MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

LAPORAN PENELITIAN
DOSEN MUDA

DITERIMA TGL. : 23-2-2011
SUMBER HARGA : Hd
KOLEKSI : F1
NO. INVENTARIS : 94/Hd/2011-p.1(1)
KLASIFIKASI : 621.3 Eli p(1)

PEMULIH KEDIP TEGANGAN DENGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER BERBASIS ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

Oleh:

Fivia Eliza, S.Pd., M.Pd
Muldi Yuhendri, S.Pd., MT

DIBIAYAI DIPA UNP
NOMOR: 190/H35/KP/2010
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
DESEMBER 2010

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN
HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. Judul Penelitian	: Pemulih Kedip Tegangan Dengan Dynamic Voltage Restorer Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)
2. Bidang Ilmu	: Teknik Elektro (Electric Drive)
3. Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Fivia Eliza, S.Pd, M.Pd.
b. Jenis Kelamin	: Perempuan
c. NIP	: 19850807 200912 2 004
d. Pangkat/Golongan	: Penata Muda/III.b
e. Fakultas/Jurusan	: Teknik/Teknik Elektro
4. Anggota	: Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T
5. Jumlah Peneliti	: 2 Orang
6. Lokasi Penelitian	: Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro FT UNP
7. Biaya	: Rp. 7.500.000,-(Tujuh juta lima ratus ribu Rupiah)
8. Sumber Dana	: DIPA UNP TA. 2010

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik,

Drs. Ganefri, M.Pd
NIP.19631217 198903 1 003

Ketua Peneliti

Fivia Eliza, S.Pd.,M.Pd
NIP. 19850807 200912 2 004

Menyetujui :
Ketua Lembaga Penelitian UNP,

Drs. Alwen Bentri, M.Pd
NIP. 19610722 198602 1 002

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN
HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. Judul Penelitian	: Pemulih Kedip Tegangan Dengan Dynamic Voltage Restorer Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)
2. Bidang Ilmu	: Teknik Elektro (Electric Drive)
3. Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Fivia Eliza, S.Pd, M.Pd.
b. Jenis Kelamin	: Perempuan
c. NIP	: 19850807 200912 2 004
d. Pangkat/Golongan	: Penata Muda/III.b
e. Fakultas/Jurusan	: Teknik/Teknik Elektro
4. Anggota	: Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T
5. Jumlah Peneliti	: 2 Orang
6. Lokasi Penelitian	: Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro FT UNP
7. Biaya	: Rp. 7.500.000,-(Tujuh juta lima ratus ribu Rupiah)
8. Sumber Dana	: DIPA UNP TA. 2010

Padang, Desember 2010

Pembahas I

Drs. Aslimeri, M.T
NIP.19650501 198301 1 001

Pembahas II

Dr. Ridwan, M.Sc.Ed
NIP. 19520116 197903 1 002

Mengetahui :
Ketua Lembaga Penelitian UNP,

Drs. Alwen Bentri, M.Pd
NIP. 19610722 198602 1 002

PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian tentang ***Pemulih Kedip Tengangan dengan Dynamic Voltage Restorer Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)***, berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Padang Nomor : 190/H35/KP/2010 Tanggal 1 Maret 2010.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang akan dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkat Universitas. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, dan tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Desember 2010
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,

Drs. Alwen Bentri, M.Pd.
NIP. 196610722 198602 1 002

ABSTRAK

Gangguan hubung singkat pada suatu bus beban dapat menyebabkan kedip tegangan pada bus beban lain. Kedip tegangan disebut juga *voltage sag* didefinisikan sebagai fenomena penurunan magnitudo tegangan efektif terhadap harga normal (0,1 - 0,9 pu) selama interval waktu (10ms-1000ms). Kedip tegangan dapat dipulihkan dengan berbagai jenis kompensator, salah satunya adalah DVR yang merupakan kompensator yang dipasang secara seri dengan beban.

Dalam penelitian ini DVR dirancang untuk sistem kelistrikan industri 11 KV yang melayani dua beban. DVR dikendalikan dengan ANFIS yang berfungsi untuk mengendalikan error tegangan referensi dalam sumbu dq.

Penggunaan ANFIS sebagai kontroller DVR memberikan aksi kontrol yang handal. Dari training data yang dilakukan, error training hanya 0.0275 untuk tegangan sumbu d dan 0.0265 untuk tegangan sumbu q dengan jumlah data training 13609. Kehandalan kontroller ANFIS juga ditunjukkan oleh bentuk tegangan beban yang dipasangi DVR yang tidak memiliki cacat gelombang atau pergeseran sudut fasa akibat gangguan hubung singkat pada beban lain.

Kata kunci : ANFIS, DVR, kedip tegangan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat-Nya kami bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Tidak lupa kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi kesempatan, membantu dan memberi semangat kepada kami, sehingga salah satu tugas Tri Dharma Pendidikan Tinggi ini dapat kami jalankan dengan lancar.

Akhirnya, kami berharap semoga hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk kemajuan bangsa dan memberi arti yang lebih luas bagi masyarakat. Mudah-mudahan penelitian ini juga dapat dijadikan untuk landasan pengembangan selanjutnya oleh peneliti lain.

Padang, Desember 2010

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN HASIL PENELITIAN

PENGANTAR i
KATA PENGANTAR ii
DAFTAR ISI iii
DAFTAR GAMBAR iv
BAB I PENDAHULUAN 1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 16
BAB IV METODE PENELITIAN 17
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 25
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 32
DAFTAR PUSTAKA 33
LAMPIRAN 34

DRAFT ARTIKEL ILMIAH

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR		HALAMAN
Gambar 1	*Standar IEEE 1159-1995*	3
Gambar 2	Skema DVR	5
Gambar 3	Prinsip kerja DVR melalui *boost transformer*	5
Gambar 4	Kombinasi switch VSI yang dinyatakan dalam state	6
Gambar 5	Bentuk gelombang tegangan output VSI	7
Gambar 6	Sektor dan vektor tegangan pada VSI	10
Gambar 7	Arsitektur ANFIS	13
Gambar 8	Skema DVR yang dikendalikan dengan ANFIS	14
Gambar 9	Model sistem tanpa DVR dalam simulink Matlab	18
Gambar 10	Model sistem menggunakan DVR	19
Gambar 11	Bagian-bagian blok kontroller	19
Gambar 12	Blok transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq	20
Gambar 13	Struktur jaringan ANFIS untuk tegangan sumbu d	21
Gambar 14	Struktur jaringan ANFIS untuk tegangan sumbu q	22
Gambar 15	Blok transformasi tegangan sumbu dq-ab	23
Gambar 16	Penentuan sudut dan sektor pada SVPWM	23
Gambar 17	Blok perhitungan waktu switching untuk fasa R.	24
Gambar 18	Blok penentuan pulsa SVPWM	24
Gambar 19	Hasil simulasi system tanpa DVR	25
Gambar 20	Hasil training ANFIS untuk tegangan sumbu d	27
Gambar 21	Hasil training ANFIS untuk tegangan sumbu q	28
Gambar 22	Hasil simulasi pada model yang menggunakan DVR	29

BAB I
PENDAHULUAN

Di dunia industri, kelancaran proses produksi tidak lepas dari peran energi listrik sebagai sumber energi utama yang berfungsi untuk menjalankan peralatan-peralatan produksi. Energi listrik yang digunakan harus memenuhi kualitas telah ditentukan. Tegangan merupakan salah satu faktor kualitas daya listrik, baik magnitudo, bentuk gelombang maupun frekuensinya.

Kedip tegangan merupakan fenomena penurunan tegangan yang dapat mengakibatkan peralatan industri tidak bisa bekerja secara normal bahkan tidak berjalan sama sekali, misalnya peralatan elektronik yang dipakai sebagai sistem kontrol mesin-mesin produksi. Bila hal ini dibiarkan maka akan mengganggu proses produksi. Penurunan tegangan yang dikategorikan kedip tegangan (*voltage sag*) adalah 0,1 sampai 0,9 pu dengan durasi waktu 0,5 cycle sampai 1 menit(Jurado, 2004) . *Voltage sag* umumnya disebabkan oleh gangguan dalam sistem, seperti akibat gangguan hubung singkat atau starting beban-beban besar (Ashari, 2007). Selain penurunan tegangan, voltage sag juga mengakibatkan terjadinya pergeseran sudut fasa saat terjadi gangguan (Nielsen, 2004).

Upaya didalam mengatasi gangguan voltage sag pada sisi beban (konsumen) salah satunya dengan memanfaatkan teknologi *power electronic* sebagai kompensasi daya. Secara umum penggunaan peralatan sistem kompensasi daya didalam pemulihan kedip tegangan dibagi dalam tiga kelompok yaitu: kompensasi seri seperti *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*, kompensasi paralel seperti *Distribution Static Compensator (DSTATCOM)*, dan kompensasi seri-paralel seperti *Unified Power Quality Compensator (UPQC)* (Karady, 2005).

DVR merupakan peralatan kompensasi seri yang dipasang diantara penyulang dan beban, pada saat terjadi gangguan kedip tegangan selama waktu tertentu maka dalam kurun waktu tersebut DVR akan menginjeksikan daya sehingga tegangan tetap pada nominal yang diijinkan. DVR tidak digunakan untuk gangguan tegangan dalam durasi yang cukup lama.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang DVR ini antara lain, pemulih kedip tegangan dengan DVR menggunakan tegangan referensi virtual dalam sumbu dq (Ashari, 2007), Kendali DVR dengan *Fuzzy Logic Controller*

(Jurado, 2003), Kendali DVR dengan jaringan saraf tiruan (Jurado, 2004) dan karakteristik kedip tegangan dalam sistem tenaga (Zhang, 2004).

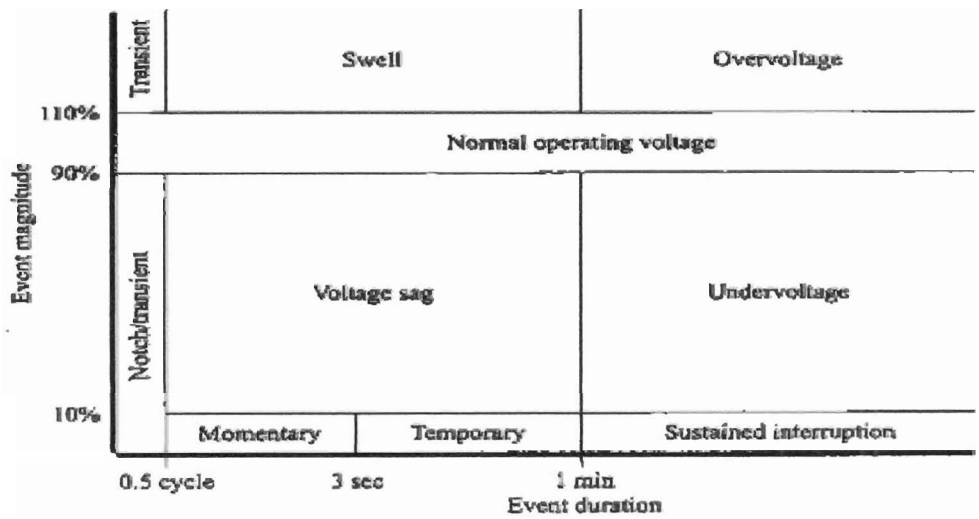
Dalam penelitian ini dirancang sebuah DVR untuk pemulih kedip tegangan dengan menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) sebagai kendalinya. Penelitian ini dibuat dalam bentuk simulasi menggunakan software MATLAB. Dalam simulasi DVR dipasang pada sistem industri 11 KV yang melayani dua buah beban. Beban pertama diberi gangguan hubung singkat sehingga terjadi kedip tegangan pada beban kedua. Dalam penelitian ini akan dilihat kehandalan DVR yang dikendalikan dengan ANFIS dalam menangani kedip tegangan pada beban kedua.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Kedip Tegangan

Gangguan kedip tegangan merupakan permasalahan kualitas daya listrik yang berkaitan dengan kualitas tegangan. Kedip tegangan disebut juga *voltage sag* didefinisikan sebagai fenomena penurunan magnitudo tegangan efektif terhadap harga normal (0,1 - 0,9 pu) selama interval waktu (10ms-1000ms) (Jurado, 2003). Kedip tegangan merupakan salah satu indeks mutu kualitas daya listrik (*Power Quality)*. Tegangan kedip terjadi secara acak dan berdampak sangat besar terutama terhadap konsumen industri yang menggunakan peralatan sensitif.

