YAYASAN BRATA BHAKTI JAWA-TIMUR
UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
(LPPM)
Jalan Ahmad Yani 114 Surabaya, Telp. 031-8285602, 8291055, Fax. 031-8285601

SURAT KETERANGAN

Nomor : Sket/ 70/I/2023/LPPM/UBHARA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	:	Drs. Heru Irianto, M.Si
NIP	:	9000028
NIDN	:	0714056102
Jabatan	:	Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas bhayangkara Surabaya

Dengan ini menerangkan bahwa dosen prodi Teknik elektro Universitas Bhayangkara Surabaya atas nama **Dr. Ir. Saidah, MT** benar telah melakukan kegiatan :

3. **Penelitian Fundamental** pada Penelitian Kompetitif Nasional berjudul **Kendali Lanjut Pada Penyearah Berbasis Kendali Cerdas Tintuk Mengatur Kecepatan Motor Dc** (Tahun Pertama) dengan nilai hibah sebesar **Rp. 65.000.000 (Enam Puluh Lima Juta Rupiah)** dari Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM)-Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi **Tahun Pendanaan 2015**.
4. Terlampir dalam surat keterangan berkas pendukung antara-lain: dokumen kontrak, laporan akhir.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk kepentingan kelengkapan pengusulan Guru Besar.

Surabaya, 31 Januari 2023
Kepala LPPM

UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA LPPM

Drs. Heru Irianto, M.Si.

Kode / nama Rumpun Ilmu :
451 / Teknik Elektro

LAPORAN TAHUNAN

PENELITIAN FUNDAMENTAL

KENDALI LANJUT PADA PENYEARAH BERBASIS KENDALI CERDAS UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC

TIM PENELITI

Dr. Ir. Saidah, MT (NIDN : 0712066101) (Ketua)
Dr. Bambang Purwahyudi, ST., MT (NIDN : 0025057001) (Anggota)
Ir. Kuspijani, MMT (NIDN : 0029045901) (Anggota)

UNIVERSITAS BHAYANGKARA SURABAYA
NOPEMBER 2015

HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: KENDALI LANJUT PADA PENYEARAH BERBASIS KENDALI CERDAS UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: Dr., Ir SAIDAH MT
Perguruan Tinggi	: Universitas Bhayangkara Surabaya
NIDN	: 0712066101
Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
Program Studi	: Teknik Elektro
Nomor HP	: 081553339064
Alamat surel (e-mail)	: sdhbaisa61@yahoo.com
Anggota (1)	
Nama Lengkap	: Dr BAMBANG PURWAHYUDI ST., MT.
NIDN	: 0025057001
Perguruan Tinggi	: Universitas Bhayangkara Surabaya
Anggota (2)	
Nama Lengkap	: Ir KUSPIJANI M.MT
NIDN	: 0029045901
Perguruan Tinggi	: Universitas Bhayangkara Surabaya
Institusi Mitra (jika ada)	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Penanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 65.000.000,00
Biaya Keseluruhan	: Rp 148.610.000,00

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

(Dr. Bambang Purwahyudi, ST.,MT.)
NIP/NIK 197005252005011003

Surabaya, 1 - 11 - 2015
Ketua,

(Dr., Ir SAIDAH MT)
NIP/NIK 260000125

Menyetujui,
Kepala LPPM

(Drs. Ec. Nurul Qomari, M.Si)
NIP/NIK 8900014

RINGKASAN

Penelitian ini berangkat dari latar belakang semakin luasnya penggunaan rangkaian elektronika daya terutama penyearah untuk berbagai aplikasi di industri. Penyearah tiga fasa sebagai perangkat untuk mengkonversi sumber tegangan AC menjadi sumber DC, sering dijumpai secara luas untuk berbagai aplikasi di industri sebagai sumber DC, UPS, pada sistem transmisi DC, pengatur kecepatan motor DC dan lain lain. Di industri, hampir 70 % energi listrik digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Banyaknya penggunaan motor dengan kecepatan bervariasi telah menggerakkan penelitian ini untuk membahas tentang penyearah yang digunakan sebagai pengatur kecepatan motor DC. Untuk mengatur kecepatan motor DC diperlukan tegangan DC stabil bervariasi.

Penyearah terdiri dari saklar-saklar sehingga penggunaan penyearah akan menghasilkan harmonisa arus (THD arus) pada sisi masukan (jaringan PLN) dan pada sisi keluaran tegangan DC yang dihasilkan menjadi tidak stabil dengan riak tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan kendali yang tepat pada penyearah sehingga dapat memperbaiki kinerjanya. Penyearah merupakan sistem nonlinier, sehingga kendali yang tepat adalah kendali nonlinier berbasis cerdas yaitu kendali fuzzy. Selama ini diperlukan dua buah kendali untuk memperbaiki kinerja penyearah, gabungan kendali konvensional + cerdas (PI + fuzzy). Penyearah dengan kendali ini memerlukan filter berukuran besar baik pada sisi jaringan dan pada sisi DC, sehingga memerlukan biaya yang mahal untuk implementasi. Dalam penelitian ini diusulkan metode kendali lanjut yang hanya menggunakan satu kendali fuzzy yang dapat memperkecil THD dan membuat tegangan DC tetap stabil dengan riak kecil walaupun kecepatan motor berubah-ubah. Dengan metode kendali fuzzy yang ditawarkan akan menjadi lebih sederhana, memperkecil ukuran filter, menghilangkan penggunaan sensor arus (current sensorless). Disamping itu didalam penelitian ini, digunakan teknik PWM yang sebelumnya belum pernah digunakan pada penyearah disebut *Space Vector* PWM yang dapat menghasilkan tegangan DC keluaran penyearah mencapai 90,6% dari kapasitas penyearah, dengan demikian terjadi kenaikan efisiensi sekitar 15%.

Penelitian ini menghasilkan model penyearah dengan teknik SVPWM menggunakan kendali lanjut yaitu kendali Logika Fuzzy untuk mengatur kecepatan motor DC dan melakukan uji simulasi dengan Matlab. Dengan menggunakan kendali Logika Fuzzy dihasilkan model penyearah yang menghasilkan THD rendah, power faktor mendekati satu pada sisi jaringan dan yang terpenting telah menghasilkan tegangan DC stabil bervariasi untuk mengatur kecepatan motor DC tanpa riak dan overshoot. Hasil simulasi model penyearah ini dilakukan dengan software Matlab baik dalam kondisi normal maupun kondisi gangguan artinya kecepatan motor DC dikehendaki berubah-ubah. Hasil simulasi model penyearah ini menunjukkan hasil THD rendah, power factor mendekati satu dan tegangan DC yang stabil walaupun kecepatan motor DC yang dikehendaki berubah-ubah.

Kata Kunci : Penyearah, SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation), kendali Fuzzy.

PRAKATA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga proses pelaksanaan penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik. Dalam proses penyelesaian penelitian memang diakui banyak kendala yang dihadapi peneliti dalam hal pembuatan model penyearah berbasis kendali cerdas untuk mengatur kecepatan motor DC. Model ini terdiri dari model penyearah dengan teknik SVPWM, model kendali lanjut berbasis kendali cerdas yaitu kendali Logika Fuzzy dan model beban motor DC. Dengan kekompakan seluruh anggota tim peneliti, kendala yang ada dapat diselesaikan dengan baik, sehingga laporan kemajuan tahun I dapat terselesaikan.

Penelitian ini telah menghasilkan model penyearah dengan kendali lanjut yaitu Logika Fuzzy untuk mengatur kecepatan motor DC. Dengan menggunakan kendali Logika Fuzzy diperoleh penyearah yang menghasilkan THD rendah, power factor mendekati satu dan yang terpenting menghasilkan tegangan DC stabil bervariasi yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC. Model yang dihasilkan telah disimulasikan dengan baik menggunakan Matlab dan menghasilkan kondisi yang baik dengan kecepatan motor DC yang bervariasi baik dalam kondisi normal maupun dalam kondisi gangguan. Hasil simulasi model yang diperoleh menunjukkan unjuk kerja kendali Logika Fuzzy menghasilkan model penyearah yang dapat mengatur kecepatan motor DC.

Model yang diihasilkan merupakan model matematika dan disimulasikan menggunakan software Matlab. Model tersebut akan diuji secara real di laboratorium yang dilakukan pada tahun II, yaitu tahun 2016, sehingga nantinya model penyearah ini dapat dimanfaatkan oleh dunia industri sebagai pengatur motor DC. Peneliti juga menyampaikan terimakasih kepada DP2M-DIKTI dan Kopertis Wilayah VII yang telah memberikan kesempatan dan dana dalam penelitian tahun I.

Surabaya, Juni 2015

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
RINGKASAN iii
PRAKATA iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GAMBAR viii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Tujuan Khusus 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Model Penyearah Dengan Space Vector PWM (SVPWM) 4
2.2 Kendali Cerdas 5
2.3 Motor DC 8
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 10
3.1 Tujuan Penelitian 10
3.2 Manfaat Penelitian 10
BAB IV METODE PENELITIAN 11
4.1 Bagan Alir Penelitian 12
4.2 Kegiatan-kegiatan Penelitian Tahun I 13
4.3 Indikator Luaran Yang Dicapai Tahun I 14
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 15
5.1 Pemodelan Sistem Penyearah dengan Teknik SVPWM 15
5.2 Desain Kendali Logika Fuzzy Arus 17
5.3 Metode SVPWM 21
5.4 Beban Motor DC 29
5.5 Hasil Simulasi 30
BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA 35
6.1 Kegiatan-kegiatan Penelitian Tahun II 35
6.2 Indikator Luaran Yang Dicapai Tahun II 37
6.3 Jadwal Penelitian Tahun II 37

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 38
7.1 Kesimpulan 38
7.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 40
LAMPIRAN …….. 41

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Aturan Fuzzy Untuk $\Delta\hat{I}_n$ 20

Tabel 5.2 Evaluasi sektor S_n 23

Tabel 5.3 Menentukan Waktu $T_{2,n}$ pada Semua Sektor 24

Tabel 5.4 Menentukan Waktu $T_{1,n}$ pada Semua Sektor 24

Tabel 5.5 Waktu-waktu Saklar Penyearah SV PWM 28

Tabel 5.6 Kombinasi state untuk sector m dan step n 28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyearah aktif Tiga Phasa 4
Gambar 2.2 Space Vector PWM 5
Gambar 2.3. Algoritma Space Vector PWM 5
Gambar 2.4. Struktur Dasar Kendali Logika Fuzzy 6
Gambar 2.5. Motor D.C Sederhana 8
Gambar 4.1 Roadmap Penelitian 11
Gambar 4.2. Gambar Diagram Alir Penelitian 12
Gambar 4.3. Blok Diagram Penelitian Tahun I 13
Gambar 5.1. Model rangkaian konverter AC/DC (penyearah) tiga phasa 15
Gambar 5.2. Rangkaian ekivalen tiap phasa 16
Gambar 5.3: Blok Diagram Transformasi Untuk Menghitung Vector Switching 19
Gambar 5.4 Fungsi Keanggotaan Δv_o 20
Gambar 5.5. Fungsi Keanggotaan δ (Δv_o) 20
Gambar 5.6. Fungsi Keanggotaan $\Delta \hat{I}_n$ 21
Gambar 5.7. Space Vector PWM 22
Gambar 5.8. Menentukan Waktu State Aktif pada Sektor I 23
Gambar 5.9 Diagram Keaktifan State Urutan Simetrie 25
Gambar 5.10 Diagram Waktu Saklar a, b dan c dari Penyearah 27
Gambar 5.11 Diagram skematik motor dc dengan pengontrolan jangkar 28
Gambar 5.12 Blok Diagram Penelitian Tahun I ..... 30.
Gambar 5.13 Respon Tegangan DC dengan Vdc referens = 650 volt pada kondisi normal 31
Gambar 5.14 Respon kecepatan motor DC pada Vdc = 650 volt 32
Gambar 5.15 Arus Jangkar pada Vdc = 650 Volt 32
Gambar 5.16 Respon Tegangan DC dengan Vdc pada kondisi gangguan 33
Gambar 5.17 Respon kecepatan motor DC pada kondisi gangguan 33
Gambar 5.18 Arus Jangkar pada pada kondisi gangguan 34
Gambar 6.1. Diagram Pengujian 36

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Listrik mempunyai peranan yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Setiap aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat tidak terlepas dari peran listrik, seperti aktivitas rumah tangga, usaha maupun industri. Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan listrik dari tahun 2003 s.d. 2020 oleh Dinas Perencanaan Sistem PT. PLN dan Tim Energi BPPT, bahwa kebutuhan listrik didominasi oleh sektor industri, kemudian sektor rumah tangga, usaha, dan umum. Di industri, hampir 70 % energi listrik digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Banyaknya penggunaan motor dengan kecepatan bervariasi telah menggerakkan para peneliti untuk mengatur kecepatan motor sesuai dengan yang diperlukan agar terhindar dari kerugian yang besar.

Motor DC merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan di industri. Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan cara mengatur tegangan terminal (tegangan DC). Pengaturan tegangan terminal pada lilitan jangkar dapat langsung digunakan untuk mengatur kecepatan pada saat pengasutan (*starting*) dan sekaligus pada saat berjalan (running). Pengaturan pada tegangan DC menjadi lebih mudah dan efisien jika menggunakan peralatan elektronika daya. Rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC adalah penyearah.

Penyearah merupakan rangkaian yang dapat mengkonversi tegangan AC dari PLN menjadi tegangan DC. Komponen saklar pada penyearah berfungsi untuk mengendalikan tegangan DC keluaran penyearah. Cara Pengaturan tegangan keluaran DC pada penyearah dapat dilakukan dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) yaitu mengendalikan *duty cycle* saklar pada penyearah, sehingga diperoleh tegangan DC yang bervariasi.

Hal yang perlu dicermati bahwa penyearah merupakan sistem nonlinier, sehingga penggunaan penyearah akan menghasilkan harmonisa arus (THD arus) pada sisi jaringan PLN yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas daya listrik dengan faktor daya lebih rendah dari 0,67. Sedangkan pada sisi keluaran penyearah, harmonisa menyebabkan tegangan DC menjadi tidak stabil dan terjadi riak pada tegangan. Oleh karena itu, harmonisa akibat pemakaian penyearah ini perlu dikendalikan (diperkecil sesuai dengan standart IEEE).

Penggunaan kendali yang tepat pada penyearah dapat memberikan perbaikan performa penyearah yaitu memperkecil THD dan membuat tegangan DC menjadi stabil

dengan riak kecil. Kendali yang telah ditawarkan oleh peneliti sebelumnya adalah kendali linier PID. Kendali PID adalah kendali yang sederhana dan murah dalam implementasi, namun mempunyai kelemahan karena PID menggunakan algoritma *off-line tuning* dan sangat sulit digunakan dalam kondisi tegangan DC yang bervariasi. Mengingat penyearah adalah sistem nonlinier, maka kendali nonlinier adalah kendali yang sesuai untuk penyearah. Kendali nonlinier fuzzy adalah kendali cerdas yang mempunyai struktur yang sederhana dan mempunyai proses adaptif menyebabkan performa penyearah menjadi lebih baik walaupun terjadi perubahan parameter akibat adanya perubahan kecepatan motor yang bervariasi. Penggunaan logika fuzzy pertama-tama diperkenalkan dalam paper [9,10], akan tetapi untuk memperbaiki kinerja penyearah diperlukan dua kendali yaitu (Fuzzy + PID). Didalam penelitian tersebut masih diperlukan filter yang berukuran besar baik disisi masukan maupun disisi keluaran, sehingga memerlukan biaya yang mahal untuk implementasi. Dalam penelitian ini diusulkan metode kendali lanjut yang hanya menggunakan satu kendali fuzzy yang dapat memperkecil THD dan membuat tegangan DC tetap stabil dengan riak kecil walaupun kecepatan motor berubah-ubah. Dengan metode kendali fuzzy yang ditawarkan akan menjadi lebih sederhana, memperkecil ukuran filter, menghilangkan penggunaan sensor arus (current sensorless). Disamping itu untuk penghematan energi, effisiensi penyearah merupakan suatu parameter yang penting. Didalam penelitian ini, digunakan teknik PWM yang sebelumnya belum pernah digunakan pada penyearah disebut *Space Vector* PWM yang dapat menghasilkan tegangan DC keluaran penyearah mencapai 90,6% dari kapasitas penyearah, dengan demikian terjadi kenaikan efisiensi sekitar 15%.

I.2. **Tujuan Khusus**

a. Menemukan model penyearah yang mempunyai effisien tinggi dengan teknik SVPWM sebagai masukan pada motor DC. Dengan membuat model penyearah yang mempunyai efisien yang tinggi, mengendalikan tegangan DC stabil dengan riak kecil serta menghasilkan THD rendah pada jaringan dapat dimanfaatkan oleh dunia industri sebagai pengatur kecepatan motor DC, pada industri yang membutuhkan supply tegangan DC. Disamping itu penyearah ini dapat membantu pemerintah dalam hal ini PLN untuk membangun transmisi sistem DC yang akan memperbaiki kestabilan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

b. Menemukan suatu metode kendali fuzzy lanjut pada penyearah yang dapat menghasilkan tegangan DC stabil dengan riak kecil, THD rendah, menggunakan filter dengan ukuran

kecil dan tanpa menggunakan sensor arus. Mengembangkan Teknologi kendali pada elektronika daya ini juga terbukti membantu suksesnya otomatisasi dan program hemat energi di banyak industri.

