

RANCANG BANGUN INVERTER SVM BERBASIS MIKROKONTROLER PIC 18F4431 UNTUK SISTEM VSD

Tarmizi ¹⁾ dan Muyassar ²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

²⁾Magister M.Tech Power Electronics and Drives VIT University, India

Email: tarmizi@elektro.unsyiah.ac.id

ABSTRAK

Sebuah sistem pengaturan kecepatan motor disebut dengan sistem *Variable Speed Drives* (VSD). Sistem VSD motor induksi menggunakan *inverter* untuk mengatur frekuensi suplai motor. Untuk mendapatkan frekuensi suplai motor yang mendekati sinusoidal, *inverter* perlu di *switching* dengan metode tertentu. Pada penelitian ini, *switching* inverter 3 fasa menggunakan metode SVM (*Space Vector Modulation*) yang dikontrol oleh Mikrokontroler PIC18F4431. Sebelum dilakukan eksperimen, inverter SVM ini lakukan simulasi terlebih dahulu dengan software PSIM. Keluaran inverter dari hasil simulasi diperoleh gelombang sinusoidal dengan THDi 4,8%, sedangkan hasil eksperimen diperoleh keluaran inverter mendekati sinusoidal dengan THDi 9,2 %. Kecepatan motor dapat diatur baik pada simulasi maupun pada eksperimen dari kecepatan 300 – 1500 RPM.

Kata Kunci : Inverter VSM, Motor Induksi driver IR21362

I. PENDAHULUAN

Selama beberapa tahun terakhir ini bidang kontrol *electric motor drive* atau *variable-speed drive* telah mengalami perluasan yang sangat cepat terutama disebabkan oleh perangkat *power* semikonduktor seperti MOSFET dan IGBT dan perangkat mikro-elektronika sinyal seperti mikrokontroler, mikroprosesor dan *digital signal processors*. *Inverter* digunakan pada VSD untuk merubah frekuensi yang masuk ke motor. Frekuensi dirubah dengan cara *switching* pada saklar MOSFET *inverter*. Bentuk gelombang *output inverter* sangat dipengaruhi oleh metode *switching inverter*. Untuk menghasilkan gelombang 3-fasa yang mendekati sinusoidal dan kandungan THD yang rendah digunakan metode *switching Space Vector Modulation* (SVM)^[1].

SVM merupakan sebuah metode *switching* untuk *inverter* 3-fasa yang analisisnya menggunakan representasi vektor. SVM banyak dipakai untuk pengontrolan motor induksi sebagai *AC motor drive* seperti kontrol VVVF (*Variable Voltage Variable Frequency*). Metode sinusoidal PWM memiliki beberapa kekurangan yang dapat dilengkapi oleh metode SVM^[2].

Analisis dari SVM menggunakan sebuah vektor yang disebut V_{ref} yang berputar pada sebuah bidang kompleks d-q untuk menghasilkan sistem tiga fasa. Ada 8 keadaan kombinasi saklar yang mungkin bagi inverter yang disebut dengan vektor *switching*. Dengan SVM perhitungan *duty cycle* untuk ketiga fasa dilakukan secara bersamaan tanpa harus memisahkan setiap fasanya^[1].

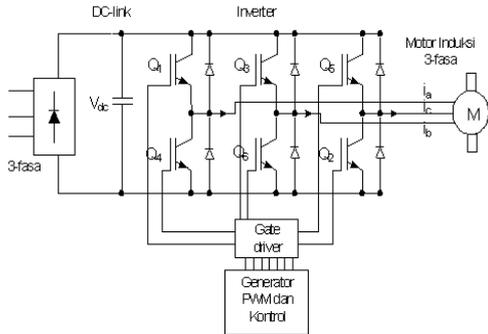
Dengan berkembangnya teknologi mikrokontroler dan berbagai macam fitur *hardware* seperti PWM *Module* pada PIC18F4431 penerapan metode SVM secara digital menjadi sangat mudah untuk dilakukan. Kecepatan eksekusi program sebuah mikrokontroler juga merupakan faktor yang sangat penting dalam melakukan kalkulasi SVM. Dalam PIC18F4431 telah ditambahkan sebuah perangkat *Hardware Multiplier* yang dapat mempercepat proses perhitungan *duty cycle* bagi SVM^[4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaturan kecepatan motor induksi

Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah sistem dari *variable speed drives*. Keenam saklar *inverter* merupakan perangkat *solid-state* yang berupa BJT, IGBT, GTO, atau MOSFET.

Frekuensi dari tegangan yang masuk kedalam motor diatur oleh blok kontrol PWM yang dapat mengubah frekuensi *output inverter* untuk suplai motor^[4].



Gambar 2.1. Sistem *Variable-Speed Drives* menggunakan *inverter*.