Menurut IEEE Standar 1159-1995, (IEEE *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*), kedip tegangan adalah suatu penurunan nilai rms tegangan yang bernilai antara 0,1 sampai 0,9 pu dari tegangan normal dengan durasi 0,5 cycle (10 ms) sampai 1 menit. Klafisikasi besaran tegangan dan durasinya berdasarkan standar IEEE *std 1159-1995* ditunjukkan pleh Gambar 1.



Gambar 1. *Standar IEEE 1159-1995*

Kedip tegangan tidak dijamin oleh PLN, karena kedalaman *Voltage sag* tergantung pada jarak lokasi gangguan penyebab kedip, kekuatan (kapasitas) pasokan daya, hubungan trafo, jenis gangguan, sistem pentanahan, tegangan pragangguan, dll. Sedangkan mengenai durasi terjadinya kedip tegangan sebagian

besar ditentukan oleh *fault clearing time* (waktu yang diperlukan oleh peralatan pengaman untuk mengatasi gangguan), tetapi bisa juga lebih lama dari *fault clearing time.* Menurut surat edaran direksi PLN No.12.E/012/DIR/2000 tanggal 25 April 2000 mengenai durasi kedip tegangan :

1. Subsistem 500 kV ≤ 110 milidetik
2. Subsistem 150 kV ≤ 140 milidetik
3. Subsistem 70 kV ≤ 170 milidetik
4. Subsistem 20 kV ≤ 1000 milidetik

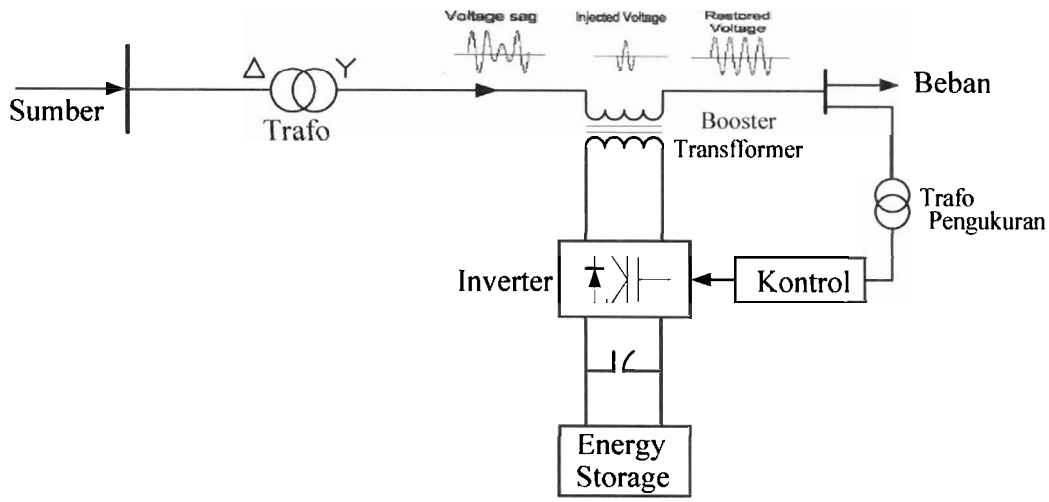
Sebagai catatan bahwa durasi kedip tegangan yang terjadi tergantung dari waktu pemutusan gangguan *(fault clearing)* oleh pengaman utama, yang terjadi dari kecepatan kerja *(operating time)* rele, kecepatan waktu membuka *circuit breaker*, serta waktu pengiriman sinyal teleproteksi (Zhang, 2004).

Beberapa kejadian yang dapat menimbulkan Kedip tegangan pada sistem kelistrikan adalah (Nguyen, 2003) :

1. Gangguan hubungan singkat, baik yang terjadi di instalasi itu sendiri ataupun yang terjadi di penyulang lain.
2. Surja alih-hubung akibat pengoperasian pemutus tenaga di saluran tenaga tegangan tinggi atau sistem distribusi.
3. Perubahan beban yang cukup besar secara tiba-tiba.
4. Karakteristik pembebanan kosumen, seperti *Arc furnaces (open arc, sub-merged, arc*), starting motor berkapasitas besar, mesin las dan mesin potong logam berkapasitas besar.
5. Energizing transformator

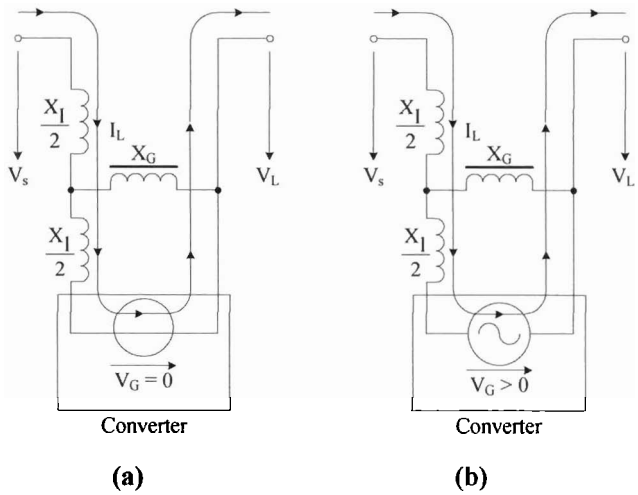
B. Dynamic Voltage Restorer (DVR)

Dynamic voltage restorer (DVR) merupakan peralatan elektronika daya yang dipasang pada saluran antara sumber dengan beban. DVR bekerja dengan cara menginjeksikan tegangan ke beban sesuai dengan besarnya penurunan tegangan pada beban. Untuk mendapat pemulihan tegangan yang tepat, ada beberapa komponen yang harus dimiliki oleh DVR, yaitu: sensor deteksi gangguan, inverter 3 fasa, rangkaian kendali, *booster transformer*, dan batterai. Skema DVR ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Skema DVR

Prinsip kerja DVR adalah menginjeksikan tegangan yang dihasilkan oleh konverter secara seri pada bus tegangan melalui *booster transformer*. Prinsip injeksi tegangan dari DVR ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip kerja DVR melalui *boost transformer*
(a) Mode standby (b) Mode Boost

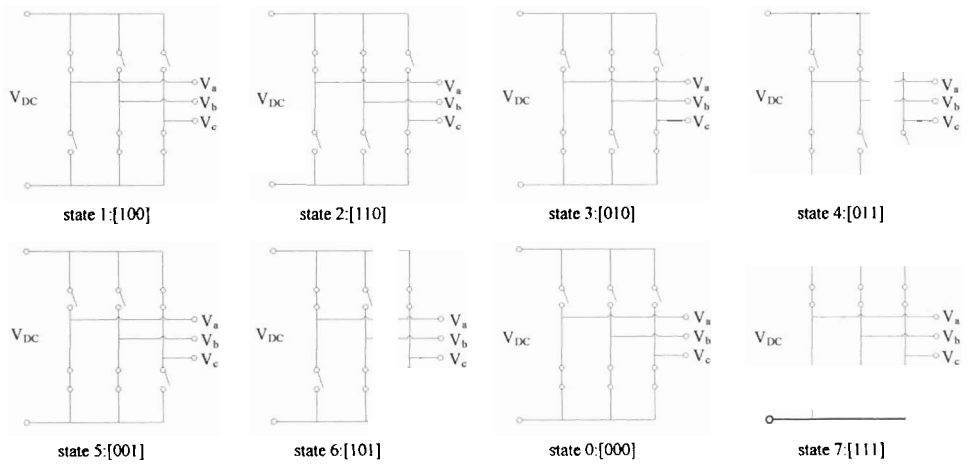
DVR bekerja dalam dua mode operasi, yaitu mode standby dan mode *boost*. Pada saat mode *standby*, konverter tidak menginjeksikan tegangan pada *boost transformer*, sehingga tegangan input dan tegangan output *boost transformer* memiliki nilai yang sama. Mode ini bekerja saat tidak terjadi kedip tegangan pada beban. Pada mode *boost*, tegangan output *boost transformer* merupakan jumlah dari tegangan input trafo dan tegangan yang dihasilkan

konverter. DVR bekerja dalam mode ini saat terjadi kedip tegangan pada beban. Besar tegangan injeksi yang dihasilkan oleh konverter ditentukan oleh tegangan referensi yang mencatu konverter. Penjumlahan tegangan injeksi dengan tegangan input trafo menghasilkan tegangan yang nilainya sama dengan nilai tegangan normal pada beban.

C. Voltage Source Inverter (VSI)

Voltage Source Inverter (VSI) merupakan sebuah konverter yang mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Pada DVR, VSI berfungsi untuk tegangan searah pada energy storage (baterai) menjadi tegangan bolak balik untuk diinjeksikan ke beban. Dalam penelitian ini digunakan VSI tiga fasa yang dicatu dengan *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM).

VSI tiga fasa memiliki enam saklar yang terdiri dari tiga saklar atas (S_1, S_3, S_5) dan tiga saklar bawah (S_2, S_4, S_6). Posisi saklar bawah dibuat selalu berlawanan dengan kondisi saklar atas. Bila S_1 dalam kondisi ON maka S_2 dalam kondisi OFF, sehingga dalam menentukan posisi saklar kita cukup memperhatikan posisi saklar atas saja. Dari tiga buah saklar atas, ada delapan kombinasi posisi saklar. Kombinasi posisi saklar ini disebut *state*. Tegangan output yang dihasilkan inverter tergantung kepada *state* yang aktif. Dari delapan *state*, ada enam *state* aktif (*state* 1 sampai 6) dan dua *state* nol (*state* 0 dan 7). Gambar 4 menunjukkan delapan *state* saklar pada VSI.



Gambar 4. Kombinasi switch VSI yang dinyatakan dalam state

Tegangan fasa-fasa antara saluran V_{AB}, V_{BC}, dan V_{CA} dapat dinyatakan dengan persamaan (Mohan, 1998) :

$$\begin{bmatrix} V_{AB} \\ V_{BC} \\ V_{CA} \end{bmatrix} = V_{DC} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_3 \\ S_5 \end{bmatrix} \tag{1}$$

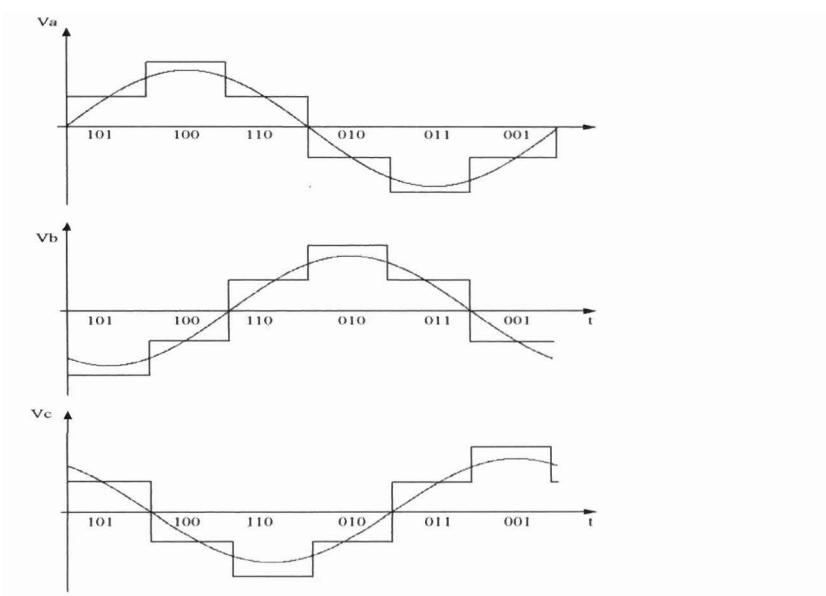
S_1, S_3 dan S_5 bernilai 1 saat saklar pada posisi ON dan bernilai 0 saat saklar posisi OFF. Bila VSI dihubungkan dengan beban seimbang dalam bentuk hubungan bintang, maka akan terbentuk titik netral yang memiliki persamaan tegangan sebagai berikut :

$$V_N = \frac{1}{3}(V_A + V_B + V_C) \tag{2}$$

Tegangan fasa terhadap netral dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} V_{DC} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_3 \\ S_5 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Bila state saklar VSI disusun menurut urutan sedemikian rupa, maka akan terbentuk gelombang tegangan seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Tegangan V_a, V_b dan V_c masing-masing berbeda fasa 120°.