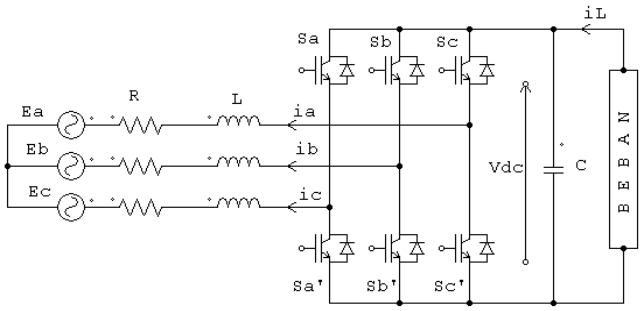
c. Menemukan model penyearah ideal sebagai pengatur kecepatan motor DC. Dengan semakin majunya teknologi elektronika daya dan pengendaliannya, diharapkan sistem DC akan terus semakin murah dan andal sehingga penerapannya semakin luas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Model penyearah dengan Space Vector PWM (SVPWM)

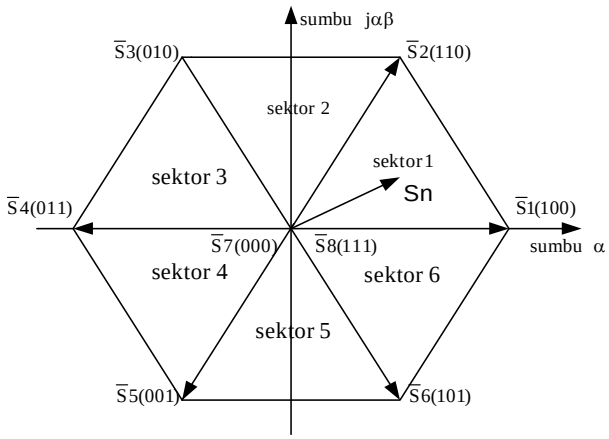
Penyearah aktif tiga phasa pada Gambar 2.1 menggunakan 6 buah saklar berupa komponen semikonduktor seperti transistor IGBT. Saklar-saklar tersebut bekerja sedemikian rupa dan memerlukan sinyal yang sesuai untuk mengatur nyala (ON) dan mati (OFF) transistor. Metode untuk mengkodekan sinyal analog menjadi durasi ON atau OFF tersebut adalah PWM. Untuk penghematan energi, effisiensi penyearah merupakan suatu parameter yang penting. Dengan metode konvensional SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) tegangan DC yang dihasilkan sekitar 78% dari kapasitas maksimum penyearah [K. Vinoth Kumar (2010)]. Didalam penelitian ini digunakan metode PWM yang disebut *Space Vector* PWM (SVPWM) [K. Vinoth Kumar (2010)] yang dapat menghasilkan tegangan output DC mencapai 90,6% dari kapasitas penyearah, dengan demikian terjadi kenaikan efisiensi sekitar 15%.



Gambar 2.1 Penyearah aktif Tiga Phasa

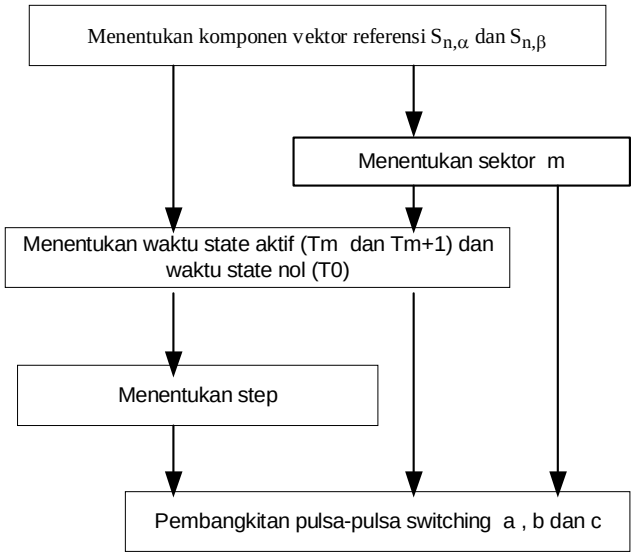
Metode SVPWM merupakan metode yang mudah diimplementasikan secara digital. Kedudukan saklar-saklar yang berpasangan (Sa dan Sa' , Sb dan Sb', Sc dan Sc') diatur sedemikian hingga setiap pasang tidak pernah bersama-sama ON ataupun sama-sama OFF. Artinya jika saklar Sa dalam keadaan ON, maka saklar Sa' berada dalam keadaan OFF atau sebaliknya. Demikian pula untuk pasangan Sb dan Sb', Sc dan Sc'.

Ada 8 kombinasi kedudukan ON-OFF dari saklar-saklar tersebut, yang dinyatakan sebagai state. ditunjukkan dalam Gambar 2.2. State 0 dan state 7 menyatakan vektor nol. State 1 – 6 adalah vektor aktif, sehingga keenam vektor state aktif tersebut membagi bidang space vector menjadi enam sektor yang sama.



Gambar 2.2 Space Vector PWM

Algoritma space vector PWM dapat dilukiskan dalam bentuk diagram alir sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.



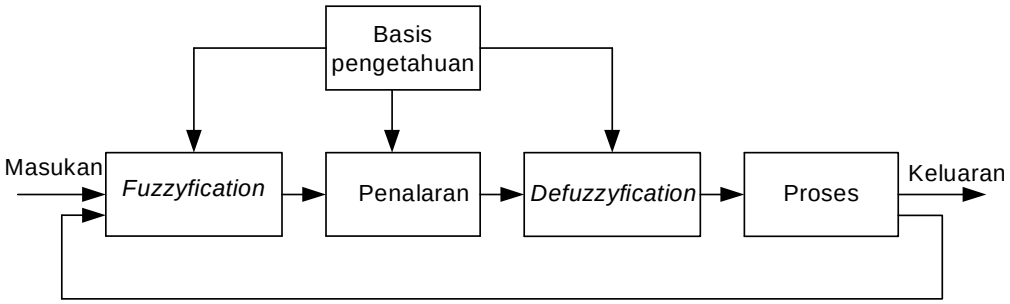
Gambar 2.3. Algoritma Space Vector PWM

2.2. Kendali Cerdas

Aplikasi kendali cerdas untuk penyearah yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya adalah NN (Neural Network) [Joseph Jawhar (2006)] digunakan untuk mengendalikan THD arus yang berdasarkan pada penyimpangan tegangan DC. Namun setelah dilakukan simulasi diperoleh respon yang lambat, karena kendali NN membutuhkan waktu untuk proses pembelajaran. Dalam penelitian lain, penggunaan kendali cerdas yang lebih populer adalah *Fuzzy Logic Controller* atau pengendalian logika fuzzy (FLC)[Masoud Hajihashemi (2009)] digunakan untuk mengendalikan tegangan tidak seimbang pada sisi

masukan. Didalam penelitian ini digunakan kendali cerdas berbasis logika fuzzy yang digunakan untuk mengendalikan arus jaringan berdasarkan pada penyimpangan tegangan DC terhadap referensinya. Logika fuzzy berdasarkan pada suatu sekumpulan rule (aturan) yang ditentukan oleh komposisi rule dari inference (Gambar 2.5). Fuzzy sistem merealisasikan suatu hubungan non linier diantara vector input dan output yang scalar, melalui step-step berikut :

1. *Fuzzyfication* (pembentukan himpunan fuzzy)
2. *Inference* (reasoning/penalaran)
3. *Knowledge base* (basis pengetahuan)
4. *Defuzzyfication* (penegasan)



Gambar 2.4. Struktur Dasar Kendali Logika Fuzzy

a. *Fuzzyfication* (pembentukan himpunan fuzzy)

Fuzzyfication merupakan proses untuk mengubah variable non fuzzy (variable numerik) menjadi variable fuzzy (variable linguistik). Proses transformasi dilakukan dengan cara mapping (pemetaan) ruang input variable non fuzzy ke dalam ruang input variable fuzzy dengan bantuan faktor penskala (scalling factor). Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara fuzzy pula. Proses ini disebut *Fuzzyfication*.

b. Teknik Penalaran Fuzzy (*Fuzzy Reasoning*)

Pada teknik penalaran fuzzy, terjadi pemberlakuan bahwa masukan pengukuran sistem (masukan unit pengendalian logika fuzzy) dalam domain crisp diberlakukan sebagai fuzzy tunggal (*fuzzy singleton*).

Pada umumnya aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk logika “Jika – Maka” yang merupakan dasar dari relasi fuzzy. Relasi fuzzy R, dalam basis pengetahuan fuzzy didefinisikan sebagai implikasi fuzzy (*fuzzy implication*).

c. Basis Pengetahuan Fuzzy

Basis pengetahuan fuzzy terdiri dari beberapa aturan fuzzy (fuzzy rule) yang dikelompokkan dalam suatu basis aturan fuzzy (fuzzy rule base). Rule base merupakan dasar pengambilan keputusan atau inference proses, untuk mendapatkan aksi keluaran sinyal kendali dari suatu kondisi masukan, yaitu x dan y, berdasarkan rule-rule yang ditetapkan.

Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi

IF x adalah A THEN y adalah B

Dengan x dan y adalah scalar, A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut antesenden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut konsekwen.

Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operasi fuzzy, seperti :

IF (x_1 adalah A_1) $\bullet$ (x_2 adalah A_2) $\bullet$ ….. $\bullet$ (x_3 adalah A_3) THEN y adalah B

Dengan $\bullet$ adalah operator (mis : OR atau AND)

d. *Defuzzification* (Penegasan)

Pada dasarnya *Defuzzification* adalah pemetaan ruang aksi pengendali fuzzy (domain fuzzy) ke dalam ruang aksi pengendali non fuzzy (crisp). Metode *Defuzzification* yang digunakan adalah pusat area (Center of Area / COA)

Metode ini didefinisikan dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$v_0 = \frac{\sum_{k=1}^{m} v_k \mu_v(v_k)}{\sum_{k=1}^{m} \mu_v(v_k)} \qquad (2.1)$$

dengan :

v_0 = tingkat kuantisasi

m = elemen ke-k

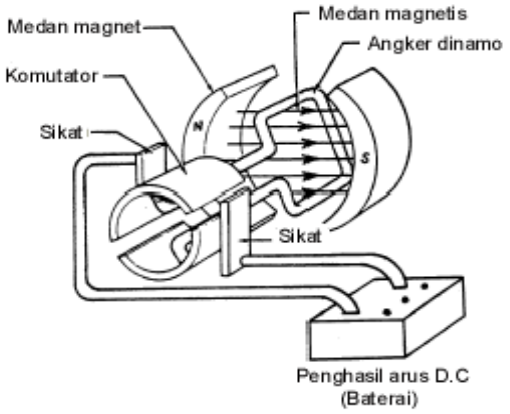
$\mu_k(v_k)$ = derajat keanggotaan elemen-elemen pada himpunan fuzzy v

V = semesta pembicaraan

2.3. Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat bahan,dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik phasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.



Gambar 2.5. Motor D.C Sederhana

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan.

Mengatur Kecepatan Motor DC

Berdasarkana persamaan di bawah ini :

$E_a = C \cdot N \cdot \phi$ (2.2)

Keterangan : E_b = gaya gerak listrik lawan (V)

C = konstanta

N = kecepatan putaran jangkar (rps)

ϕ = fluks magnet (Wb)

$$E_s = V_t - I_a . R_a \qquad (2.3)$$

Keterangan : V_t = Tegangan Terminal (V)

I_a = Arus jangkar (A)

R_a = tahanan jangkar (Ω)

Dari persamaan (2.2) dan (2.3) digabungkan diperoleh :

$$N = (V_t - I_a . R_a) / (C\ \phi)$$

Jika flux Φ tetap dijaga konstan, dan kecepatannya berubah berdasarkan voltage (V_t). Dengan naiknya atau turunnya V_t, kecepatan motor akan naik atau turun sesuai dengan perbandingannya.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian Tahun I ini adalah :

1. Membuat model penyearah yang mempunyai efisien yang tinggi, mengendalikan tegangan DC stabil dengan riak kecil serta menghasilkan THD rendah pada jaringan dan faktor daya mendekati satu.
2. Mengembangkan Teknologi kendali pada elektronika daya
3. Menemukan model penyearah ideal sebagai pengatur kecepatan motor DC.

3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat Luaran Penelitian ini Pada Tahun I antara lain :

1. Membuat model penyearah yang mempunyai efisien yang tinggi, mengendalikan tegangan DC stabil dengan riak kecil serta menghasilkan THD rendah pada jaringan sehingga dapat dimanfaatkan oleh dunia industri sebagai pengatur kecepatan motor DC, disamping itu penyearah ini dapat membantu pemerintah dalam hal ini PLN untuk membangun transmisi sistem DC yang akan memperbaiki kestabilan sistem kelistrikan secara keseluruhan.
2. Mengembangkan Teknologi kendali pada elektronika daya sehingga membantu suksesnya otomatisasi dan program hemat energi di banyak industri.
3. Mempublikasikan hasil penelitian dalam bentuk artikel ilmiah melalui Jurnal Internasional terindeks Scopus

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian Tahun 2010 --- 2014

1. Pengaturan Arus Feed-Forward pada PWM Rectifier menggunakan Fuzzy Logic (2009)
2. Pemodelan Inverter menggunakan Space Vector PWM (2007)
3. Pemodelan Konverter Daya Tiga Fasa SVPWM Dengan Metode Average Untuk Mereduksi Distorsi Harmonisa
4. Advanced Control Of Active Rectifier Using Switch Function And Fuzzy Logic For Nonlinear Behaviour Compensation (2012)
5. Input – Output Feedback Linierization Controller For Active Rectifier (2010)
6. High Performance of Nonlinier Active Rectifier Voltage Control Using Feedback Linearization (2013)

Penelitian Tahun I (2015)

Kendali Lanjut Pada Penyearah berbasis **kendali Cerdas** Fuzzy Untuk mengatur kecepatan motor DC.

1. Membuat model penyearah dengan teknik SVPWM dan melakukan simulasi
2. Mendesain sistem Kendali fuzzy untuk penyearah
3. Mengaplikasikan kendali fuzzy pada penyearah sebagai pengatur kecepatan motor DC
4. Melakukan Uji simulasi dengan Matlab
5. Publikasi Ilmiah dalam Seminar Nasional/Internasional atau Jurnal

Penelitian Tahun II (2016)

Melakukan Uji Laboratorium pada Penyearah berbasis **kendali Fuzzy** untuk mengatur Kecepatan Motor DC

1. Melakukan Uji Laboratorium pada penyearah dengan tehnik SVPWM
2. Melakukan Uji Laboratorium pada penyearah dengan kendali Fuzzy
3. Uji Laboratorium Penyearah dengan Kendali Fuzzy untuk mengatur Kecepatan Motor DC
4. Publikasi Ilmiah dalam Seminar Nasional/Internasional atau Jurnal Nasional/Internasional.

Kebaharuan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya :

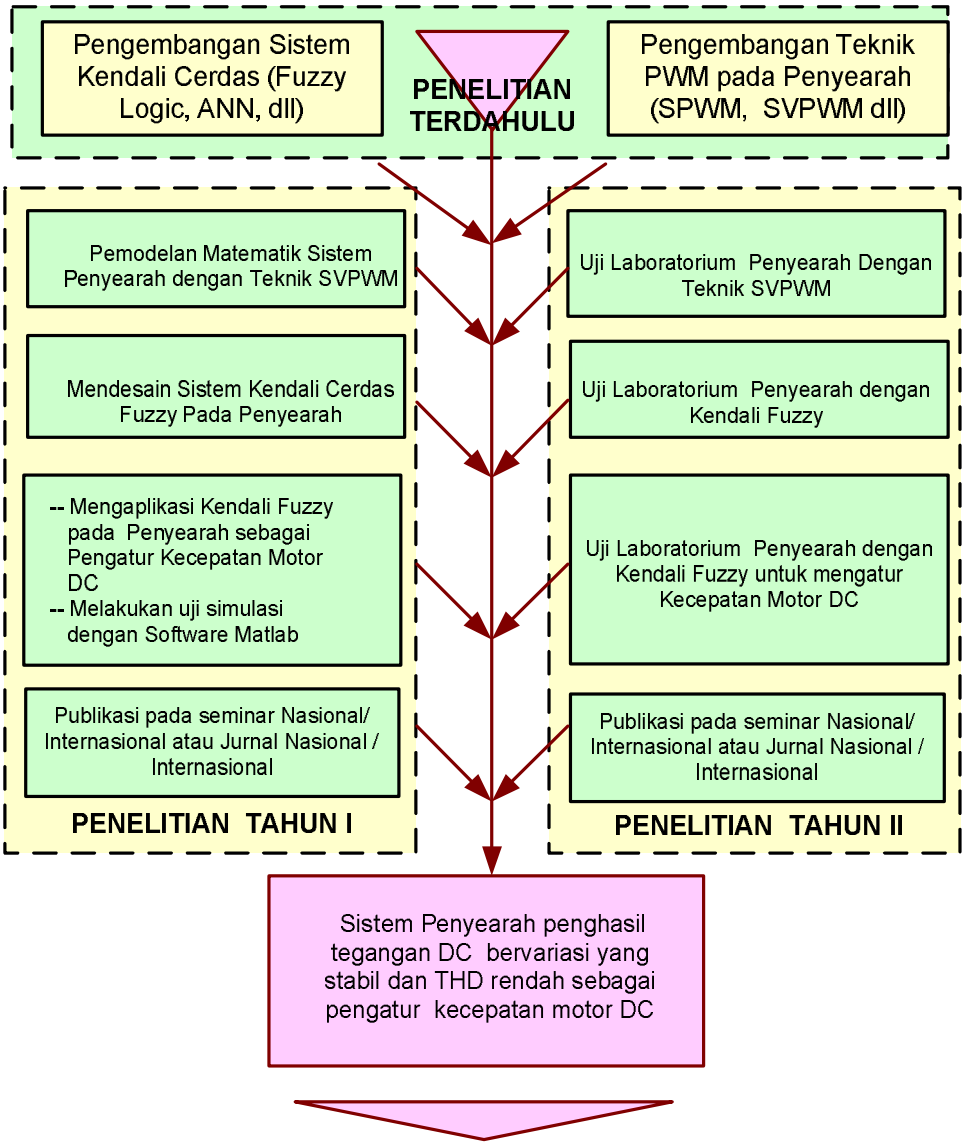
a. SVPWM diaplikasikan pada penyearah aktif, sedangkan penelitian sebelumnya diaplikasikan pada inverter
b. Mendesain sebuah kendali Fuzzy hanya menggunakan sebuah kendali fuzzy
c. Dalam melakukan kendali arus tidak diperlukan sensor arus, dengan demikian akan terhindar dari sensor noise, memperkecil biaya dalam implementasi dan sekaligus mengurangi kerumitan sistem

