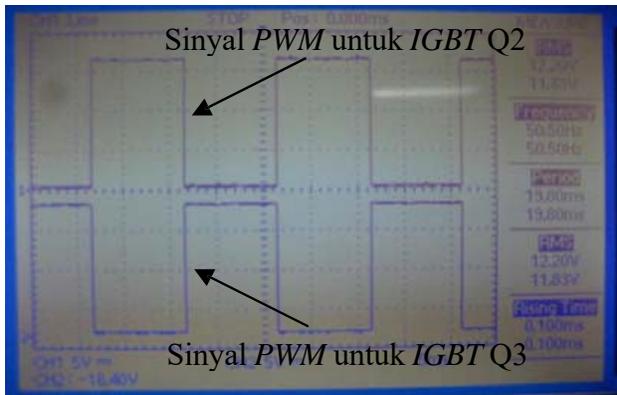


Gambar 14. Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Berdasarkan Frekuensi Masukan 10 Hz pada Pengujian Inverter Satu Fasa Tanpa Beban.

Selanjutnya adalah melihat pengaruh perubahan nilai perioda berdasarkan frekuensi masukan 50 Hz. Berikut ini pada gambar 15 dan 16 ditunjukkan bentuk



Gambar 15. Bentuk Gelombang Keluaran Sinyal PWM untuk Switching Transistor Daya IGBT Q1 dan Q4 Berdasarkan Frekuensi Masukan 50 Hz.

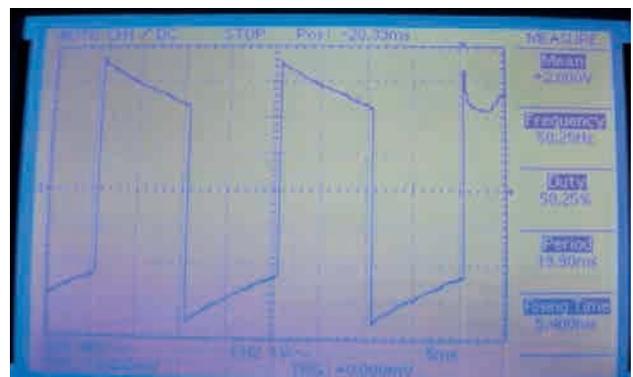


Gambar 16. Bentuk Gelombang Keluaran Sinyal PWM untuk Switching Transistor Daya IGBT Q2 dan Q3 Berdasarkan Frekuensi Masukan 50 Hz.

gelombang keluaran sinyal PWM dari masing-masing rangkaian penggerak gerbang IGBT berdasarkan frekuensi masukan dari keypad sebesar 50 Hz.

Besar frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan pada rangkaian inverter satu fasa tergantung dari nilai perioda dan *duty cycle* yang diberikan. Pada perancangan ini, untuk mendapatkan besar frekuensi dan tegangan keluaran inverter yang bervariasi, nilai perioda dari lebar pulsa sinyal PWM diubah-ubah sedangkan nilai *duty cycle* dibuat tetap sebesar 50%. Penetapan *duty cycle* 50% ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konstanta rasio V/f konstan yaitu 2. Dari gambar 15 dan 16, nilai perioda yang dihasilkan adalah 19,80 ms. Jadi masing-masing pasangan transistor daya IGBT dari rangkaian inverter satu fasa ini akan dihidupkan selama 9,9 ms, dan akan dimatikan selama 9,9 ms dengan frekuensi masukan 50 Hz atau perioda 19,80 ms, frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa adalah 50,25 Hz, sedangkan tegangan keluaran AC yang dihasilkan rangkaian inverter tersebut adalah 142,1 V_{AC}. Pada gambar 17 ditunjukkan bentuk gelombang keluarannya.

Dari hasil pengamatan di atas, dapat disimpulkan bahwa pengaruh perubahan nilai perioda terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya IGBT dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi dan tegangan keluaran inverter adalah terlihat bahwa semakin kecil nilai perioda yang diberikan untuk melakukan pensaklaran (*switching*) transistor daya IGBT, berarti semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk pensaklaran, maka frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter semakin besar, begitu untuk sebaliknya.



Gambar 17. Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Berdasarkan Frekuensi Masukan 50 Hz pada Pengujian Inverter Satu Fasa Tanpa Beban.