Gambar 5. Bentuk gelombang tegangan output VSI

D. Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)

Salah satu teknik modulasi VSI adalah menggunakan *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM). Teknik modulasi SVPWM menggunakan *space vector* yang menghasilkan tegangan referensi untuk VSI. *Space vector* merepresentasikan magnitudo dan sudut fasa besaran 3 fasa simetri sebagai fungsi waktu. Pada sistem tiga fasa seimbang, persamaan vektor dari jumlah tegangan dapat dinyatakan dengan persamaan (Lippo, 2004) :

$$\bar{v} = \frac{2}{3}\left[v_a(t) + av_b(t) + a^2 v_c(t)\right] \tag{4}$$

dengan

$$v_a(t) = V_m \sin(\omega t) \tag{5}$$

$$v_b(t) = V_m \sin(\omega t - 120°) \tag{6}$$

$$v_c(t) = V_m \sin(\omega t + 120°) \tag{7}$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos(\frac{2\pi}{3}) + j\sin(\frac{2\pi}{3}) \tag{8}$$

Vektor tegangan pada VSI dirumuskan dengan persamaan :

$$\bar{v} = \frac{2}{3}V_{dc}\left[S_1 + aS_3 + a^2 S_5\right] \tag{9}$$

State saklar VSI terdiri dari enam *state* aktif dan dua *state* nol yang menghasilkan enam vektor tegangan aktif dan dua vektor tegangan nol. Vektor tegangan yang dibentuk oleh *state* saklar VSI ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Vektor tegangan pada setiap state switching

State	Switch			Vektor Tegangan (V_k)
	S_1	S_3	S_5	
0	0	0	0	V_0
1	1	0	0	V_1
2	1	1	0	V_2
3	0	1	0	V_3
4	0	1	1	V_4
5	0	0	1	V_5
6	1	0	1	V_6
7	1	1	1	V_7

Pada Tabel 1 Vektor tegangan V_0 dan V_7 memiliki nilai nol, sedangkan V_1 sampai V_6 merupakan vektor tegangan yang aktif atau tidak bernilai nol. Vektor tegangan ini dapat digambarkan dalam bentuk persegi enam dengan panjang rusuk $2/3\,V_{dc}$ yang terbagi menjadi enam sektor. Secara umum, vektor tegangan pada sektor ke-k dituliskan dalam bentuk persamaan (Rashid, 2001):

$$V_k = \begin{cases} \frac{2}{3} V_{dc} e^{\left(j\frac{k-1}{3}\pi\right)} & untuk\ k = 1-6 \\ 0 & untuk\ k = 0,7 \end{cases} \tag{10}$$

Sektor ditentukan oleh sudut fasa yang dihitung dengan persamaan :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_\beta}{V_\alpha}\right) \tag{11}$$

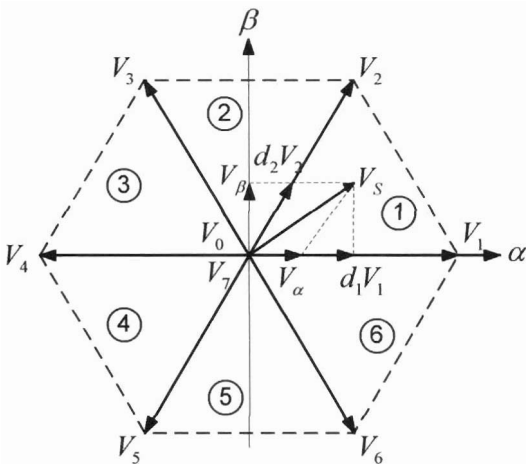
Ada enam sektor pada vektor tegangan yang aktif. Pembagian sektor m dapat dituliskan sebagai berikut :

$$m = \begin{cases} 1 & jika \quad 0 \le \theta \le \frac{\pi}{3} \\ 2 & jika \quad \frac{\pi}{3} \le \theta \le \frac{2\pi}{3} \\ 3 & jika \quad \frac{2\pi}{3} \le \theta \le \pi \\ 4 & jika \quad \pi \le \theta \le \frac{4\pi}{3} \\ 5 & jika \quad \frac{4\pi}{3} \le \theta \le \frac{5\pi}{3} \\ 6 & jika \quad \frac{5\pi}{3} \le \theta \le 2\pi \end{cases} \tag{12}$$

Tegangan referensi untuk inverter dihitung setelah sektor dan vektor tegangan diketahui. Gambar 6 menunjukkan pembagian sektor dan vektor tegangan VSI. Dari Gambar 6 dapat kita lihat bahwa tegangan referensi V_S merupakan jumlah dari vektor tegangan V_1 dan V_2 yang besarnya dipengaruhi oleh perioda masing-masing. Tegangan referensi pada sektor 1 dirumuskan dengan :

$$V_S = V_\alpha + V_\beta \tag{13}$$

$$V_S = \frac{T_1}{T_s} V_1 + \frac{T_2}{T_s} V_2 \tag{14}$$



Gambar 6. Sektor dan vektor tegangan pada VSI

Pada Gambar 6 juga terdapat V_0 pada titik 0 dengan waktu T_0. Bila T_1 adalah waktu untuk vektor tegangan ke-k dan T_2 adalah waktu untuk vektor tegangan ke-k+1, maka dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$T_k = \frac{T\sqrt{3}}{V_{dc}}\left[v_\alpha \sin\left(\frac{k\pi}{3}\right) - v_\beta \sin\left(\frac{k\pi}{3}\right)\right] \tag{15}$$

$$T_{k+1} = \frac{T\sqrt{3}}{V_{dc}}\left[v_\beta \cos\left(\frac{(k-1)\pi}{3}\right) - v_\alpha \cos\left(\frac{(k-1)\pi}{3}\right)\right] \tag{16}$$

$$T_0 = T - T_k - T_{k+1} \tag{17}$$

Bila V_1 adalah vektor tegangan ke-k dan V_2 adalah vektor tegangan ke-k+1 maka persamaan umum tegangan referensi adalah :

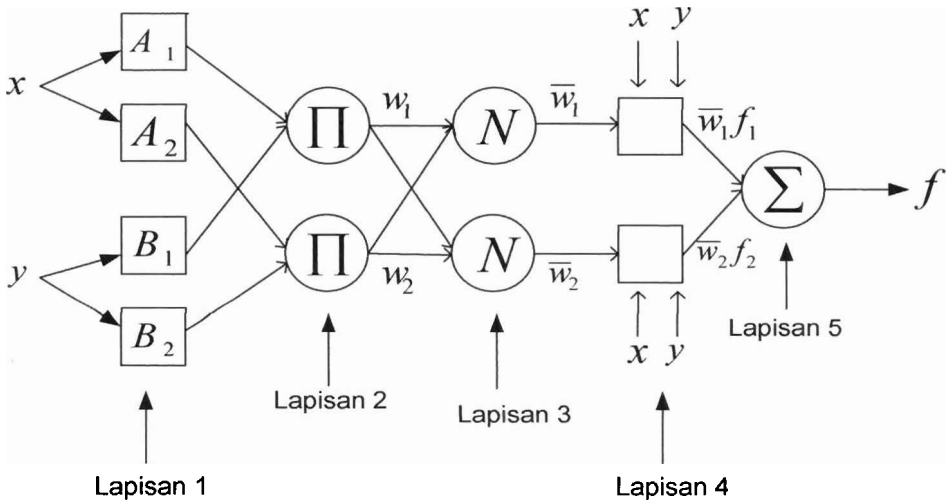
$$V_S = d_k V_k + d_{k+1} V_{k+1} \tag{18}$$

d_k merupakan *duty cycle* vektor tegangan ke-k dan d_{k+1} adalah *duty cycle* vektor tegangan ke-k+1. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu ON sebuah saklar dengan perioda sampling. *Duty cycle* dirumuskan dengan persamaan :

$$d_k = \frac{T_k}{T_s} \quad \text{dan} \quad d_{k+1} = \frac{T_{k+1}}{T_s} \tag{19}$$

E. Adaftive Neuro-Fuzzy Interference Sistem (ANFIS)

Dalam penelitian ini *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Sistem* (ANFIS) digunakan sebagai kendali DVR. ANFIS merupakan penggabungan mekanisme *fuzzy inference sistem* yang digambarkan dalam arsitektur jaring saraf (Jang, 1997). Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah sistem inferensi *fuzzy* model Tagaki-Sugeno Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Dalam proses pembelajaran, ANFIS mengunakan *Neural Network*, sedangkan penyelesaian menggunakan logika *fuzzy*. Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan *hybrid*. Pelatihan *hybrid* dilakukan dalam dua langkah yaitu langkah maju dan langkah balik. Dalam penelitian ini pelatihan yang digunakan adalah pelatihan *hybrid*. Arsitektur ANFIS dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Arsitektur ANFIS

Struktur ANFIS pada gambar 7 terdiri dari lapisan-lapisan sebagai berikut:

1. Lapis 1

Setiap titik pada lapisan ini adalah suatu titik adaptif dengan sebuah keluaran yang didefinisikan dengan :

$$O_{1.1} = \mu A_1(x) untuk \quad i = 1.2 \, atau$$

$$O_{1.1} = \mu B_{1-2}(y) untuk \quad i = 3,4 \, atau$$

x dan y adalah masukan pada titik tersebut dan A_i dan B_{1-2} adalah suatu rangkaian *fuzzy* yang berkaitan dengan titik ini. Dengan kata lain, keluaran-keluaran pada lapisan ini adalah nilai-nilai keanggotaan dari bagian-bagian dasar pemikiran. Pada lapisan ini fungsi keanggotaan A_1 dan B_1 dapat menjadi fungsi keanggotaan yang terukur. Sebagai contoh, A_1 dapat ditandai dengan fungsi bell secara umum:

$$\mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \tag{20}$$

$\{a_1, b_1, c_1\}$ adalah merupakan serangkaian parameter. Jika nilai parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadipun akan ikut berubah. Parameter-parameter pada lapisan itu biasanya dikenal dengan nama *premise parameters*.

2. **Lapis 2**

Setiap titik pada lapisan ini adalah titik tetap yang diberi tanda n, yang melipatkan sinyal masuk dan mengeluarkan hasil:

$$O_{2,1} = w_i = \mu A_i(x) x \mu B_i(y), i = 1,2 \tag{21}$$

Pada lapisan ini biasanya digunakan operasi AND, dan tiap-tiap titik merepresentasikan α predikat dari aturan ke-i.

Lapis 3

Setiap titik pada lapisan ini adalah suatu titik tetap bertanda N. Titik ke I, menghitung rasio pada aturan penekanan di I pada jumlah dari semua aturan penekanan.

$$O_{3,1} = w_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \, dengan \, i = 1,2 \tag{22}$$

Hasil keluaran pada lapisan ini dikenal dengan nama *normalized firing strength.*

3. **Lapis 4**

Setiap titik i pada lapisan ini adalah suatu titik adaptif dengan sebuah fungsi titik:

$$O_{4,i} = w_1 f_1 = w_1 (p_i x + q_i y + r_i) \tag{23}$$

Dengan w_i adalah keluaran pada lapisan ketiga dan (p_i, q_i, r_i) adalah serangkaian parameter. Parameter-parameter pada lapisan ini akan ditunjuk sebagai parameter-parameter konsekuen (*consequent parameters).*

4. Lapis 5

Tiap-tiap node pada lapisan kelima adalah node tetap yang merupakan jumlahan dari semua masukan.

Pada saat *premise parameter* ditemukan, output yang akan terjadi merupakan kombinasi linear dari *consequent parameter* yang dirumuskan dengan :

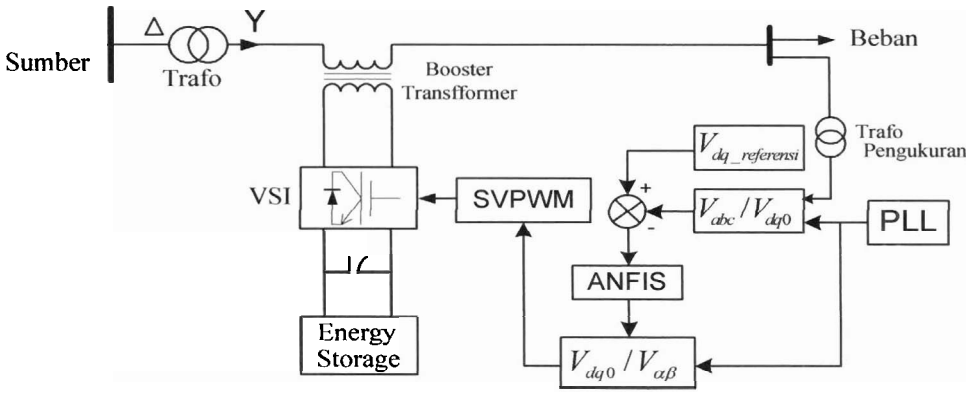
$$\begin{aligned} y &= \frac{W_1}{W_1+W_2} y_1 + \frac{W_2}{W_1+W_2} \\ &= \bar{W}_1(c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{10}) + \bar{W}_2(c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + c_{20}); \\ &= (\bar{W}_1 x_1)c_{11} + (\bar{W}_1 x_2)c_{12} + \bar{W}_1 c_{10} + (\bar{W}_2 x_1)c_{21} + (\bar{W}_2 x_2)c_{22} + \bar{W}_2 c_{20}; \end{aligned} \tag{24}$$

Pelatihan data dalam penelitian ini menggunakan algoritma *hybrid* yang akan mengatur parameter-parameter c_{ij} secara *forward* (maju) dan parameter – parameter $\{a_i, b_i, c_i,$ secara *backward* (mundur). Pada langkah maju input jaring akan merambat maju sampai pada lapisan keempat, dimana parameter-parameter C_{ij} akan diidentifikasi dengan menggunakan metode *least-square.* Sedangkan pada langkah mundur, *error* sinyal akan merambat mundur dan parameter-parameter $(a_i, b_i, c_i,)$ akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient-descent.*

Meskipun dalam ANFIS dapat menggunakan algoritma *backpropogation* atau *gradien-descent* untuk mengidentifikasi parameter-parameter pada suatu jaring adaptif, namun biasanya penggunaan algoritma ini membutuhkan waktu yang relatif lama untuk konvergen (Purnomo, 2006).