Gambar 4.1 Roadmap Penelitian

4.1 Bagan Alir Penelitian

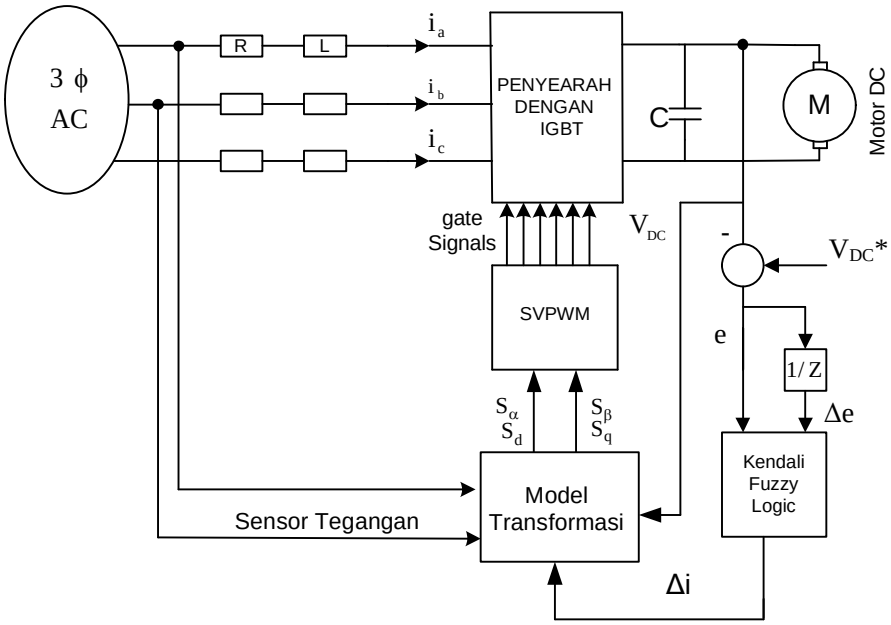
Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini akan mengembangkan sistem Kendali yang sesuai digunakan pada penyearah sehingga mempunyai efisiensi tinggi dan mampu menghasilkan tegangan DC stabil bervariasi serta menghasilkan nilai THD rendah. Sistem penyearah ini akan digunakan sebagai pengatur kecepatan motor DC.

Penelitian ini secara keseluruhan dibagi menjadi dua tahap dan akan dilaksanakan dalam jangka waktu dua tahun. Tahapan-tahapan penelitian tersebut dituangkan berupa diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 4.2. Gambar Diagram Alir Penelitian

4.2 Kegiatan-Kegiatan Penelitian Tahun Pertama



Gambar 4.3. Blok Diagram Penelitian Tahun I

1. **Pemodelan Sistem Penyearah dengan Teknik SVPWM.**

   Melanjutkan studi pendahuluan yang telah dilakukan, penelitian pada tahun I diawali dengan pembuatan model matematik penyearah dengan teknik SVPWM. Model matematik tersebut dituangkan kedalam bentuk Matlab/Simulink.

2. **Desain Kendali Cerdas Fuzzy.**

   Mendesain kendali Fuzzy diaplikasikan pada penyearah pada point 1. untuk dapat menghasilkan tegangan DC (V_{dc}) bervariasi dan THD (Total Harmonic Distortion) arus jaringan (Δi) mendekati nol. Kinerja logika *fuzzy* ini tergantung dari fungsi keanggotaanya (*membership function*). Logika fuzzy ini mempunyai dua masukan yaitu kesalahan (*error*) dan perubahan kesalahan (*delta error*) dari tegangan DC serta mempunyai satu keluaran perubahan amplitudo arus jaringan. Selanjutnya dituangkan dalam bentuk Simulink Matlab.

3. **Membuat Persamaan Matematik Blok Transformasi dan beban motor DC.**

Membuat persamaan matematik pada blok transformasi yang akan menghubungkan antara Fuzzy dan SVPWM pada penyearah. Kemudian dilanjutkan dengan membuat model matematik beban motor DC.

4. **Pemodelan total penyearah dengan kendali Fuzzy sebagai pengatur kecepatan motor DC.**

   Pada tahap ini Menggabungkan point 1,2 dan 3 dalam bentuk simulink/Matlab kemudian dilakukan pengujian dengan melakukan simulasi Matlab.

5. **Pengujian Simulasi sistem**

   Pada saat simulasi dilakukan pengamatan pada variabel tegangan DC dan THD pada kecepatan motor yang bervariasi..

6. **Publikasi Ilmiah Hasil Penelitian**

   Mempublikasikan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan selama Tahun I dalam bentuk makalah dan diterbitkan pada jurnal nasional/Internasional.

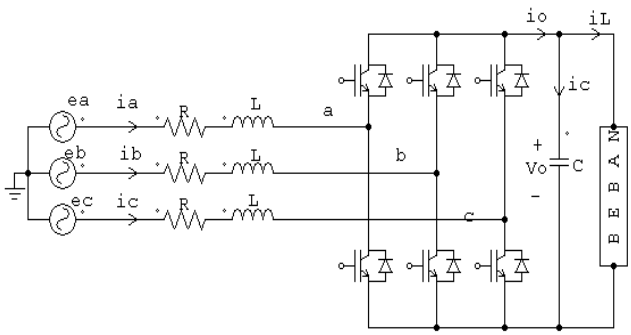
4.3 Indikator Luaran Yang dicapai Tahun I

1. Ditemukannya model penyearah dengan metode kendali baru yaitu Fuzzy yang diaplikasikan sebagai pengatur kecepatan motor DC.
2. Publikasi hasil-hasil penelitian di Jurnal Internasional terindeks Scopus

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemodelan Sistem Penyearah dengan Teknik SVPWM.

Membuat Model sistem, yang terdiri dari rangkaian tiga phasa yang dinyatakan oleh tiga buah sumber tegangan yang dihubungkan dengan bintang e_i, tiga impedansi R-L, penyearah tiga phasa dengan PWM kontrol, smoothing kapasitor dan beban, seperti gambar dibawah ini



Gambar 5.1. Model rangkaian konverter AC/DC (penyearah) tiga phasa

Membuat model matematika sistem tersebut diatas dengan menggunakan analisa space vector.

$$\bar{x}(t) = \frac{2}{3}\left[x_a(t) + \alpha.x_b(t) + \alpha^2.x_c(t)\right] \tag{5.1}$$

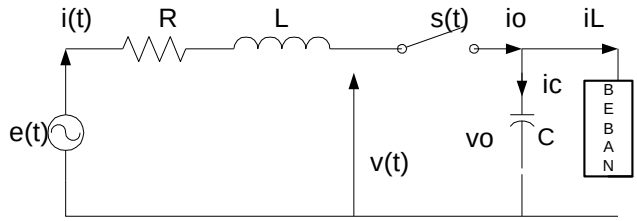
Dimana $\alpha = \exp(j(2\pi/3)$

$x_a(t)$, $x_b(t)$ dan $x_c(t)$ adalah komponen-komponen tiga phasa

Penyearah aktif di modelkan dengan memakai tiga fungsi switching continuous $-1 \le s_k(t) \le 1$ (k=a,b,c) yang didefinisikan space vector penyearah sebagai

$$\bar{s}(t) = \frac{2}{3}\left[s_a(t) + \alpha.s_b(t) + \alpha^2.s_c(t)\right] \tag{5.2}$$

Gambar 5.2. adalah gambar rangkaian ekivalen tiap phasa, sehingga dapat diturunkan persamaan model matematik



Gambar 5.2. Rangkaian ekivalen tiap phasa

$$\bar{v}(t) = \bar{e}(t) - R\bar{i}(t) - L\frac{d.\bar{i}(t)}{dt}$$

$$\bar{v}(t) = \frac{1}{2}\bar{s}(t)v_0(t)$$

$$i_0(t) = \frac{3}{4}\mathrm{Re}\left\{\bar{s}(t)\bar{i}^{+}(t)\right\} \qquad (5.3)$$

$$i_c(t) = C\frac{dv_0(t)}{dt} = i_0(t) - i_L(t)$$

Dengan

$\bar{v}(t)$ space vector tegangan input penyearah (SVM)

$\bar{i}(t)$ space vector arus input penyearah

$\bar{i}^{+}(t)$ konjugasi komplek dari i(t)

$\bar{e}(t)$ space vector dari tegangan input jaringan

$i_0(t)$ arus output penyearah

$i_c(t)$ arus kapasitor

$i_L(t)$ arus beban

$v_o(t)$ Tegangan output (tegangan dc)

Model matematika ditulis dalam bentuk space vektor adalah

$$\frac{dv_0(t)}{dt} = \frac{1}{C}\left\{\frac{3}{4}\mathrm{Re}\left\{\bar{s}(t)\bar{i}^{+}(t)\right\} - i_L(t)\right\} \qquad (5.4)$$

$$\frac{d\bar{i}(t)}{dt} = \frac{1}{L}\left\{-R\bar{i}(t) + \bar{e}(t) - \frac{1}{2}\bar{s}(t)v_0(t)\right\} \qquad (5.5)$$

Persamaan (5.4) & (5.5) menunjukkan bahwa sistem adalah non linier dan tergantung pada vector $\bar{s}(t)$.

5.2 Desain Kendali Logika Fuzzy Arus dan Blok Transformasi

Kendali Logika Fuzzy digunakan untuk kendali arus feedforward berdasarkan pada persamaan (5.5) yang disubstitusi vector switching continuous (s(t)

$$\frac{d\bar{i}(t)}{dt} \cong \frac{1}{L}\left\{-Ri(t) + \bar{e}(t) - \frac{1}{2}\bar{s}(t)v_0(t)\right\}$$

Jika tegangan drop pada tahanan R diabaikan, maka persamaan (5.5) menjadi

$$\frac{d\bar{i}(t)}{dt} \cong \frac{1}{L}\left\{\bar{e}(t) - \frac{1}{2}\bar{s}(t)v_0(t)\right\} \tag{5.6}$$

Jika tegangan sumber adalah

$$\bar{e}(t) = \hat{E}\exp(j\omega t) \tag{5.7}$$

faktor daya yang hampir satu dan arus sinusoidal dapat diperoleh hanya jika arus input steady state dan tegangan input penyearah dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} \bar{i}(t) &= \hat{I}\exp(j\omega t) \\ \bar{v}(t) &= \hat{V}\exp[j(\omega t + \varphi_S)\} \end{aligned} \tag{5.8}$$

Dengan φ_s sudut displacement antara $\bar{e}(t)$ dan $\bar{v}(t)$. Oleh karena itu vektor switching dalam keadaan steady state adalah

$$\begin{aligned} \bar{s}(t) &= \frac{2}{v_o^*}\bar{v}(t) = \frac{2}{v_o^*}\hat{V}\exp[j(\omega t + \varphi_S)] \\ &= \hat{S}\exp[j(\omega t + \varphi_S)] \end{aligned} \tag{5.9}$$

Dengan v_o^* adalah tegangan output reference dan nilai dari $\hat{S}$ dan φ_s dihitung agar terpenuhi keseimbangan daya dan atau arus input-output.

Selama kondisi transient, bila tegangan output $v_0(t)$ berbeda dari v_0^*, magnitude vektor arus input tidak konstan lagi dan vektor referensi nya adalah :

$$\bar{i}^*(t) = \hat{I}^*\exp(j\omega t) \tag{5.10}$$

Ini berarti bahwa $\hat{V}$ dan φ_s tidak dapat konstan dan persamaan (5.9) menjadi

$$\begin{aligned} \bar{s}(t) &= \frac{2}{v_0(t)}\bar{v}(t) = \frac{2}{v_0(t)}\hat{V}(t)\exp[j(\omega t + \varphi_s(t))] \\ &= \hat{S}(t)\exp[j(\omega t + \varphi_s(t))] \end{aligned} \tag{5.11}$$

Dari persamaan (5.6) dan (5.11), bahwa kendali arus feedforward dapat diperoleh dengan memilih $\bar{s}(t)$ sebagai

$$\bar{s}(t) = \hat{S}(t)\exp\{j[\omega t + \varphi_s(t)]\} = \frac{2}{v_0(t)}\left[\bar{e}(t) - L\frac{d\bar{i}(t)}{dt}\right] \tag{5.12}$$

Karena implementasi digital, space vector yang dibutuhkan

$$\bar{e}_n = \hat{E}\exp(j\omega t_n)$$

$$\bar{i}^*_n = \hat{I}_n^* \exp(j\omega t_n) \tag{5.13}$$

$$\bar{s}_n = \hat{S}_n \exp[j(\omega t_n + \varphi_{s,n})] \quad .$$

Dengan $t_n = n\,T_s$ adalah variabel waktu discrete dan T_s adalah periode sampling yang dipilih. Vektor switching s_n dinyatakan sebagai

$$s_n = \frac{2}{v_{0,n}}\left\{e_n - L\frac{\Delta i}{\Delta t}\right\}$$

Karena $\Delta t = t_n - t_{n-1} = nT_s - (n-1)T_s = T_s$

$$\Delta i = \hat{I}_n e^{j\omega t_n} - \hat{I}_{n-1}e^{j\omega t_{n-1}}$$

Sehingga $\dfrac{\Delta i}{\Delta t} = \dfrac{\hat{I}_n e^{j\omega t_n} - \hat{I}_{n-1}e^{j\omega t_{n-1}}}{T_s}$

$$= e^{j\omega t_n}\left(\frac{\hat{I}_n - \hat{I}_{n-1}e^{-j\omega T_s}}{T_s}\right)$$

$$\bar{s}_n = \frac{2}{v_{o,n}}\left(\hat{E}e^{j\omega t_n} - Le^{j\omega t_n}\frac{\left[\hat{I}_n - \hat{I}_{n-1}e^{-j\omega T_s}\right]}{T_s}\right)$$

$$= \frac{2}{v_{o,n}}\left(\hat{E} - \frac{L}{T_s}\left[\hat{I}_n - \hat{I}_{n-1}e^{-j\omega T_s}\right]\right)e^{j\omega t_n} \tag{5.14}$$

Dari persamaan (5.14), pemilihan kecepatan sudut putar dalam frame d-q dan dengan sumbu d lurus dengan vector tegangan jaringan e_n

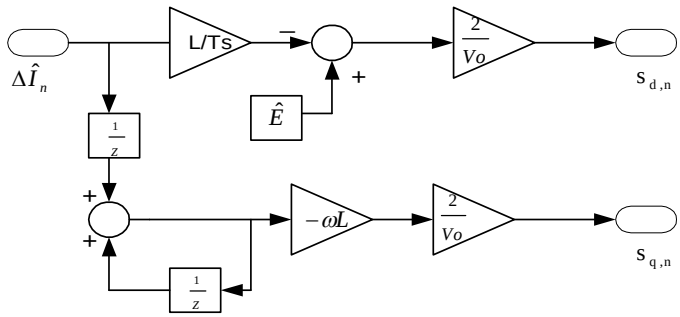
$$s_{n,d} \cong \frac{2}{v_{o,n}}\left(\hat{E} - \frac{L}{Ts}\left(\hat{I}_n - \hat{I}_{n-1}\cos(\omega T_s)\right)\right)$$

$$s_{n,q} \cong \frac{2}{v_{o,n}}(-\omega L\hat{I}_{(n-1)}) \tag{5.15}$$

Jika $\omega_s = (2\pi)/T_s >> \omega$ dan $\omega T_s = (2\pi\omega/\omega_s) \to 0$ maka persamaan (5.15) menjadi

$$s_{n,d} \cong \frac{2}{v_{o,n}}(\hat{E} - \frac{L}{Ts}\Delta\hat{I}_n)$$
$$s_{n,q} \cong \frac{2}{v_{o,n}}(-\omega L\hat{I}_{(n-1)}) \qquad (5.16)$$

Persamaan (5.16) merupakan dasar blok diagram transformasi untuk menghitung vektor switching, dengan gambar blok diagram ada pada Gambar 5.3



Gambar 5.3: Blok Diagram Transformasi Untuk Menghitung Vector Switching

$$\hat{I}_{(n-1)} = \Delta\hat{I}_{(n-1)} + \hat{I}_{(n-2)} \qquad (5.17)$$

Kemudian persamaan (5.16) dapat dinyatakan bahwa

$$s_n = f\left(\Delta\hat{I}_n, \Delta\hat{I}_{(n-1)}\right) \qquad (5.18)$$

Ini jelas menunjukkan bahwa tujuan untuk menghindari vector arus referensi (I_n^*) atau tanpa sensor arus dapat terwujud.

Komponen d dan q dari vektor switching kemudian ditransformasikan kedalam komponen α dan β dalam frame stationer yang digunakan sebagai input logika fuzzy modulasi.