Pengujian selanjutnya pada inverter satu fasa tanpa beban ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) dari *keypad* terhadap tegangan keluaran dari rangkaian inverter satu fasa dan mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) terhadap nilai konstanta rasio V/f . Berdasarkan tabel data hasil pengujian rangkaian inverter satu fasa tanpa beban yang dapat dilihat pada lampiran 3, maka dapat digambarkan grafik frekuensi masukan terhadap tegangan keluaran dan grafik frekuensi masukan terhadap nilai konstanta rasio V/f berikut ini.

Dari grafik pada gambar 18 terlihat bahwa setiap perubahan frekuensi masukan akan diikuti perubahan pada tegangan keluaran inverter, hal ini karena dalam perancangan dibuat perubahan frekuensi seiring perubahan tegangan, yaitu dengan mengubah-ubah nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* dan dengan *duty cycle* yang tetap sebesar 50%. Namun perubahan tegangan yang dihasilkan tidak begitu proporsional terhadap perubahan frekuensi masukan, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya bentuk gelombang keluaran inverter yang dihasilkan masih

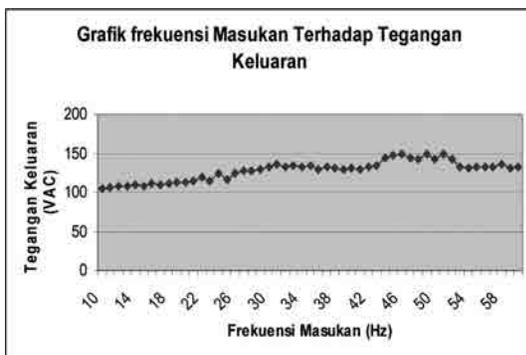
berbentuk persegi, yang masih banyak mengandung harmonisa, yang menyebabkan keluaran tidak stabil. Sedangkan pada grafik gambar 19 terlihat bahwa dengan perubahan frekuensi masukan, nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan masih belum konstan, hal ini dapat disebabkan pula oleh bentuk gelombang keluaran inverter yang masih berbentuk persegi, yang menyebabkan keluaran tidak stabil.

Pengujian Rangkaian Inverter Satu Fasa Dengan Beban

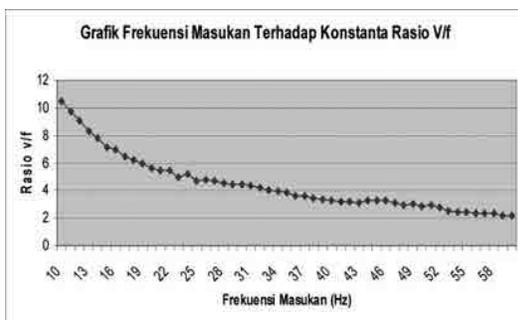
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* yang dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroler atau rangkaian penggerak gerbang *IGBT* terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa tersebut; selain itu untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa; mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) terhadap nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan serta untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan terhadap perubahan kecepatan putar motor induksi sebagai beban.

Untuk mengamati dan mengetahui pengaruh perubahan nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, proses pengamatan yang dilakukan pada bagian pengujian ini adalah sama seperti halnya pengamatan pada pengujian rangkaian inverter satu fasa tanpa beban. Di mana berdasarkan hasil pengamatan, terlihat bahwa pengaruh perubahan nilai periode terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi dan tegangan keluaran inverter adalah semakin kecil nilai periode yang diberikan untuk melakukan pensaklaran (*switching*), berarti semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk pensaklaran, maka frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian inverter semakin besar, begitu untuk sebaliknya. Berikut ini pada gambar 20 ditunjukkan bentuk gelombang tegangan keluaran inverter berdasarkan salah satu frekuensi masukan yaitu 50 Hz atau periode 19,80 ms.

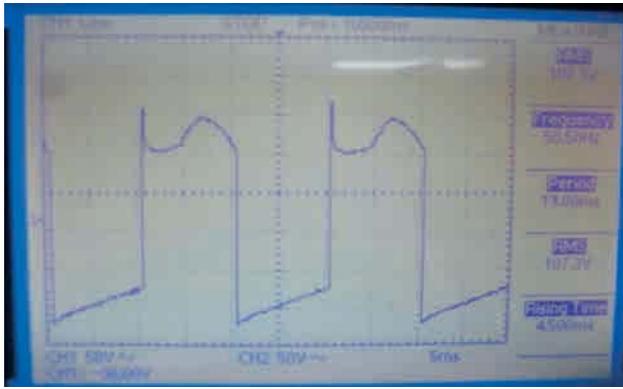
Pengujian selanjutnya pada rangkaian inverter satu fasa dengan beban ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode)