F. Kendali DVR Dengan ANFIS

Dalam penelitian ini ANFIS digunakan untuk mengendalikan DVR. Gambar 8 menunjukkan skema penggunaan ANFIS untuk kendali DVR.



Gambar 8. Skema DVR yang dikendalikan dengan ANFIS

Prinsip kerja dari skema DVR pada Gambar 8 adalah tegangan beban dalam bentuk tiga fasa diubah ke dalam sumbu dq dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^{s} \\ v_{ds}^{s} \\ v_{0} \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_{a} \\ v_{b} \\ v_{c} \end{bmatrix} \tag{25}$$

Transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq dibutuhkan untuk memudahkan pengendalian. Tegangan sumbu dq hanya mempresentasikan komponen aktif (sumbu d) dan komponen reaktif (sumbu q). Untuk injeksi DVR yang dibutuhkan adalah besaran tegangan aktif dan tegangan reaktif yang diinjeksikan ke system. Pada sisitem tiga fasa, pemisahan komponen aktif dan reaktif dari tegangan susah didapatkan. Dalam penelitian ini DVR dicatu dengan SVPWM yang membutuhkan tegangan dalam sumbu dq sebagai referensi.

Persamaan (25) merupakan persamaan tegangan sumbu dq dalam bentuk *stasioner*. Untuk mengubahnya ke bentuk *rotating reference frame* (i_{qs} dan i_{ds}) digunakan *Phase Locked Loop* (PLL) yang berfungsi untuk menghasilkan sudut fasa, yang dirumuskan dengan persamaan (Bose, 2001) :

$$\begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & -\sin\theta_e \\ \sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{q}^{s} \\ i_{d}^{s} \end{bmatrix} \tag{26}$$

Tegangan dalam sumbu dq ini dibandingkan dengan tegangan referensi sumbu dq. Tegangan referensi sumbu dq dalam keadaan normal bernilai 1 untuk v_d dan 0 untuk v_q. Error hasil perbandingan ini dikendalikan dengan ANFIS untuk mendapatkan tegangan referensi bagi SVPWM dalam mencatu gate saklar inverter.

SVPWM bekerja dengan menggunakan tegangan dalam sumbu alpha-beta, sedangkan tegangan output ANFIS dalam bentuk sumbu dq. Untuk mengubah tegangan sumbu dq ke dalam bentuk alpha-beta digunakan persamaan :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\omega t & \cos\omega t & 1 \\ \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_0 \end{bmatrix} \tag{27}$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{28}$$

Tegangan dalam bentuk alpha-beta inilah yang dijadikan referensi bagi SVPWM dalam mencatu gate saklar inverter.

BAB III
TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang pemulih kedip tegangan pada sistem kelistrikan industri 11 KV menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) yang dikendalikan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) menggunakan software MATLAB.
2. Menganalisa karakteristik DVR yang dikendalikan dengan ANFIS

B. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk menambah wawasan dalam peningkatan kualitas daya listrik pada sistem kelistrikan industri, terutama dalam pemulihan kedip tegangan menggunakan DVR. Penggunaan ANFIS sebagai kendali DVR diharapkan dapat meningkatkan performansi DVR sebagai pemulih kedip tegangan.

94/Hd/2011- P.1(1) 621.3 EG

BAB IV
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro FT UNP. Penelitian dilakukan dalam bentuk simulasi menggunakan software Matlab 2008a. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan, maka penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan adalah jurnal ilmiah, buku teks dan buku manual yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Pemodelan Sistem

Model sistem dibuat dengan software Matlab 2008a. Data yang digunakan dalam membuat model sistem diperlihatkan dalam Tabel 4.

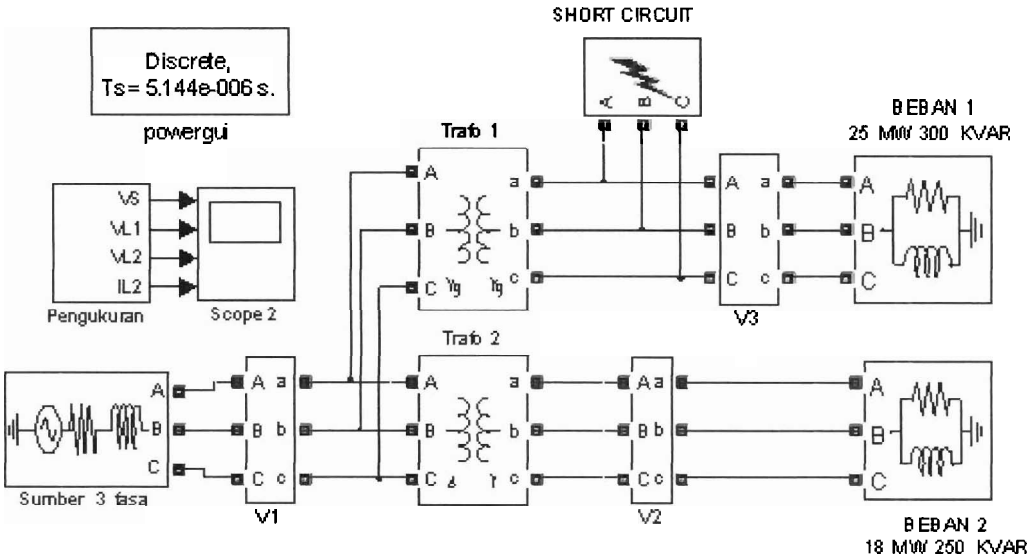
Tabel 4. Data simulasi

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Sumber 3 phasa		
	a. Tegangan	20	KV
	b. Frekuensi	50	Hz
2	Transformator distribusi 1		
	a. Daya	32	MVA
	b. Tegangan	20/6	KV
	c. Frekuensi	50	Hz
3	Transformator distribusi 1		
	a. Daya	25	MVA
	b. Tegangan	20/6	KV
	c. Frekuensi	50	Hz
4	Beban 1		
	a. Daya aktif	25	MW
	b. Daya reaktif	300	KVAR
	c. Tegangan	11	KV
5	Beban 2		
	a. Daya aktif	18	MW
	b. Daya reaktif	250	KVAR
	c. Tegangan	11	KV
6	DVR		
	a. Suplai dc	1	KV

Tahapan yang dilalui dalam membuat model sebagai berikut :

a. Model Sistem Tanpa DVR

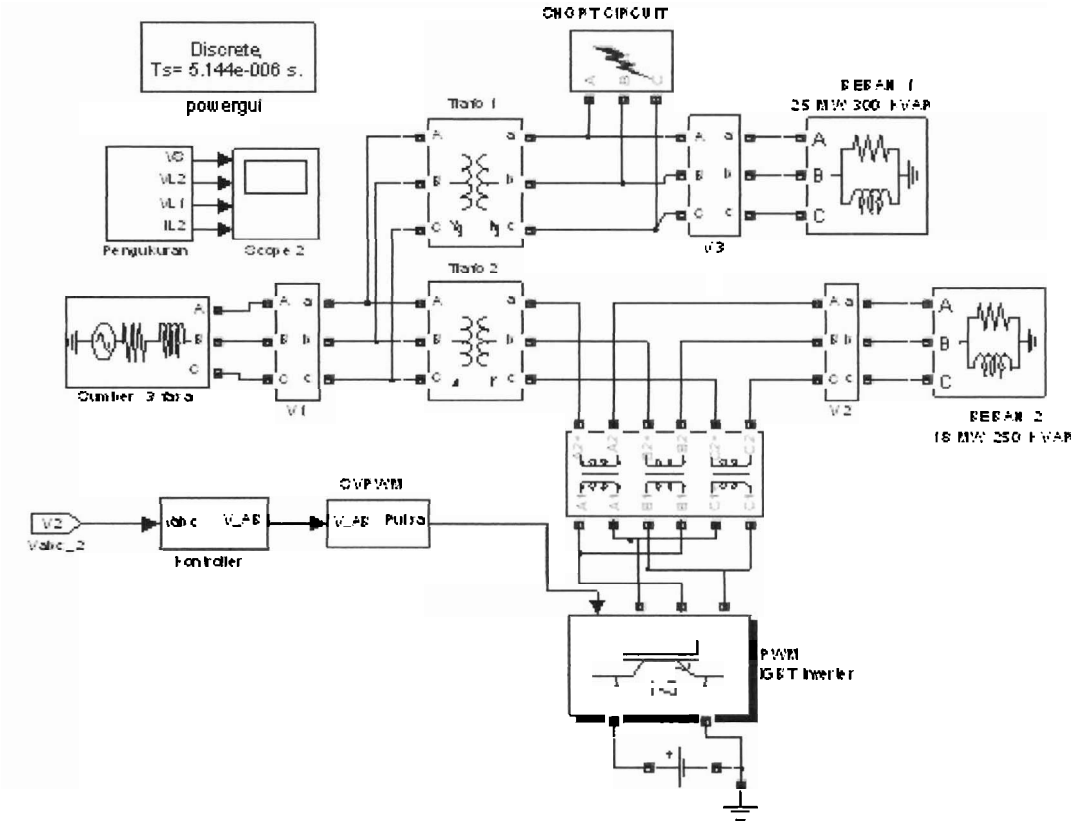
Model ini dibuat untuk melihat kedip tegangan yang terjadi pada beban 2 saat terjadi hubung singkat pada beban 1. Gambar 9 menunjukkan model sistem tanpa DVR dalam simulink Matlab. Dari Gambar 9 dapat kita lihat bahwa sistem tediri dari suplai 3 fasa, dua buah transformator distribusi dan dua buah beban. Untuk menimbulkan kedip tegangan pada beban 2, maka pada beban 1 diberi gangguan hubung singkat tiga fasa.



Gambar 9. Model sistem tanpa DVR dalam simulink Matlab

b. Model Sistem Dengan DVR

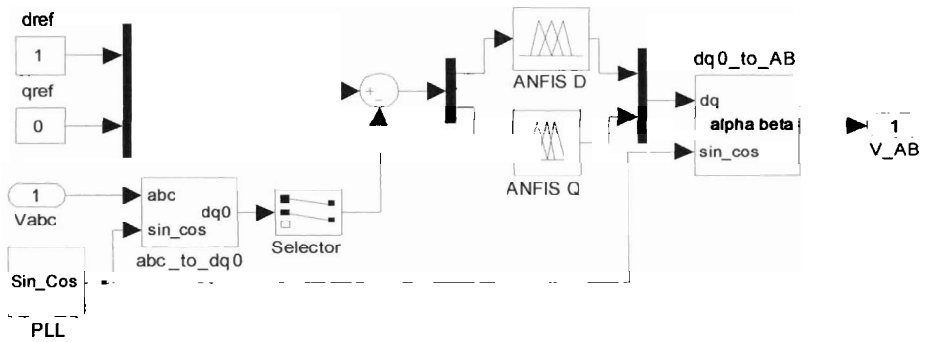
Setelah model sistem tanpa DVR disimulasikan, langkah selanjutnya adalah membuat model sistem yang menggunakan DVR. Tujuan dari pembuatan model ini adalah untuk memulihkan kedip tegangan yang terjadi pada beban 2 akibat adanya hubung singkat pada beban 1. Gambar 10 menunjukkan model sistem yang dilengkapi dengan DVR. Dari Gambar 10 dapat kita lihat sistem dilengkapi dengan DVR yang terdiri dari booster transformer, inverter, blok kontroller, blok SVPWM dan suplai dc berupa baterai sebagi sumber bagi inverter untuk menginjeksikan tegangan ke beban.



