

## DESAIN SISTEM PEMODULASI SPWM DENGAN KONTROL SKALAR V/F PADA MOTOR INDUKSI SATU FASA

Muhammad Zakariya<sup>\*)</sup>, Iwan Setiawan dan Enda Wista Sinuraya

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)E-mail: mz.muhammadzakariya@gmail.com</sup>

### Abstrak

Dewasa ini perhatian khusus diberikan pada *Variable Frequency Drive* (VFD) inverter dengan kinerja tinggi pada aplikasi elektronika daya. Dalam membangkitkan tegangan AC inverter, dibutuhkan pemodulasi sinyal yang baik agar mendekati sinyal sinusoidal. Dalam hal ini, Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM) adalah salah satu teknik pensaklaran yang menghasilkan bentuk gelombang keluaran inverter dengan karakteristik mendekati sinusoidal. DSPIC30f4011 adalah mikrokontroler yang dirancang untuk keperluan pengontrolan motor dengan fitur khusus yang mendukung pembangkitan sinyal SPWM satu fase, di antaranya pengaturan dead time, complementary mode dan center aligned mode. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan pemodulasian inverter satu fase dengan teknik pemucuan SPWM berbasis mikrokontroler 16-bit DSPIC30f4011. Hasil pengujian menunjukkan sinyal PWM yang dibangkitkan mikrokontroler sudah sesuai dengan karakteristik SPWM. Metode Kontrol Skalar Lingkar Terbuka dalam penelitian ini akan diimplementasikan untuk mengendalikan motor induksi satu fase, dengan konstanta V/F sebagai pengatur regulasi kecepatan slip. Hasil Pengujian Kontrol Lingkar Terbuka menunjukkan kecepatan motor yang sebenarnya sudah mendekati kecepatan motor yang diinginkan.

*Kata kunci:* SPWM, DSPIC30f4011, Kontrol Skalar, konstanta V/F.

### Abstract

Nowadays special attention is given to inverters with high performance in power electronics applications. In case to generating AC voltage for inverter, a good signal modulator is needed to approach the sinusoidal signal. In this case, Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM) is one of switching technique that produce inverter output waveform with sinusoidal characteristics. DSPIC30f4011 is a microcontroller that specified for the purpose of controlling motor with special features to support the one-phase SPWM signal generation, including dead time setting, complementary modes and center aligned mode. In this research, one-phase voltage-source inverter modulation with SPWM switching technique using 16-bit microcontroller DSPIC30f4011 was designed and implemented. The experimental results showed that PWM signal generated by microcontroller match with SPWM.. Open Loop Scalar Control Method in this Final Project will be implemented to control a single phase induction motor, with a  $V / F$  constant as a regulator of slip speed regulation. The experimental Control Test results show that the actual motor speed is approaching the desired motor speed.

*Keywords:* SPWM, DSPIC30f4011, Scalar Control, V/F constant.

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini, penggunaan motor induksi satu fasa dalam pemenuhan kebutuhan manusia maupun untuk kegiatan produksi cukup banyak diperlukan. Dalam kaitannya untuk memenuhi kebutuhan manusia motor induksi 1 fasa dapat digunakan antara lain untuk kipas angin, kompresor AC&kulkas, *mixer*, *hair dryer*. Sedangkan dalam bidang produksi maupun industri motor induksi 1 fasa dapat digunakan antara lain sebagai mesin bor listrik, gerinda, penggerak conveyor, dan pompa air. Pada umumnya kelebihan penggunaan motor induksi 1 fasa dibandingkan motor DC karena dengan *rating* torsi yang sama ukuran

motor induksi relatif lebih kecil. Walaupun demikian pengendalian kecepatan motor induksi lebih sulit dibandingkan pengendalian motor DC.

Kendali motor induksi satu fasa dan motor induksi 3 fasa serta mesin putar lain yang memerlukan *variable frequency* dan *variable* suplai [1]. Salah satu perangkat elektronika daya yang digunakan untuk pengendalian motor mengandung inverter. *Pulse Width Modulation* (PWM) dapat memproduksi keluaran tegangan AC dengan masukan DC yang digunakan sebagai masukan pada inverter [2]. PWM memberikan hasil keluaran sinyal kontrol yang terbaik dibanding metode lainnya. Modulasi yang banyak digunakan dan paling populer saat ini untuk

Inverter adalah dengan menggunakan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). [2]