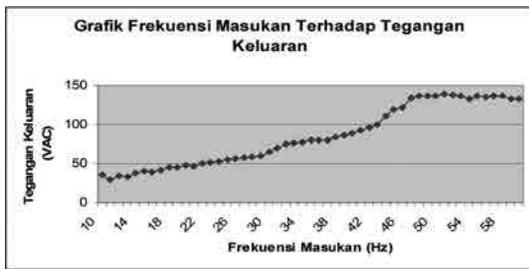
Gambar 18. Grafik Frekuensi Masukan Terhadap Tegangan Keluaran Pada Pengujian Inverter Satu Fasa Tanpa Beban



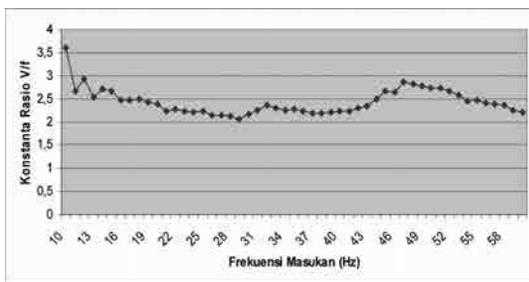
Gambar 19. Grafik Frekuensi Masukan Terhadap Nilai Konstanta Rasio V/f Pada Pengujian Inverter Satu Fasa Tanpa Beban



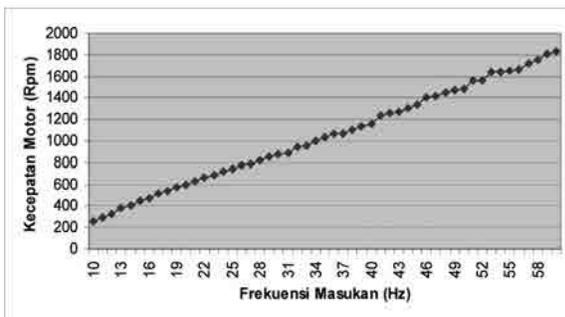
Gambar 20. Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Berdasarkan Frekuensi Masukan 50Hz pada Pengujian Inverter Satu Fasa dengan Beban.



Gambar 21. Grafi Frekuensi Masukan terhadap Tegangan Keluaran pada Pengujian Inverter Satu Fasa dengan Beban.



Gambar 22. Grafik Frekuensi Masukan terhadap Nilai Konstanta Rasio V/f Pada Pengujian Inverter Satu Fasa dengan Beban.



Gambar 23. Grafi Frekuensi Masukan terhadap Kecepatan Motor pada Pengujian Inverter Satu Fasa dengan Beban.

terhadap tegangan keluaran dan mengetahui pengaruh perubahan frekuensi masukan (periode) terhadap nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan. Berdasarkan tabel data hasil pengujian rangkaian inverter satu fasa dengan beban yang dapat dilihat pada lampiran 4, maka dapat digambarkan grafik frekuensi masukan terhadap tegangan keluaran dan grafik frekuensi masukan terhadap nilai konstanta rasio V/f berikut ini.

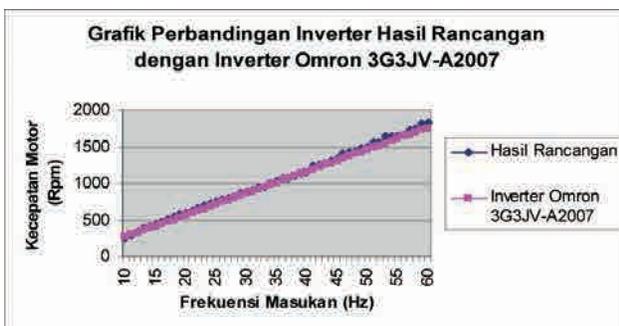
Dari grafik pada gambar 21 terlihat bahwa setiap perubahan frekuensi masukan akan diikuti perubahan pada tegangan keluaran inverter, hal ini karena dalam perancangan dibuat perubahan frekuensi seiring perubahan tegangan, yaitu dengan mengubah-ubah nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* dan nilai *duty cycle* yang tetap yaitu 50%. Perubahan pada tegangan keluaran dengan pengujian inverter menggunakan beban ini cukup terlihat perubahannya, dibandingkan dengan perubahan tegangan keluaran yang terjadi pada pengujian inverter tanpa beban. Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa pada saat mencapai frekuensi nominal yaitu 50 Hz, tegangan keluaran yang terjadi sedikit konstan. Hal ini dikarenakan sesuai dengan karakteristik torsi-kecepatan dengan kendali V/f konstan, bahwa pada saat mencapai frekuensi dan tegangan nominal, frekuensi masih bisa ditingkatkan lebih lanjut, sedangkan tegangan yang diberikan tidak dapat ditingkatkan di luar tegangan nominal. Pada grafik gambar 22 terlihat bahwa nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan sudah bisa dikatakan sedikit konstan, yaitu dengan nilai rata-rata dari konstanta rasio V/f yang didapat adalah 2,34. Nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan sudah bisa dikatakan sesuai dengan rancangan, yaitu 2. Nilai konstanta rasio V/f ini dirancang atau dapat diperoleh dengan cara mengubah-ubah nilai periode dari lebar pulsa sinyal *PWM* dan dengan nilai *duty cycle* yang tetap sebesar 50%.