Gambar 10. Model sistem menggunakan DVR

1). Blok Kontroller

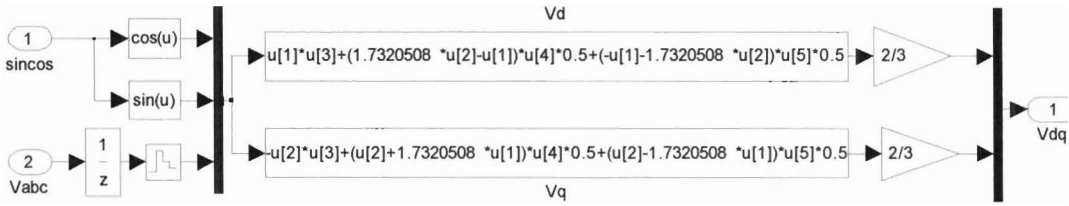
Blok kontroller yang ditunjukkan pada Gambar 10 terdiri dari tegangan referensi sumbu dq, blok PLL, blok transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq, blok ANFIS dan blok transformasi tegangan dalam sumbu dq ke dalam αβ. Bagian-bagian blok controller ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Bagian-bagian blok kontroller

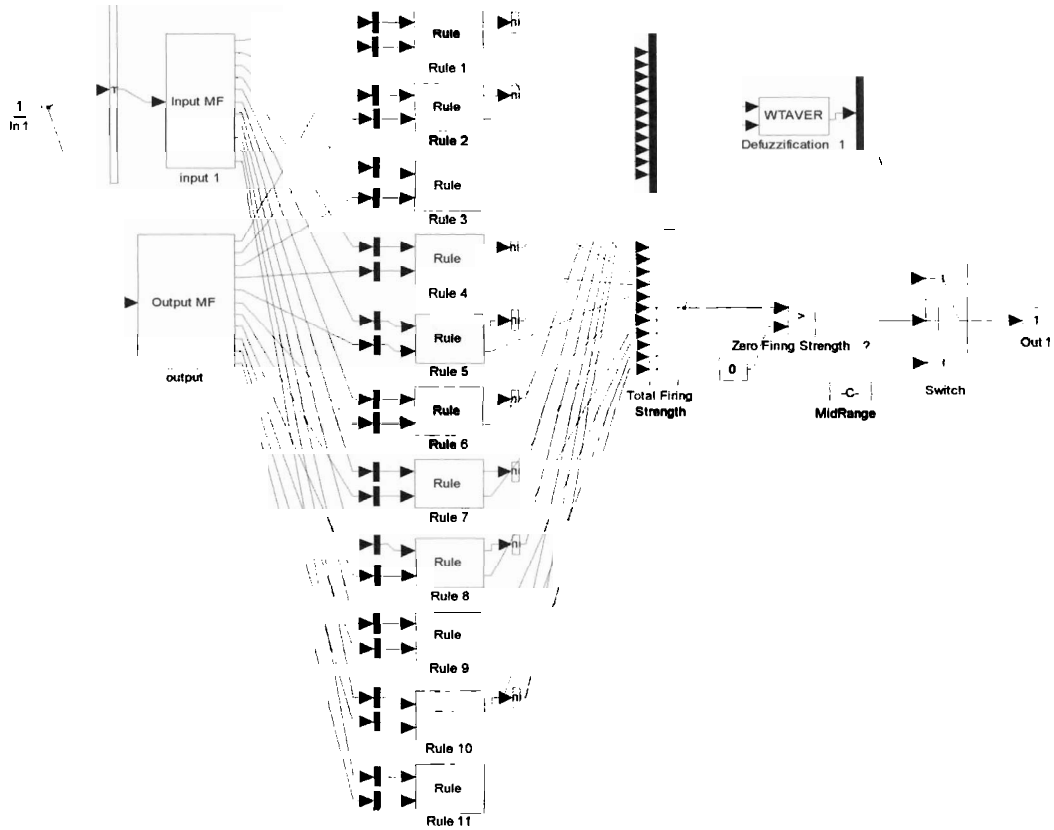
Blok transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq dibuat dengan menggunakan persamaan (25) dan (26) dengan bantuan PLL sebagi

pembangkit sudut fasa. Dalam simulink Matlab transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq ditunjukkan oleh Gambar 12. Vabc pada Gambar 12 merupakan tegangan tiga fasa dari beban 2 dan sincos merupakan sudut fasa dari output PLL.



Gambar 12. Blok transformasi tegangan tiga fasa ke dalam sumbu dq

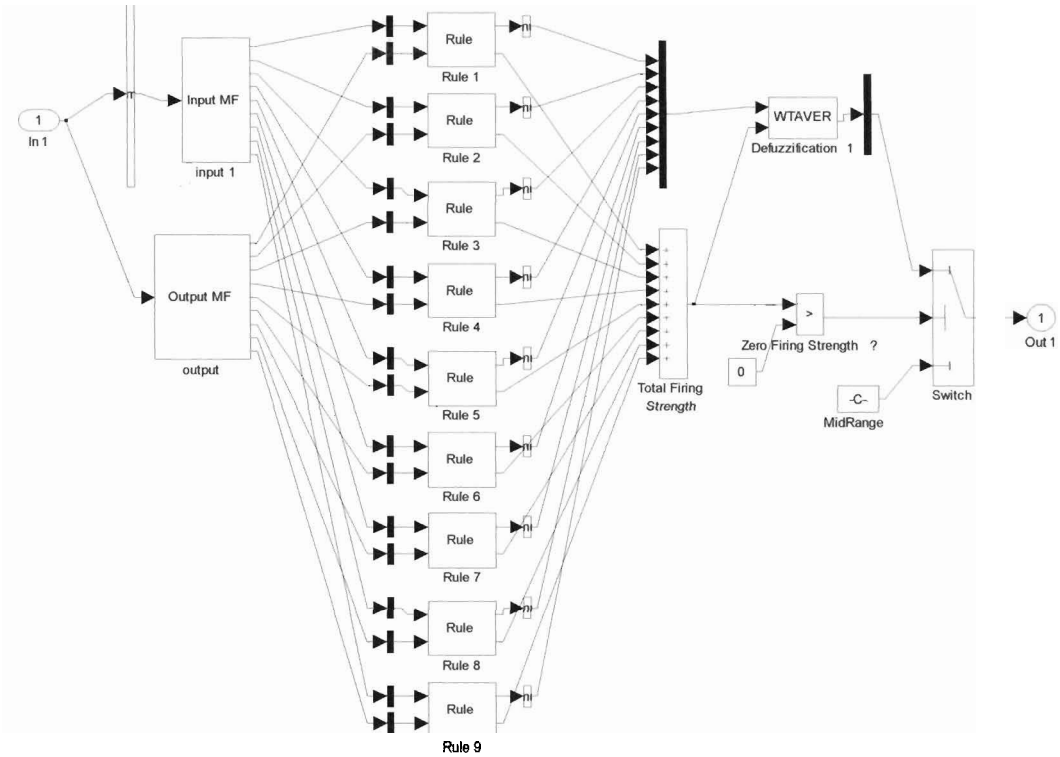
Tegangan dalam sumbu dq ini dibandingkan dengan tegangan dq referensi yang bernilai 1 untuk sumbu d dan bernilai 0 untuk sumbu q. Error yang dihasilkan dikontrol dengan ANFIS untuk mendapatkan tegangan referensi SVPWM. Dari Gambar 11 dapat kita lihat ada dua kontroller ANFIS yang digunakan, yaitu ANFIS untuk tegangan sumbu d dan sumbu q. Untuk sumbu d, ANFIS memiliki 11 fungsi keanggotan input dengan struktur jaringan ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Struktur jaringan ANFIS untuk tegangan sumbu d

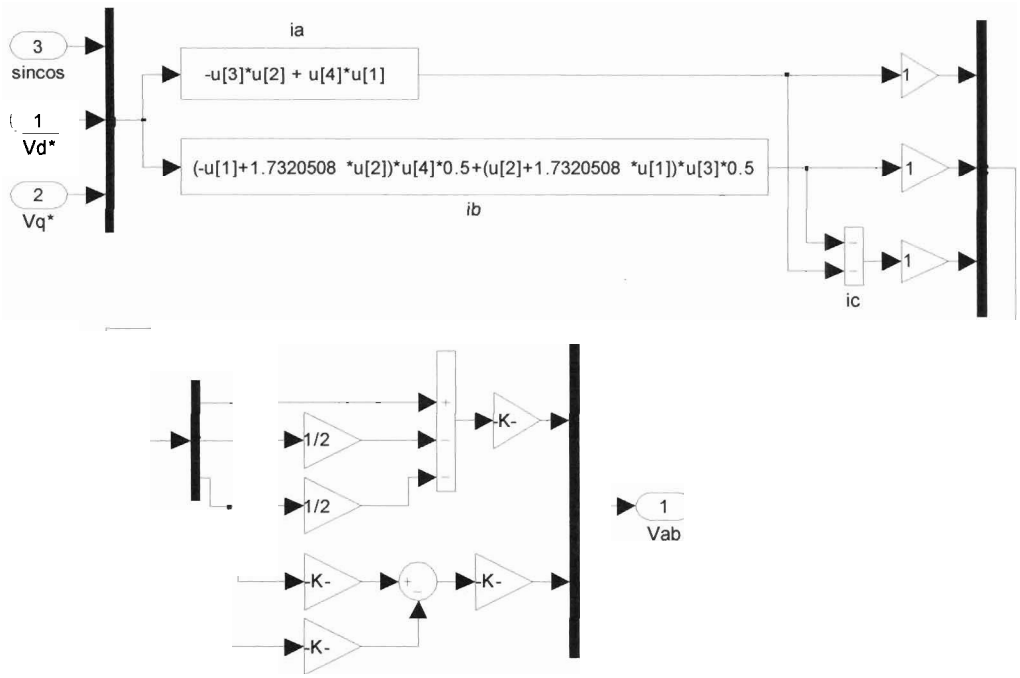
Dari Gambar 13 dapat kita lihat ANFIS terdiri dari satu input dan satu output. Untuk tegangan sumbu d ini data yang ditraining dengan ANFIS sebanyak 13609 data yang diambil dari hasil simulasi yang menggunakan kontroller PID. Input ANFIS adalah error tegangan sumbu d sedangkan outputnya adalah tegangan referensi sumbu d.

ANFIS untuk controller tegangan sumbu memiliki 9 fungsi keanggotaan input dengan input error tegangan sumbu q dan output tegangan sumbu q referensi. Struktur jaringan ANFIS sumbu q dalam simulink Matlab ditunjukkan oleh Gambar 14.



Gambar 14. Struktur jaringan ANFIS untuk tegangan sumbu q

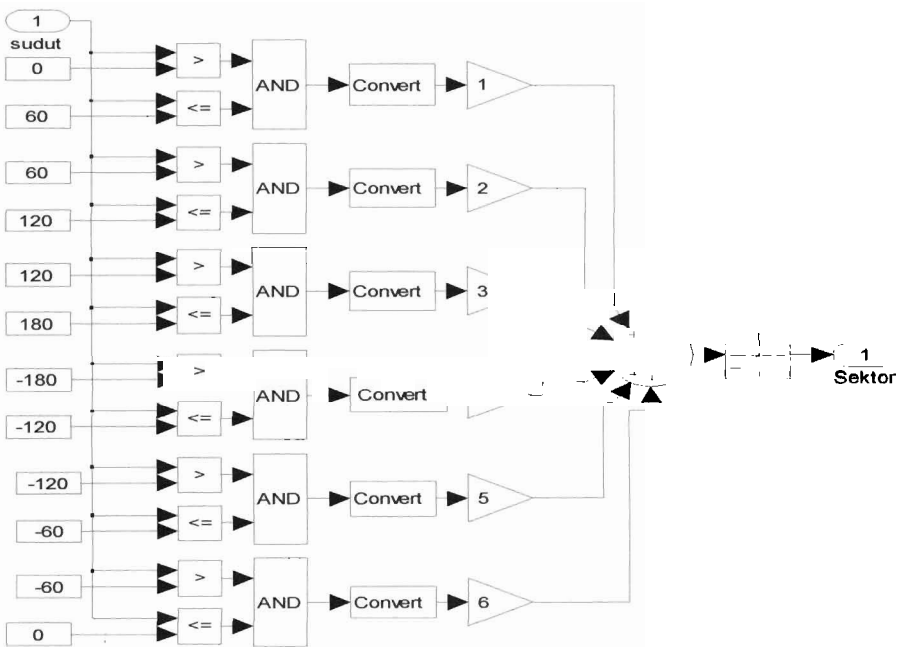
Setelah tegangan referensi dalam sumbu dq diperoleh dari output ANFIS, langkah selanjutnya adalah mentransformasikan tegangan dalam sumbu dq ke dalam bentuk αβ dengan menggunakan persamaan (27) dan (28), karena SVPWM membutuhkan tegangan referensi dalam bentuk αβ. Dalam simulink Matlab tegangan αβ dibuat dengan bantuan PLL sebagai penghasil sudut fasa yang dibutuhkan tegangan αβ. Gambar 15 menunjukkan bentuk blok transformasi tegangan sumbu dq ke dalam bentuk tegangan αβ.



Gambar 15. Blok transformasi tegangan sumbu dq-$\alpha\beta$

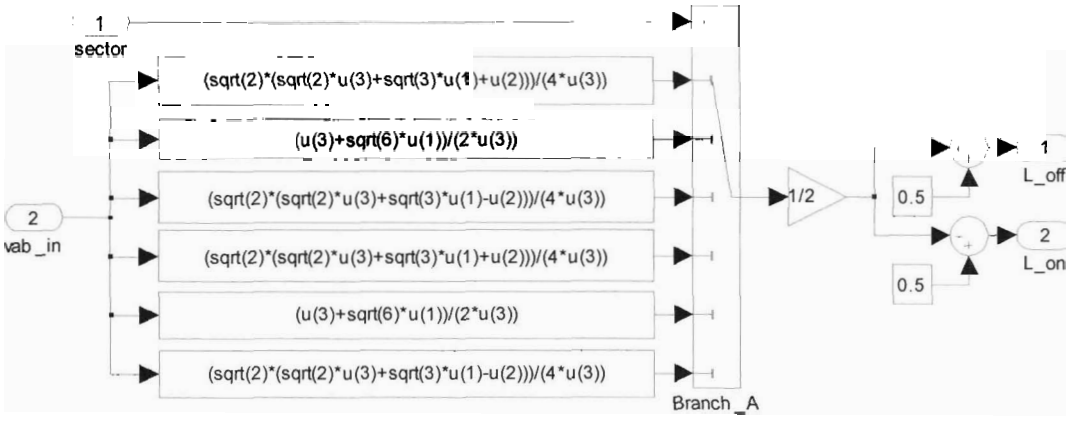
2). Blok SVPWM

Input blok SVPWM adalah tegangan αβ yang diperoleh dari blok kontroller. Dari tegangan αβ dapat ditentukan sudut dan sektor dengan menggunakan persamaan (11) dan (12). Dalam simulink Matlab blok perhitungan sudut dan magnitudo ditunjukkan oleh Gambar 16.



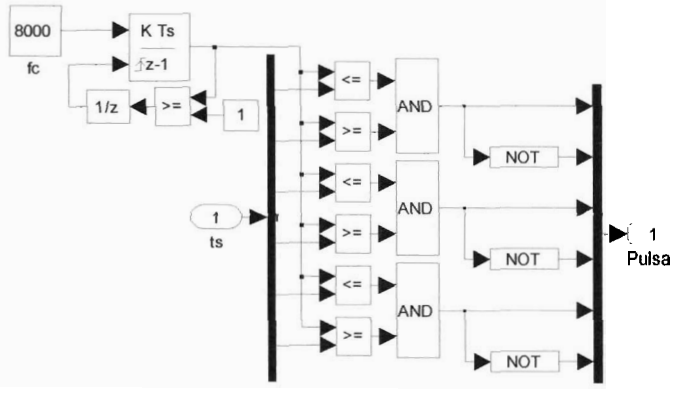
Gambar 16. Penentuan sudut dan sektor pada SVPWM

Setelah sector tegangan ditentukan, langkah selanjutnya adalah menentukan waktu state switching dengan menggunakan persamaan yang terdapat dalam Tabel 3. Gambar 17 memperlihatkan blok perhitungan waktu switching untuk fasa R.



Gambar 17. Blok perhitungan waktu switching untuk fasa R.

Setelah perhitungan waktu switching diperoleh, langkah selanjutnya adalah membuat blok penentuan pulsa SVPWM untuk trigger gate saklar inverter. Gambar 18 menunjukkan bentuk blok penentuan pulsa SVPWM dalam simulink Matlab. Output dari blok inilah yang dihubungkan dengan gate saklar daya inverter.



Gambar 18. Blok penentuan pulsa SVPWM

3. Simulasi

Simulasi dilakukan dalam dua tahap, yaitu simulasi sistem tanpa DVR dan simulasi dengan menggunakan DVR. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab 2008a.

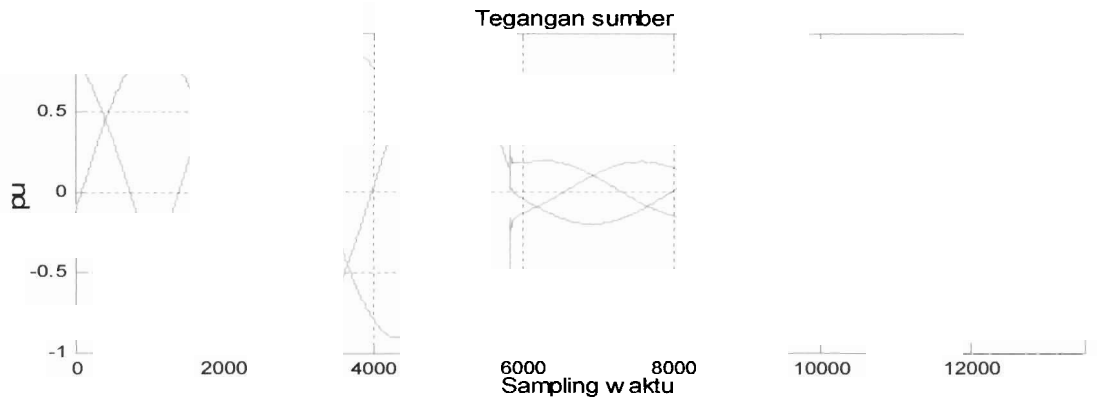
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi

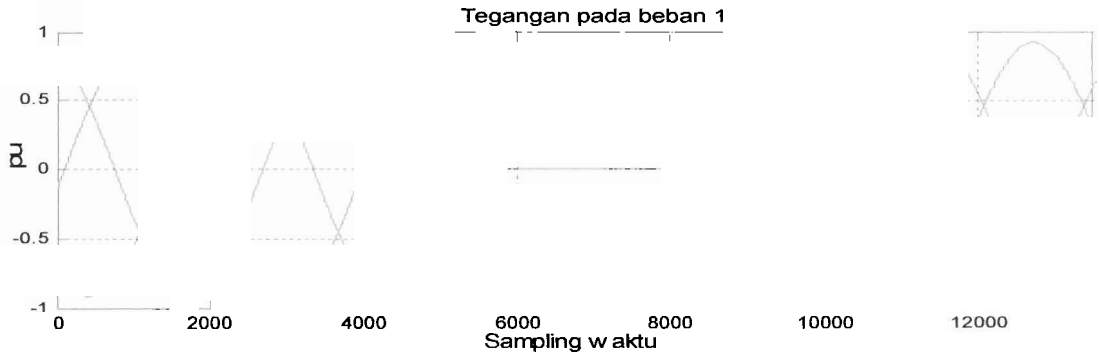
Dalam penelitian ini dilakukan dua tahap simulasi menggunakan software Matlab 2008a. Hasil simulasi yang didapatkan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi pada model sistem tanpa DVR.

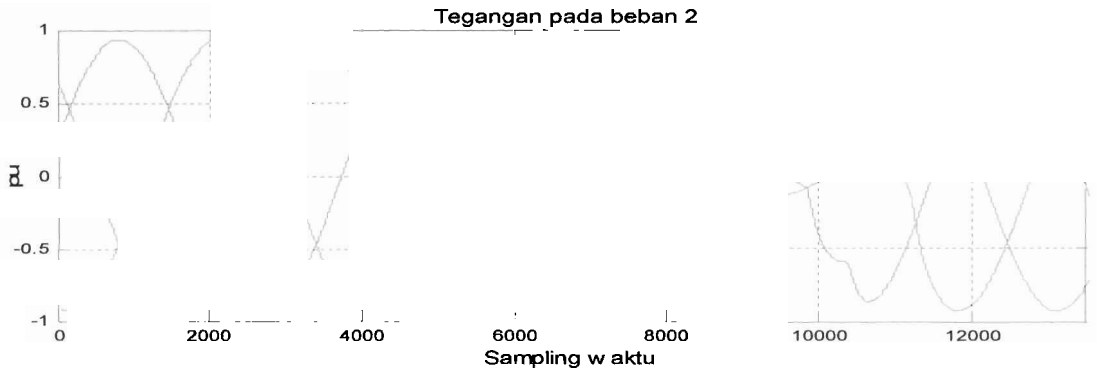
Model yang disimulasikan untuk sistem tanpa DVR seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9 dan hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 19.



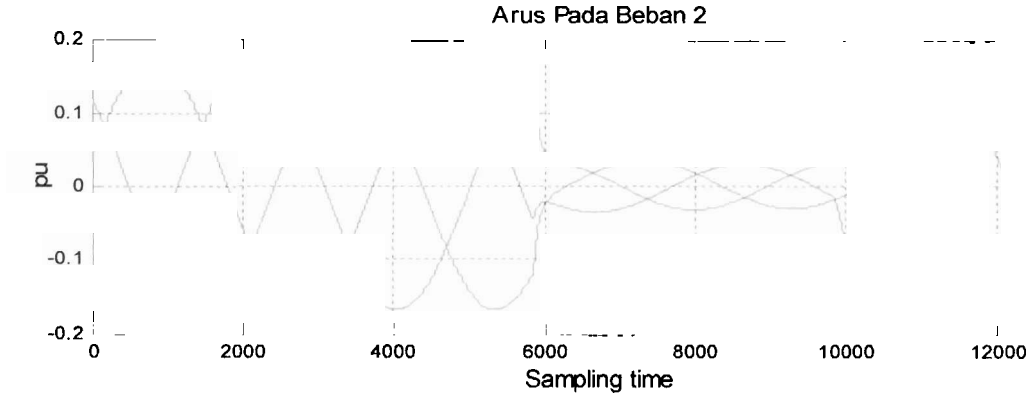
(a)



(b)



(c)



(d)

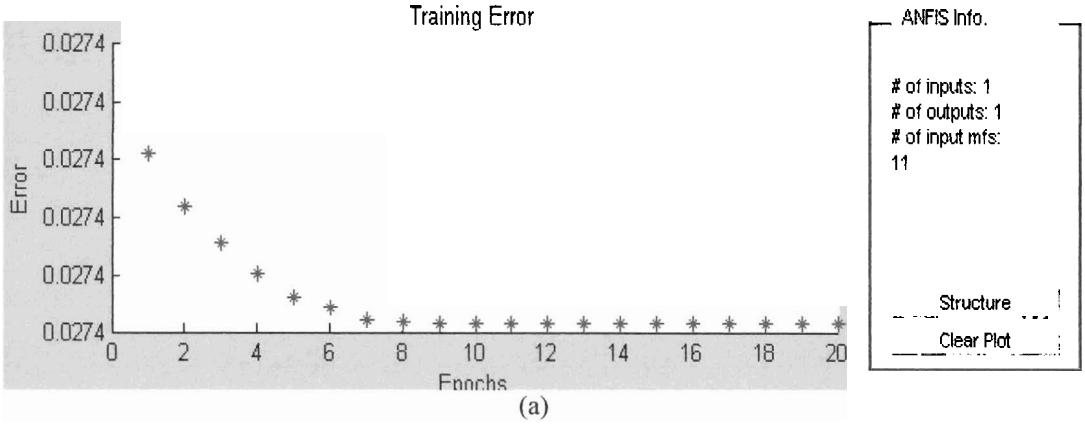
Gambar 19. Hasil simulasi system tanpa DVR
(a) Tegangan sumber (b) Tegangan pada beban 1 (c) Tegangan pada beban 2 (d) Arus pada beban 2

Dari Gambar 19 dapat kita lihat, ketika beban satu diberi gangguan hubung singkat pada sampling waktu 5800 sampai dengan 10.000 maka pada saat itu tegangan pada beban 1 turun menjadi 0, sedangkan pada beban 2 tegangan turun sampai 0.25 pu. Hal yang sama juga terjadi pada tegangan sumber.

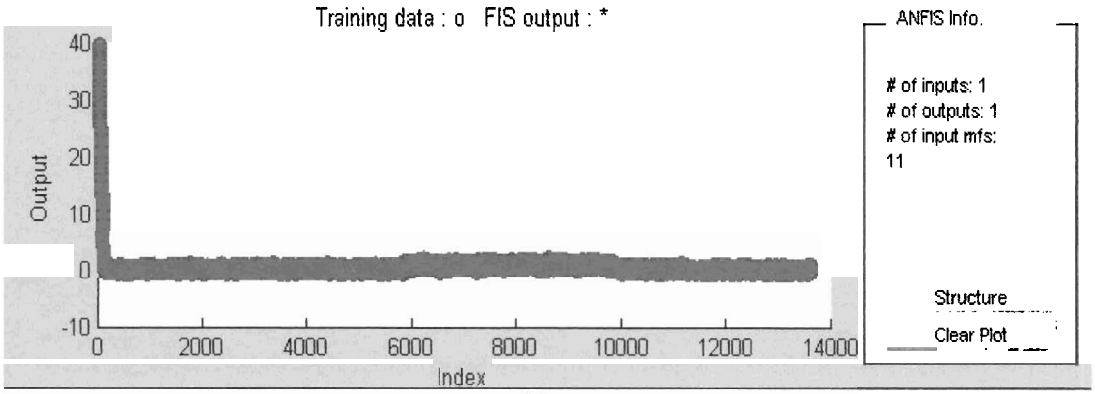
2. Hasil simulasi model sistem dengan menggunakan DVR

Setelah hasil simulasi sistem tanpa DVR diperoleh, langkah selanjutnya adalah merancang model sistem menggunakan DVR. Model sistem menggunakan DVR dalam simulink Matlab ditunjukkan oleh Gambar 10. Dalam penelitian ini DVR dikendalikan dengan ANFIS. Disini digunakan dua buah ANFIS, yaitu untuk kendali tegangan sumbu d dan sumbu q. Kedua ANFIS ditrainin dengan jumlah data 13609 yang diperoleh dari kontroller PID. Untuk tegangan sumbu d, ANFIS memiliki 11 fungsi keanggotaan input, sedangkan untuk tegangan sumbu q memiliki 9 fungsi keanggotaan input. Kedua ANFIS ditraining dengan algoritma hybrid. Struktur kedua ANFIS ditunjukkan oleh Gambar 13 dan 14.

Gambar 20 menunjukkan hasil training ANFIS tegangan sumbu d. Gambar 20(a) menunjukkan training data memiliki error 0.0274 yang diperoleh pada epoch 6. Gambar 20(b) menunjukkan hasil training sudah sesuai dengan data training. Pada Gambar 20(b), warna merah merupakan hasil training, sedangkan warna biru merupakan data yang ditraining.



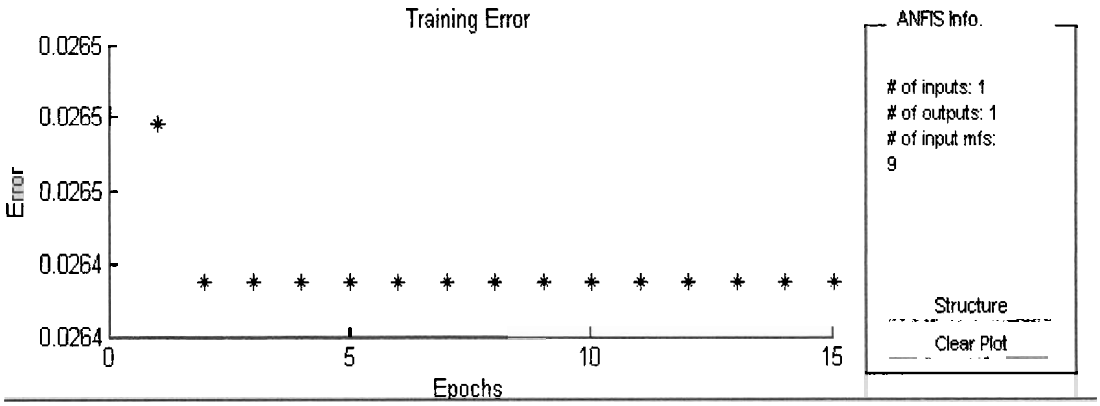
(a)



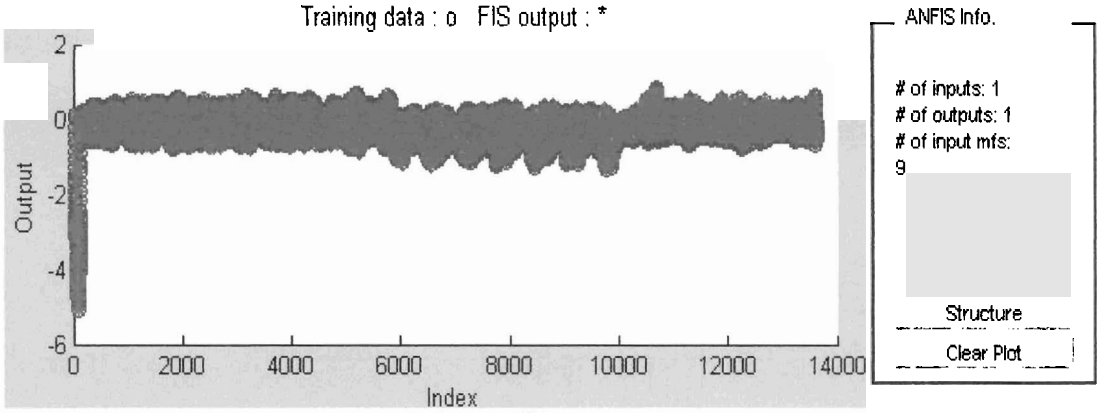
(b)

Gambar 20. Hasil training ANFIS untuk tegangan sumbu d
(a) Error training (b) hasil training data

Untuk tegangan sumbu q, error training hanya 0.0265 yang diperoleh pada epoch 3. Gambar 21 menunjukkan hasil training ANFIS untuk tegangan sumbu q.



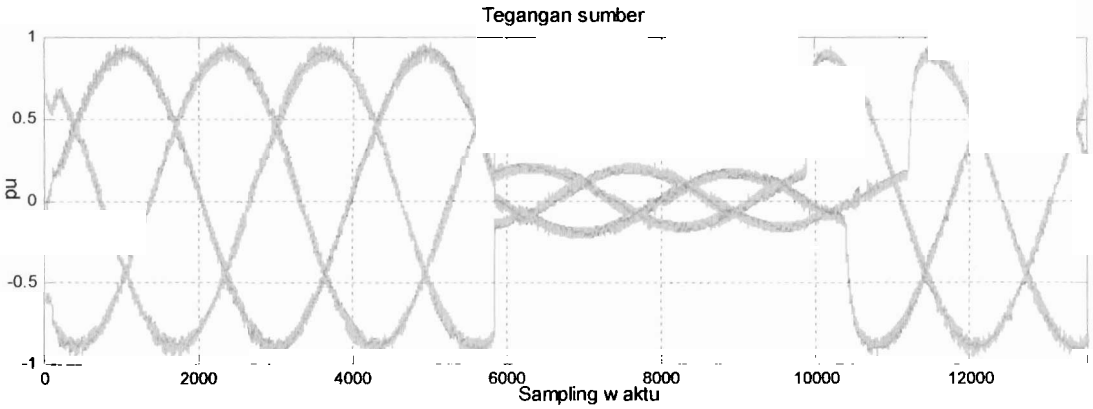
(a)



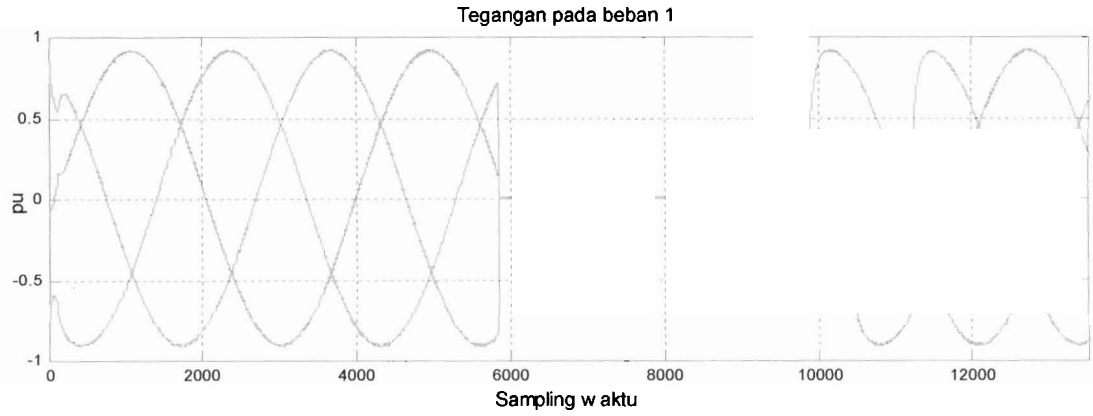
(b)

Gambar 21. Hasil training ANFIS untuk tegangan sumbu q
(a) Error training (b) hasil training data

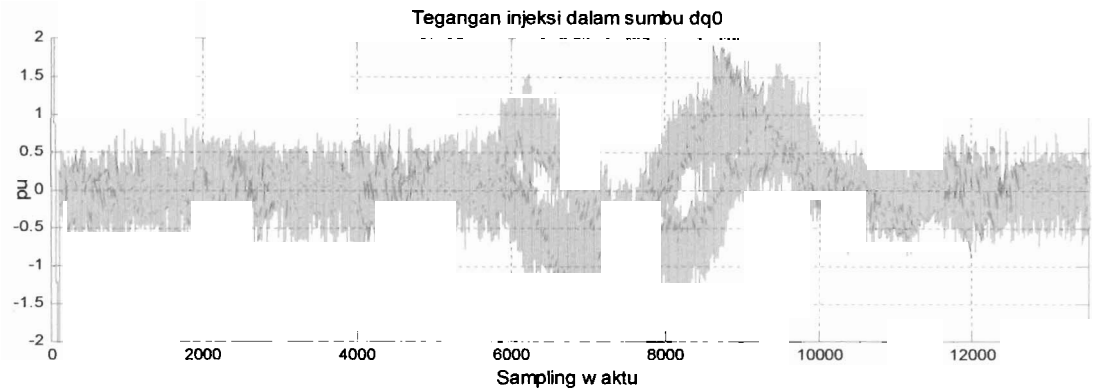
Gambar 20(a) dan 21(b) memperlihatkan bahwa dhasil training ANFIS sudah sesuai dengan data training. Hal ini menandakan bahwa kontroller ANFIS dapat mengendalikan DVR dengan baik. Hal ini juga didukung oleh hasil simulasi sistem menggunakan DVR seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 22.