Pulse Width Modulation (PWM) adalah metode untuk mengendalikan rangkaian analog dengan proses keluaran digital. PWM dari perangkat-perangkat daya memodulasi duty cyclenya untuk menjalankan kontrol atau mengatur daya ke beban. PWM tunggal tidak cocok untuk semua tipe aplikasi. Dengan bantuan teknologi yang canggih, variasi metode dari PWM digunakan untuk beberapa aplikasi. Kebanyakan tujuan PWM untuk mempertahankan tegangan keluaran dan mengurangi harmonisa.[2]

Salah satu metode kontrol pengendalian motor induksi adalah metode kontrol skalar. Kontrol skalar banyak digunakan karena kesederhanaannya dibandingkan metode kontrol induksi yang lain [3],[4]. Kontrol skalar bekerja dengan memberikan tegangan dan frekuensi ke motor induksi dengan perbandingan yang konstan. Hasilnya kecepatan motor akan sesuai dengan frekuensi yang diberikan kepada motor. Metode kontrol skalar dengan regulasi kecepatan slip dapat dijadikan salah satu solusi untuk mengendalikan kecepatan motor induksi agar kecepatan mencapai referensi yang diinginkan. [5].

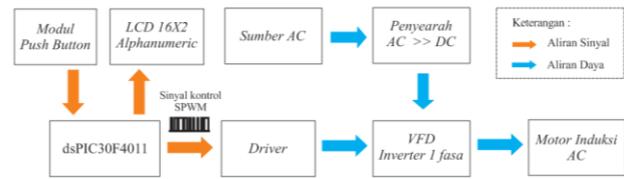
Skalar kontrol, seperti penyebutannya, hanya mengatur variasi besaran dari variabel kontrol tanpa mempedulikan efek kopel dari motor induksi. Contohnya, flux yang dihasilkan pada motor induksi merupakan fungsi dari tegangan inputan dan Torsi yang dihasilkan merupakan fungsi dari frekuensi yang diberikan. Bagaimanapun, torsi dan flux merupakan fungsi dari tegangan dan frekuensi secara berturut-turut [6].

Kontrol skalar lingkaran terbuka merupakan metode kontrol yang paling banyak digunakan di industri karena kesederhanaannya. Pengendalian motor dengan metode ini memiliki banyak keuntungan yaitu, rendah biaya, sederhana, dan tidak memerlukan sinyal umpan balik dari kesalahan [7].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang produk *variable frequency drive*(VFD) 1 fasa dengan sinyal pemicu modulasi SPWM, dan dalam mengendalikan motor induksi 1 fasa dengan metode kontrol skalar V/F menggunakan mikrokontroler dsPIC30F4011.

## 2. Metode

Perancangan perangkat keras dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bagian utama mikrokontroler dsPIC30F4011, driver, sistem *display*, beban motor induksi 1 fasa. Diagram blok perancangan perangkat keras yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Alat

Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan skema alur dari alat yang akan dibuat pada penelitian ini. Berikut spesifikasi tiap – tiap bloknnya :

1. Mikrokontroler 16-Bit dsPIC30F4011 digunakan untuk memproses modulasi pada inverter dengan modulasi SPWM, mengolah *output* data dari sensor kecepatan menggunakan fitur *external interrupt*, membaca stimulus dari *push-button*, menampilkan data ke LCD 16x2, dan mengirim data serial ke komputer.[8]
2. Modul *push-button* digunakan untuk memberikan stimulus ke mikrokontroler berupa logika 0 atau 1. Push button yang digunakan memiliki konfigurasi *active low*, sehingga dalam keadaan normalnya akan berlogika 1.
3. *Alphanumeric* LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan data tertentu seperti kecepatan motor. Selain itu LCD juga digunakan sebagai sistem antarmuka antara pengguna dan mikrokontroler dalam mengendalikan motor induksi 3 fasa dengan kontrol skalar.[9]
4. *Driver* digunakan untuk menguatkan sinyal hasil modulasi SPWM dari mikrokontroler DSPIC30F4011.
5. Penyearah digunakan untuk menyearahkan tegangan AC 220 V sumber PLN menjadi tegangan DC 311 V.
6. *VFD Inverter* 1 fasa digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 1 fasa dengan menggunakan modulasi dari mikrokontroler dsPIC30F4011.[10]