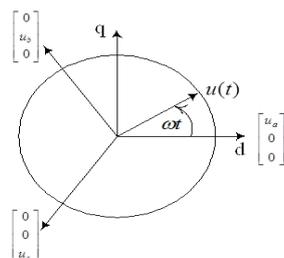
2.2 *Space Vector Modulation*

2.2.1 *Konsep ruang vektor*

Setiap tiga fungsi waktu yang memenuhi persamaan (1)

$$u_a(t) + u_b(t) + u_c(t) = 0 \tag{1}$$

Persamaan (1) diatas dapat merepresentasikan suatu sistem 3-fasa seimbang apabila $u_a(t), u_b(t), u_c(t)$ merupakan arus atau tegangan pada masing-masing fasa a,b,c. Koordinatnya sama dengan sistem tegangan 3-fasa sedemikian hingga vektor $[u_a \ 0 \ 0]^T$ ditempatkan sepanjang sumbu-d, vektor $[0 \ u_b \ 0]^T$ digeser fasanya sebesar 120° , dan vektor $[0 \ 0 \ u_c]^T$ digeser fasanya sebesar 240° . Penempatan vektor-vektor ini pada bidang kompleks d-q ditunjukkan dalam gambar 2.2. Sebuah vektor $u(t)$ yang ditempatkan pada bidang tersebut dapat dinyatakan dalam notasi kompleks seperti pada persamaan (2) apabila u_a, u_b, u_c diambil sebagai basis^[1].



Gambar 2.2 Vektor koordinat 3-fasa dan ruang vektor $u(t)$.

$$u(t) = \frac{2}{3} [u_a + u_b e^{j(2/3)\pi} + u_c e^{-j(2/3)\pi}] \tag{2}$$

Dimana $2/3$ adalah faktor skala (*scaling factor*). Vektor $u(t)$ tersebut dapat ditransformasikan dari ruang 3 dimensi (berbasis a-b-c) ke ruang 2 dimensi (berbasis d-q). Vektor $u(t)$ ini dalam ruang 2 dimensi terdiri atas penjumlahan komponen ril dan komponen imajiner seperti pada persamaan (3)^[2].

$$u(t) = u_d + j u_q \tag{3}$$

$$\omega t = \tan^{-1} \frac{u_q}{u_d} \tag{4}$$

Dimana ωt adalah sudut dari $u(t)$ terhadap sumbu-d sebagai referensi nol derajat. Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3, diperoleh transformasi koordinat dari ruang tiga dimensi (sumbu a-b-c) ke ruang 2 dimensi (sumbu d-q) yang diberikan oleh persamaan matriks berikut ini:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \tag{5}$$

Yang apabila diuraikan dapat dituliskan dalam komponen d-q sebagai berikut ini:

$$u_d = \frac{2}{3} [u_a - 0,5(u_b + u_c)]; u_q = \frac{\sqrt{3}}{3} (u_b - u_c) \tag{6}$$

Transformasi dari ruang 2 dimensi d-q keruang 2 dimensi $\alpha - \beta$ yang berotasi dengan kecepatan ω diberikan oleh persamaan (7) dalam bentuk matriks berikut ini:

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \cos(\pi/2 + \alpha) \\ \sin(\alpha) & \sin(\pi/2 + \alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} \tag{7}$$

Jika u_a, u_b, u_c adalah sistem tegangan tiga fasa seimbang dengan nilai puncak adalah V_m , maka :

$$u_a = V_m \sin(\alpha); u_b = V_m \sin(\alpha - 2\pi/3); u_c = V_m \sin(\alpha + 2\pi/3) \tag{8}$$

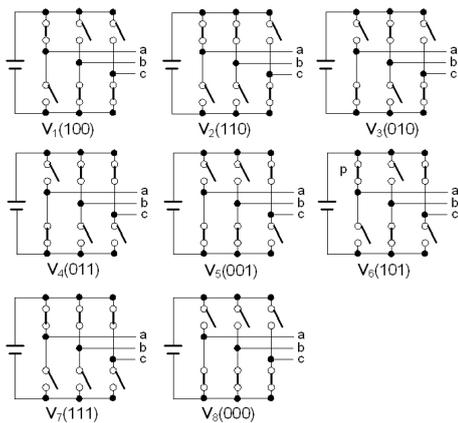
Vektor $u(t)$ dapat dituliskan sebagai :

$$u(t) = V_m e^{j\omega t} \tag{9}$$

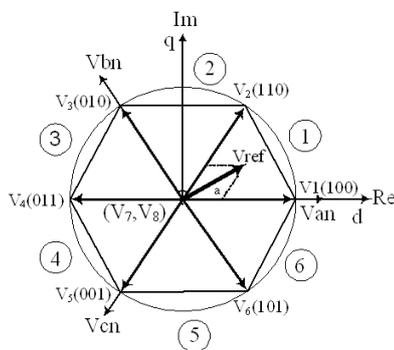
Yang merupakan sebuah vektor dengan magnitudo V_m yang berotasi pada kecepatan sudut konstan ω dalam rad/detik [2].

2.2.2 Vektor-vektor switching pada inverter

Gambar 2.3 memperlihatkan 8 kombinasi saklar (*switching state*) yang mungkin bagi sebuah *inverter* 3-fasa. ada 8 buah kombinasi biner yang bisa dibentuk dari 000 sampai 111. Masing-masing kombinasi diberi simbol V_1 sampai V_8 yang disebut dengan vektor-vektor *switching* (*Switching Vectors*). Enam dari delapan vektor tersebut yaitu vektor $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ yang akan menghasilkan tegangan *output* tidak sama dengan nol disebut vektor tidak nol (*non-zero vectors*) atau disebut juga vektor aktif (*active vectors*), dua vektor V_7 dan V_8 yang akan menghasilkan tegangan *output* sama dengan nol disebut dengan vektor nol (*zero vectors*) atau disebut juga vektor tidak aktif (*non-active vectors*) [5].



Gambar 2.3 Vektor switching pada inverter.



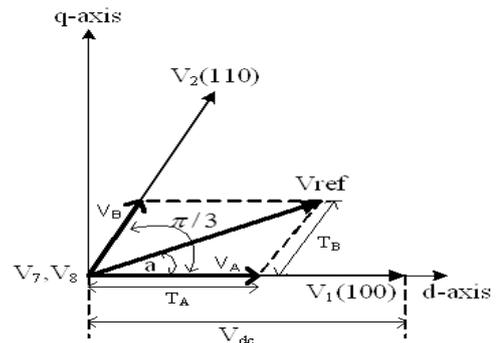
Gambar 2.4. Penempatan vektor switching pada bidang kompleks d-q.

Analisis SVM didasarkan pada gambar 2.4. Modulasi ruang vektor dihasilkan dengan menggerakkan sebuah vektor V_{ref} sebagai sinyal referensi untuk menempuh satu putaran penuh dari bidang kompleks d-q yang akan menyapu keenam vektor aktif dan kedua vektor tidak aktif tersebut. Apabila magnitudo $|V_{an}|, |V_{bn}|, |V_{cn}|$ adalah V_m , besar atau magnitudo dari V_{ref} diberikan oleh persamaan 10.

$$|V_{ref}| = V_m = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \tag{10}$$

Periode dan frekuensi dari tegangan *output* fundamental *inverter* adalah sama dengan periode dan frekuensi dari V_{ref} untuk menempuh satu putaran penuh. V_{ref} digerakkan secara diskrit setiap satu periode sampling, periode sampling atau T_s akan menentukan frekuensi *switching* dari SVM [2].

2.2.3 Kalkulasi interval waktu vektor switching



Gambar 2.5 Kalkulasi interval waktu vektor switching.

Pada gambar 2.5, dengan cara perataan yang disebut “*time weighting/time averaging*” dari dua vektor yang mengapit sisi sektor V_{ref} dapat di ekspresikan sebagai:

$$V_{ref} = V_A + V_B \tag{11}$$

Dengan V_A dan V_B adalah panjang vektor-vektor aktif. Untuk V_{ref} di sektor 1 $V_A = V_1$ dan $V_B = V_2$, V_{ref} di sektor 2 $V_A = V_2$ dan $V_B = V_3$ dan begitu pula untuk sektor yang lainnya. V_{ref} selalu digeser searah atau berlawanan arah jarum jam secara diskrit dengan interval waktu T_s . Dengan mendefinisikan T_A sebagai interval waktu untuk V_A , T_B sebagai interval waktu untuk V_B dan T_z sebagai interval waktu untuk V_z yaitu vektor V_7 atau V_8 , maka :

$$T_s = T_A + T_B + T_z \tag{12}$$

Dengan metode *averaging*, V_{ref} dapat didekati dengan persamaan berikut untuk V_{ref} di sektor 1:

$$V_{ref} = \frac{T_A}{T_s} \times V_1 + \frac{T_B}{T_s} \times V_2 + \frac{T_z}{T_s} \times V_z \tag{13}$$

$$T_A = \frac{V_A}{V_1} \times T_s \tag{14}$$

$$T_B = \frac{V_B}{V_1} \times T_s \tag{15}$$

$$T_z = T_s - T_1 - T_2 \tag{16}$$

Pada gambar 2.5, dapat diturunkan persamaan:

$$V_{ref} \cdot \sin(\pi/3 - \alpha) = V_A \cdot \sin(\pi/3)$$

$$\Rightarrow V_A = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot V_{ref} \cdot \sin(\pi/3 - \alpha) \tag{17}$$

$$V_{ref} \cdot \sin \alpha = V_B \cdot \sin(\pi/3)$$

$$\Rightarrow V_B = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot V_{ref} \cdot \sin \alpha \tag{18}$$

Interval waktu T_A , T_B , dan T_z sebagai fungsi dari sudut α dan indeks modulasi $M = \frac{V_{ref}}{V_{dc}}$ adalah:

$$T_A = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot T_s \cdot M \cdot \sin(\pi/3 - \alpha) \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/3 \tag{19}$$

$$T_B = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot T_s \cdot M \cdot \sin \alpha \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/3 \tag{20}$$

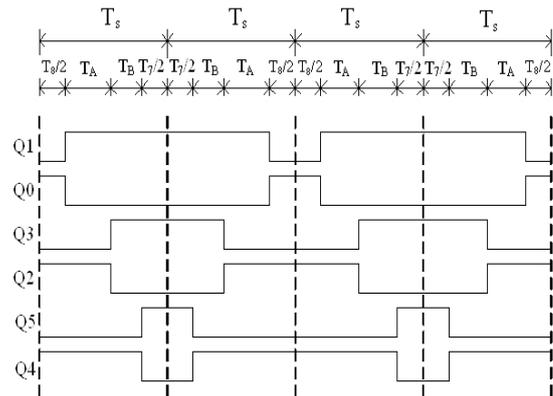
$$T_z = T_s - T_A - T_B \tag{21}$$

Untuk setiap sektor sudut α selalu $0 \leq \alpha \leq \pi/3$, untuk V_{ref} berada pada pada sektor 1 sudut $\alpha = 0^\circ$ sejajar dengan V_1 dan sudut $\alpha = \pi/3$ sejajar dengan V_2 . Untuk V_{ref} berada pada sektor 2 sudut $\alpha = 0^\circ$ sejajar dengan V_2 dan sudut $\alpha = \pi/3$ sejajar dengan V_3 , begitu pula seterusnya untuk sektor-sektor yang lain.

Dari persamaan 21 ketika indeks modulasi melebihi $\sqrt{3}/2$, nilai dari T_z dapat menjadi negatif untuk setiap sudut α tertentu. Karena nilai waktu negatif tidak mempunyai arti secara fisis, maka nilai maksimum dari indeks modulasi M yang akan menjamin kerja yang benar dari SVM dalam wilayah operasi linear adalah $\sqrt{3}/2$. Apabila indeks modulasi

melebihi $\sqrt{3}/2$ SVM bekerja dalam operasi *overmodulasi* dan persamaan diatas tidak bisa dipakai lagi untuk mencari interval waktu vektor-vektor *switching*. Secara grafis V_{ref} akan berada diluar batas *hexagon* pada gambar 2.4 apabila SVM bekerja dalam wilayah *overmodulasi*^[3].

Gambar 2.6 memperlihatkan sebuah pola *switching* SVM metode semetris.



Gambar 2.6 Pola SVM dengan metode simetris.

Berdasarkan pola SVM seperti pada gambar 2.6, diperoleh nilai *duty cycle* untuk masing-masing sektor (*sesuai pergerakan V_{ref}*) dan masing-masing fasa a, b, dan c. Seperti pada tabel 2.1^[4].

Tabel 2.1. Nilai *duty cycle* untuk ketiga fasa inverter.

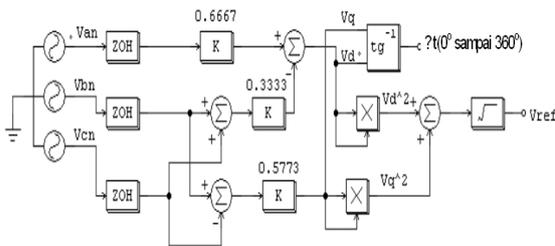
Nomor sektor	Duty cycle fasa A	Duty cycle fasa B	Duty cycle fasa C
1	$T_{7/2}$	$T_{7/2} + T_A$	$T_s - T_{7/2}$
2	$T_{7/2} + T_B$	$T_{7/2}$	$T_s - T_{7/2}$
3	$T_s - T_{7/2}$	$T_{7/2}$	$T_{7/2} + T_A$
4	$T_s - T_{7/2}$	$T_{7/2} + T_B$	$T_{7/2}$
5	$T_{7/2} + T_A$	$T_s - T_{7/2}$	$T_{7/2}$
6	$T_{7/2}$	$T_s - T_{7/2}$	$T_{7/2} + T_B$

III. METODE ANALISIS

3.1 Perancangan simulasi

Untuk menghasilkan sinyal PWM dengan metode *space vector Modulation* menggunakan PSIM 6.0, ada 5 tahapan pembedaan simulasi yang diperlukan.

3.1.1 Simulasi untuk membentuk vektor V_{ref}

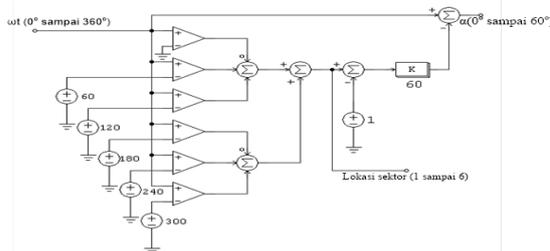


Gambar 3.1. Simulasi untuk membentuk vektor V_{ref} .

Gambar 3.1 adalah simulasi yang di buat pada PSIM untuk menghasilkan vektor referensi V_{ref} . Sinyal V_{ref} dihasilkan oleh sumber tegangan 3-fasa V_{an} , V_{bn} dan V_{cn} .

3.1.2 Simulasi untuk menentukan posisi sektor vektor V_{ref} dan sudut α

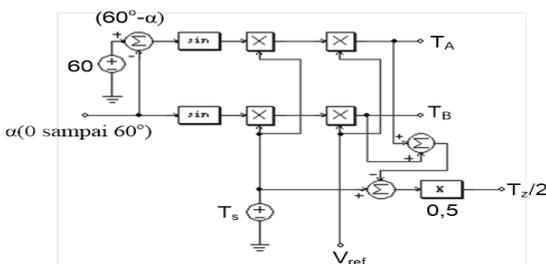
Gambar 3.2 adalah simulasi yang dilakukan untuk menentukan posisi sektor pada saat V_{ref} terus berputar dalam satu periode sesuai dengan frekuensi sudut ω . Ada 6 buah sektor pada SVM masing-masing dengan lebar sudut 60° .



Gambar 3.2. Simulasi menentukan posisi sektor V_{ref} dan sudut α .

3.1.3 Simulasi perhitungan interval waktu T_A , T_B , dan T_z

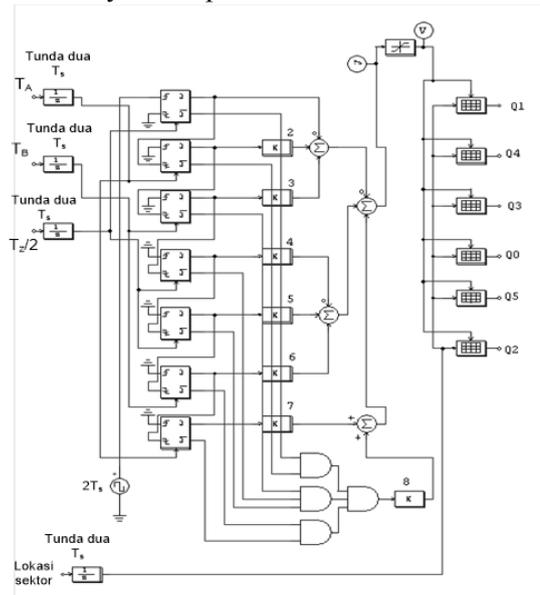
Gambar 3.3 adalah simulasi yang dilakukan untuk menghitung duty cycle T_A , T_B , dan T_z dalam setiap sector. T_s adalah periode sampling dari sinyal switching SVM.



Gambar 3.3. Simulasi perhitungan interval waktu T_A , T_B , dan T_z .

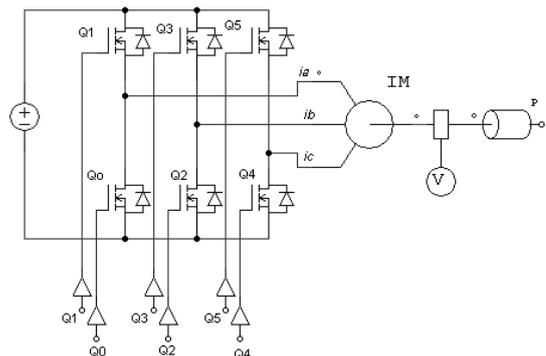
3.1.4 Simulasi untuk menghasilkan vektor switching dan pola SVM.

Gambar 3.4 adalah simulasi yang dilakukan untuk menghasilkan pola SVM. Flip-flop digunakan untuk menghasilkan logika yang akan mengambil isi dari *lookup table* yang telah di atur dalam bentuk matriks biner. Hasil keluaran dari lookup table berupa sinyal biner 0 dan 1. Dimana 0 menyatakan posisi saklar *off* dan 1 menyatakan posisi saklar *on*.



Gambar 3.4. vektor switching

3.1.5 Simulasi Voltage Source Inverter dan motor induksi tiga fasa.

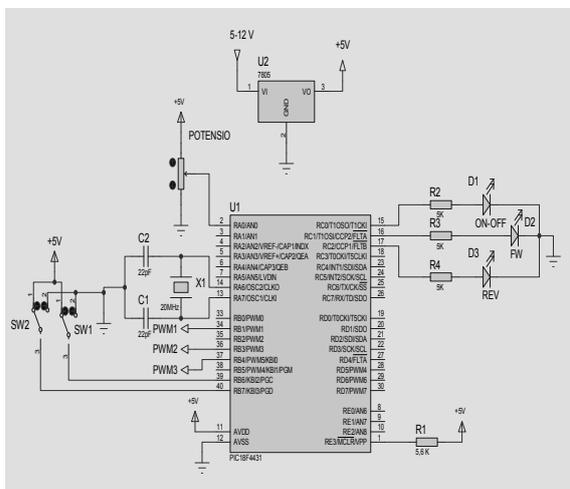


Gambar 3.5. Rangkaian Voltage Source Inverter dan motor induksi tiga fasa.

Gambar 3.5 adalah simulasi dari rangkaian power inverter 3-fasa. Inverter terhubung dengan sebuah motor induksi 3-fasa. Output daya dari inverter akan disuplai kedalam motor tersebut dengan frekuensi yang telah diatur oleh rangkaian kontrol SVM.

3.2 Perancangan Sistem
Perancangan rangkaian Kontrol
(PIC18F4431)

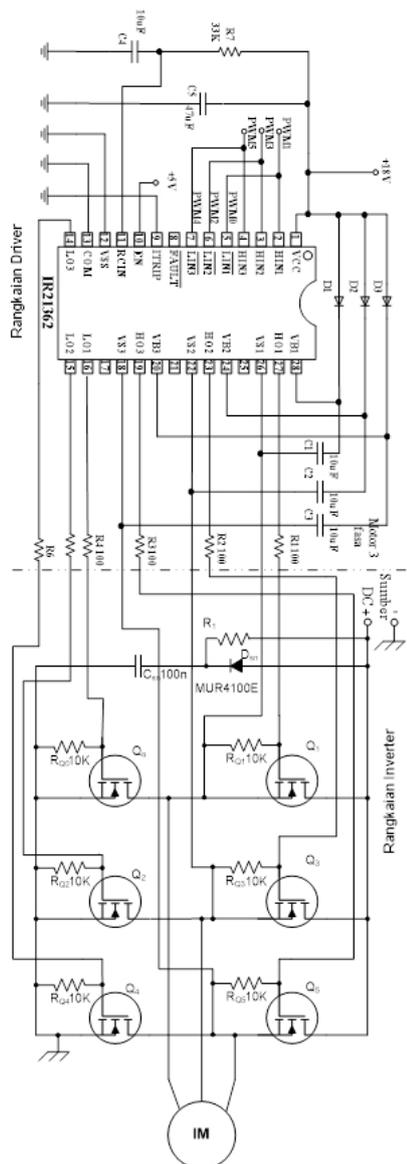
Gambar 3.6 adalah rangkaian simulasi dengan software Proteus dari system control menggunakan mikrokontroler PIC18F4431. Mikrokontroler bertugas untuk membangkitkan sinyal PWM dengan metode SVM. Ada 3 buah output PWM yaitu PWM1, PWM2, dan PWM3. Saklar SW1 berfungsi untuk mengatur hidup dan mati dari mikrokontroler. Saklar SW2 berfungsi untuk mengatur arah putaran motor induksi *forward* dan *reverse*. Potensio berfungsi untuk mengatur kecepatan dari motor induksi dari 0 sampai 1500 RPM.



Gambar 3.6. Rangkaian Kontrol (PIC18F4431).

3.2.2. Perancangan Rangkaian Driver dan inverter 3-fasa

Gambar 3.7 adalah rangkaian driver IR21362 dan rangkaian inverter tiga fasa. Rangkaian *driver* berfungsi untuk memperkuat sinyal output PWM dari mikrokontroler PIC18F4431 sehingga mampu untuk menggerakkan MOSFET. *Driver* disuplai dengan tegangan catu 18 Volt. Ada 6 buah *output* dari driver, HO1, HO2, dan HO3 adalah *High output* untuk MOSFET yang berada pada posisi teratas dari rangkaian inverter. Sedangkan LO1, LO2, dan LO3 adalah *Low output* untuk MOSFET yang berada pada posisi terbawah dari rangkaian inverter. Hasil keluaran dari output driver berfungsi untuk menggerakkan 6 buah MOSFET IRFP460 sebagai inverter untuk VSD.



Gambar 3.7. Rangkaian daya (inverter 3-fasa.) dan driver IR21362

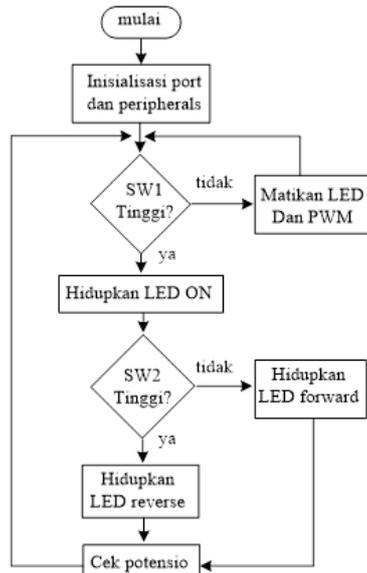
3.2.3 Perancangan Software

Software atau Perangkat lunak adalah seperangkat baris program yang dibuat dalam bahasa *assembly* PIC18F4431 untuk mengontrol keseluruhan sistem kerja dari *inverter*. Untuk menyederhanakan pembuatan dan penyuntingan, program dibagi kedalam 5 modul:

1. SVM_MAIN : Modul ini berisi program *utama* yang mengontrol keseluruhan kerja dari sistem *inverter*.
2. SVM_CONST : Modul ini berisi *konstanta* yang diperlukan untuk perhitungan SVM.
3. SVM_VAR : Modul ini berisi *variabel* atau register yang diperlukan untuk menyimpan

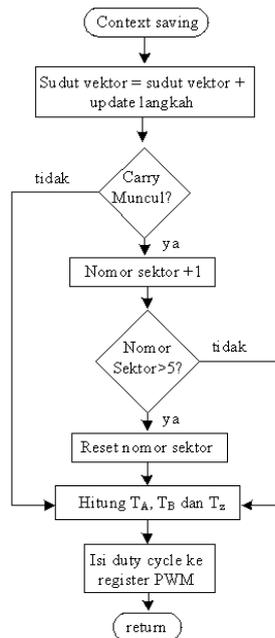
data dalam RAM yang selalu berubah nilainya.

4. SVM_RUTIN : Modul ini berisi *rutin-rutin* yang akan dipanggil oleh program utama.
5. SVM_TABLE : Modul ini merupakan sebuah *lookup table* yang berisi besar nilai *duty cycle* T_B .



Gambar 3.8. Diagram alir program utama

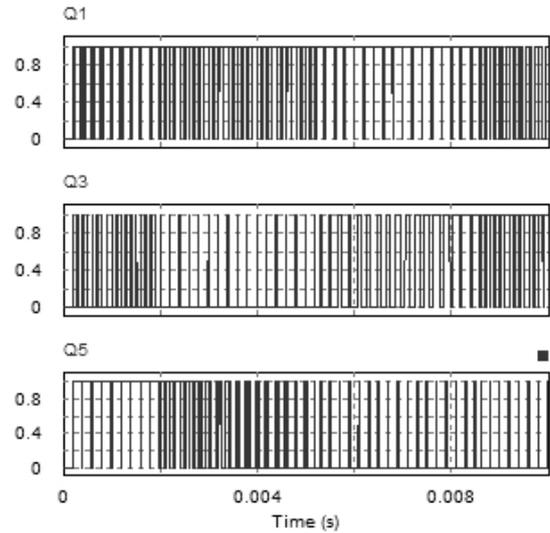
Perhitungan SVM dilakukan setiap kali interrupt pada PWM *module* PIC18F4431 dan di *set* prioritas tinggi.



Gambar 3.9. Rutin SVM pada high priority interrupt.

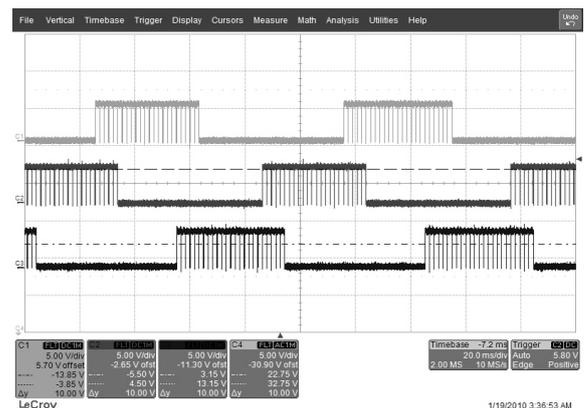
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gelombang keluaran output sinyal PWM dari simulasi vektor switching (gambar 3.4) diperlihatkan pada gambar 4.1. Gelombang tersebut adalah pada Q_1 , Q_3 dan Q_5 , sedangkan Q_0 , Q_2 dan Q_4 adalah sama.



Gambar 4.1. Gelombang output sinyal PWM pada simulasi menggunakan PSIM.

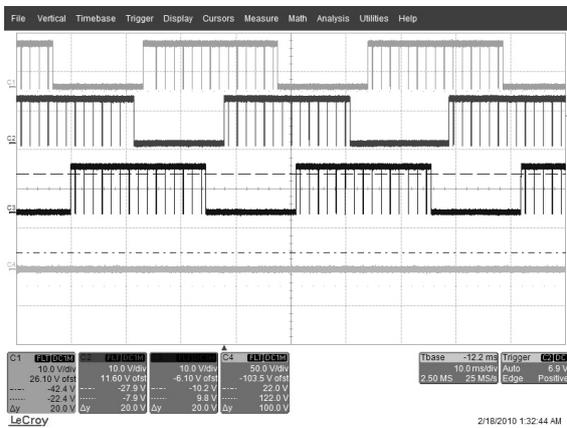
Gambar 4.2 memperlihatkan output sinyal PWM vektor switching hasil eksperimen mikrokontroler PIC18F4431 (gambar 3.6), di ukur pada port PWM1, PWM2 dan PWM2 dengan alat ukur *LeCroy WaveSurface 424*.



Gambar 4.2. Sinyal PWM vektor switching hasil eksperimen

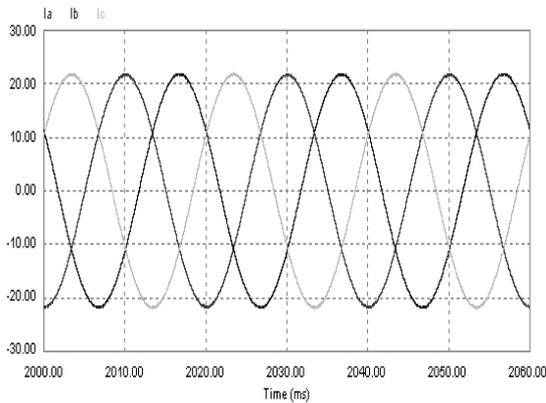
Sedangkan gelombang keluaran rangkaian driver IR21362 *port* HO1, HO2, dan HO3 (gambar 3.7), sama bentuk dengan keluaran PWM vektor switching hasil

eksperimen, yang beda hanya amplitudo lebih tinggi yaitu 18 volt, bentuk gelombang seperti pada gambar 4.3.

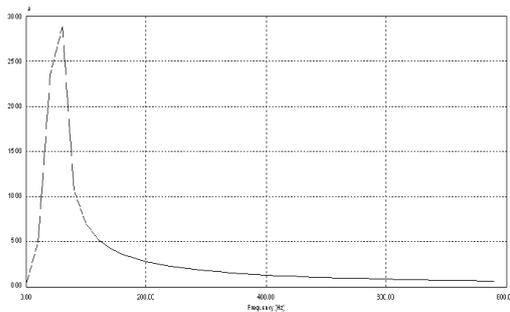


Gambar 4.3. Sinyal PWM vektor switching keluaran drive IR21362

Arus keluaran inverter untuk tiga fasa (suplai motor) dari hasil simulasi (gambar 3.5) pada frekuensi 20Hz diperlihatkan pada Gambar 4.4. Sedangkan spektrum harmonik dari fasa a di tunjukkan pada gambar 4.5

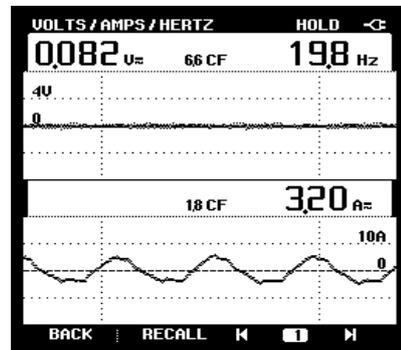


Gambar 4.4. Arus motor keluaran invrter

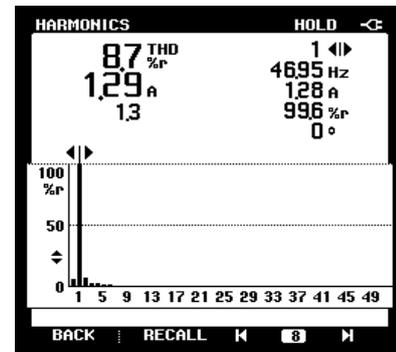


Gambar 4.5. Spektrum harmonik arus i_a

Arus keluaran inverter (suplai motor) hasil eksperimen diukur pada input motor fasa a dengan *Fluke 43B Power Quality Analyzer* pada frekuensi 19,8Hz seperti pada Gambar 4.6. Sedangkan spektrum harmonisa pada frekuensi fundamental 46,9Hz seperti pada Gambar 4.7.



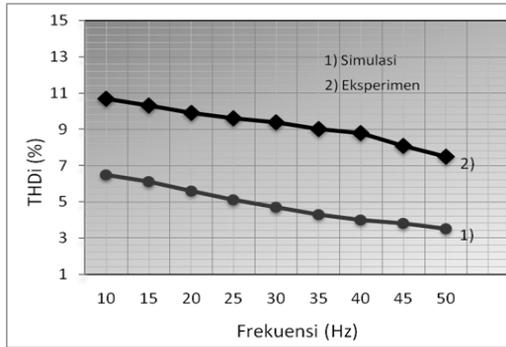
Gambar 4.6. Arus keluaran inverter



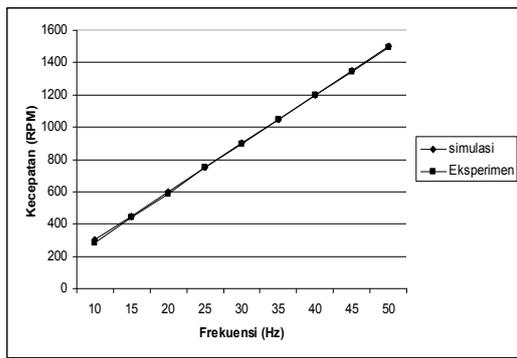
Gambar 4.7. Spektrum harmonisa

Gambar 4.8 memperlihatkan grafik THDi terhadap frekuensi pada simulasi dan eksperimen. Dari grafik tersebut terlihat bahwa THDi berubah terhadap frekuensi, semakin tinggi frekuensi (mendekati frekuensi nominal) THDi cenderung menurun. Antara hasil simulasi (1) dan ekperimen (2) terjadi perbedaan rata-rata 4%. THDi hasil simulasi rata-rata 4,8%, sedangkan hasil eksperimen rata-rata 9,2%.

Gambar 4.9 memperlihatkan grafik kecepatan motor terhadap frekuensi. Motor yang dipakai pada pengujian adalah motor induksi 3-fasa 3/4 HP. Dari grafik dapat dilihat bahwa kecepatan motor naik secara linear terhadap frekuensi dari 300 rpm pada frekuensi 10 Hz sampai 1500 rpm pada frekuensi 50 Hz. Antara sumulasi dan eksperimen tidak ada perbedaan

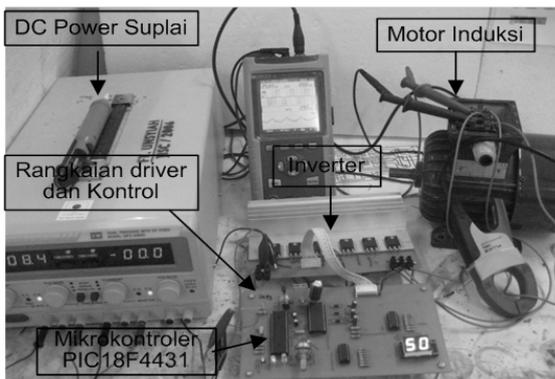


Gambar 4.8. Grafik tingkat THDi terhadap frekuensi



Gambar 4.9. Grafik kecepatan motor terhadap frekuensi

Bentuk rangkaian inverter SVM hasil rancang bangun dan set up saat pengukuran pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Inverter SVM hasil rancang bangun

V. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan pengujian dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam penelitian ini telah berhasil direka bentuk inverter SVM yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi 3/4 HP dengan kecepatan dari 300-1500 RPM.
2. Arus keluaran inverter dari hasil simulasi diperoleh gelombang sinusoidal dengan THDi 4,8 %, sedangkan hasil eksperimen diperoleh arus keluaran inverter mendekati sinusoidal dengan THDi 9,2 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rashid, Muhammad H, *Power Electronics Handbook*, ed.3, Academic press (2001)
- [2] Dorin O. Neacsu, “*Space Vector Modulation-An Introduction*”, Proc. IEEE IECON’01, pp. 1583-1592 (2001)
- [3] AN2154, “*Space Vector Modulation Using 8-bit ST7MC Microcontroller and ST7MC-KIT/BLDC Starter Kit*”, (2007). available : www.st.com.
- [4] AN955, “*VF Control of 3-Phase Induction Motor Using Space Vector Modulation*”, Microchip dTechnology Inc., (2005).
- [5] Keliang Zhou and Danwei Wang, *Relationship Between Space-Vector Modulation and Three-Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis*, IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 49, No. 1, pp.186-196 (2002).

Biodata Penulis

Tarmizi adalah dosen tetap program studi Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala. S₁ Teknik Elektro diselesaikan tahun 2008 di USU dan S₂ bidang Power Electronic and Drive diselesaikan di USM Malaysia pada tahun 2008. Bidang penelitian yang diminati adalah Penerapan Elektronika Daya pada motor drive, energi terbarukan dan kualitas daya listrik.

Muyasar adalah alumni program studi Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala, tamat pada tahun 2009. Saat ini sedang melanjutkan studi magister M.Tech Power Electronics and Drives di VIT University, India.