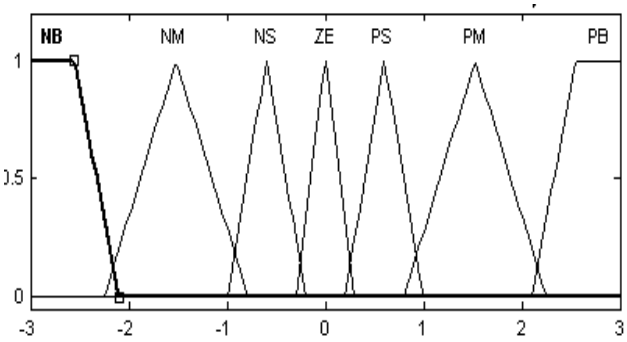
Kendali logika fuzzy berdasarkan pada perubahan tegangan dc (tegangan output) dari nilai referense (Δv_o) dan perubahannya selama waktu sampling (δv_o).

$\Delta v_o = v_{oref} - v_{on}$

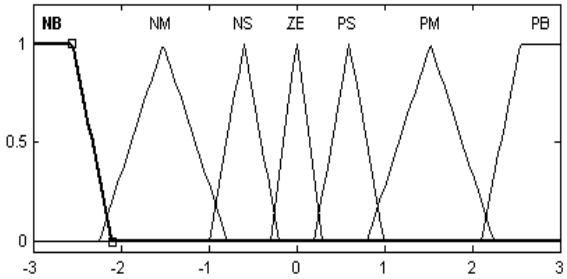
$\delta(\Delta v_o) = v_{on-1} - v_{on}$

Logika fuzzy ini bertujuan meminimalkan Δv_o dengan mengatur amplitudo arus input ($\Delta\hat{I}_n$)

Variabel input logika fuzzy adalah Δv_o dan $\delta(\Delta v_o)$. Fungsi keanggotaan ditampilkan pada Gambar (5.4) dan (5.5)



Gambar 5.4 Fungsi Keanggotaan Δv_o

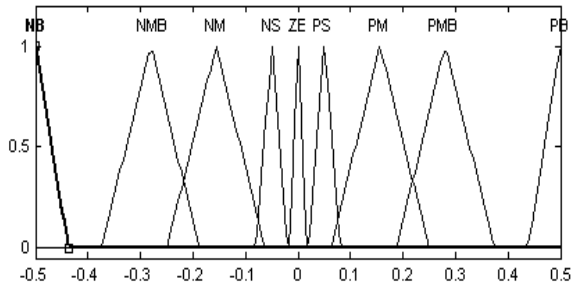


Gambar 5.5. Fungsi Keanggotaan δ (Δv_o)

Aturan logika fuzzy yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 menggunakan metode min-max , sedangkan output logika fuzzy adalah $\Delta\hat{I}_n$ yang ditunjukkan pada Gambar 5.6

Tabel 5.1 Aturan Fuzzy Untuk $\Delta\hat{I}_n$

$\Delta V_0 \rightarrow$ $\delta(\Delta V_0)\downarrow$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NMB	NM	NM	NS	NS	ZE
NM	NMB	NM	NM	NS	NS	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	PS	PS	PS	PM	PMB
PB	ZE	PS	PS	PM	PM	PMB	PB



Gambar 5.6. Fungsi Keanggotaan $\Delta\hat{I}_n$

5.3 Metode SVPWM

Seperti telah disebutkan sebelumnya metode SVPWM adalah membentuk atau mengkodekan sinyal analog menjadi sinyal ON – OFF untuk switching dengan menggunakan space vector.

Pemilihan pola PWM menggunakan vektor switching yaitu komponen d dan q dari vektor switching kemudian ditransformasikan kedalam komponen α dan β dalam frame stationer yang digunakan sebagai input logika fuzzy modulasi.

5.3.1 Menentukan Komponen Vektor Refferensi S_α dan S_β

Dari persamaan (5.16)

$$s_{d,n} \cong \frac{2}{v_{0,n}}(\hat{E} - \frac{L}{Ts}\Delta\hat{I}_n)$$

$$s_{q,n} \cong \frac{2}{v_{0,n}}(-\omega L\hat{I}_{(n-1)})$$

Untuk memperoleh vektor switching refferensi $\bar{s}_n$, persamaan diatas dinyatakan dalam bentuk α dan β (dalam bentuk kompleks)

$$\begin{bmatrix} s_{\alpha,n} \\ s_{\beta,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos wt_n & -\sin wt_n \\ \cos wt_n & \sin wt_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{d,n} \\ s_{q,n} \end{bmatrix}$$

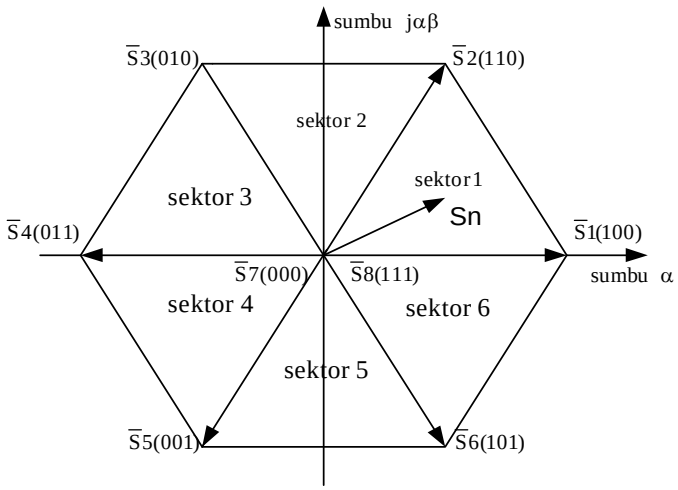
sehingga vektor switching reference dapat dinyatakan dalam bentuk kompleks

$$s_n = s_{ref} = s_{\alpha,n} + js_{\beta,n}$$

Dengan demikian terdapat vektor yang berbeda yang dapat dibuat berdasarkan statenya. State 0 dan state 7 menyatakan vector nol. State 1 – 6 adalah vektor aktif, sehingga keenam vector state aktif tersebut membagi bidang space vektor menjadi enam sektor yang sama.

5.3.2 Menentukan Sektor

Menentukan kedudukan vector switching referensi berdasarkan sektor. Hubungan antara komponen vektor referensi dan sektor dapat ditunjukan dalam Gambar 5.7



Gambar 5.7. Space Vector PWM

Gambar (5.7), menunjukkan space vector switching; dimana vektor-vektor tersebut stasioner artinya tidak berputar menurut waktu sehingga argumen maupun magnitude tidak berubah.

Untuk mempercepat proses pembentukan sektor, s_{ref} atau s_n dibagi menjadi 3 komponen yang sebelumnya sudah dinormalisasi.

$$s_n^{'} = \frac{s_n}{|s_n|} = s_{\alpha,n}^{'} + j s_{\beta,n}^{'} \qquad \rightarrow \qquad \text{vektor normalisasi } s_n$$

$s_n^{'}$ diubah menjadi 3 komponen abc

$$\begin{bmatrix} s'_{a,n} \\ s'_{b,n} \\ s'_{c,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s'_{\alpha,n} \\ s'_{\beta,n} \end{bmatrix}$$

atau $s'_{a,n} = \cos(\varphi_n)$

$$s'_{b,n} = \cos(\varphi_n - 2\pi/3) \qquad (5.19)$$

$$s'_{c,n} = \cos(\varphi_n - 4\pi/3)$$

Dengan $\varphi_n = \omega t_n + \varphi_{s,n}$

$= \omega..nTs + \varphi_{s,n}$

Untuk menentukan posisi sektor dengan memperhatikan tanda dari $s_{ab,n}$, $s_{bc,n}$ dan $s_{ca,n}$, dapat dilihat pada Tabel (5.2.)

$$S_{ab,n} = S'_{a,n} - S'_{b,n} = \cos(\varphi_n) + \cos(\varphi_n + \pi/3)$$

$$S_{bc,n} = S'_{b,n} - S'_{c,n} = \sqrt{3}\sin(\varphi_n) \qquad (5.20)$$

$$S_{ca,n} = S'_{c,n} - S'_{a,n} = -\sin(\varphi_n + \pi/6) - \cos(\varphi_n)$$

Sudut φ_n dapat diperoleh dari persamaan (5.21)

$$\varphi_n = \arcsin\left(\frac{S_{bc,n}}{\sqrt{3}}\right) \qquad (5.21)$$

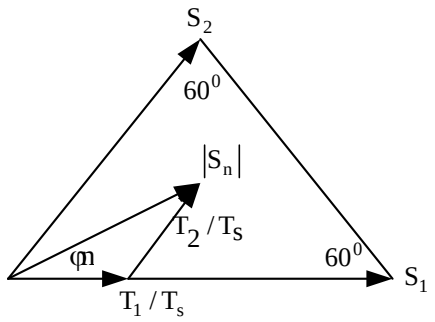
Tabel (5.2) Evaluasi sektor S_n

Sektor	(S_{ab})	(S_{bc})	(S_{ca})
$0^0 < \varphi_n < 60^0$	+	+	-
$60^0 < \varphi_n < 120^0$	-	+	-
$120^0 < \varphi_n < 180^0$	-	+	+
$180^0 < \varphi_n < 240^0$	-	-	+
$240^0 < \varphi_n < 300^0$	+	-	+
$300^0 < \varphi_n < 360^0$	+	-	-

5.3.3 Menghitung Waktu State Aktif (T_m dan T_{m+1}) dan waktu State nol (T_0)

Dalam setiap periode sampling terdapat 2 state aktif yaitu state m dan state m+1 selain state nol. Menghitung waktu state adalah melakukan proses perhitungan lama waktu dari state-state yang aktif dan state nol.

Untuk melakukan proses perhitungan lamanya waktu dari state-state yang aktif dan state nol, yaitu dengan memperhatikan segitiga pada sector I.



Gambar 5.8. Menentukan Waktu State Aktif pada Sektor I

Dalam implementasi digital waktu state 1 ($T_{1,n}$) dan waktu state 2 ($T_{2,n}$), dapat diperoleh dengan memperhatikan hubungan berikut :

$$\frac{T_{1,n}/T_s}{\sin(\pi/3-\varphi_n)} = \frac{T_{2,n}/T_s}{\sin\varphi_n} = \frac{|S_n|}{\sin 2\pi/3}$$

$$\frac{T_{1,n}/T_s}{\sin(\pi/3-\varphi_n)} = \frac{|S_n|}{\sin 2\pi/3} \quad , \text{ maka } \quad \frac{T_{1,n}}{T_s|S_n|} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin(\pi/3-\varphi_n) = \frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n+\pi/6)$$

$$\frac{T_{2,n}/T_s}{\sin\varphi_n} = \frac{|S_n|}{\sin 2\pi/3} \quad , \text{ maka } \quad \frac{T_{2,n}}{T_s|S_n|} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi_n = \frac{S_{bc,n}}{2} \qquad (5.22)$$

Untuk sektor-sektor yang lain, untuk menghitung $T_{2,n}$ ada pada Tabel berikut :

Tabel (5.3) Menentukan Waktu $T_{2,n}$ pada Semua Sektor

	I	II	III	IV	V	VI
$\frac{T_{2,n}}{T_s\lvert S_n\rvert}$	$\frac{S_{bc,n}}{2}$	$-\frac{S_{ab,n}}{2}$	$\frac{S_{ca,n}}{2}$	$-\frac{S_{bc,n}}{2}$	$\frac{S_{ab,n}}{2}$	$-\frac{S_{ca,n}}{2}$

Sedang untuk menghitung $T_{1,n}$ menggunakan cos dalam perhitungan untuk setiap siklus modulasi, seperti dalam tabel berikut :

Tabel (5.4) Menentukan Waktu $T_{1,n}$ pada Semua Sektor

Sektor	I	II	III
$\frac{T_{1,n}}{T_s\lvert S_n\rvert}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-\pi/6)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-11\pi/6)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-3\pi/2)$
	IV	V	VI
$\frac{T_{1,n}}{T_s\lvert S_n\rvert}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-7\pi/6)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-5\pi/6)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi_n-\pi/2)$

Dalam melakukan proses perhitungan $T_{1,n}$ digunakan fungsi trigonometri , hal ini tentu saja memerlukan waktu relatif lama dibanding dengan waktu yang tersedia, sebab waktu proses perhitungan dari transformasi tegangan sampai pembentukan pulsa-pulsa tidak boleh melebihi periode sampling.

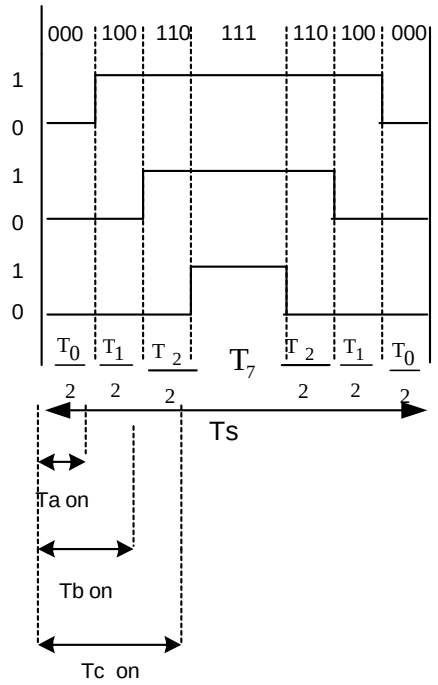
Jadi untuk mengatasi permasalahan ini digunakan logika fuzzy modulasi yang mempunyai implementasi sederhana dan dapat mengatasi non linieritas dari penyearah.

Menentukan waktu $T_0 = T_s - T_{1,n} - T_{2,n}$ yang digunakan untuk waktu OFF bagi penyearah. Jadi dalam setiap periode sampling terdapat dua state yang diaktifkan yaitu state m dan m+1.

Dari waktu-waktu $T_{1,n}$, $T_{2,n}$ dan T_0 , maka dapat ditentukan kombinasi saklar-saklar mana yang harus diaktifkan sesuai dengan statenya dan lamanya waktu state-state aktif dan state nol.

5.3.4 Menentukan Step

Penentuan step yang digunakan adalah Symmetric Sequence, urutan keaktifan state dimulai dengan state 7, dengan durasi waktu $T_0/4$, state 1 dengan durasi waktu $T_1/2$, state 2 dengan durasi $T_2/2$, state 7 dengan durasi $T_0/2$, state 2 dengan durasi $T_2/2$, state 1 dengan durasi $T_1/2$, dan berakhir pada state nol dengan durasi $T_0/4$. Dalam satu periode sampling terdapat 7 step. Gambar (5.9) menunjukkan urutan state dari 1 sampai 7 yang muncul secara periodic



Gambar 5.9 Diagram Keaktifan State Urutan Simetri

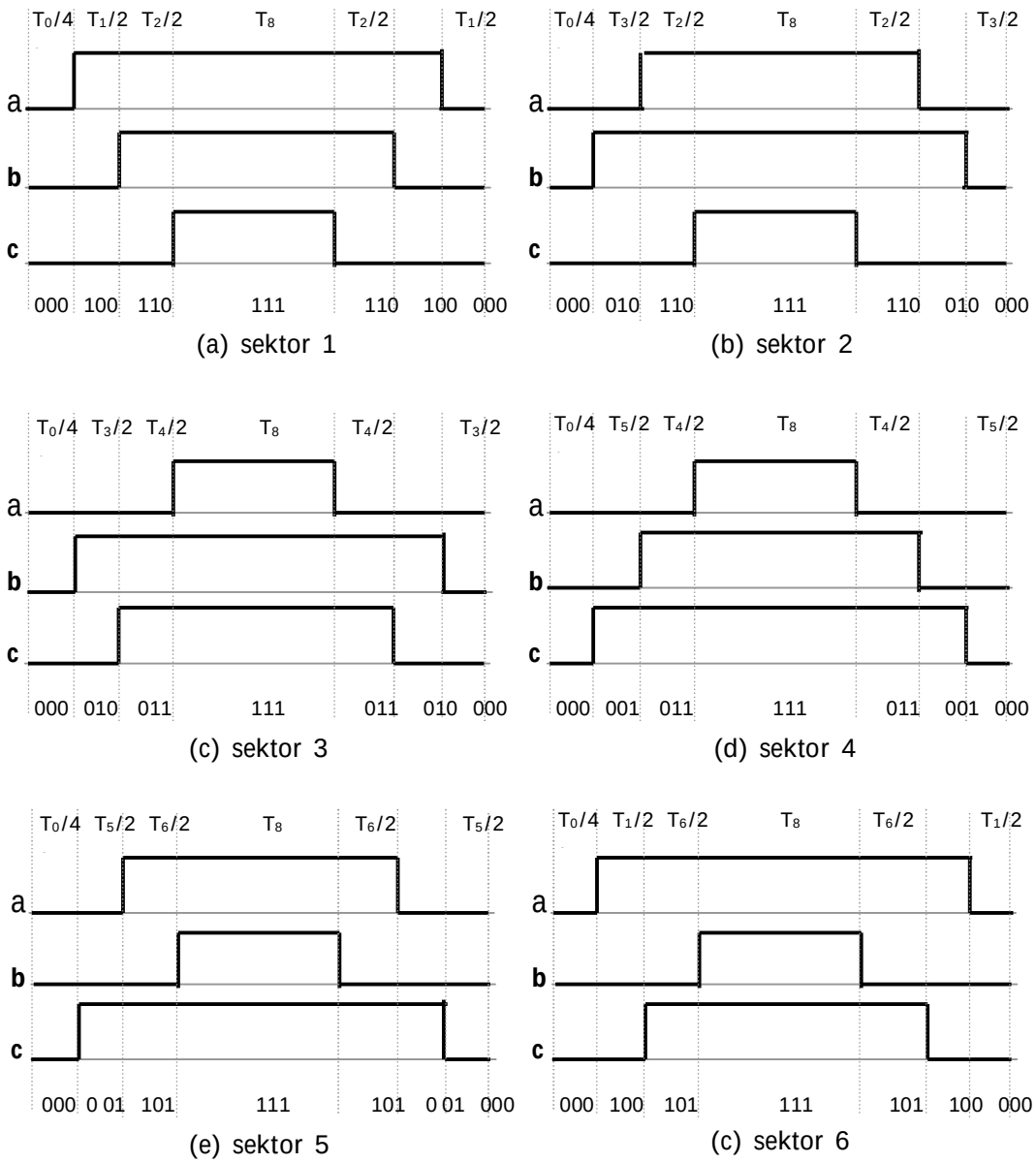
Pada metode ini urutan sinyal dimulai dari state nol [0 0 0] dengan waktu $T_0/4$, state 1 [1 0 0] dengan waktu $T_1/2$, state 2 [1 1 0] dengan waktu $T_2/2$, state nol [1 1 1] dengan

waktu T_8 yang sama dengan waktu T_o dan seterusnya sebagaimana terlihat pada Gambar 3.12.