### 2.1 Perancangan Program SPWM

Perancangan program pada penelitian ini dibuat menggunakan *software* MPLAB IDE v8.92 dengan C30 sebagai compiler Bahasa C-nya. Proses *uploading* program ke mikrokontroler dsPIC30F4011 digunakan PICkit 2. Fitur mikrokontroler yang digunakan antara lain *timer*, *interrupt*, dan PWM

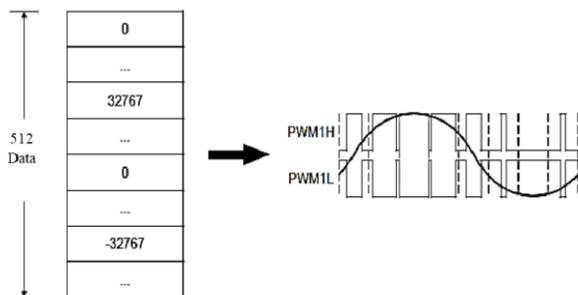
Sinyal SPWM 1 *fase* dibentuk dari :

1. Sinyal *carrier* yang berbentuk segitiga
2. Sinyal referensi yang berbentuk sinusoidal

Pembentukan sinyal *carrier* dilakukan dalam beberapa tahapan inisialisasi modul PWM, yaitu :

1. Inisialisasi frekuensi sinyal *carrier*  
Inisialisasi frekuensi sinyal *carrier* akan menentukan frekuensi sinyal *carrier* yang digunakan. Semakin tinggi frekuensi sinyal *carrier*, maka semakin banyak cacahan gelombang yang terjadi, sehingga output tegangan yang dihasilkan semakin halus. Inisialisasi dilakukan dengan mengisi nilai tertentu pada register PTPER.
2. Inisialisasi *center aligned mode*  
Inisialisasi modul PWM ini akan mempengaruhi bentuk sinyal *carrier* yang dihasilkan. *Center aligned mode* akan menghasilkan bentuk sinyal *carrier* berupa sinyal segitiga.
3. *Up/down counting mode*  
Inisialisasi mode operasi modul PWM ini akan mempengaruhi alur perhitungan nilai PTPER yang dilakukan oleh mikrokontroler. *Up/down counting mode* akan menghitung keatas dari nilai minimum menuju nilai maksimum, lalu kebawah menuju nilai minimum lagi dan seterusnya.

Sinyal referensi bertanggung jawab pada magnitude, sudut fase dan frekuensi output tegangan *inverter* satu fase yang dihasilkan. Sinyal referensi dibentuk dari tabel data dengan 512 jumlah data yang disimpan dalam memori dsPIC30f4011. Untuk menghasilkan tegangan output satu fase pada *inverter*, maka dibutuhkan sinyal referensi sinuoidal satu fase sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Ilustrasi pembentukan sinyal referensi

### 2.1.1. Program SPWM

Pada proses pembentukan SPWM, dibutuhkan beberapa tahap seperti pendefinisian suatu variabel, inisialisasi variabel, serta diikuti dengan beberapa tahap lainnya. Berikut tahap pendefinisian variabelnya:

```
...
#define K_DELTA_THETA_FUND      11811160
...
```

K\_DELTA\_THETA\_FUND adalah konstanta perubahan theta atau sudut yang dimiliki oleh sinus dasar. Pengaturan

frekuensi atau proses *updating theta* dilakukan melalui pendekatan dengan metode *backward euler*, dimana

$$y(n) = y(n - 1) + K \cdot T \cdot u(n)$$

Nilai perubahan omega ditentukan melalui variabel – variabel basis yang akan digunakan dalam proses perhitungan matematis. Nilai basis frekuensi dikehendaki 55 Hz, sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} \text{OMEGA}_{BASE} &= 2 \cdot \pi \cdot f_{basis} \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 55 \text{ rad/s} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Nilai theta basis disetting sebesar  $2 \cdot \pi$  sebagai berikut :

$$\text{THETA}_{BASE} = 2 \cdot \pi$$

Waktu sampling sesuai interupsi ADC yang terjadi yaitu 0,00005 sekon, maka diperoleh :

$$T_s = 0.00005 \text{ s (0.05ms)}$$

Sehingga, perubahan theta persatuan waktu atau omega direpresentasikan dalam Persamaan :

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \omega \\ \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{T_s} &= 2 \cdot \pi \cdot f \end{aligned}$$

Diperoleh,

$$\theta_n = \theta_{n-1} + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_s$$