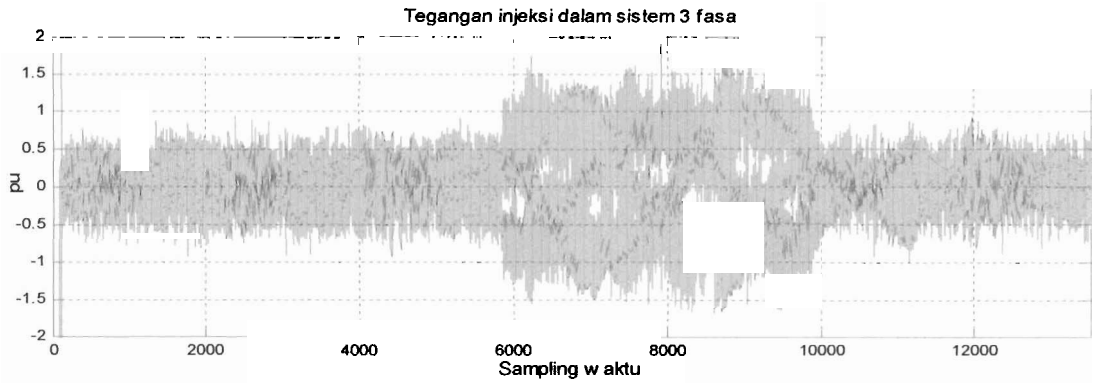
(a)



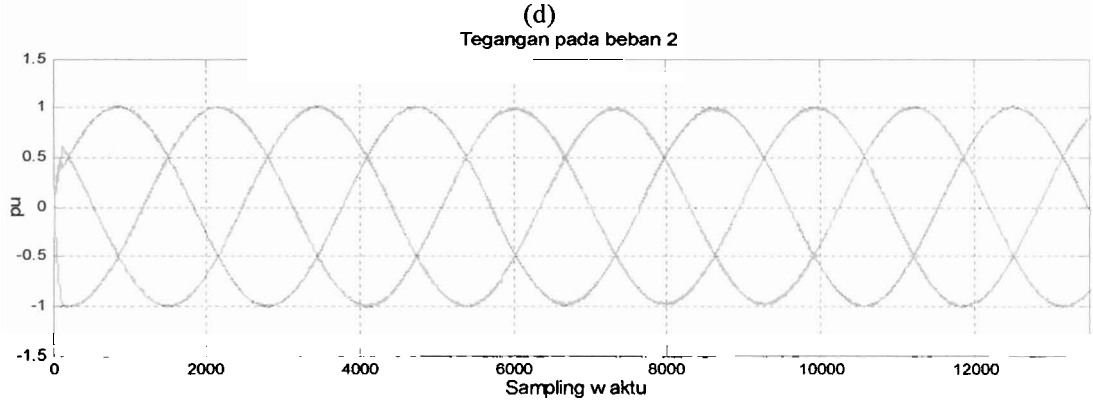
(b)



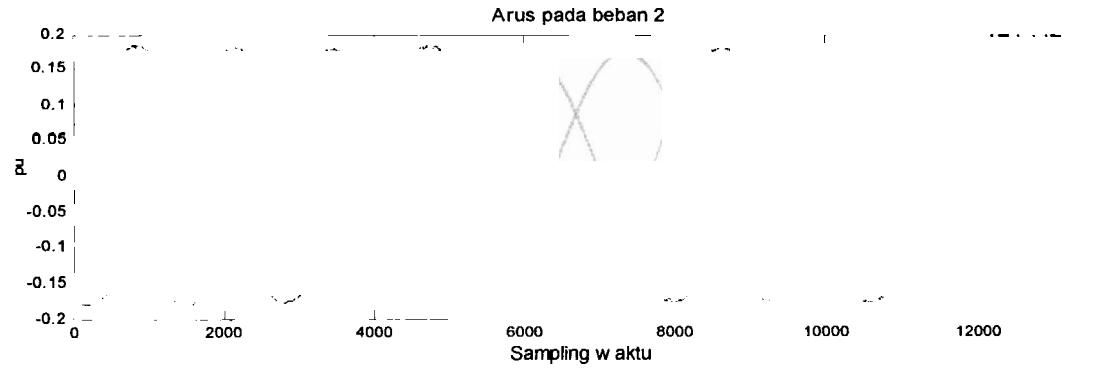
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 22. Hasil simulasi pada model yang menggunakan DVR
(a) Tegangan sumber (b) Tegangan pada beban 1 (c) Tegangan injeksi dalam sumbu dq (d) Tegangan injeksi dalam sistem 3 fasa (e) Tegangan pada beban 2 (f) Arus pada beban 2

Dari Gambar 22 dapat kita lihat bahwa pemasangan DVR pada sistem dapat memulihkan kedip tegangan. Gambar 22(a) dan 22(b) terlihat bahwa gangguan hubung singkat pada beban 1 menyebabkan drop tegangan pada sumber dan pada beban 1. Pada beban 2 sudah tidak ada lagi kedip tegangan walaupun pada beban 1 terjadi kedip tegangan, hal ini disebabkan oleh adanya DVR yang dipasang pada beban 2 untuk memulihkan kedip tegangan. Gambar 22(e) menunjukkan bentuk gelombang tegangan pada beban 2 yang tidak ada cacat atau drop tegangan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ANFIS menghasilkan kerja DVR yang optimal.

B. Pembahasan

Dari hasil simulasi yang pertama dapat kita lihat bahwa gangguan hubung singkat pada suatu bus beban dapat mempengaruhi tegangan pada bus beban yang lain. Hal ini dapat kita lihat pada simulasi pertama, ketika gangguan hubung singkat diberikan pada beban 1 maka menyebabkan drop atau kedip tegangan pada beban 2, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 19. Untuk peralatan yang sensitif terhadap tegangan, tentu hal ini tidak diinginkan.

Untuk mengatasi hal ini dalam penelitian ini dirancang sebuah DVR yang dikendalikan dengan ANFIS. Dalam penelitian ini ANFIS digunakan untuk mengontrol error tegangan dalam bentuk sumbu dq. Hasil rancangan seperti yang terlihat pada hasil simulasi kedua yang ditunjukkan oleh Gambar 22. Pada Gambar 21 dapat kita lihat rancangan kontroller ANFIS menghasilkan kerja yang optimal. Dari training data yang dilakukan, kontroller ANFIS hanya menghasilkan error 0.0274 untuk tegangan sumbu d dan 0.0265 untuk tegangan sumbu q dengan jumlah data yang ditraining 13609. Data training untuk ANFIS diambil dari kontroller PID. Gambar 20(b) dan 21(b) menunjukkan bahwa hasil training sesuai dengan data yang ditraining. Hal ini menandakan bahwa kontrol ANFIS dapat bekerja sesuai dengan tujuan.

Kehandalan kontroller ANFIS dapat dilihat dari hasil simulasi kedua, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 22. Pada Gambar 22(a) dan 22(b) menunjukkan saat terjadi gangguan hubung singkat pada beban 1 maka terjadi drop tegangan pada sumber dan beban 1, tapi pada beban 2 sudah tidak ada lagi

kedip tegangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 22(e). Bila dibandingkan dengan hasil simulasi pertama dapat kita simpulkan bahwa pemasangan DVR dengan kendali ANFIS pada simulasi kedua dapat memulihkan kedip tegangan dengan handal akibat gangguan hubung singkat pada beban 1. Kehandalan kontroller ANFIS dapat dilihat dari bentuk gelombang tegangan beban 2 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 22(e) dimana gelombang tegangan terlihat seperti kondisi normal dengan tidak ada cacat gelombang atau pergeseran sudut fasa, sehingga seolah-olah tidak terjadi gangguan atau kedip tegangan pada beban 2.

Kehandalan kontroller ANFIS juga terlihat dari bentuk gelombang tegangan yang diinjeksikan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 22(c) dan 22(d). Gambar 22(c) memperlihatkan bentuk gelombang tegangan injeksi dalam sumbu dq, sedangkan Gambar 22(d) memperlihatkan bentuk gelombang tegangan injeksi dalam sistem tiga fasa. Dari kedua Gambar itu dapat kita lihat, DVR hanya menginjeksikan tegangan saat terjadi kedip tegangan. Dalam kondisi normal tegangan injeksi berkisar pada nilai 0.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan pembahasan dapat dibuat kesimpulan :

1. Penggunaan ANFIS sebagai kontroller DVR memberikan aksi kontrol yang handal. Dari training data yang dilakukan, error training hanya 0.0275 untuk tegangan sumbu d dan 0.0265 untuk tegangan sumbu q dengan jumlah data training 13609
2. Kehandalan kontroller ANFIS juga ditunjukkan oleh bentuk tegangan beban yang dipasangi DVR yang tidak memiliki cacat gelombang atau pergeseran sudut fasa akibat gangguan hubung singkat pada beban lain.

B. Saran

Untuk meningkatkan performansi DVR, untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan metode kontrol yang lain sehingga untuk memberikan aksi kontrol yang lebih handal

DAFTAR PUSTAKA

Ashari,M, Suryoatmojo.H, Pujiantara.M, (2007), "Pemulih Tegangan Kedip (Dynamic Voltage Restorer) Menggunakan Tegangan Referensi Virtual Dalam Koordinat D-Q". *Prosiding Seminar Nasional XIII* - FTI-ITS 2007, 6-7 Maret 2007,Surabaya

Bose, K.B. (2001), *Modern Power Electronic and AC Drives*, Prentice Hall, Upper Saddle River.

D. G. Holmes, and T. A. Lippo, (2004), *Pulse width modulation for power converter.* John Wiley & Sons, West sussex, USA.

Francisco Jurado., (2004), "Neural Network Control For Dyanamic Voltage Restorer". *IEEE Transactios On Industrial Electronics*, Vol 51,No.3.

Francisco Jurado dan Manuel Valverde, (2003), "Voltage Sag Correction By Dynamic Voltage Restorer Based on Fuzzy Logic Control", *IEEE Transaction on Industrial Electronic*,May 2003.

J.G. Nielsen, Michael Newman, (2004) "Control strategy for dynamic voltage restorer at medium voltage level", *IEEE transaction on power electronics,* Vol 19 no 13, Mei 2004.

J. S. R. Jang, C. T. Sun, and E. Mizutani. (1997), *Neuro-fuzzy and soft computing*, Prentice Hall International, USA.

Karady, George. (2005), "Effect of Voltage Sags on Load in a Distribution System", *Power System Engineering Research Centre*, Oktober 2005.

M. H. Purnomo, dan A. Kurniawan. (2006), *Supervised neural network dan aplikasinya*, Graha Ilmu, Jogyakarta, Indonesia 2006

Mohan, Ned. (1998), *Power Electronic Converter, Aplication and Design,* John Willey and Sons, New York.

P.T Nguyen and Tapan. K Saha, (2003) "Dynamic Voltage RestorerAgainst Balance and Unbalance Voltage Sag: Modelling and Simulation", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Febuary 2003.

Rashid, M.H. (2001), *Power Electronics Handbook*, Academic Press, Canada.

Skvarenina, T.L. (2002), *The Power Electronic Handbook : Industrial Electronics Series*, CRC Press LLC, Florida.

Zhang, Lidong, Math H.J.Bollen, (2004) "Charateristic of Voltage Dips (Sags) in Power System", *IEEE Transaction on Industrial Electronic*, February 2004.

LAMPIRAN

1. Personalia Penelitian

a. Ketua Peneliti

1)	Nama lengkap dan gelar	: Fivia Eliza, S.Pd., M.Pd
2)	NIP	: 19850807 200912 2 004
3)	Tempat/Tanggal Lahir	: Seleman, Kerinci / 07 Agustus 1985
4)	Jenis Kelamin	: Perempuan
5)	Pangkat/Golongan	: Penata Muda/III.b
6)	Fakultas / Program studi	: Teknik / Teknik Elektro
7)	Perguruan Tinggi	: Universitas Negeri Padang
8)	Bidang Keahlian	: Teknik Sistem Tenaga Listrik
9)	Alamat Kantor	: Jl. Prof.Dr. Hamka Air Tawar Padang Telp. 0751 445998 Fax. 0751 55644
10)	Alamat rumah	: Jl. Palangkaraya Blok S No. 6 RT.2/VIII Kel. Ulak Karang Selatan Kec. Padang Utara Kota Padang

Pendidikan

Universitas/Institusi Dan Tempat	Gelar	Tahun Selesai	Bidang Studi
FT UNP Padang	S.Pd (Sarjana)	2007	Pendidikan Elektro
PPs UNP Padang	M.Pd (Pascasarjana)	2009	Teknologi Pendidikan

UNIV. NEGERI PADANG


```
load anfis vq vqo
%
input=[vq];
output=[vqo];
Fis=[input output];
VQ_O=genfis1(Fis,[9],char('gaussmf'),char('linear'));
save vq_o.mat VQ_O;
writefis(VQ_O,'vq_o');
fuzout=evalfis(input,VQ_O);25
ruleview('vq_o');

 PLOT INPUT FIS
figure(1)
plotmf(VQ_O,'input',1)
hold on;
title('input1 ANFIS1');
ylabel('Derajat keanggotaan');
xlabel('vq (pu)');


 TRAINING DATA DENGAN ANFIS
data=Fis;
traindata=data(1:13600, :);
chekdata=data(1:end, :);
[VQ_O1,error1,ss,VQ_O2,error2]=...
    anfis(traindata,VQ_O,[],[],chekdata);

writefis(VQ_O2,'vq_o2');
save vq_o2.mat VQ_O2;


anfis_out=evalfis([traindata(:,1:1);chekdata(:,1:1)],VQ_O2);

figure(2)
plot(error2, 'r');
xlabel('Epochs');ylabel('RMSE');title('Kurva Error');
%
figure(3)
plot(output(1:230,:),'r');hold on;plot(anfis_out,'b');hold off
xlabel('Data');ylabel('Uncertainty ');title('Training')
ruleview('vq_o2');
```