Ketiga sinyal pada Gambar 5.10 menyatakan saat-saat ON dan OFF dari saklar-saklar a, b dan c. Saklar a akan ON (yang juga berarti saklar a' OFF) pada saat t = Ta on yang dihitung dari permulaan waktu periode sampling.

Saklar b akan ON dimulai pada saat t = Tb on dan saklar c ON pada t = Tc on. Sedang waktu buka (OFF) dari saklar a adalah t = Toff = Ts – T on

Dalam waktu (timing diagram) untuk saklar-saklar a , b , c dari penyearah dapat dilukiskan sebagaimana terlihat pada Gambar 5.10. Sedang waktu ON dari saklar-saklar yaitu Ta on , Tb on , Tc on pada sector I sampai sector VI dinyatakan pada Tabel 5.5.



Gambar 5.10 Diagram Waktu Saklar a,b, dan c dari Penyearah

Tabel 5.5 Waktu-waktu Saklar Penyearah SV PWM

SEKTOR	Ta_{ON}	$T_{b\ ON}$	$T_{C\ ON}$
1	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_1}{2}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_1}{2}+\frac{T_2}{2}$
2	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_2}{2}$	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_3}{2}+\frac{T_2}{4}$
3	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_3}{2}+$	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_3}{2}$
4	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_5}{2}+$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_5}{2}$	$\frac{T_0}{4}$
5	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_5}{2}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_5}{2}$	$\frac{T_0}{4}$
6	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_1}{2}$	$\frac{T_0}{4}+\frac{T_1}{2}$

5.3.5 Membangkitkan Sinyal PWM

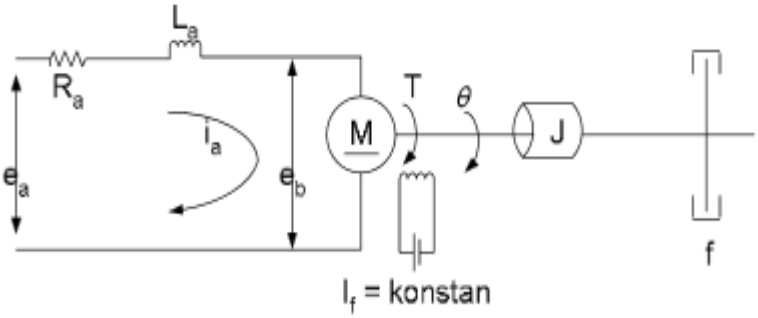
Membangkitkan sinyal PWM yang merupakan kombinasi state berdasarkan sektor dari posisi vektor referensi dan stepnya. Tabel (5.5) menunjukkan kombinasi state untuk sector m dan step n.

Tabel 5.6 Kombinasi state untuk sector m dan step n

Sektor	1	2	3	4	5	6
Step1	000	000	000	000	000	000
Step2	100	010	001	001	100	010
Step3	110	011	011	101	101	110
Step4	111	111	111	111	111	111
Step5	110	011	011	101	101	110
Step6	100	010	001	001	100	010
Step7	000	000	000	000	000	000

5.4 Beban Motor DC

Beban yang digunakan dalam pemodelan ini adalah Motor DC dengan magnet permanen (Pengontrolan Jangkar)



Gambar 5.11 Diagram skematik motor dc dengan pengontrolan jangkar

Mengatur Kecepatan Motor DC Magnet Permanen

Berdasarkana persamaan di bawah ini :

$$e_b = C \phi \omega_m$$

Keterangan : e_b = gaya gerak listrik lawan (V)

C = konstanta

ω_m = kecepatan putaran motor (rps)

ϕ = fluks magnet (Wb)

Karena ϕ dijaga konstan, maka

$$e_b = K_m \omega_m \tag{5.23}$$

Keterangan : K_m = Konstanta Torsi Motor

Persamaan Rangkaian jangkar

$$e_a = e_b + I_a R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} - \tag{5.24}$$

Keterangan : e_a = Tegangan Terminal (V_{dc})

I_a = Arus jangkar (A)

R_a = tahanan jangkar (Ω)

L_a = Kumparan Jangkar (H)

Arus jangkar menghasilkan torsi yang bekerja terhadap momen inersia dan gesekan, sehingga

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = T = KI_a \tag{5.25}$$

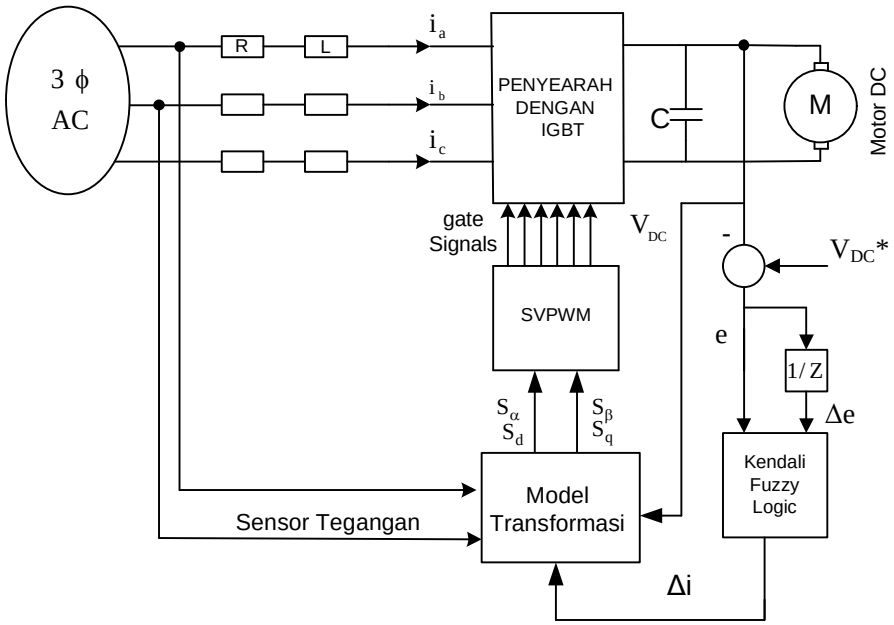
Transformasi Laplace dari persamaan (5.23) , (5.24) dan (5.25) diperoleh Persamaan state variabel sebagai berikut :

$$SI_a(s) = -\frac{R_a}{L_a} I_a(s) - \frac{K_m}{L_a}\omega_m(s) + \frac{1}{L_a} V_a(s)$$

$$S\omega_m(s) = \frac{K_m}{J} I_a(s) - \frac{B}{J}\omega_m(s)$$

5.5 Hasil Simulasi

Sistem pengaturan penyearah menggunakan logika fuzzy yang dikembangkan dalam penelitian ini diperoleh nilai THD (Total Harmonic Distortion) rendah, Pf (Fakdor daya) mendekati satu dan tegangan DC yang stabil bervariasi untuk pengaturan kecepatan motor DC. Blok Diagram dari sistem ditunjukkan dalam Gambar 5.12 dibawah ini :



Gambar 5. 12 Blok Diagram Penelitian Tahun I

Sistem penyearah menggunakan kendali logika fuzzy disimulasi menggunakan Laptop dengan program Matlab, Simulink, Mfile dan fuzzy logic toolbox.

Dalam melakukan simulasi diasumsikan :

a. Tegangan input 3 phasa sinusoida dan simetri.
b. Switch ideal
c. Sensor / transducer ideal

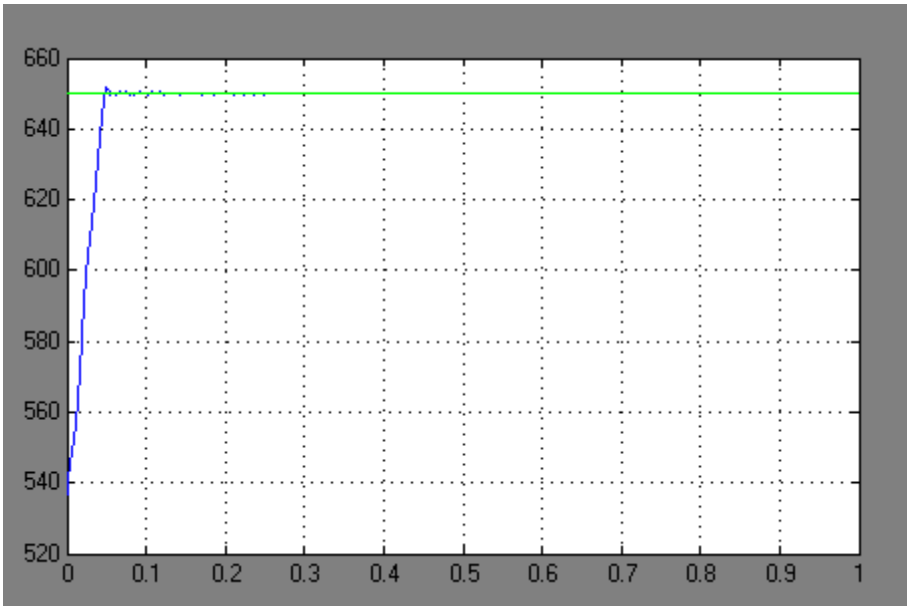
Tujuan dari simulasi ini adalah untuk memperoleh kinerja sistem yang paling baik dengan mengedepankan tujuan utama, yaitu :

- THD rendah
- Unity Power Factor (faktor daya mendekati satu)
- Tegangan DC stabil bervariasi untuk pengaturan kecepatan motor DC

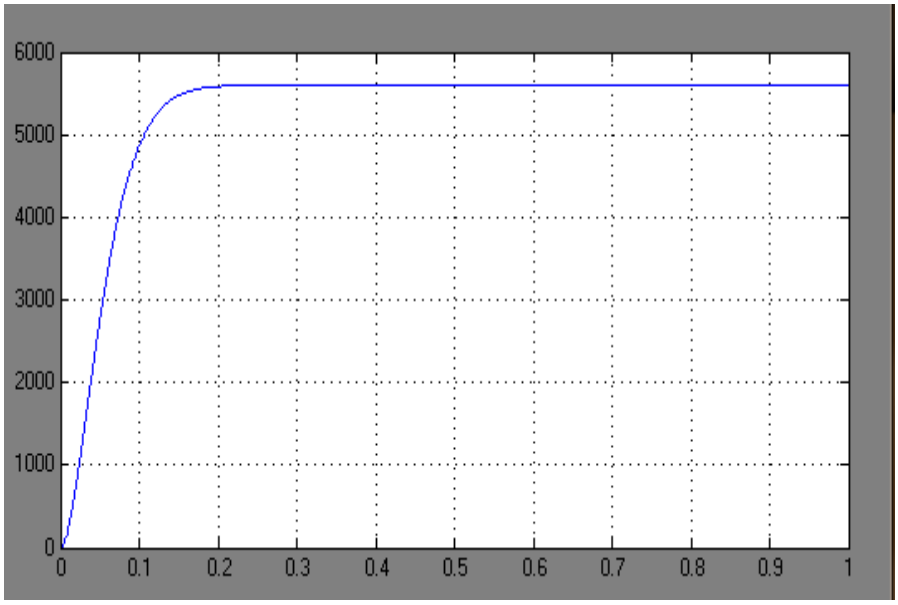
Tuning sistem :

Tahanan Jaringan (R)	0.3 [Ω]
Induktor Jaringan (L)	8 [mH]
Kapasitor (C)	1000 [μF]
Tegangan sumber (rms) (E)	220 [V]
Frekwensi Jaringan (f)	50 [Hz]
Tegangan DC ref.	650 [V]
Frekwensi sampling / switching (f_{sw})	9 [kHz]

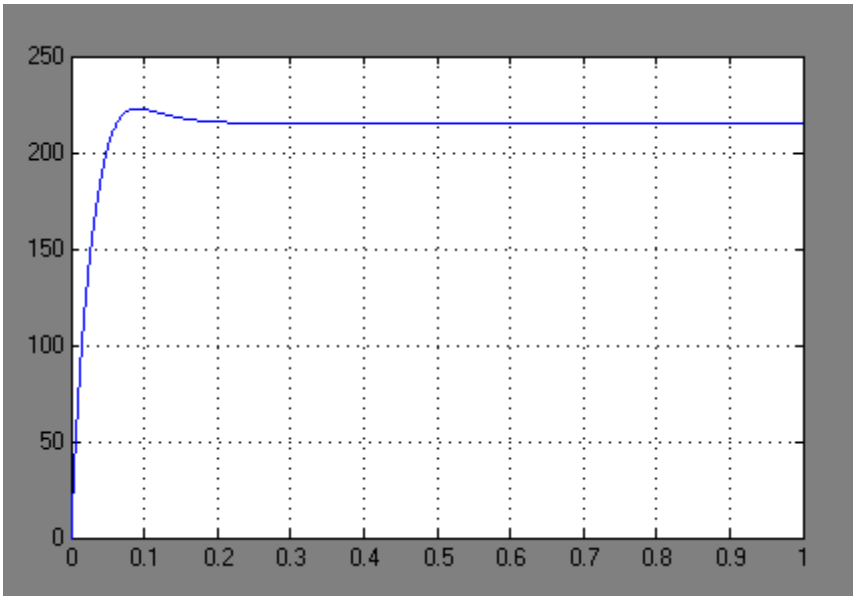
Beberapa hasil simulasi yang ditunjukkan oleh penyearah dengan pengaturan Fuzzy diantaranya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.13, 5.14 dan 5.15. Respon Tegangan DC dengan nilai referensi Vdc = 650 volt menunjukkan respon tegangan DC stabil pada saat t = 0,05 detik dengan THD arus jaringan = 3,856 (THD ≤ 5 %) , PF = 0,9984 (Fakdor daya mendekati satu) seperti terlihat pada Gambar 5.13. Tegangan DC yang dihasilkan tidak mengalami overshoot dan riak yg dihasilkan sangat kecil. Kecepatan motor DC yang dihasilkan (ω_m = 5600 rpm) stabil pada saat t = 0.15 detik yang terlihat pada Gambar 5.14. Arus I_a (arus jangkar) menunjukkan angka 215,2 Ampere (ada pada Gambar 5.15)



Gambar 5.13 Respon Tegangan DC dengan Vdc referens = 650 volt pada kondisi normal



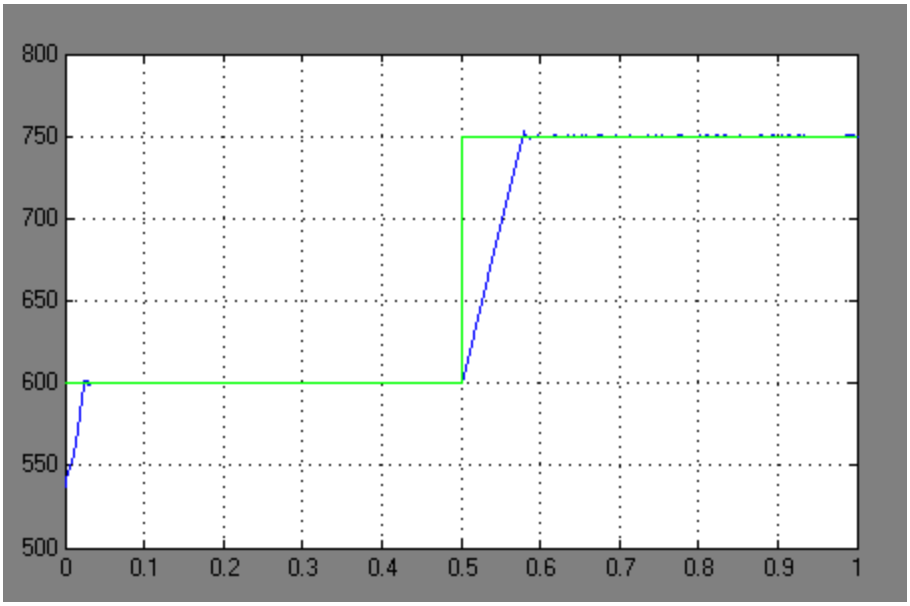
Gambar 5.14 Respon kecepatan motor DC pada Vdc = 650 volt