Untuk mengetahui kemampuan apakah inverter satu fasa yang dirancang dapat mengatur atau mengendalikan kecepatan putar motor induksi, maka dilakukan pengujian terhadapnya. Berdasarkan tabel data hasil pengujian rangkaian inverter satu fasa dengan beban, maka dapat dibuat grafik hubungan antara frekuensi masukan dengan kecepatan motor.

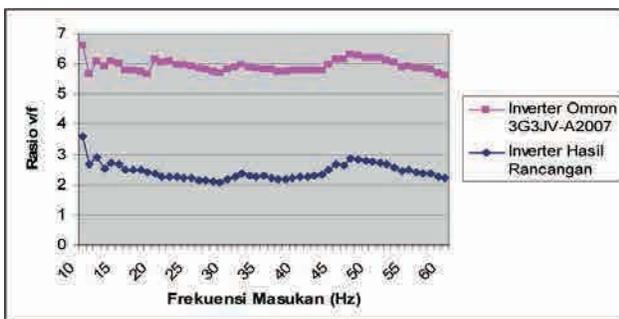
Berdasarkan grafik pada gambar 23, terlihat bahwa perubahan frekuensi masukan motor dapat mengakibatkan perubahan pada kecepatan motor. Semakin besar frekuensi masukan yang diberikan, maka kecepatan motor akan semakin cepat, dan sebaliknya. Hal ini dikarenakan bahwa frekuensi masukan mempunyai hubungan berbanding lurus

dengan kecepatan motor. Dengan adanya grafik di atas juga dapat membuktikan bahwa inverter yang dirancang telah mampu untuk mengatur kecepatan putar motor induksi. Daerah pengaturan kecepatan motor yang dihasilkan pun cukup lebar, yaitu mampu mengatur kecepatan motor dari 262 rpm dengan frekuensi 10 Hz sampai dengan 1826 rpm pada frekuensi 60 Hz pada keadaan tanpa beban dengan kenaikan dan penurunan setiap 1 Hz.

Selain pengujian inverter yang dirancang terhadap kemampuan dalam mengatur kecepatan putar motor induksi di atas, juga dilakukan pengujian dengan membandingkan inverter hasil rancangan dengan inverter yang ada dipasaran, salah satunya adalah inverter produk Omron tipe 3G3JV-A2007. Berdasarkan tabel data hasil pengujian inverter hasil rancangan dengan inverter omron 3G3JV-A2007, yang dapat dilihat pada bagian lampiran 6, maka dapat dibuat grafik perbandingan inverter hasil rancangan dengan inverter omron tipe 3G3JV-A2007. Perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan kemampuan inverter dalam hal mengatur kecepatan motor dan perbandingan nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan. Pada gambar 24 dan 25 menunjukkan grafik



Gambar 24. Grafik Perbandingan Hubungan Antara Frekuensi Masukan dengan Kecepatan Motor.



Gambar 25. Grafik Perbandingan Hubungan Antara Frekuensi Masukan dengan Nilai Konstanta Rasio V/f.

perbandingan antara inverter hasil rancangan dengan inverter omron 3G3JV-A2007 mengenai hubungan antara frekuensi masukan dengan kecepatan motor dan grafi hubungan antara frekuensi masukan dengan nilai konstanta rasio V/f.

Dari grafik pada gambar 24 terlihat bahwa dengan frekuensi masukan yang sama didapatkan kecepatan motor yang sedikit berbeda, namun tidak terlalu jauh perbedaannya. Sedangkan pada grafik perbandingan hubungan frekuensi masukan terhadap nilai konstanta rasio V/f, berdasarkan hasil pengujian yang sama yaitu pengujian inverter dengan beban (beban berupa motor induksi), terlihat bahwa nilai konstanta rasio V/f yang dihasilkan tidak jauh berbeda juga, di mana nilai konstanta rasio V/f yang ada sudah dapat dikatakan konstan. Namun perbedaannya hanya terletak pada daerah besar nilai konstanta rasio V/f yang dirancang, pada perancangan ini penulis merancang nilai konstanta rasio V/f yang diharapkan yaitu 2, sedangkan pada inverter omron nilai konstanta rasio V/f yang dirancang mungkin terletak pada nilai 3, karena berdasarkan tabel yang ada pada lampiran 5, nilai konstanta rata-rata rasio V/f yang didapat yaitu 3,82.

Simpulan dan Saran

Simpulan

Dari perencanaan dan pembuatan sistem kemudian dilakukan pengujian, pengukuran dan analisa pada peralatan yang dibuat, maka peneliti dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan bahwa pengaruh perubahan nilai perioda terhadap pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT* dari rangkaian inverter satu fasa, frekuensi dan tegangan keluaran inverter adalah terlihat bahwa semakin kecil nilai perioda yang diberikan untuk melakukan pensaklaran (*switching*) transistor daya *IGBT*, berarti semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk pensaklaran, maka frekuensi dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh inverter semakin besar, begitu untuk sebaliknya.
2. Inverter satu fasa yang dirancang telah mampu mengatur kecepatan putar motor induksi dengan *range* pengaturan yang lebar, yaitu dari 262 Rpm dengan frekuensi 10 Hz sampai dengan 1826 Rpm pada frekuensi 60 Hz pada keadaan tanpa beban dengan kenaikan dan penurunan setiap 1 Hz.
3. Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata konstanta rasio V/f yang didapat yaitu sebesar 2,34.

4. Bentuk gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan inverter masih berbentuk tegangan AC persegi.
5. Berdasarkan grafik frekuensi masukan terhadap kecepatan motor pada pengujian inverter satu fasa dengan beban, terlihat pada setiap terjadi kenaikan frekuensi masukan maka kecepatan putar motor induksi pun akan semakin cepat, hal ini dikarenakan frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan motor.

Saran

Adapun saran peneliti bagi untuk pengembangan lebih lanjut mengenai pengendalian kecepatan putar motor induksi dengan sistem ini agar mencapai sesuatu yang lebih baik, yaitu:

1. Merancang pembangkit sinyal *PWM* yang dapat menghasilkan tegangan keluaran inverter berbentuk sinusoidal, yang dapat mengurangi kandungan harmonisa. Karena dengan adanya kandungan harmonisa pada tegangan keluaran dapat menyebabkan mengurangi faktor daya, memperpendek usia motor, tegangan keluaran yang terjadi tidak stabil dan jika dihubungkan dengan motor AC sebagai beban, akan menimbulkan resonansi mekanika yang menyebabkan suara riuh dan putaran motor yang tersendat-sendat. Atau dengan cara memasang filter pada keluaran inverter.
2. Merancang pengendali kecepatan motor dengan menggunakan algoritma pengendali yang dapat menghasilkan respons sistem yang cukup baik

dan dapat memperbaiki *steady state error* yang ada lebih kecil lagi, misal dengan pengendali *fuzzy logic*, PID ataupun algoritma yang lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sofwan., Rudie S. Baqo., 2004, *Sistem Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Phasa Satu Menggunakan Mikrokontroler AT89S825*", Jurnal Penelitian, Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- [2] Hari, W.W., Bambang, S., 2004, *Aplikasi Mikrokontroler AT89C51 Sebagai Pembangkit PWM Sinusoida 1 Fasa Untuk Mengendalikan Putaran Motor Sinkron*, Jurnal Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Hasrudin, U., Bambang, S., 2006, *Aplikasi Mikrokontroler ATMEGA8535 Sebagai Pembangkit PWM Sinusoida 1 Fasa Untuk Mengendalikan Putaran Motor Sinkro*, Jurnal Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Muhammad H Rashid, 2006, *Elektronika Daya, Rangkaian, Devais, dan Aplikasinya*", Edisi Bahasa Indonesia Jilid satu edisi kedua, PT. Prenhallindo, Jakarta.
- [5] Iswanto, 2008 *Design dan Implementasi Sistem Embedded Mikrokontroler ATMega8535 dengan Bahas Basic*", Penerbit Gava Media, Yogyakarta.
- [6] Wijaya, Mochtar, 2001, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001.