Dimana,

$$\Delta\theta = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_s$$

Dari persamaan diatas, maka nilai perubahan theta persatuan waktu dalam basis ( $\Delta\theta_{base}$ ) dapat dihitung dengan Persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{base} &= T_s \cdot \text{OMEGA}_{BASE} / \text{THETA}_{BASE} \\ \Delta\theta_{base} &= 0,00005 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 55 \text{ rad/s} / 2 \cdot \pi \\ \Delta\theta_{base} &= 0,00275 \end{aligned}$$

Nilai  $\Delta\theta_{base}$  dideklarasikan dalam variabel K\_DELTA\_THETA\_FUND. Proses pengeolahan data dalam sistem menggunakan tipe bilangan integer, sehingga perlu dilakukan konversi, oleh karena itu diperoleh nilai

$$\begin{aligned} \text{K\_DELTA\_THETA\_FUND} &= 0,01 \cdot 2^{32} - 1 \\ \text{K\_DELTA\_THETA\_FUND} &= 11811159,063 \approx 11811160 \end{aligned}$$

Tahap selanjutnya adalah proses eksekusi pembuatan PWM. Tahapan ini dimulai dari menciptakan sinus utama. Selain hal itu juga diinisialisai nilai theta awal untuk sinus yaitu 0. Untuk theta utama dalam 32 bit yang berkisar

nilainya antara  $0 - 2^{32} - 1$  sedangkan untuk theta index dalam 16 bit yang mana nilainya berkisar dari 0 - 511 yang mengacu pad pointer sinus. Keduanya sama-sama memiliki nilai awal 0.

```
...
void sine_generator(void){
static unsigned long U32_theta =0;
//index[0] untuk leg A
static unsigned int U16_theta_index[1] = {0};
...

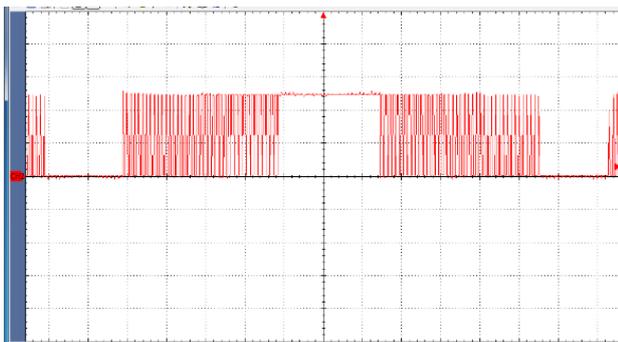
```

### 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan perancangan terhadap algoritma program dan perangkat keras alat maka dilakukan pembahasan dan analisis mengenai pengujian masing-masing blok sistem yang telah dibuat. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil keluaran dari alat yang telah diimplementasikan.

#### 3.1. Pengujian Sinyal Modulasi Variasi Frekuensi

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi SPWM dari perintah dengan hasil keluaran sinyal yang terbaca pada osiloskop (40 - 55 Hz). Hasil Pengujian didapatkan data berupa grafik sinyal dari osiloskop. Data modulasi SPWM yang diambil adalah dari 1 channel pada kaki SPWM H. Untuk menghitung nilai frekuensi yang ditampilkan osiloskop kami melakukannya secara manual dengan mengukur tinggi dan lebar div yang dihasilkan sinyal.



Gambar 3. Sinyal modulasi SPWM frekuensi 40 Hz

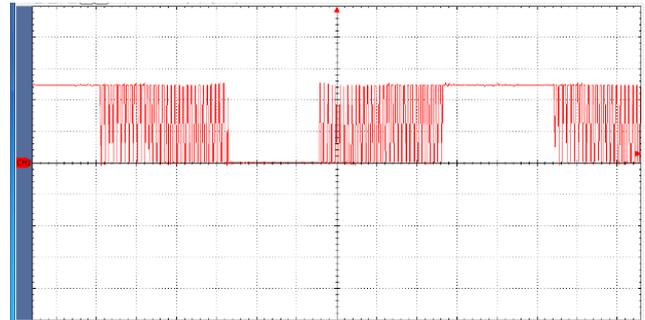
Gambar 3 menunjukkan gambar sinyal hasil modulasi pada osiloskop dengan memberikan perintah frekuensi 40 Hz. Dari gambar dapat dihitung nilai tegangan, periode dan frekuensi dari sinyal dengan persamaan