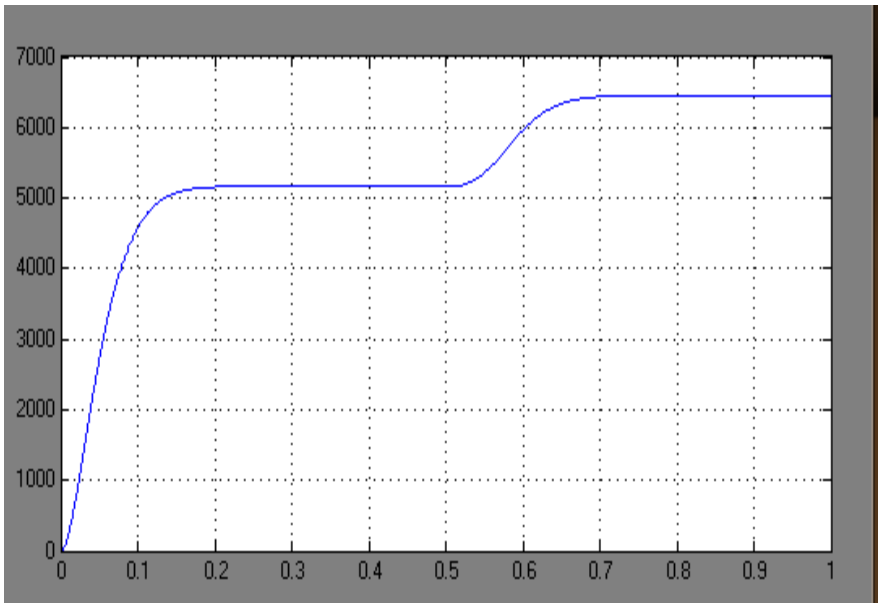
Gambar 5.15 Arus Jangkar pada Vdc = 650 Volt

Untuk kondisi pengoperasian gangguan (disturbance), tegangan Vdc tiba-tiba berubah dari 600 Volt DC pada saat t = 0,5 detik menuju 750 volt DC seperti pada Gambar 5.16. Perubahan tegangan DC ini akan menyebabkan kecepatan putar motor akan berubah dari 5160 pada saat t = 0,5 detik menjadi 6450 pada saat t > 0,5 detik. THD yang dihasilkan masih berada pada range yang diizinkan oleh IEEE sebesar 4,112 dan Fakdor daya = 0,9976. Kecepatan putar motor menunjukkan kondisi yang stabil berada pada kisaran 5160 menuju

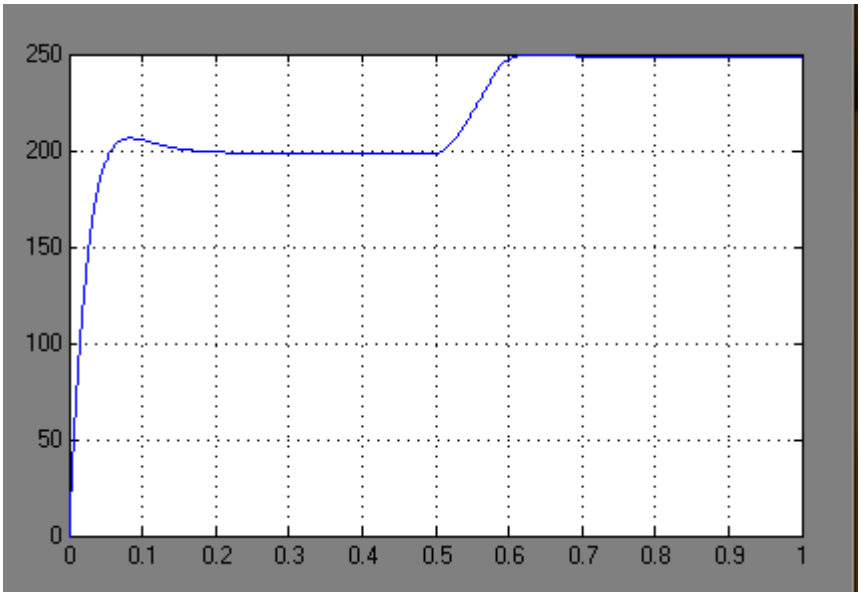
6450 rpm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.17. Adapun Arus I_a (arus jangkar) menunjukkan angka 200 menju 250 Ampere (ada pada Gambar 5.18)



Gambar 5.16 Respon Tegangan DC dengan Vdc pada kondisi gangguan



Gambar 5.17 Respon kecepatan motor DC pada kondisi gangguan



Gambar 5.18 Arus Jangkar pada pada kondisi gangguan

BAB VI
RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

Hasil penelitian dalam laporan kemajuan ini masih 75 % dan untuk melanjutkan 25 % sisanya, maka perlu dilakukan beberapa tahapan kegiatan antara lain :

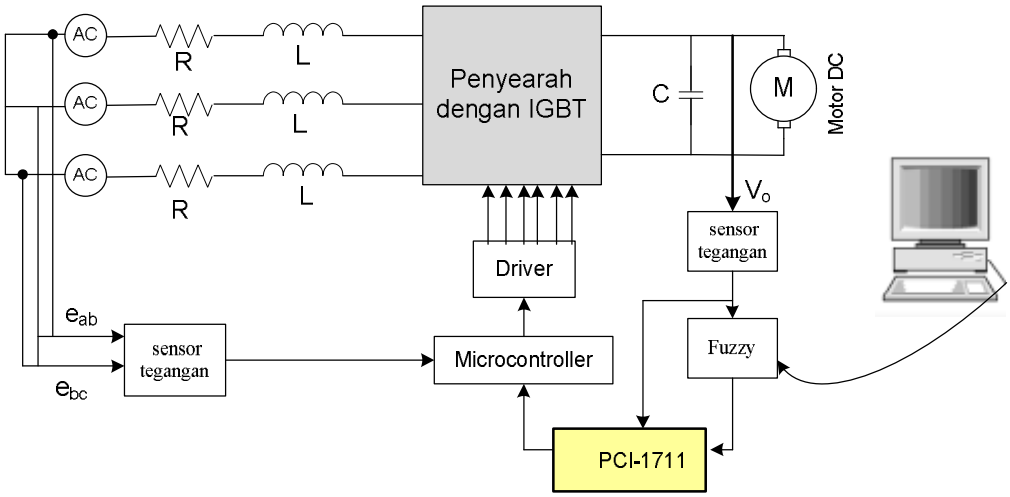
1. Menyelesaikan jurnal yang akan dikirim pada jurnal internasional terindeks scopus
2. Melakukan diskusi dengan tim peneliti dan pakar di bidang penyearah dan pengendalian logika fuzzy serta pengetahuan tentang motor DC sehingga tahap penelitian di Tahun II dapat berjalan lancar

6.1 Kegiatan-kegiatan Penelitian Tahun II

Pada penelitian tahun II akan dilakukan kelanjutan pengujian di laboratorium dari hasil pada tahun I. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari model penyearah dengan kendali fuzzy secara real time. Gambar 3.4. menunjukkan diagram yang diperlukan untuk pengujian pada kendali fuzzy sebagai kendali lanjut pada penyearah untuk kecepatan motor DC. Tahapan-tahapan yang akan dilakukan antara lain :

1. **Pengujian penyearah dengan metode SVPWM dan kendali fuzzy**

   Pada pengujian ini diperlukan pembuatan penyearah tiga fasa dengan komponen saklar berupa komponen IGBT dilengkapi dengan driver tegangan tinggi kemudian dihubungkan dengan tegangan AC tiga fasa dari PLN sebagai sisi masukan dan pada sisi keluaran dihubungkan dengan kapasitor. Kemudian metode pensaklaran digunakan metode SVPWM yang tersimpan pada mikrokontroller.



Gambar 6.1. Diagram Pengujian

Kemudian dilanjutkan dengan menggabungkan penyearah tersebut dengan kendali Fuzzy yang tersimpan pada komputer dalam program Matlab melalui peralatan interface (PCI-6221-NI) dan dirangkai membentuk rangkaian sistem penyearah berbasis kendali Fuzzy sebagai penghasil tegangan DC stabil bervariasi dan THD rendah. Pada tahap ini dapat dilakukan pengamatan pada variabel tegangan DC pada sisi output penyearah dan THD arus pada sisi jaringan.

2. **Pengujian dengan beban Motor DC**

   Pada tahap ini dilakukan pengujian pada penyearah dengan kendali fuzzy diberi beban motor DC dan dilakukan pengamatan pada kecepatan motor DC dengan tegangan DC bervariasi.

3. **Pengujian dan analisa sistem**

   Hasil pengujian secara real time dibandingkan dengan hasil simulasi sistem pada tahun I dan kemudian di analisa. Analisa sistem yang diusulkan didasarkan pada nilai THD dan tegangan DC stabil bervariasi.

4. **Publikasi Ilmiah hasil penelitian**

   Pada tahap ini dibuat karya ilmiah untuk mempublikasikan hasil-hasil penelitian yang telah diperoleh pada seminar nasional internasional atau jurnal nasional/internasional.

6.2 Indikator Luaran Yang Dicapai Tahun II

Luaran penelitian yang diharapkan pada tahun kedua ini adalah dihasilkan hasil pengujian secara real time pada penyearah dengan kendali fuzzy sebagai pengatur kecepatan motor DC dan publikasi hasil-hasil penelitian ini di seminar nasional/internasional atau jurnal nasional/internasional.

6.3 Jadwal Penelitian Tahun II

No.	Kegiatan	Bulan ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Uji Laboratorium Penyearah Dengan Teknik SVPWM										
2.	Uji Laboratorium Penyearah dengan Kendali Fuzzy										
3.	Uji Laboratorium Penyearah dengan Kendali Fuzzy untuk mengatur Kecepatan Motor DC										
4.	Pengujian dan analisa sistem										
5.	Publikasi ilmiah hasil penelitian										
6.	Pelaporan kegiatan penelitian tahun II										

BAB VII
KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sistem penyearah menggunakan metode kendali lanjut (kendali Logica Fuzzy) untuk menghasilkan tegangan DC stabil dengan riak kecil dan bervariasi sehingga dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC. Kendali logika fuzzy digunakan untuk mengendalikan arus jaringan sehingga diperoleh THD (Total Harmonic Distortion) rendah, fakdor daya mendekati satu dan menjaga kondisi tegangan DC tetap stabil walaupun kecepatan motor DC berubah-ubah. Pengembangan penyearah ini bertujuan untuk menghasilkan suatu model penyearah yang dapat dimanfaatkan didunia industri khususnya untuk mengatur kecepatan motor DC

Simulasi pada penyearah sebagai pengatur kecepatan motor DC dilakukan pada kondisi normal dan kondisi kecepatan motor DC berubah-ubah (kondisi gangguan). Berdasarkan hasil simulasi pada saat kondisi normal dan gangguan diperoleh :

1. Pada saat kondisi normal, Respon Tegangan DC dengan nilai referensi Vdc = 650 volt menunjukkan respon tegangan DC stabil pada saat t = 0,05 detik dengan THD arus jaringan = 3,856 (THD ≤ 5 %) , PF = 0,9984 (Fakdor daya mendekati satu) dan menghasilkan Kecepatan motor DC (ω_m = 5600 rpm) stabil pada saat t = 0.15 detik tanpa mengalami overshoot.
2. Untuk kondisi pengoperasian gangguan (disturbance), tegangan Vdc tiba-tiba berubah dari 600 Volt DC pada saat t = 0,5 detik menuju 750 volt DC. Perubahan tegangan DC ini akan menyebabkan kecepatan putar motor akan berubah dari 5160 pada saat t = 0,5 detik menjadi 6450 pada saat t > 0,5 detik. THD yang dihasilkan masih berada pada range yang diizinkan oleh IEEE sebesar 4,112 dan Fakdor daya = 0,9976. Kecepatan putar motor menunjukkan kondisi yang stabil berada pada kisaran 5160 menuju 6450 rpm. Adapun Arus I_a (arus jangkar) menunjukkan angka 200 menju 250 Ampere.
3. Model penyearah yang dihasilkan tanpa menggunakan sensor arus jaringan (sensorless) sehingga akan mengurangi biaya dalam implementasi

7.2 Saran

Dari hasil kemajuan pelaksanaan penelitian pada tahun I, peneliti menyampaikan beberapa saran antara lain :

1. Melanjutkan penelitian tahun pertama sampai dengan 100% sesuai tahapan berikutnya
2. Berdasarkan hasil laporan kemajuan penelitian tahun pertama, penelitian tahun kedua dapat dilanjutkan dengan melakukan pengujian penyearah dengan kendali Logika Fuzzy di laboratorium . Sehingga model penyearah ini dapat dimanfaatkan nantinya di industri sebagai pengatur kecepatan motor DC dan sebagai sumber DC yang stabil dapat dimanfaatkan pada renewable energi.

DAFTAR PUSTAKA

K. Vinoth Kumar, Prawin Angel Michael, Joseph P. John And Dr. S. Suresh Kumar (2010), "Simulation And Comparison Of Spwm And Svpwm Control For Three Phase Inverter", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, ISSN 1819-6608

A.E. Leon, J.A. Solsona, M.I. Valla (2009), "Exponentially convergent estimator to improve performance of voltage source converters", IET Power Electron., 2010, Vol. 3, Iss. 5, pp. 668–680.

Masoud Hajihashemi, Ali Nazeran Motlagh (2009), "Improved 3-phase PWM Boost Rectifiers in Unbalanced Network by Fuzzy Controller", The International Conference on Electrical Engineering

Dong-Eok Kim, Dong-Choon Lee (2007), "Feedback Linearization Control of Three-Phase AC/DC PWM Converters with LCL Input Filters", The 7th International Conference on Power Electronics.

S. Venkateshwarlu, B. P. Muni, A. D. Rajkumar, and J. Praveen, (2008) "Direct Power Control Strategies for Multilevel Inverter Based Custom Power Devices", World Academy of Science, Engineering and Technology 39

Mariusz Malinowski and Marian P. Kazmierkowski, (2004),"Control of Three-Phase PWM Rectifier – A Comparative Review", IEEE Industrial Electronics Society Newsletter Issn 0746-1240 Vol. 51, No. 1

M. Sc. Mariusz Malinowski, (2001), "Sensorless Control Strategies for Three - Phase PWM Rectifiers", Ph.D. Thesis Warsaw University of Technology Faculty of Electrical Engineering Institute of Control and Industrial Electronics.

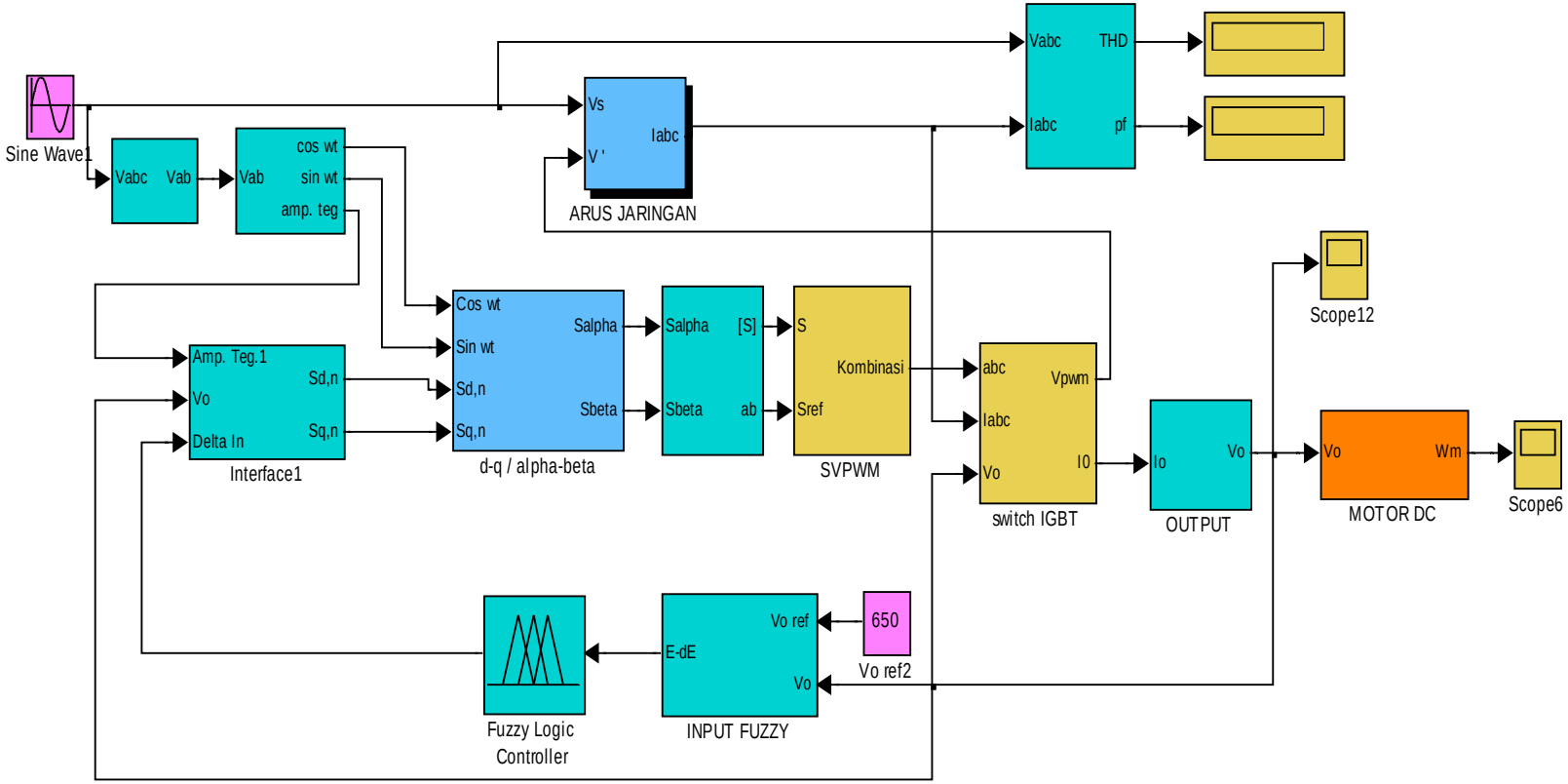
Michał KnapczyK, Krzysztof Pienkowski, (2007) "High-Performance Decoupled Control Of PWM Rectifier With Load Compensation", Politechniki Wrocławskiej Nr 60 Studia i Materiały Nr .