$$V_p = \text{tinggi div} \times \frac{v}{\text{div}}$$

$$T = \text{lebar div} \times \frac{t}{\text{div}}$$

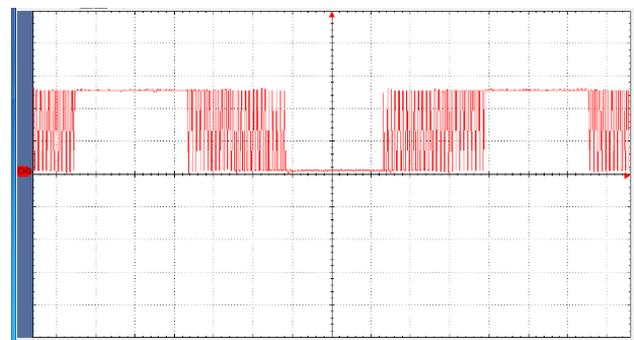
$$F = \frac{1}{T}$$

Dengan menggunakan persamaan, diperoleh nilai perhitungan untuk Tegangan( $V_p$ ) =  $2.5 \times 2 = 5$  V, sedangkan Periode( $T$ ) =  $12.4 \times 2 = 24.8$  ms, maka Frekuensi( $F$ ) =  $1/25 \times 10^{-3} = 40.32$  Hz. Hal ini menunjukkan bahwa hasil modulasi sinyal SPWM telah sesuai dan sangat mendekati dengan masukan frekuensi perintah yaitu 40 Hz.



Gambar 4. Sinyal modulasi SPWM frekuensi 45 Hz

Gambar 4 menunjukkan hasil sinyal dari osiloskop pada frekuensi perintah 45 Hz. Dengan menggunakan persamaan 4.1 - 4.3, diperoleh nilai perhitungan untuk Tegangan( $V_p$ ) =  $2.5 \times 2 = 5$  V, sedangkan Periode( $T$ ) =  $11.1 \times 2 = 22.2$  ms, maka Frekuensi( $F$ ) =  $1/22.4 \times 10^{-3} = 45.04$  Hz. Hal ini menunjukkan bahwa hasil modulasi sinyal SPWM telah sesuai dan mendekati dengan masukan frekuensi perintah yaitu 45 Hz.



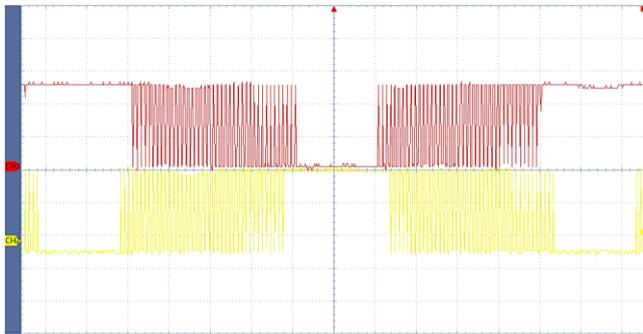
Gambar 5. Sinyal modulasi SPWM frekuensi 50 Hz

Gambar 5 menunjukkan hasil sinyal dari osiloskop pada frekuensi perintah 50 Hz. Dengan menggunakan persamaan, diperoleh nilai perhitungan untuk Tegangan( $V_p$ ) =  $2.5 \times 2 = 5$  V, sedangkan Periode( $T$ ) =  $10 \times 2 = 20$  ms, maka Frekuensi( $F$ ) =  $1/20 \times 10^{-3} = 50$  Hz. Hal ini menunjukkan bahwa hasil modulasi sinyal SPWM telah sesuai dengan masukan frekuensi perintah yaitu 50 Hz.

#### 3.2. Pengujian Sifat Komplemen dari modulasi SPWM

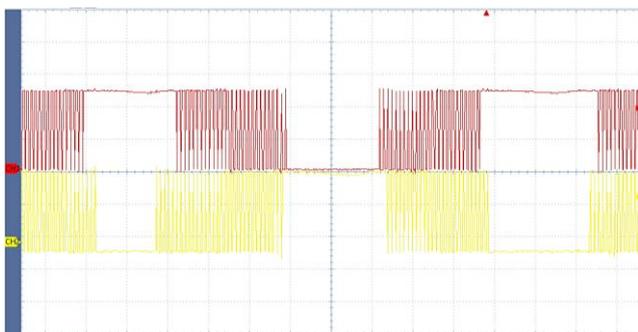
Pengujian dilakukan dengan mengambil data hasil sinyal modulasi SPWM H dan SPWM L dengan cara menghubungkan pin RE 0 dengan channel 1 dan RE 1

dengan channel 2 osiloskop. Hasil pengujian didapatkan data sinyal sebagai berikut :



Gambar 6. Sinyal modulasi SPWM H dan L 40 Hz

Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian sinyal komplemen SPWM H dan SPWM L untuk frekuensi perintah 40 Hz. Data hasil sinyal menunjukkan bahwa sinyal telah bersifat komplemen sesuai yang diharapkan.



Gambar 7. Sinyal modulasi SPWM H dan L 50 Hz

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian sinyal komplemen SPWM H dan SPWM L untuk frekuensi perintah 50 Hz. Data hasil sinyal menunjukkan bahwa sinyal telah bersifat komplemen sesuai yang diharapkan.

Dari data hasil pengujian telah menunjukkan hasil sinyal pemicuan antara SPWM H dengan SPWM L telah berkebalikan atau komplemen. Dimana sinyal yang telah komplemen ini selanjutnya akan diteruskan pada *optocoupler* dan driver untuk kemudian digunakan sebagai pensaklaran pada Mosfet IGBT. Sehingga nanti akan tercipta sinyal hasil output dari inverter *H-Bridge* berupa sinyal sinus SPWM untuk menggerakkan baban.

### 3.3. Pengujian Kontrol Skalar Lingkar terbuka

Pada pengujian yang kami lakukan, spesifikasi motor yang kami gunakan adalah motor yang berputar 1400-1500 RPM pada frequency kerja 50 Hz. Hal ini berarti dari kecepatan motor induksi tanpa kopel jika dihitung dengan Persamaan 4.4 yaitu :

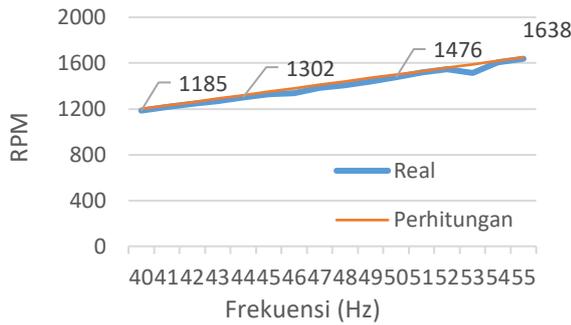
$$\begin{aligned} n_s &= 120 \frac{f}{p} \\ &= 120 \times \frac{50}{4} \\ &= 1500 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Pengujian yang dilakukan pada kontrol skalar tanpa umpan balik adalah dengan memberikan perintah frekuensi secara langsung. Frekuensi perintah yang diberikan adalah antara 40 Hz - 55Hz. Dengan menggunakan Tachometer untuk membaca kecepatan motor. Didapatkan hasil data sebagai berikut :

Tabel 1 Perbandingan Variasi Frekuensi

Frekuensi (Hz)	Kecepatan Perhitungan (RPM)	Kecepatan Real (RPM)
40	1200	1185
41	1230	1215
42	1260	1244
43	1290	1269
44	1320	1302
45	1350	1328
46	1380	1335
47	1410	1383
48	1440	1406
49	1470	1440
50	1500	1476
51	1530	1518
52	1560	1548
53	1590	1515
54	1620	1607
55	1650	1638

Dari data pada tabel 1 menunjukkan hasil bahwa dengan menaikkan frekuensi akan memberikan kenaikan pada kecepatan motor. Dengan mengambil cuplikan data pada frekuensi 40 Hz, 45 Hz, dan 50 Hz dibandingkan kecepatan perhitungan dengan kecepatan real. Pada frekuensi 40 Hz, dengan menggunakan Persamaan didapat nilai kecepatan perhitungan yaitu 1200, sedangkan kecepatan yang terbaca pada alat *tachometer* adalah 1185, dalam hal ini menunjukkan adanya kecepatan slip sebesar 15 rpm. Pada frekuensi 45 Hz, dengan menggunakan Persamaan didapat nilai kecepatan perhitungan yaitu 1350, sedangkan kecepatan yang terbaca pada alat *tachometer* adalah 1328, dalam hal ini menunjukkan adanya kecepatan slip sebesar 22 rpm. Pada frekuensi 50 Hz, dengan menggunakan Persamaan didapat nilai kecepatan perhitungan yaitu 1500, sedangkan kecepatan yang terbaca pada alat *tachometer* adalah 1476, dalam hal ini menunjukkan adanya kecepatan slip sebesar 24 rpm.



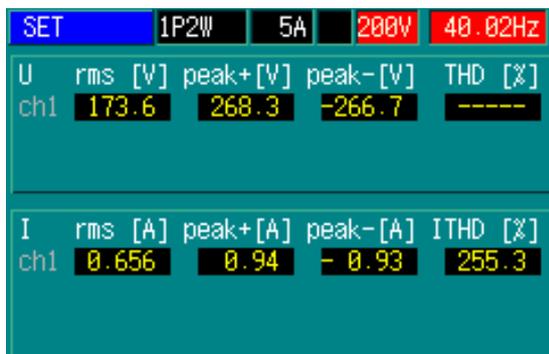
Gambar 8. Grafik Perbandingan Frekuensi Terhadap Perubahan Kecepatan

Pada gambar 8 dapat dilihat grafik perubahan kecepatan terhadap frekuensi telah menunjukkan hasil yang linear dan mendekati hasil dari kecepatan perhitungan. Dimana semakin besar frekuensi maka kecepatan putar motor Induksi satu fasa juga akan semakin besar.

### 3.4. Pengujian Konstanta kontrol V/F

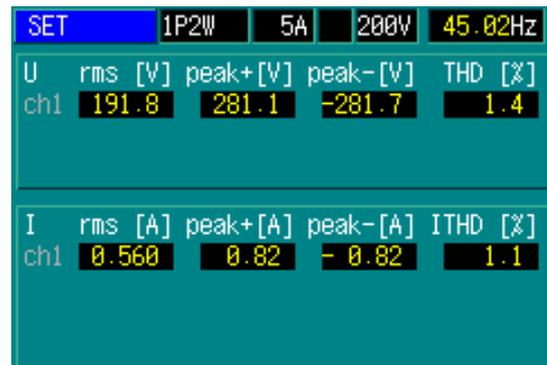
Secara Teori prinsip kerja dari kontrol skalar V/F adalah mengubah kedua parameter frekuensi dan besaran tegangan. Perubahan dari impedansi akan menyebabkan berubahnya arus. Jika arus menjadi kecil, maka torsi yang dihasilkan akan berkurang. Jika frekuensi dikecilkan dan tegangan dibesarkan, maka arus yang mengalir pada stator akan sangat besar dan bisa menyebabkan kumparan stator terbakar.

Pengujian dilakukan dengan mengambil data menggunakan PQA(Power Quality Analyzer) untuk mendapatkan data tegangan dan frekuensi dalam rentang 40-55 Hz. Berikut beberapa cuplikan hasil dari pengambilan data menggunakan PQA :



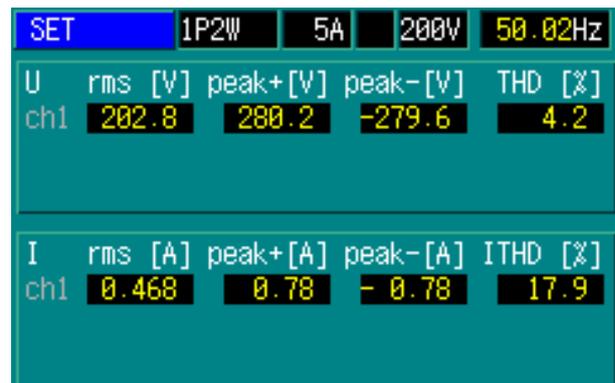
Gambar 9. Data Keluaran Tegangan dan Arus pada F = 40 Hz

Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan tegangan dan Arus pada frekuensi perintah 40 Hz. Didapatkan hasil pembacaan Frekuensi sebesar 40.02 Hz, Vrms = 173.6 V, Irms = 0.656. Didapatkan nilai konstanta V/F = 4.34.



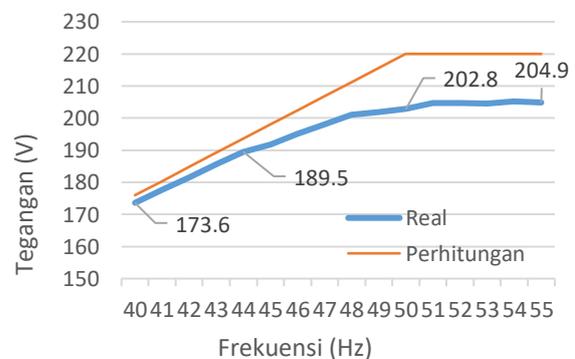
Gambar 10. Data Keluaran Tegangan dan Arus pada F = 45 Hz

Gambar 10 menunjukkan hasil pembacaan Tegangan dan Arus pada frekuensi perintah 45 Hz. Didapatkan hasil pembacaan Frekuensi sebesar 45.02 Hz, Vrms = 191.8 V, Irms = 0.560. Didapatkan nilai konstanta V/F = 4.26.



Gambar 11. Data Keluaran Tegangan dan Arus pada F = 50 Hz

Gambar 11 menunjukkan hasil pembacaan Tegangan dan Arus pada frekuensi perintah 50 Hz. Didapatkan hasil pembacaan Frekuensi sebesar 50.02 Hz, Vrms = 202.8 V, Irms = 0.460. Didapatkan nilai konstanta V/F = 4.05.



Gambar 12. Grafik hubungan Tegangan dan Frekuensi

Gambar 12 menunjukkan data hasil pengujian dengan data perhitungan telah mendekati. Adanya penurunan nilai tegangan yang diukur dengan tegangan yang diharapkan dikarenakan memang adanya pembatasan *duty cycle* dari modulasi sinyal SPWM yang dibangkitkan, dimana nilainya tidak akan lebih dari 95%. Sehingga nilai nominal tegangan pada kondisi 50 Hz keatas maksimal adalah 204.9 V. Dari grafik menunjukkan tegangan saturasi mulai terjadi pada saat frekuensi mencapai 49 Hz, dimana tegangan tidak bisa naik karena tegangan suplai telah mencapai nilai maksimum.

#### **4. Kesimpulan**

Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa SPWM telah berhasil direalisasikan untuk modulasi *inverter* 1 fase telah menunjukkan sinyal yang komplemen.. Variasi frekuensi 40Hz sampai 50Hz memberikan profil tegangan V yang semakin meningkat karena pengaruh pengaturan V/F dengan nilai maksimal 40/50 Hz. Sistem kontrol skalar lingkaran terbuka konstanta V/F telah berhasil direalisasikan dengan menggunakan mikrokontroler dsPIC30F4011. Semakin besar frekuensi dan tegangan yang diberikan kepada motor, maka kecepatan slip yang dihasilkan juga semakin besar, yaitu 15 RPM, 22 RPM, dan 25 RPM pada frekuensi masukan berturut-turut 40Hz, 45Hz, dan 50Hz. Saran yang dapat dipertimbangkan jika ada yang berminat untuk melanjutkan atau mengembangkan penelitian ini adalah dengan menggunakan metode kontrol motor induksi yang lainnya seperti kontrol vektor

#### **Referensi**

- [1]. Suryakant H.Pawar, "Effect of Carrier Frequency on the Performance of Three Phase SPWM Inverter," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Karad, Maharashtra, India, 2015.
- [2]. Zulkifilie Bin Ibrahim, "Simulation Investigation of SPWM, THIPWM and SVPWM Techniques for Three Phase Voltage Source Inverter," p. 2, 2014.
- [3]. K. B. Bimal, *Modern Power Electronics and AC Drives*, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [4]. H. M. D. Habbi, H. J. Ajeel and I. I. Ali, "Speed Control of Induction Motor using PI and V / F Scalar Vector Controllers," *International Journal of Computer Applications*, vol. 151, no. 7, pp. 36-43, 2018.
- [5]. G. Kohlrusz and D. Fodor, "Comparison of Scalar and Vector Control Strategies of Induction Motor," *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, vol. 39, no. 2, pp. 265-270, 2011.
- [6]. P. L. Ratnani and T. A. G., "Mathematical Modelling of an 3 phase Induction Motor Using MATLAB/Simulink," *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 4, pp. 62-67, 2014.
- [7]. D. Harel, A. Pnueli, J. P. Schmidt and R. Sherman, "On the Formal Semantic of Statecharts," *Proc. 2nd IEEE Symp. on Logic in Computer Science*, pp. 55-64, 1987.
- [8]. D. Harel, "Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems," *Science of Computer Programming*, vol. 8, pp. 231-274, 1987.
- [9]. J. J. Labrosse, "Using Scaled Arithmetic," *Embedded Systems Programming*, pp. 46-60, 1995.
- [10]. Microchip Technology, "dsPIC30F Family Reference Manual," Microchip Technology, 2006.