Joseph Jawhar. S , Dr. N.S. Marimuthu, Albert Singh. N, (2006)," An Neuro-Fuzzy Controller for a Non Linear Power Electronic Boost Converter", IEEE

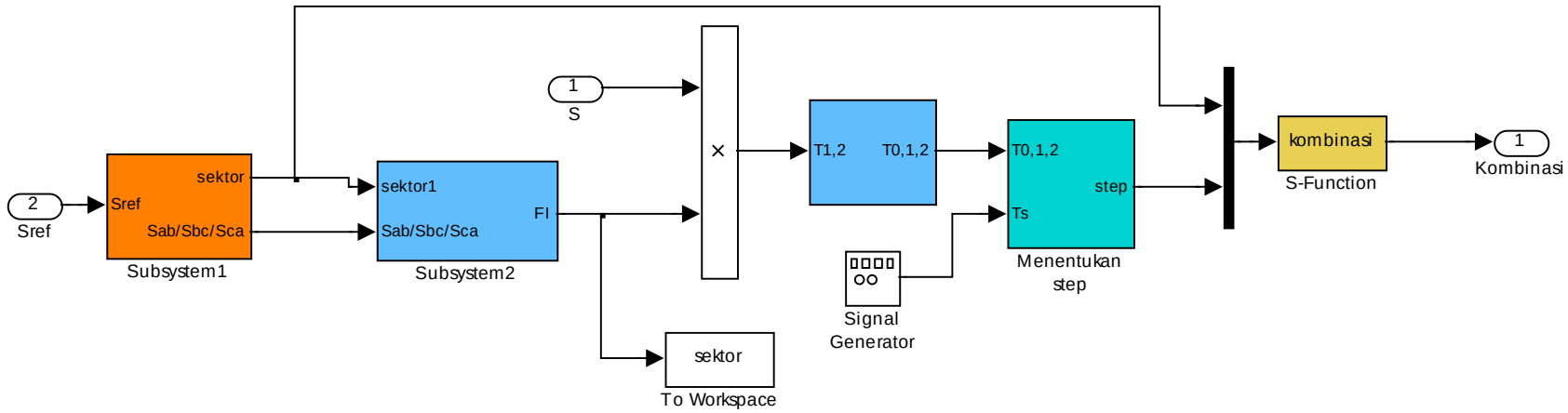
Vilathgamuwa, D.M.; Jayasinghe, S.D.G., (2012), "Rectifier systems for variable speed wind generation", IEEE Conference Publications.

LAMPIRAN – LAMPIRAN

MODEL PENYEARAH BERBASIS KENDALI CERDAS UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC



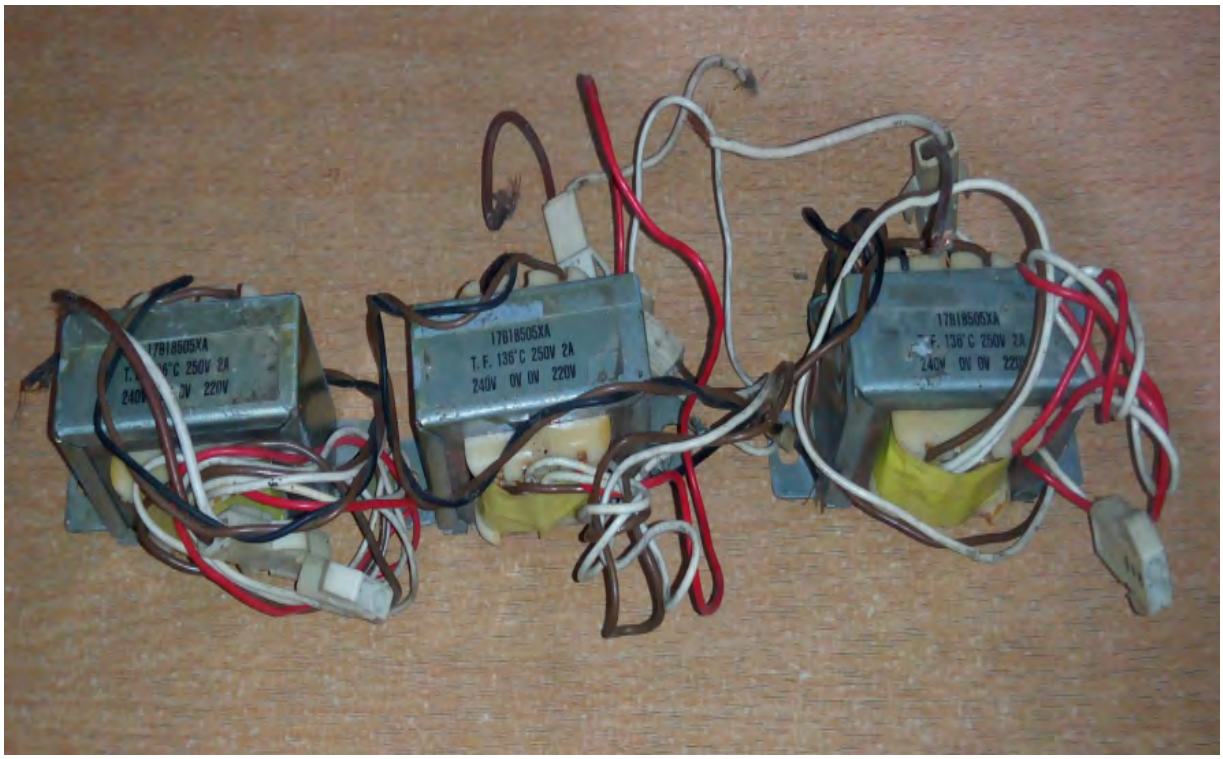
MODEL SPACE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION (SVPWM)



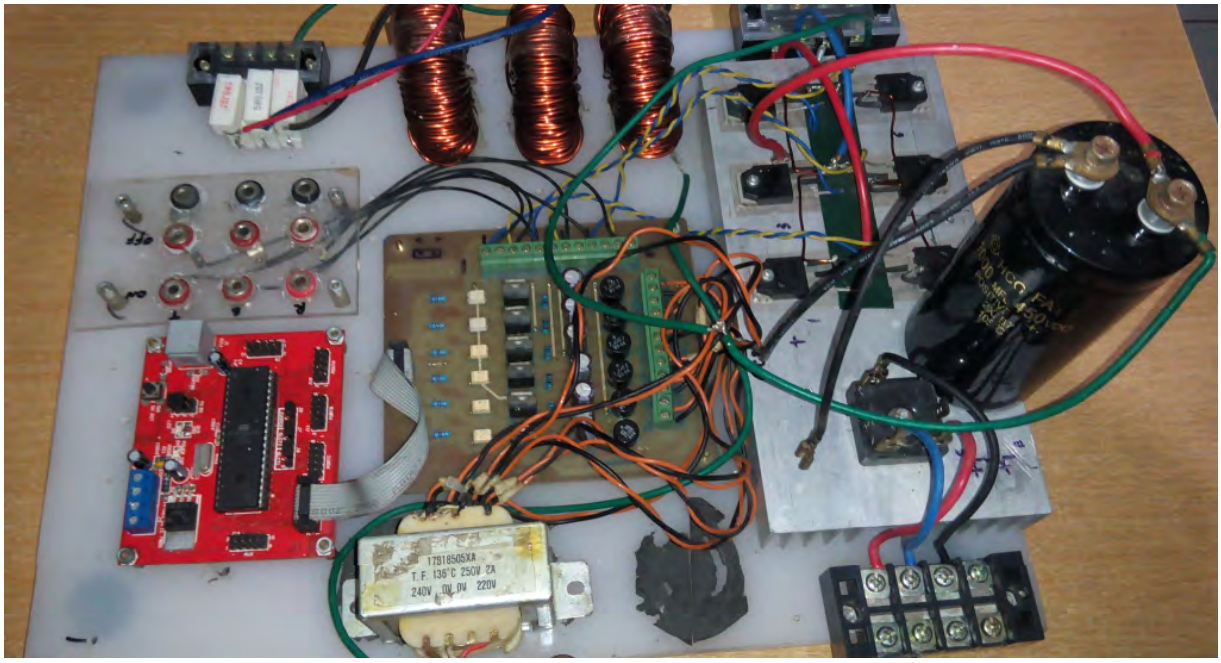
GAMBAR 1. MOTOR DC 220 VOLT DC

GAMBAR 2. BATERAI LAPTOP DELL

GAMBAR 3. PCI – 6221-NI



GAMBAR 4. TRAFO TIGA PHASA



GAMBAR 5. KOMPONEN-KOMPONEN DAN MIKROKONTROLLER

Cetak - Tutup Jendela - Klik Lebihnya pada bagian bawah email untuk mencetak pesan tunggal

Judul: [IREMOS] Submission Acknowledgement
Dari: Editorial Staff (editorialstaff@praiseworthyprize.com)
Kepada: sdhbaisa61@yahoo.com;
Tanggal:Rabu, 28 Oktober 2015 11:27

saidah baisa:

Thank you for submitting your manuscript entitled "High Performance of PWM Voltage Source Converter Using Fuzzy Logic for Adjustable Speed Dc Motor" to our journal International Review on Modelling and Simulations (IREMOS).

With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL:
http://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=iremos&page=author&op=submission&path[]=7751
Username: saidah_120661

and clicking on My Journals->Active submissions.

With this submission the review process starts.
According to the review procedures, your proposal will be send to the Editor-in-Chief that, after evaluated the publication suitability of the paper, will indicate three reviewers for a full evaluation.
More info regarding the review process can be found at the following link:
http://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=iremos&page=about&op=editorialPolicies#peerReviewProcess

If you have any questions, please don't hesitate to contact me. In all the correspondence please indicate in the subject of your e-mail the identification number of the paper that is Id 7751.

Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Best regards,

Editorial Staff
International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)

PRAISE WORTHY PRIZE
PUBLISHING HOUSE
Editorial Staff
editorialstaff@praiseworthyprize.com

++++++++++++++++++++++ ATTENTION ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
This e-mail is directed uniquely to the interested party,
which is the exclusive addressee of any information contained herein.
For any abuse about the content of this message,
Praise Worthy Prize will claim compensation for damages occurred to third
parties as well.
In case the e-mail should be addressed to other than you, or the content
should reveal
any transmission errors or manipulations, please contact us
at the following address: info@praiseworthyprize.com

High Performance of PWM Voltage Source Converter Using Fuzzy Logic for Adjustable Speed Dc Motor

Saidah[1], Bambang Purwahyudi[2], Kuspijani[3]

Abstract – *The speed of a DC motor can be controlled by varying the voltage applied to the terminal. These can be done by controlling a PWM-VSC. This paper analyzes an advanced control of PWM-VSC using fuzzy logic for adjustable speed dc motor. The system applies switch function of time as the input of control strategy, instead of current and voltage in d-q frame. The fuzzy logic controller aims to obtain a DC voltage variation stable and to minimize dc voltage deviation by regulating the line current amplitudo. Then the control methode of the switching pattern and their duty cycle are used SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation). The simulation results demonstrate that the design fuzzy logic realize a good dynamic of DC voltage and stable speed the DC motor, a perfect speed tracking without overshoot, steady state error and give better performance. Total Harmonic Distortion less than 5 % and unity power factor.*

Keywords: *Fuzzy Logic Controller, DC motor, SVPWM*

I. Introduction

DC motors are one type of electric motor that is widely used in adjustable-speed drive and position control applications. Speed control of DC motor can be done in several ways , among others, by regulating the armature voltage (DC voltage). Controlling the armature voltage can directly be used to control the speed of motor at the time of starting and running. Controlling the DC voltage becomes easier and more efficient to use a PWM-VSC is to set duty cycle.

The previous researchers have concerned on controlling the speed of a DC motor using PWM technique (varying duty cycle of a square wave) in [1-3]. But use of PWM to control speed of DC Motor will produce current harmonics on the network and unstable of the DC voltage as a DC supply for DC Motor.

Researchers have developed several strategies in order to control PWM on PWM-VSC. Controllers based on PID controllers to regulate the DC voltage and harmonic of current line. PID controllers were considered as simple and cheap of implementation [4-7]. However, one of drawbacks in using PID control techniques was using of off-line tuning algorithm and very difficult to use in conditions of varying DC voltage.

Things that need to be observed that the PWM-VSC is a nonlinear system. The nonlinear impacts of PWM-VSC are not expected, for example, current harmonics (THD currents), the low value of power factor on the AC side , the DC voltage becomes unstable and occur ripples on the DC side so that is required proper controller that can compensate them. To solve this, the artificial intelligent control, such as Fuzzy logic control, neural network (NN, RNN) are very promising for the identification and control of nonlinear dynamical systems (8-9).

Fuzzy nonlinear control is an intelligent control that has a simple structure and having an adaptive process causes the PWM-VSC to get better performance despite a change in parameters due to changes in motor speed varies.

This paper proposed the fuzzy logic controller to overcome the nonlinearity of three-phase PWM-VSC. The principle of this Fuzzy Logic was to minimize the voltage deviation from its reference and to regulate variation of line current amplitude. Hence, a fully regulated DC voltage was obtained with a low harmonic distortion of the line current and to obtain a DC voltage variation stable. Then the control of the switching pattern and their duty cycle with SVPWM with switch function as input was used.

NOMENCLATURE

$v(t)$	= PWM-VSC Input Voltages
$i(t)$	= PWM-VSC Input Current
$i^*(t)$	= Complex Conjugate of $i(t)$
$e(t)$	= Input Line Voltages
$i_o(t)$	= PWM-VSC Output Current
$i_c(t)$	= Capacitor Current
$i_L(t)$	= Load Current
$s(t)$	= Switching Function
$v_o(t)$	= Output Voltage
K_b	= Back Emf Constant
R_a	= Armature Resistance
I_a	= Armature Current
V_a	= Armature Voltage
ω_m	= Angular Velocity

Manuscript received and revised May 2008, accepted June 2008
Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

II. The Proposed Control Strategy

The speed of a DC motor can be controlled by varying the voltage applied to the terminal. These can be done by controlling switching patterns and duty cycles. In general, control strategy for switching patterns and their duty cycles on the PWM-VSC uses voltage or current. This system proposed the use of switching function in d–q frame (s_d , s_q). Switching function in d–q frame was converted into α β frame (s_α , s_β) and then it was used as the input of SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) to get gate signals, as shown in Fig. 1. The proposed system also developed a fuzzy logic to control the amplitude of the line current based on the deviation of the DC voltage

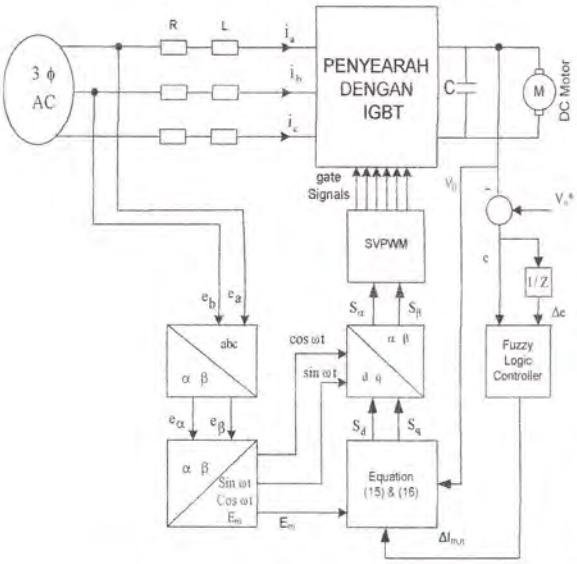


Fig. 1. Block diagram of the proposed control strategy

III. Modelling of The System

III.1. Modelling of DC Motor

A DC motor consists of stator and armature winding in the rotor as shown in Fig. 2. The armature winding is supplied with a DC voltage from the output of PWM-VSC that causes a DC current to flow in the winding. This kind of machines is preferred over AC machines in high power application, because of the ease control of the speed and the direction of rotation of large DC motor. The filed circuit of the motor is exciting by a constant source. The steady state speed of the motor can be described as [10]:

$$\omega_m = \frac{V_a - I_a R_a}{K_b} \qquad (1)$$

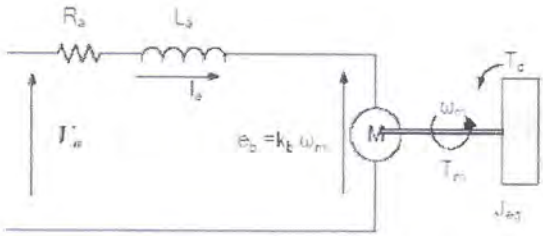


Fig. 2. Permanent Magnet DC Motor

The speed of an armature-controlled dc motor is controlled by the armature voltage V_a. The armature voltage is supplied by PWM-VSC.

The armature voltage equation is given by: [12]

$$V_a = e_b + I_a R_a + L_a(di_a/dt) \qquad (2)$$

In the armature controlled dc motor, the field current is held constant. For a constant field current, the flux becomes constant, and the torque becomes directly proportional to the armature current so that

$$T_m = KI_a \qquad (3)$$

Where K is a motor torque constant. When the armature is rotating, a voltage proportional to the product of the flux and angular velocity is induced in the armature. For a constant flux, the induced voltage e_b is directly proportional to the anguler velocity ω_m. Thus

$$e_b = K_b \omega_m \qquad (4)$$

Where K_b is a back emf constant.
The armature current produces the torque which is applied to the inertia and friction. Now the torque balance equation will be given by

$$T_m = J_{eq}\, d\omega_m/dt + B_m\, \omega_m + T_d \qquad (5)$$

Assuming that all initial conditions are zero and taking the Laplace Transforms of equation (2)–(5), we obtain the following equations :

$$e_b(s) = K_b \omega_m(s) \qquad (6)$$

$$V_a(s) = L_a(s) + R_a I_a(s) + e_b(s) \qquad (7)$$

$$T_m(s) = J_{eq} s\omega_m + B_m \omega_m(s) \qquad (8)$$

From equations (5)-(7) the transfer function of this system is obtained as

$$\frac{\omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{(L_a J_{eq} s^2 + (L_a B_m + R_a J_{eq})s + R_a B_m + KK_b} \qquad (9)$$

Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

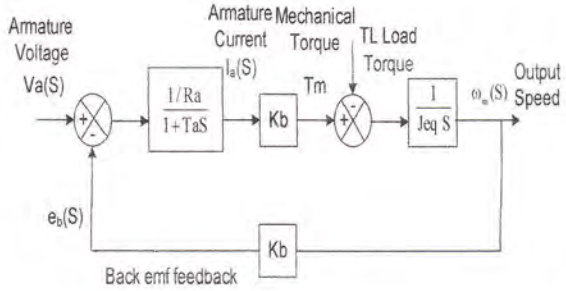


Fig. 3. Modelling Block diagram of DC Motor

TABLE 1:
PARAMETERS OF THE DC MOTOR.

Description of the parameter Parameter value
Armature resistance (R_a) 0.5Ω
Armature inductance (L_a) 0.02 H
Armature voltage (V_a) 200 V
Mechanical inertia (j_{eq}) 0.1 Kg.m2
Friction coefficient (B_m) 0.008 N.m/rad/sec
Back emf constant (k) 1.25 V/rad/sec
Rated speed 1500 r.p.m
Motor torque constant 1 N.m/A

III.2. Mathematical Model of Three Phase PWM-VSC

Figure 4. shows a system, consist of a three-phase PWM-VSC with DC motor load. The model of PWM-VSC consists of a three-phase network connected to three-phase supply voltage in a balanced condition, three R-L impedances, the three-phase input line currents and the three-phase voltages generated by the PWM-VSC, a smoothing capasitor, and the DC motor load. A system can be described on the stationary frame in using space vectors.

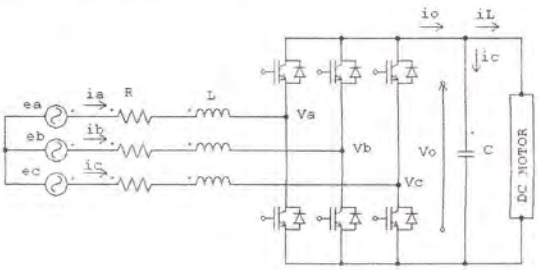


Fig 4. Topology of Three Phase PWM-VSC

The mathematical model of the three-phase system have three components that is x_a (t) , x_b(t) dan x_c (t) written in space vectors was as follows [13]:

$$x(t) = 2/3[x_a(t) + a\,x_b(t) + a^2 x_c(t)] \quad (10)$$

Where $a=e^{j2\pi/3}$

Then the mathematical model of the PWM-VSC was analized using space vector:

$$V(t) = e(t) - R\,i(t) - L\,di(t)/dt$$

$$V(t) = {}^1/_2\, S(t)V_o(t)$$

$$i_o(t) = {}^3/_4\, Re\{S(t)i^+(t)\} \quad (11)$$

$$i_c(t) = C\,dv_o/dt = i_o(t) - i_L(t)$$

The matematical model written in state space form was

$$dV_o(t)/dt = 1/C\{3/4\,Re\{S(t)i^+(t)\} - i_L(t)\} \quad (12)$$

$$di(t)/dt = 1/L[-Ri(t) + e(t) - 1/2S(t)V_o(t)] \quad (13)$$

The equation in (12),(13) showed that the system was nonlinear second order and its behaviour depended on the vector S(t).

When the drop voltage across R was negleted from (13), switching function S(t) could be obtained as

$$S(t) = 2/V_o\,(t)[e(t) - L\,di(t)/dt] \quad (14)$$

III.3. Fuzzy Controller Design for Three Phase PWM-VSC

Fuzzy Logic Controller approach offers the possibility to model a nonlinear system on the basis of the knowledge of many not-well defined relations among the systems and to design a controller that adapts itself to several working conditions.

A Fuzzy Logic Controller is based on a collection of control rules governed by the compositional rule of inference. A fuzzy system realises a nonlinear correspondence between a vectorial input and a scalar output.

In this system, fuzzy logic controller was aimed to minimize the error (e) by regulating the amplitude of line current (ΔI). The Input of fuzzy Logic Controller includes voltage variation from the reference (e) and the deviation (Δe), while the output was the variation of the current amplitude ΔI. The membership functions for input and output variables are reported in Fig. 5, Fig. 6 and Fig. 7.

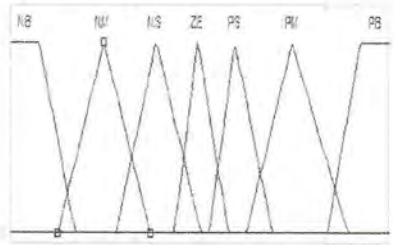


Fig. 5. The membership function of output voltage variation

Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

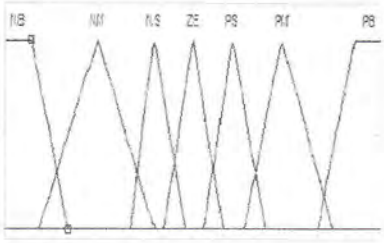


Fig. 6. The membership function of output voltage variation

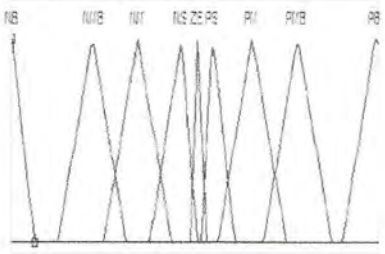


Fig. 7. The membership function of variation current amplitude

III.4. Space Vectors of Pulse Width Modulation

The component d and q of the switching vector

$$s_d = \frac{2}{v_o}\left\{E_m - \frac{L}{T_s}\Delta I\right\} \quad (15)$$

$$s_q = \frac{2}{v_o}[-\omega L I] \quad (16)$$

were transformed into the α and β components of stationary frame and they were used as inputs for space vector modulation (SVPWM). Space vector PWM algorithm can be depicted in the flowchart as shown in Fig. 8. This algorithm describes the process to obtain the control signal switches of the three-phase PWM-VSC through a switch reference vectors.

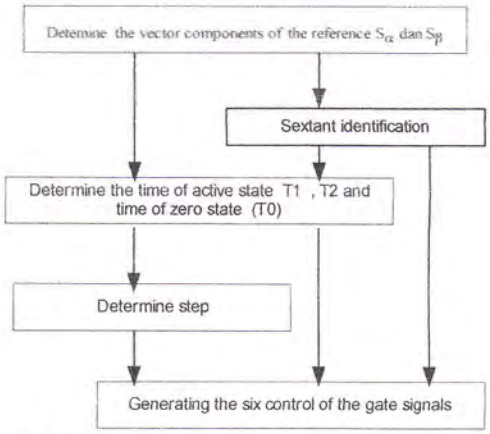


Fig 8. Algorithm of Space Vector Pulse Width Modulation [14]

IV. Result and Discussion

The proposed controller of was Three Phase PWM-VSC evaluated through several simulations. Voltage Source Converters (VSCs) are used as DC voltage sources of DC Motor. The controller performance was showed through simulations with Matlab which have data $E_m = \sqrt{2}$. 220volt, Vdc = 650 volt, $\omega = 2\pi$ x 50 rad/s , R = 0.3 Ω , L = 8 mH, C =1000 μF.

Fig. 9 presents the DC Voltage of PWM-VSC with fuzzy logic controller. This simulation results showed that THD = 3.844 %, Pf = 0.9984 and ripple = 0.035 % without overshoot. This DC voltage can be relied upon as a source voltage of a DC motor. Fig. 10 demonstrates line phase voltage and current on the left side of VSC.

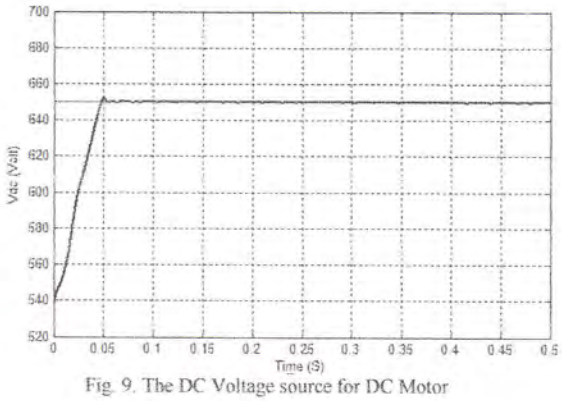


Fig. 9. The DC Voltage source for DC Motor

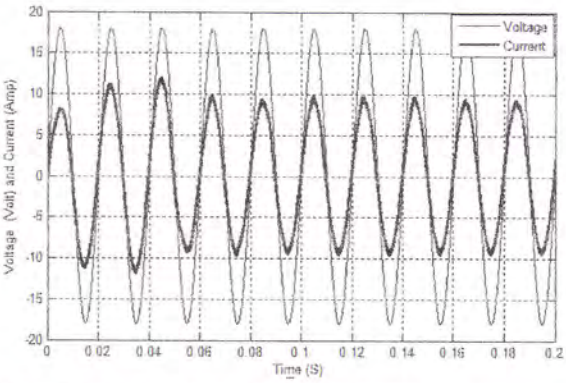


Fig.10. demonstrates the grid phase voltage and line phasa current

Fig. 11 shows the results simulations of error simulation of voltage vs. Time response . Simulation results showed stable DC voltage at t = 0.05 Sec.

Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

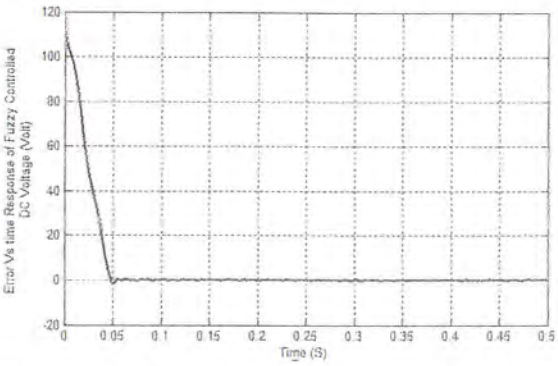


Fig. 11 Error of DC voltage vs Time Response with Fuzzy Logic

The simulation ouput of the speed of the DC Motor vs time response is in Fig. 12. The perfomance of the speed showed stable at time 0.1 seconds

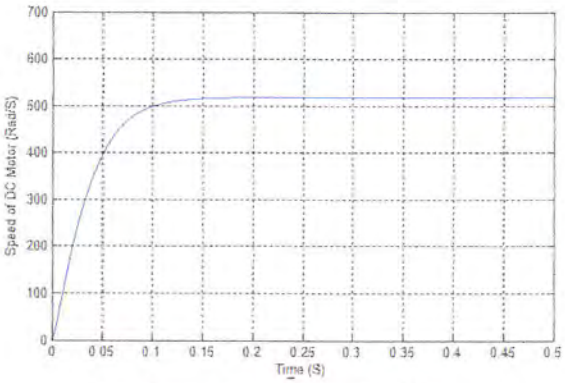


Fig 12. Speed vs Time Response of DC Motor

In this simulation, we observed the motor's behavior by varying the values of the DC Voltage. Fig. 14 demonstrates the stability of speed of the DC Motor under various values of the DC voltage in fig. 13. In this condition THD = 4.241, Pf = 0.998

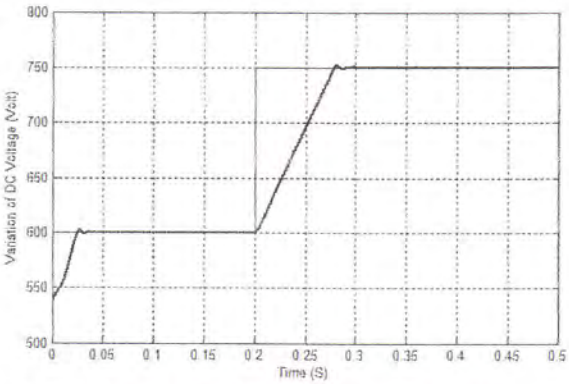


Fig 13. Voltage variation of the DC Voltage vs Time response

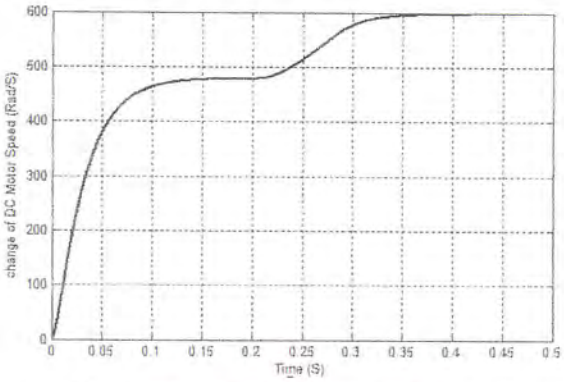


Fig 14. Speed variation of the DC Motor vs Time Response for voltage variation in Fig. 13

V. Conclusion

The steady state operation and its various DC voltage, line harmonics and power factor, and various torque-speeds of DC motor are studied. This project introduces a design methode of two inputs and one output fuzzy controller and make use of MATLAB fuzzy toolbox to design fuzzy controller. The simulation result showed stable DC voltage without ripple, overshoot and steady state at 0.05 second. THD less than 5 % and a power factor close to unity. Speed of DC motor showed stable and no oscillations.

Acknowledgements

Firstly, the authors would like to pay their respectfully thanks to God, their beloved family, teachers and their admirer supervisor. Special thanks to the Directorate General of Higher Education of Republic of Indonesia through Coordination of Public Higher Education, Regional VII, East Java that has provided supporting and funding for this research

References

[1] Prashant Sharma, *Designing A real Time Embedded Controller Using Data Acquisition System For A DC Motor Speed Controller*", A Thesis in Department of Electronics & Communication Engineering National Institute of Technology, Rourkela, 2010-2011.

[2] Dr. Jamal A. Mohammed, "Pulse Width Modulation for DC Motor Control Based on LM324", *Eng. & Tech. Journal, Vol. 31, Part (A), No. 10, 2013.*

[3] Atul Kumar Dewangan, Nibbedita Chakraborty, "PWM Based Automatic Closed Loop Speed Control of DC Motor", *International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 3 Issue 2, 2012.*

[4] S. R. Hadian-Amrei and H. Iranmanesh, "Novel Direct Power Control for Compensating Voltage Unbalance and Load Fluctuations in PWM Rectifiers", *ACSE Journal, Volume (6), Issue (4)*, Dec., 2006.

Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

[5] P. Antoniewicz¤ And M.P. Ka'Zmierkowski, "Predictive direct power control of three-phase boost Rectifier", *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences Technical Sciences Vol. 54, No. 3*, 2006

[6] Mariusz Malinowski and Marian P. Kazmierkowski, "Control of Three-Phase PWM Rectifier – A Comparative Review", *IEEE Industrial Electronics Society Newsletter Issn 0746-1240 Vol. 51*, No. 1 2004

[7] Saidah, M. Hery Purnomo, M. Ashari, "High performance of Nonlinear Active rectifier Voltage and power factor Control using Feedback Linearization, *"International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 8 N.2, March 2013*

[8] Bambang Purwahyudi, Soebagio and M. Ashari, "RNN Based Rotor Flux and Speed Estimation of Induction Motor", *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), ISSN :2088-8694 Vol. 1, No.1, pp.58-64. , September 2011.*

[9] Bambang Purwahyudi, Heri Suryoatmojo, Soebagio and M. Ashari and Takhashi Hiyama, "Feed-Forward Neural Network for Direct Torque Control of Induction Motoe, *International Journal of Innovative Computing Information and Control, Vol. 7, Number 11, November 2011.*

[10] Muhammad H. Rashid, "*Power Electronics, Devices, and Applications,*" 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, NJ, USA, 2004.

[11] Hughes,A. "*Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications*", 3rd Edition, Austin Hughes, Published by Elsevier Ltd, 2006.

[12] Katsuhiko Ogata, "*Modern Control Engineering*", "Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi-110001, 1981.

[13] Matti Jussila, Mika Salo, Lauri Kähkönen, and Heikki Tuusa, "*Vector Modulated Three-Phase Four-Quadrant Rectifier*" – Application to a DC Motor Drive", The authors are with the Institute of Power Electronics, Department of Electrical Engineering, Tampere University of Technology.

[14] Saidah, M.Hery Purnomo, M. Ashari, "Advance Control of Active Rectifier using Switch Function and Fuzzy Logic For Nonlinear Behaviour Compensation", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.41 No. X, 2012.*

Authors' information

Saidah received her bachelor, master and Ph.D degree from Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya in 1985, 2005 and 2013 respectively. She has joined Bhayangkara University in Surabaya since 2006. Her research interest on use of artificial intelligent for power electronics, control and electric drives applications.

Bambang Purwahyudi received his bachelor, master and doctor degree from Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Indonesia, in 1995, 2005 and 2013 respectively. He has joined Bhayangkara University Surabaya, Indonesia, since 2000. He got publications in several National and International journals and conferences. His areas of interest are simulation and design of power electronics, power quality, renewable energy, and artificial intelligent application to power electronics and drives

Kuspijani received her bachelor from Brawijaya University in 1986 and Master degree from Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya in 2010. She has joined Bhayangkara University in Surabaya since 1987. Her research interest on use of power electronics, Power Systems and electric drives applications.

Copyright © 2008 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved