

**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)
PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC
CONTROL**

SKRIPSI



Disusunoleh:

IKHTIAR TAUFIKURRAHMAN

08.12.015



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA STATIS DENGAN FUZZY LOGIC CONTROL

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

IKHTIAR TAUFIKURRAHMAN

NIM : 08.12.015

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



M. Ibrahim Ashari, ST. MT
NIP. P. 1030100358

Dosen Pembimbing I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

NIP.Y.1018800189

Dosen Pembimbing II

Ir. Ni Putu Agustini, MT

NIP. Y. 1030100371

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT.BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I :Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341)551431(Hunting), Fax (0341)553015 Malang 65145
Kampus II :Jl.Raya Karanglo, Km.2 Telp.(0341)417636 Fax (0341)417634 malang

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ikhtiar taufikurrahman
NIM : 08.12.015
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, ... 02 2015

Yang membuat Pernyataan,

Ikhtiar taufikurrahman

08.12.015

ABSTRAK

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL

Ikhtiar Taufikurrahman NIM. 08.12.015

Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Ismail Nahkoda,MT dan Ir. Ni Putu Agustini,MT

Panel surya (*solar photo voltaic*) merupakan pembangkit listrik terbarukan yang memiliki peranan penting sebagai pengganti energi fosil. Dalam aplikasinya secara konvensional panel surya memiliki kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah dan bergantung pada intensitas cahaya dan suhu. Dengan demikian Maximum Power Point Tracker (MPPT) dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi panel surya, MPPT merupakan metode untuk menstabilkan keluaran pada PV. Metode MPPT ini menggunakan Fuzzy Logic Control (FLC) sebagai kendali pensaklaran boost konverter. Metode tracking FLC menghitung daya maksimum dengan parameter input arus dan tegangan dari output PV. Selanjutnya FLC untuk memperbaiki keakuratan duty cycle konverter. Hasil simulasi MPPT dengan FLC ini dapat menghasilkan daya keluaran maksimum dibandingkan dengan tanpa menggunakan MPPT.

**Kata kunci : PV, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Fuzzy Logic Control (FLC),
Boost Konverter, Duty Cycle**

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul "**MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL**" dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT selaku Dosen Pembimbing I
5. Ir. Ni Putu Agustini, MT selaku Dosen Pembimbing II
6. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami mengucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

Usaha ini telah kami lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritik yang sifatnya membangun. Begitu juga sangat kami perlukan untuk menambah kesempurnaan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, 16 Februari 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sel Surya.....	5
2.1.1 Sejarah Sel Surya.....	5
2.1.2 Spesifikasi Sel Surya	5
2.1.2.1 Dasar Sel Surya	5
2.1.2.2 Perkembangan Sel Surya	9
2.1.3 Arus Energi Surya dan Proses Pemanfaatannya.....	9
2.1.3.1 Radiasi Matahari di Permukaan Bumi	10
2.1.3.2 Penentuan Posisi Matahari	12
2.1.3.3 Sudut Jam	12
2.1.3.4 Sudut Deklinasi	12
2.1.4 Komponen Utama Sistem Sel Surya	13
2.1.5 Prinsip Kerja Sel Surya	13
2.1.6 Energi Listrik	16
2.1.7 Daya Dan Efisiensi	16

2.1.8	Faktor Pengoperasian Sel Surya	18
2.1.9	Tipe-Tipe Pemasangan Sel Surya.....	20
2.2	<i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i>	21
2.2.1	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	22
2.2.2	<i>Jenis Width Modulation</i>	24
2.2.2.1	Analog	24
2.2.2.2	Digital	25
2.2.3	Kelebihan PWM dengan PLC	25
2.2.3.1	Kekurangan PWM dengan PLC	26
2.2.3.2	Cara Kerja Dan Pengendalian	26
2.2.3.2.1	Konsep Dasar PWM.....	26
2.2.3.2.1.1	Perhitungan <i>Duty Cycle PWM</i>	28
2.2.4	<i>Logika Fuzzy</i>	30
2.2.4.1	Himpunan <i>Fuzzy</i>	31
2.2.4.2	Fungsi Keanggotaan	33
2.2.4.3	Operator Dasar Zadeh Untuk Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	37
2.2.4.3.1	Operator <i>AND</i>	37
2.2.4.3.2	Operator <i>OR</i>	37
2.2.4.3.3	Operator <i>NOT</i>	38
2.2.4.3.4	Penalaran Monoton.....	38
2.2.4.3.5	Fungsi Implikasi	38
2.2.4.3.6	Fungsi <i>Inference System</i>	39
2.2.4.3.6.1	Metode Tsukamoto	39
2.2.5	Konverter DC-DC	40
2.2.5.1	Dasar Teori	41
2.2.5.2	Topologi Penaik Tegangan (<i>Boost Converter</i>).....	41

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1.	Rancangan Sistem	43
3.2.	Waktu Pengukuran	43
3.3.	Alat Dan Bahan	43
3.4.	Langkah-Langkah Penelitian.....	44
3.4.1.	Studi Literatur.....	44

3.4.2.	Perancangan <i>System Simuling</i>	45
3.4.2.1.	Pengujian PV	45
3.4.2.2.	Desain Rangkaian <i>Converter Boost</i>	46
3.4.2.3.	Sistem <i>Controller MPPT Fuzzy Logic Controller</i>	48
3.4.2.4.	Pengambilan Data.....	49
3.4.3.	Prosedur Algoritma <i>Fuzzy Logic Control (FLC)</i>	52
3.4.3.1	Menentukan <i>Rule Base FLC</i>	52
3.4.3.2.	Menentukan <i>Membership Function</i>	53
3.5	Diagram Alir.....	58
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		
4.1	Pengujian Model Panel Surya	59
4.2	Pengujian Rangkaian <i>Converter Boost</i>	61
4.3	Pengujian Sistem Sel Surya.....	63
4.3.1	Pengujian Sel Surya Tanpa <i>MPPT</i>	63
4.3.2	Pengujian Sistem Sel Surya dengan <i>MPPT</i>	65
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Diagram dari sebuah potongan sel surya (PV).....	6
Gambar 2.2 <i>Skema</i> energy yang dimanfaatkan dari radiasi surya.....	9
Gambar 2.3 Posisi bumi terhadap sinar matahari	11
Gambar 2.4 Variasi sudut kemiringan permukaan tanah terhadap arah penerimaan cahaya matahari	12
Gambar 2.5 Struktur lapisan solar sel secara umum	13
Gambar 2.6 Spektrum radiasi sinar matahari	14
Gambar 2.7 Radiative Transition of solar sel.....	15
Gambar 2.8 Bagian dalam dari photo voltaich.....	15
Gambar 2.9 Grafik I – V Curve.....	16
Gambar 2.10 Efak dari intensitas arus	19
Gambar 2.11 Ekstra luasan panel PV dalam posisi datar.....	20
Gambar 2.12 Grafik titik mpp pada P max	21
Gambar 2.13 Signal PWM	23
Gambar 2.14 Rangkaian PWM analog.....	24
Gambar 2.15 Pembentukan signal PWM	25
Gambar 2.16 Signal PWM dan persamaan V_{out} PWM.....	26
Gambar 2.17 Vrata-rata signal PWM.....	27
Gambar 2.18 Duty cycle dan resolusi PWM	28
Gambar 2.19 Duty cycle PWM.....	29
Gambar 2.20 Konsep “TUA“ dalam pengertian tegas (crisp).....	30
Gambar 2.21 Konsep “TUA“ dalam pengertian fuzzy	30
Gambar 2.22 Himpunan MUDA, PERUHBAYA, dan TUA	31
Gambar 2.23 Himpunan fuzzy untuk variabel umur.....	32
Gambar 2.24 Reprintasi linier naik.....	34
Gambar 2.25 Reprintasi linier turun	35

Gambar 3.3 Blok rangkaian PV35

Gambar 3.3 Blok rangkaian PV35

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi panel surya	44
Tabel 3.2 Data hasil pengukuran panel surya yang digunakan	51
Tabel 4.1 Hasil simulasi panel surya.....	60
Tabel 4.2 Hasil pengujian tegangan panel surya	61
Tabel 4.3 Hasil uji rangkain converter boost dengan duty cycle 50 %.....	63
Tabel 4.4 Data hasil pengujian system tanpa MPPT.....	64
Tabel 4.5 Data hasil pengujian system dengan MPPT.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan Teknolgi dan ilmu pengetahuan mendorong penggunaan energi listrik pada semua aspek kehidupan manusia semakin meningkat, baik untuk keperluan industri, rumah tangga maupun perkantoran. Selama ini sumber energi listrik banyak didapatkan dari hasil konversi energi fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas. Meningkatnya kebutuhan energi listrik memberikan dampak terhadap ketersediaan energi fosil. Jika hal ini dibiarkan terus menerus maka lama kelamaan energi fosil akan berkurang dan kemungkinan terjadi kelangkaan. Untuk itu diperlukan sumber energi alternatif, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga surya.

Pembangkit listrik tenaga surya dengan panel surya (solar photovoltaic) merupakan pembangkit listrik terbarukan di masa datang, akan semakin memiliki peranan penting sebagai pengganti energi fosil. Dalam aplikasinya secara konvensional panel surya memiliki banyak kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah, hal tersebut dikarenakan perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban. Selain itu ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, seperti besarnya tingkat intensitas cahaya dan suhu kerja dari panel surya. Oleh karena itu diperlukan teknologi yang dapat memaksimalkan daya keluaran dari panel surya tersebut.

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang, kecerdasan buatan dan elektronika daya, diharapkan mampu menemukan suatu metode untuk meningkatkan efisiensi panel surya, salah satunya adalah metode Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Logika fuzzy yang berfungsi sebagai algoritma kontroler yang dapat membantu merancang dan memperbaiki hasil respon dari sistem menjadi lebih baik. Hal ini telah ditunjukkan dari beberapa penelitian yang dilakukan oleh praktisi teknik dimana dengan menggunakan metode logika fuzzy sebagai

algoritma perancangan MPPT yang dapat membuat keluaran atau respon system menjadi lebih baik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas masalah yang timbul dari Skripsi ini adalah,

1. Bagaimana melakukan Desain sistem MPPT untuk penelusuran titik daya maksimum sehingga mendapatkan daya output yang besar pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)
2. Bagaimana mengendalikan sinyal pensaklaran Boost Konverter dengan menggunakan Logika fuzzy.
3. Bagaimana menganalisa hasil rancangan sistem MPPT terhadap respon yang diberikan.

Dari permasalahan di atas maka skripsi ini berjudul:

DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL

1.3. Maksud Dan Tujuan

Adapun tujuan dari pembuatan Skripsi ini adalah:

1. Mendesain sistem MPPT untuk penelusuran daya output yang besar
2. Mendapatkan efisiensi yang lebih besar dalam pelacakan daya maksimum dari panel surya menggunakan boost converter dan logika fuzzy.
3. Mendapatkan hasil analisis dari perbandingan pembangkit tenaga surya yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT.

1.4. Batasan Masalah

Agar tujuan dari Skripsi ini tidak menyimpang dari tujuan semula, dibutuhkan suatu batasan-batasan yang jelas guna mengarahkan pembahasan. Batasan-batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut,

1. Fokus pembahasan pada tugas akhir ini adalah desain simulasi MPPT menggunakan Konverter Boost dan Logika Fuzzy menggunakan software matlab.
2. Model Konverter DC-DC yang digunakan adalah konverter DC-DC Boost.

3. Pengambilan data di lakukan menggunakan MPPT dan Tanpa MPPT.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian akan diperoleh suatu metode untuk mendapatkan nilai daya output yang maksimum pada panel surya, sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu metode alternatif untuk meningkatkan efisiensi panel surya. Dengan efisiensi yang lebih tinggi, penggunaan solar sel dimasa akan datang akan lebih meningkat.

1.6. Metodologi Penelitian

1. Studi Literatur

Yaitu melakukan pengkajian berdasarkan data – data yang didapat dari perpustakaan atau sumber lainnya yang berupa buku, internet, ataupun dari buku laporan penelitian.

2. Studi Lapangan

Yaitu memperoleh data dengan cara langsung dalam analisis dan simulasi pada perancangan sistem.

3. Perancangan dan pengujian sistem

1. Perancangan sistem MPPT.
2. Pengujian MPPT dan konverter Boost.
3. Analisa tanggapan MPPT menggunakan variabel beban.

4. Analisis data

Yaitu dengan jalan membuat analisa secara aktual dan dengan menarik kesimpulan serta pengujian data yang ada, yang merupakan perbedaan sistem tanpa MPPT dan dengan MPPT.

5. Pengambilan kesimpulan

Yaitu berisikan kesimpulan dan saran atas analisa yang dibuat.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Pengertian tentang teori sel surya, Converter, penjelasan tentang teori Maximum power Point Tracking (MPPT), dan system fuzzy.

**BAB III : DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)
PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL**

Pada bab ini menjelaskan tentang sistem maximum power point tracking

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA HASIL

Pada bab ini berisi data hasil simulasi dan analisa hasil dari *software* MATLAB 2013

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Sel surya

2.1.1 Sejarah sel surya

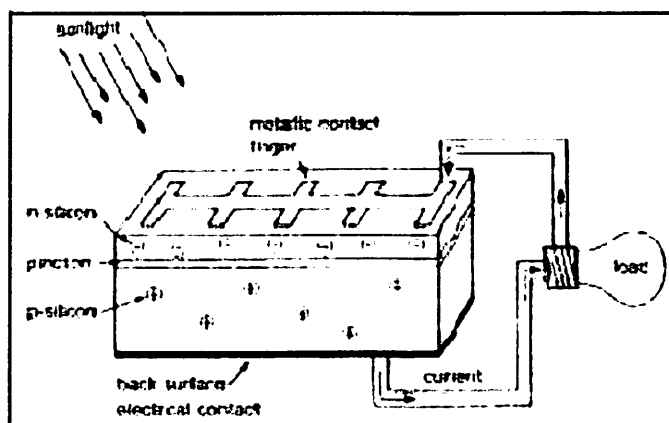
Pada sekitar abad 19, aliran listrik surya ditemukan oleh ahli fisika Jerman bernama Alexandre edmond Becquerel secara kebetulan dimana berkas sinar matahari jatuh pada larutan kimia bahan penelitian, sehingga muatan elektron pada larutan meningkat. Pada awal abad 20, Albert Einstein menamakan penemuan ini dengan "Photoelectric Effect", yang kemudian menjadi pengertian dasar pada "Photovoltaic effect", dimana selapung metal melepaskan "Photon" partikel energi cahaya ketika terkena sinar matahari.

Gelombang cahaya sinar lembayung (ultraviolet) adalah sinar yang bermuatan energi foton tinggi dan panjang gelombangnya pendek, sedangkan sinar merah (infra-red) adalah sinar yang bermuatan energi foton rendah dan dalam bentuk gelombangnya panjang. Sekitar tahun 1930, ditemukan konsep "Quantum Mechanics" untuk menciptakan teknologi baru "solid-state", dimana perusahaan Bell Telephone Research Laboratories menciptakan sel surya padat yang pertama. Tahun 1950 – 1960, teknologi desain dan efisiensi sel surya terus berlanjut dan diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa (photovoltaic energies). Tahun 1970-an, dunia menggalakan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan, maka PV mulai diaplikasikan ke "low power warning system" dan "offshore buoys" (tetapi produksi PV tidak dapat banyak karena masih "handmade"). Baru pada tahun 1980 an, perusahaan-perusahaan PV bergabung dengan instansi energi pemerintah agar dapat lebih memproduksi PV sel dalam jumlah besar, sehingga harga sel-surya dapat serendah mungkin.

2.1.2 Spesifikasi Sel surya

2.1.2.1 Dasar sel surya [1]

Sel surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon Sel Surya adalah sebuah diode yang terbentuk dari lapisan atas silikon tipe n (silicon doping of “phosphorous”), dan lapisan bawah silicon tipe p (silicon doping of “boron”) seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.1. Diagram dari sebuah potongan Sel Surya (PV)

Sehingga pada bagian kiri terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis P, sedangkan yang sebelah kanan dinamakan silikon jenis N. Di dalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan hole, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Setelah dilakukan proses penodaan itu, di dalam silikon jenis P terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu di dalam silikon jenis P hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya, di dalam silikon jenis N terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas, dan hole disebut pembawa muatan minoritas. Di dalam batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian P dan bagian N. Oleh karena itu dinamakan PN junction. Bila sekarang, bagian P dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian N, maka terjadi hubungan yang dinamakan "forward bias".

Dalam keadaan forward bias, di dalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam PN junction disebabkan oleh gerakan hole dan gerakan elektron. Arus listrik itu mengalir searah dengan gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Sekedar untuk lebih menjelaskan, elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron. Tapi, bila bagian P dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian N dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan "reverse bias". Dengan keadaan seperti ini, maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Jadi, jelas di dalam PN junction tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun yang elektron. Sedangkan pembawa muatan minoritas (elektron) di dalam bagian P bergerak berusaha untuk mencapai kutub positif baterai. Demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) di dalam bagian N juga bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu, dalam keadaan reverse bias, di dalam PN junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan reverse saturation current atau leakage current (arus bocor).

Ada yang menarik dalam keadaan reverse bias itu. Bila suhu PN junction tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam PN junction bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa suatu PN junction dapat juga menghasilkan energi yang cukup untuk menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan foto konduktif. Berdasarkan gejala foto konduktif itu maka dibuat komponen elektronik foto dioda dari PN junction itu. Dalam keadaan reverse bias, dengan memperbesar intensitas cahaya yang menimpa foto dioda dapat meningkatkan arus bocornya. Arus bocor dapat juga diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan

reverse), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian reverse bias itu dilepas dan diganti dengan bebantahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik hole maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan, ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan photovoltaic. Cahaya dapat memberikan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah hole pada bagian P dan jumlah elektron pada bagian N. Berdasarkan gejala photovoltaic ini maka dapat diciptakan komponen elektronik photovoltaic cell. Karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya, maka photovoltaic cell sering juga disebut solar cell (sel surya) atau solar energy converter. Jadi sel surya itu pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala photovoltaic sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan daya yang sebesar mungkin. Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya. Biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk panel, dan dinamakan panel photovoltaic (sel surya). Sel Surya sebagai sumber daya listrik pertama kali digunakan di satelit. Kemudian dipikirkan pula sel surya sebagai sumber energi untuk mobil, sehingga ada mobil listrik surya. Sekarang, di luar negeri, Sel Surya sudah mulai digunakan sebagai atap atau dinding rumah. Bahkan Sanyo sudah membuat sel surya yang semi transparan sehingga dapat digunakan sebagai pengganti kaca jendela. Sel surya di Indonesia sudah mulai banyak dimanfaatkan, terutama sebagai energi penerangan di malam hari. Juga sudah dilakukan uji coba untuk membuat mobil tenaga surya. Sekarang, pemerintah sedang memikirkan untuk mengembangkan pemanfaatan sel surya kedaerah-daerah transmigrasi. Elektron-elektron bebas terbentuk dari milion photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (junction = 0.2-0.5 micron) menyebabkan terjadinya aliran listrik.

2.1.2.2 Perkembangan Sel Surya

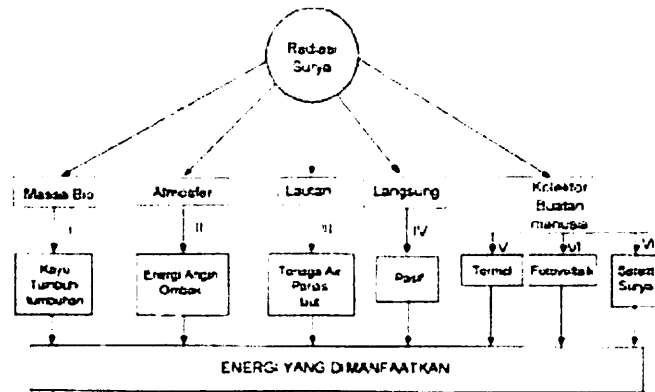
Pengembangan Sel Surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan silikon yang secara individu (chip) banyak digunakan, diantaranya:

- a. **Mono-crystalline (Si)**, dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang Mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
- b. **Polycrystalline/Multi-crystalline (Si)**, dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon.
- c. **Gallium arsenide (GaAs)**. Gallium arsenide pada unsur periodik III-V berjenis semikonduktor ini sangat efisien dan efektif dalam menghasilkan energi listrik sekitar 25% banyak digunakan pada aplikasi pemakai sel surya.

2.1.3 Arus Energi Surya dan Proses Pemanfaatannya

Energi surya memasuki atmosfer bumi dengan kepadatan yang diperkirakan sebesar antara satu hingga 1,4 kW/m² dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar.

Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kembali ke ruang angkasa dan terdapat lebih kurang 560 W/m² yang diserap bumi.



Gambar 2.2 skema energi yang dimanfaatkan dari radiasi surya

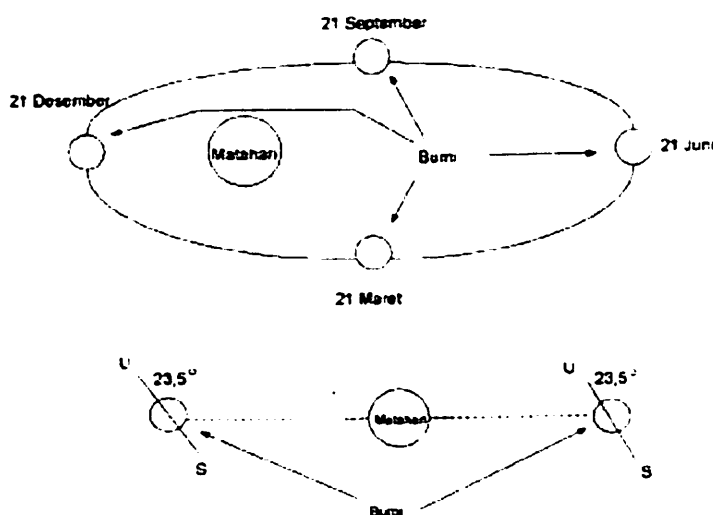
Dari angka perkiraan tersebut radiasi surya secara potensial di Indonesia sebesar $1,12 \times 10^8$ MW. Gambar II.1 secara skematis menunjukkan energi asal radiasi surya yang mencapai bumi dan yang melalui berbagai proses, baik alamiah maupun buatan manusia. Pada proses I sinar matahari ditangkap oleh daun-daun tumbuh-tumbuhan yang dikumpul dalam bentuk kayu dan massa bio, energi yang terkumpul tersebut dapat dimanfaatkan oleh manusia. Proses II menunjukkan radiasi surya yang memanasi atmosfer sehingga terjadi perpindahan udara berupa angin dan arus pancar. Pada proses III lautan dipanaskan. Di sini terjadi dua hal. Pertama air naik sebagai uap menjadi awan dan turun di gunung dan air mengalir di sungai merupakan potensi tenaga air. Selain itu, lautan dipanaskan. Lapisan laut sebelah atas lebih panas dibandingkan lapisan bawahnya. Panas ini merupakan potensi yang dimanfaatkan dengan cara konversi energi panas. Pada Proses IV panas matahari dimanfaatkan secara langsung, sebagaimana misalnya pada proses menjemur pakaian, atau membuat garam seperti yang telah lama dilakukan manusia. Pada Proses V, VI, dan VII pemanfaatan panas matahari dilakukan dengan kolektor buatan manusia. Untu proses V energi yang dikumpulkan kolektor biasanya dimanfaatkan untuk memanaskan air. Air yang panas tersebut dapat dimanfaatkan, atau melalui proses uap maupun dengan caralain dijadikan tenaga listrik. Proses VI sinar matahari melalui prinsip fotovoltaiik (sel surya) diubah langsung menjadi tenaga listrik. Pada prose VII, digunakan sebuah satelit surya yang beredar dalamsuatu orbit di atas bumi

untuk menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi pancaran gelombang mikro, yang dikirim ke suatu stasiun bumi.

2.1.3.1 Radiasi Matahari di Permukaan Bumi

Planet bumi hampir berbentuk bulat dengan jari-jari 6370 km. Waktu yang diperlukan untuk sekali berotasi pada sumbunya adalah 24 jam dan waktu yang diperlukan untuk sekali berevolusi terhadap matahari 365 hari. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk elips dengan matahari terletak pada salah satu fokus. Pada tanggal 21 Desember posisi bumi berada terdekat dengan matahari (perihelion). Sedangkan pada tanggal 21 Juni posisi bumi paling jauh (aphelion). Perbedaan jarak tersebut berkisar $\pm 3,3\%$. Karena intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi berbanding terbalik dengan jarak bumi dan matahari, maka pada akhir Desember bumi menerima radiasi sebesar 7,0% berbanding terbalik dengan penerimaan radiasi pada akhir juni.

Sumbu rotasi bumi miring $23,45^\circ$ terhadap orbitnya sewaktu mengelilingi matahari sehingga mempengaruhi perhitungan jumlah distribusi radiasi matahari, perubahan waktu siang dan malam, dan pergantian musim.



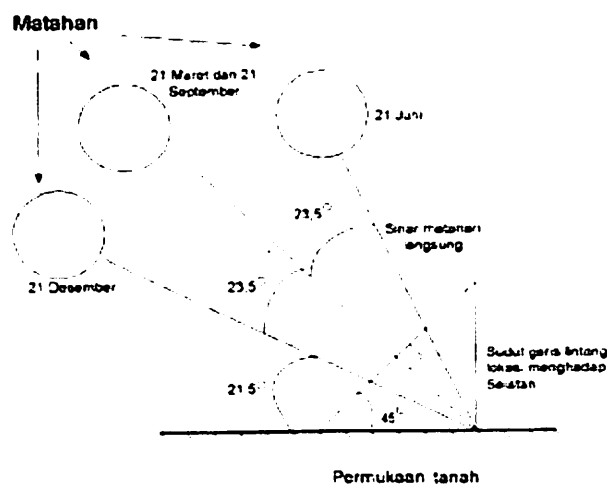
k^{*}

Gambar 2.3 Posisi bumi terhadap sinar matahari

Indonesia terletak di ekuator, maka perubahan waktu siang dan malam serta pergantian musim tidak besar pengaruhnya sehingga tidak begitu terasa jika dibandingkan dengan daerah-daerah dengan lintang yang besar. Gambar 2.3 menunjukkan pengaruh kemiringan bumi pada beberapa keadaan sepanjang tahun. Matahari melepaskan energinya dalam jumlah yang sangat besar dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik ini memiliki dualism sifat, yaitu sebagai gelombang dan partikel. Sebagai partikel radiasi matahari berinteraksi dengan materi. Hal ini disebut foton. Foton inilah yang dimanfaatkan untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik melalui sel fotovoltaik (sel surya).

2.1.3.2 Penentuan posisi matahari

Posisi suatu daerah pada bumi terhadap posisi matahari ditentukan oleh dua sudut yang berubah-ubah secara kontinu, yaitu sudut jam matahari dan sudut deklinasi serta oleh suatu sudut tetap yang mensefikan lokasi daerah tersebut ada bumi yaitu garis lintangnya.



f
Gambar 2.4 Variasi sudut kemiringan permukaan tanah terhadap arah penerimaan cahaya matahari

2.1.3.3 Sudut jam

Sudut jam (H) dari matahari untuk suatu tempat tertentu adalah bergantung pada posisi sesaat bumi dan rotasi aksialnya. Oleh karena bumi menyelesaikan rotasi 360° dalam waktu 24 jam maka sudut jam berubah 15° setiap jam. Sudut jam diukur dari meredian lokal, atau dari titik tertinggi matahari dilangit pada *solar noon*, dengan sudut-sudut antara saat matahari terbit dan solar noon adalah bernilai positif dan sudut – sudut antara posisi matahari setelah *solar noon* adalah negatif.

2.1.3.4 Sudut deklinasi

Sudut deklinasi matahari adalah sudut antara sinar matahari dan garis tegak lurus terhadap sumbu polar dalam bidang sinar matahari atau dengan kata lain posisi anguler matahari pada kedudukan tertingginya dilangit terhadap bidang ekuator. Sudut ini bergantung pada posisi sesaat bumi dalam revolusinya mengelilingi matahari.

2.1.4 Komponen dalam sistem sel surya [7]

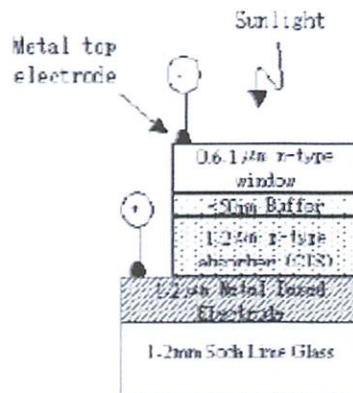
Komponen yang di perlukan dalam sistem kelistrikan Sel Surya adalah komponen elektronika daya yang terdiri dari DC-DC Konverter dan Inverter DCAC.

- a. DC-DC Konverter Fungsi Konverter ini sebagai implementasi dari pelacakan titik daya maksimum pada modul sel surya. Pelacak titik daya maksimum ini adalah sebuah Charge controller berupa devais elektronik yang mengatur agar modul sel surya maksimum output. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan tegangan sel surya yang menghasilkan daya maksimum. Lalu memilih sebuah DC-DC konverter untuk mengatur tegangan Modul SEL SURYA tetap pada tegangan maksimum tersebut.
- b. Inverter DC-AC Berdasarkan bentuk tegangan outputnya inverter dapat dibedakan menjadi tipe *Squarewave* inverter (output sinyal kotak) dan *sinewave* inverter (output sinyal sinus). Karena jaringan listrik beroperasi

menggunakan sinyal sinusoidal maka pada umumnya inverter yang di gunakan adalah *singel phase full bridge inverter*.

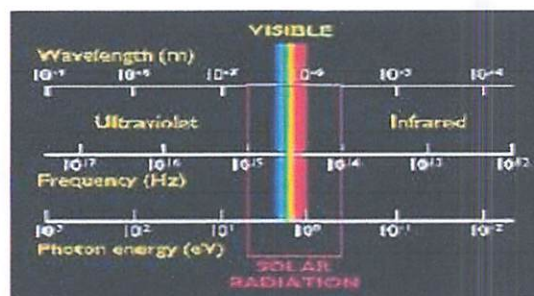
2.1.5 Prinsip kerja sel surya

Secara sederhana solar cell terdiri dari persambungan bahan semi konduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran electron, nah aliran electron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Sedangkan struktur dari solar cell adalah seperti ditunjukkan pada gambar dibawah:



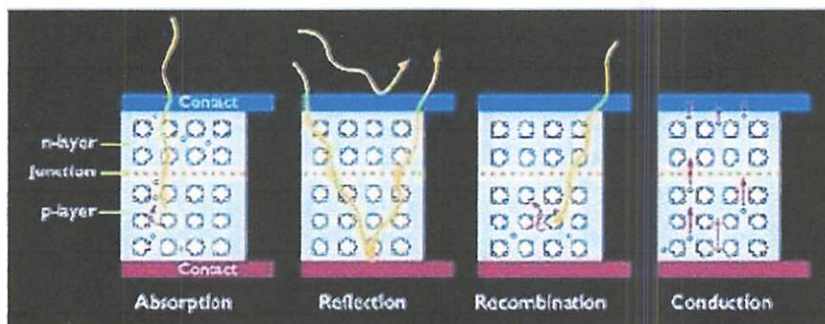
Gambar 2.5 Struktur lapisan solar cell secara umum

Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah bsorber (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar cell. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik yang secara spectrum dapat dilihat pada gambar 2.6. Oleh karena itu absorber disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin solar radiation yang berasal dari cahaya matahari.



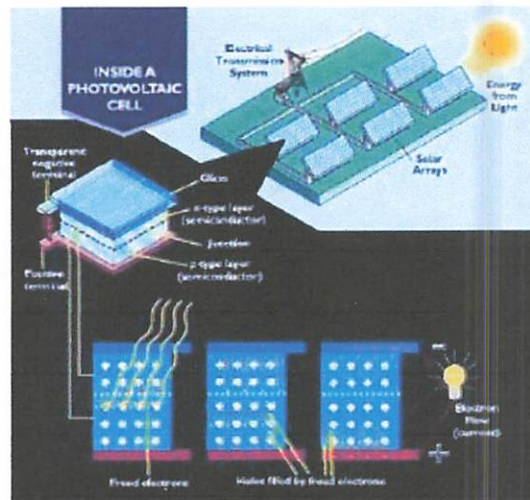
Gambar 2.6 Spektrum radiasi sinar matahari

Lebih detail lagi bisa dijelaskan sinar matahari yang terdiri dari photonphoton, jika menimpa permukaan bahan solar sel (absorber), akan diserap, dipantulkan atau dilewatkan begitu saja dan hanya foton dengan level energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Level energi tersebut disebut energi band-gap yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan utk mengeluarkan electron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Untuk membebaskan electron dari ikatan kovalennya, energi foton (hc/v harus sedikit lebih besar atau diatas dari pada energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka extra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada solar sel. Karenanya sangatlah penting pada solar sel untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semi konduktor yang dipergunakan.



Gambar 2.7 Radiative transition of solar cell

Tentu saja agar efisiensi dari solar cell bisa tinggi maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan remombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Untuk bisa membuat agar foton yang diserap dapat sebanyak-banyaknya, maka absorber harus memiliki energi band-gap dengan range yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah CuInSe yang dikenal merupakan salah satu dari direct semikonduktor.

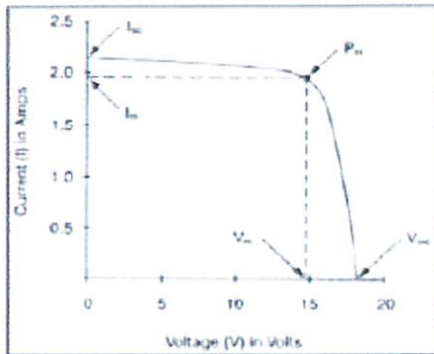


Gambar 2.8 Bagian dalam dari photovoltaic

Dari begitu banyak keuntungan solar cell seperti telah diuraikan diatas ternyata tidak polemik tidak kemudian berhenti begitu saja, masih ada yang mengatakan memang benar solar cell ketika melakukan proses perubahan energy tidak ada polusi yang dihasilkan, tetapi sudahkah kita menghitung berapa besar polusi yang telah dihasilkan dalam proses pembuatannya, dibandingkan kecilnya efisiensi yang dihasilkan.

2.1.6 Energi Listrik

Sel surya dalam menghasilkan listrik tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 voltmaksimum 600 mV pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000\text{W}/\text{m}^2 = '1 \text{ Sun}'$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar $30 \text{ mA}/\text{cm}^2$ per selsurya. Grafik I-V Curve (gambar 2.9) menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal. Sel surya menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan ketersediaan sinar matahari. V_{oc} adalah voltmaksimum pada nilai arus nol, V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi accu.



Gambar 2.9. Grafik I-V Curve

Isc = short circuit current

Vsc = open-circuit voltage

Vm = voltage maximum power

Im = current maximum power

Pm = Power maximum output dari sel surya array

2.1.7 Daya dan Efisiensi

Sebelum mengetahui daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui energi yang di terima, dimana energi tersebut adalah perkalian intensitas radiasi yang diterima dengan luasan dengan persamaan:

$$E = I_r \times A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas permukaan (m²)

Sedangkan untuk besarnya daya sesaat yaitu perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

P = Daya (watt)

V = Beda potensial (Volt)

I = Arus (ampere)

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari sinar matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\mu = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Apabila pengguna menginginkan tegangan maupun arus yang lebih besar, maka panel solar cell dapat dirangkai secara seri atau paralel maupun kombinasi keduanya. Bila panel dirangkai seri maka tegangan yang naik tetapi bila dirangkai paralel maka arus yang naik.

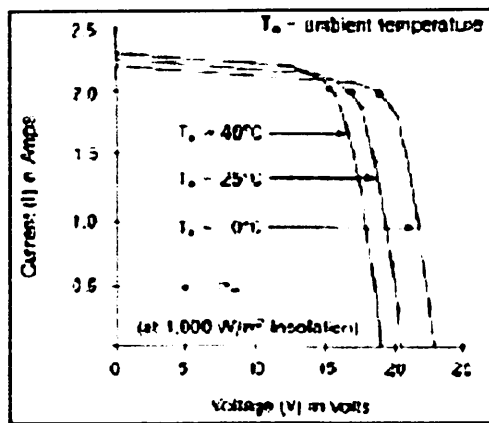
Setelah mendapatkan output dari solar cell yang berupa arus listrik dapat langsung digunakan untuk beban yang dimanfaatkan. Tetapi juga arus listrik tersebut dapat digunakan sebagai pengisian dengan cara disimpan ke dalam baterai agar dapat dipergunakan pada saat yang diperlukan khususnya pada malam hari karena tidak adanya sinar matahari.

Apabila solar cell tersebut digunakan untuk penyimpanan ke baterai, maka besarnya tegangan yang dihasilkan harus diatas spesifikasi baterai tersebut. Misalnya baterai yang digunakan adalah 12 Volt, maka tegangan yang dihasilkan solar cell harus diatas 12 Volt untuk dapat melakukan pengisian. Sebaiknya sebelum melaksanakan pengisian sebaiknya baterai dalam keadaan kosong karena arus yang masuk akan dapat terisi dengan maksimal. Satuan kapasitas suatu baterai adalah Ampere jam (Ah) dan biasanya karakteristik ini terdapat pada label suatu baterai. Misalnya suatu baterai dengan kapasitas 10 Ah akan terisi penuh selama 10 jam dengan arus output solar cell sebesar 1 Ampere.

2.1.8 Faktor Pengoperasian Sel surya

Pengoperasian sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada faktor berikut:

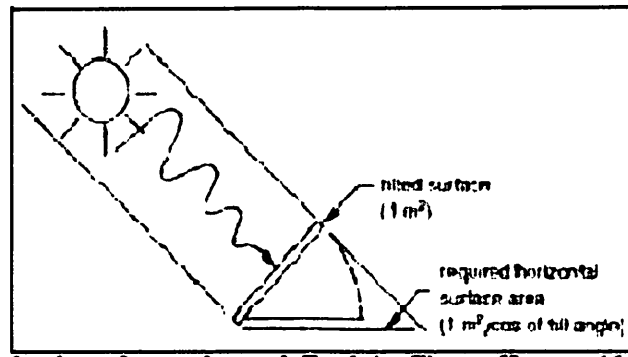
- a. Ambient air temperature. Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25°C). Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Pada Gambar II.10, setiap kenaikan temperatur sel surya 10 Celsius (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 100°C. 19.



Gambar 2.10 Efek dari Intensitas Arus

- b. Radiasi matahari. Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada tegangan.
- c. Kecepatan angin bertiup. Kecepatan tiup angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kacalarik sel surya.
- d. Keadaan atmosfer bumi. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya.
- e. Orientasi panel atau larik sel surya. Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Sudut orientasi (tilt angle) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum (lihat penjelasan tilt angle). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.
- f. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle). Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau

tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).



Gambar 2.11 Exstra luasan panel PV dalam posisi datar

Panel sel surya pada ekuator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan tilt angle yang optimum.

2.1.9 Tipe – tipe pemasangan sel surya

Dalam pemasangannya, sel surya dapat dibedakan menjadi :

- a. Tipe *stand-alone*, dimana tipe ini biasanya digunakan untuk beban listrik terisolasi atau di daerah terpencil, kapasitas kecil.
- b. Tipe *isolated grid*, tipe ini biasanya digunakan untuk beban listrik besar terisolasi dan terkonsentrasi, bisa dikombinasikan dengan sumber energi lain dalam operasi hybrid.
- c. Tipe *grid connected*, tipe ini digunakan pada daerah yang telah memiliki sistem jaringan listrik komersil, dan sistem langsung output surya kedalam jaringan listrik.

Untuk daerah perkotaan yang sudah terjangkau aliran listrik PLN, biasanya *selsurya* dipasang secara *grid connected*. Revolusi aplikasi sel surya pada bangunan arsitektur telah mengalami perkembangan yang pesat, mulai dari teknologi biasa sampai teknologi tinggi pada generasi ke-3, yaitu :

- a. Generasi Pertama (tahun 1980 an), panel-panel/deretan sel surya modul dengan rangka besi hanya diletakkan (mounting) pada bidang atap datar bangunan dengan alat penyangga (tracking).

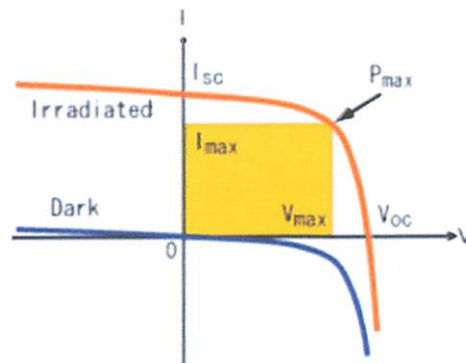
- b. Generasi Kedua (tahun 1990 an), sel surya dikembangkan lebih menyatu menjadi bagian material bangunan yaitu: bahan atap (genting, sirap).
- c. Generasi Ketiga (tahun 1997), sel surya dikembangkan menjadi kesatuan integrasi bangunan arsitektur dalam berbagai materi bangunan dan aplikasi canggih.

Pemasangan sel surya secara grid connected dengan jaringan listrik PLN, dapat digunakan sebagai:

- a. Sebagai *catu-daya back-up*, dimana:
 - Energi surya disimpan dalam battery storage dan digunakan pada saat terjadi padam listrik.
 - Meningkatkan kualitas pelayanan daya listrik pada sistem yang lemah.
- b. Sebagai sarana *Load Shaving*, dimana:
 - Energi surya disimpan dalam battery storage dan digunakan pada saat beban tinggi.
 - Energi yang tersimpan dalam battery tersebut dapat digunakan untuk membantu mengurangi beban puncak.
- c. Sebagai *Peak Clipping* :
 - Pada aplikasi grid-connected koinsidensi beban puncak dan radiasi puncak.
 - Pada kondisi ini energi surya dapat langsung berdampak pada penurunan konsumsi untuk beban puncak dari jaringan listrik.

2.2. Maximum Power Point Tracking (MPPT) [3]

PV modul jika disambungkan pada beban yang bervariasi akan menghasilkan keluaran daya yang berbeda-beda, tergantung pada besarnya nilai hambatan beban tersebut.



Gambar 2.12 Grafik titik mpp berada pada Pmax

Berdasarkan gambar 2.18, dapat diketahui bahwa titik kerja PV akan berubah sesuai dengan perubahan nilai hambatan beban. Berdasarkan grafik tersebut kita juga dapat mengetahui terdapat suatu titik optimal, sehingga di dapatkan daya maximal. Titik kerja tersebut adalah pada V_{mp} , dan I_{mp} , dan akan menghasilkan P_{maks} .

Maximum Power Point Tracking (MPPT) digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga didapat daya keluaran yang maksimal dari suatu sel surya. Daya keluaran yang maksimal ini akan menghasilkan efisiensi yang tinggi dan mengurangi rugi-rugi suatu sel surya.

Adapun prinsip kerja MPPT adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja sel surya. Apabila dalam suatu sistem sel surya, tegangan kerja sel surya jatuh pada daerah disebelah kiri V_{mp} , (tegangan kerja lebih kecil dari pada tegangan V_{mp}), maka tegangan kerja sel surya akan dinaikan sampai mencapai V_{mp} , begitu juga sebaliknya apabila tegangan selsurya lebih besar dari pada V_{mp} (tegangan kerja lebih besar dari pada V_{mp}), maka tegangan kerja sel surya akan diturunkan sampai mencapai V_{mp} . Setelah mencapai tegangan maximum point, secara otomatis daya keluaran pada sel surya juga akan menjadi maximal. Adapun yang bertugas untuk menaikkan dan menurunkan tegangan adalah DC/DC konverter.

Ada beberapa algoritma pencarian titik daya maximal (P_{max}) yang digunakan dalam MPPT, diantaranya:

- a. Metode perbandingan table (*Look-up Table metode*)
- b. Metode tegangan open circuit sel surya (*Open circuit voltage generator photovoltaic method*)
- c. Metode arus short circuit sel surya (*short circuit current generator photovoltaic method*)
- d. Metode perturbation and Observation (*P&O method*)
- e. Metode kecerdasan buatan (*artificial intelligence method*)

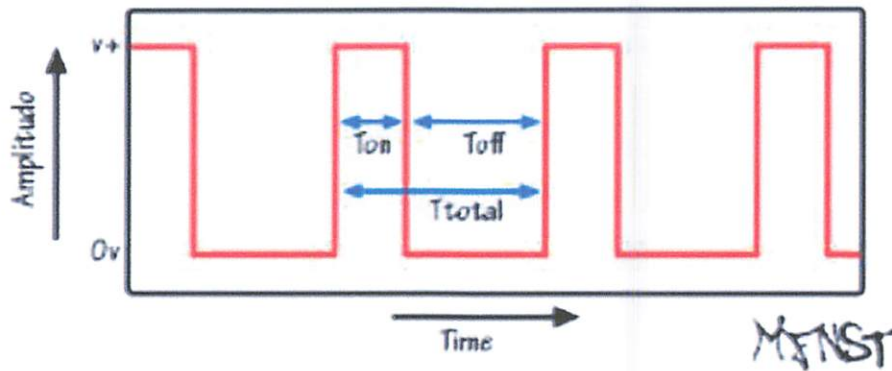
2.2.1. Pulse width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, yang akan digunakan untuk mentransfer data pada telekomunikasi ataupun mengatur tegangan sumber yang konstan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda.

Penggunaan PWM sangat banyak, mulai dari pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. PWM saat ini juga telah menjadi dasar dari pembuatan jam digital. Secara garis besar, PWM merupakan penerapan dari konsep rangkaian sekuensial flip – flop dan timer sebagai clock. Rangkaian *flip-flop* mempunyai sifat sekuensial karena sistem kerjanya diatur dengan jam atau pulsa, yaitu sistem-sistem tersebut bekerja secara sinkron dengan deretan pulsa berperiode T yang disebut jam sistem (System Clock). Timer yang digunakan dalam rangkaian ini adalah IC timer LM555. Isi utama komponen ini terdiri dari komparator dan flip-flop yang direalisasikan dengan banyak transistor.

Dari latar belakang yang telah dikemukakan diatas, dapat dilihat bahwa peralatan elektronika telah berkembang begitu pesat yakni ditandai dengan diterapkannya teknologi sistem digital pada berbagai rangkaian, diantaranya pada rangkaian Pulse Width Modulation (PWM). Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang

masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya.

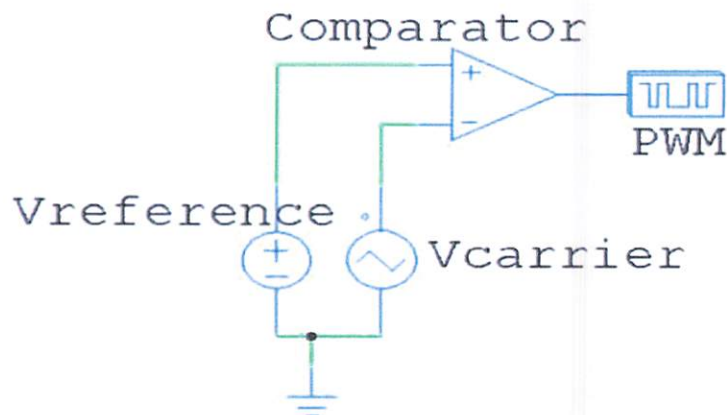


Gambar 2.13 signal PWM

Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, Pengendalian Motor Servo, Pengaturan nyala terang LED.

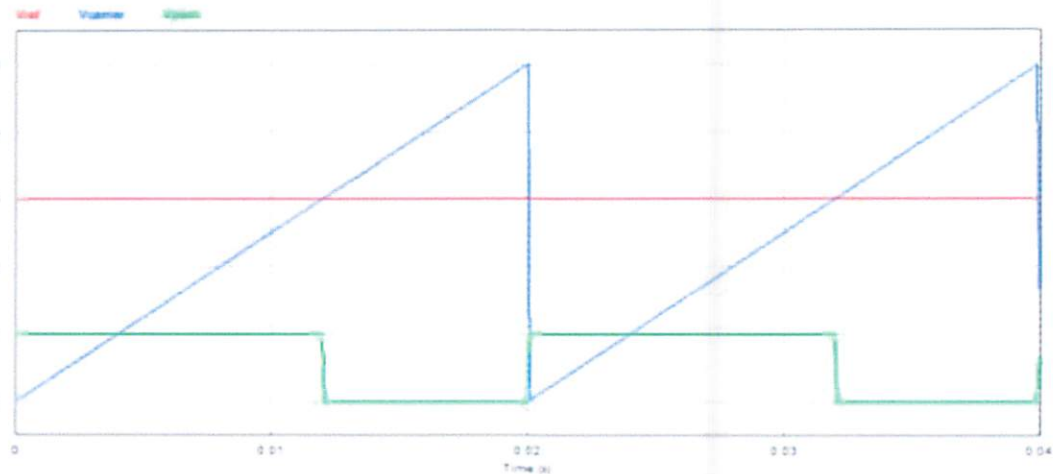
2.2.2. Jenis pulse width modulation 2.2.2.1. Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan carrier dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian op-amp comparator.



Gambar 2.14 Rangkaian PWM analog

Cara kerja dari komparator analog ini adalah membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang terlihat pada Gambar dibawah



Gambar 2.15 Pembentukan signal PWM

Saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan carrier (gigi gergaji) maka output comparator akan bernilai high. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan carrier, maka output comparator akan bernilai low. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator inilah, untuk mengubah duty cycle dari sinyal output cukup dengan mengubah-ubah besar tegangan referensi. Besarnya duty-cycle rangkaian PWM ini.

$$Duty-Cycle = \frac{V_{reference}}{V_{carrier}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

2.2.2.2. Digital

Pada metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili duty cycle 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

2.2.3. Kelebihan PWM dengan PLC

Keuntungan utama dari PWM adalah bahwa daya yang hilang dalam perangkat switching sangat rendah. PWM juga bekerja dengan baik pada kontrol digital. PWM juga telah digunakan dalam beberapa sistem komunikasi dimana siklus tugasnya telah digunakan untuk menyampaikan informasi melalui saluran komunikasi. Dan keuntungan PWM menggunakan PLC adalah proses pengaturannya lebih mudah.

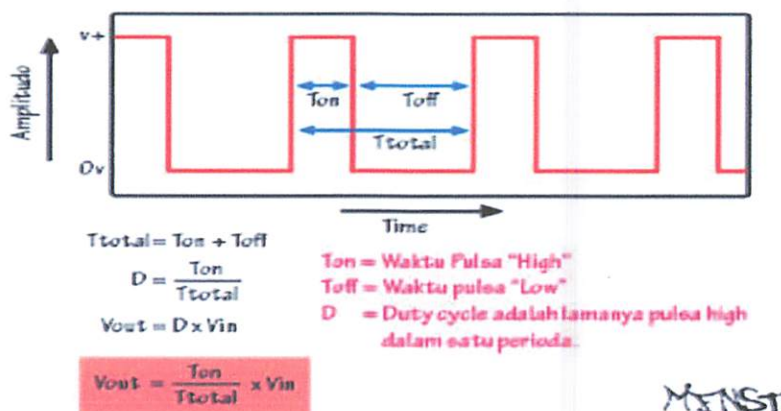
2.2.3.1. Kekurangan PWM dengan PLC

Kekurangan dari PWM yang menggunakan PLC adalah, bahwa harga PLC lebih mahal.

2.2.3.2. Cara Kerja dan Pengendalian

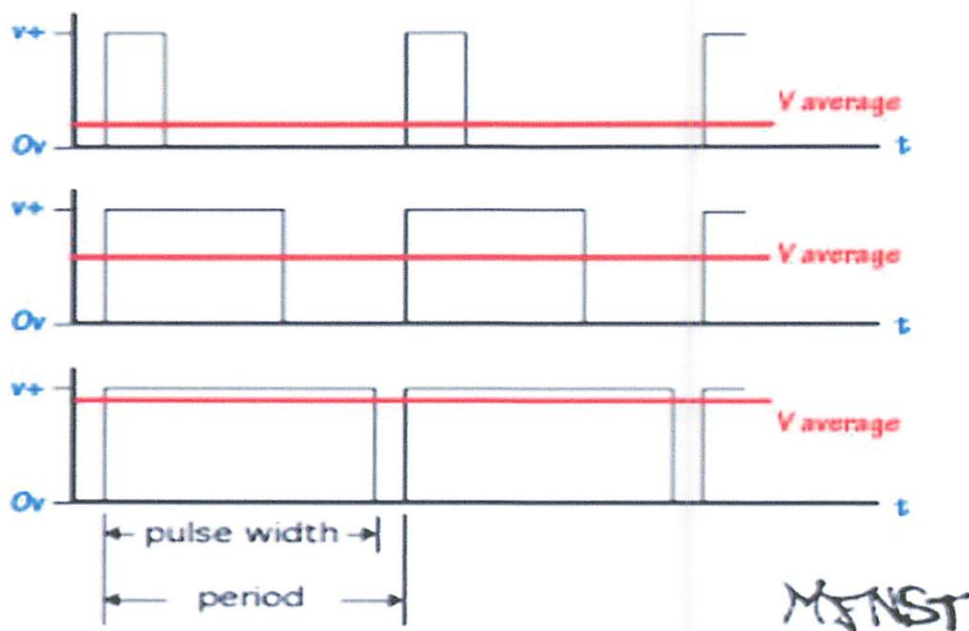
2.2.3.2.1. Konsep Dasar PWM

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle bervariasi (antara 0% hingga 100%).



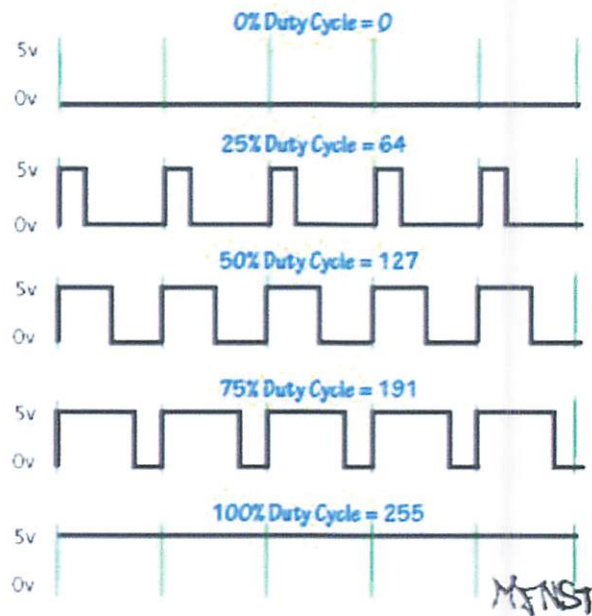
Gambar.2.16 Sinyal PWM dan Persamaan V_{out} PWM

Dari persamaan diatas diketahui bahwa perubahan duty cycle akan merubah tegangan keluaran atau tegangan rata-rata seperti gambar dibawah ini.



Gambar.2.17 Vrata-rata Sinyal PWM

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili duty cycle 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.



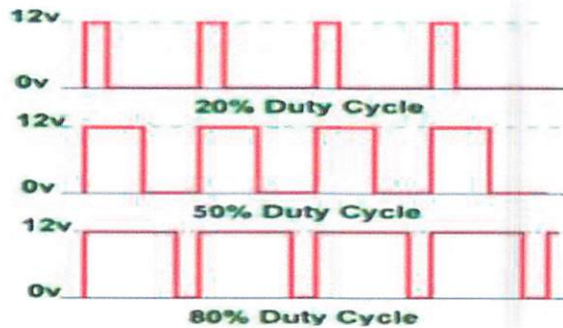
Gambar. 2. 18 Duty Cycle dan Resolusi PWM

2.2.3.2.1.1. Perhitungan duty cycle PWM [5]

Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat duty cycle yang diinginkan. Duty cycle dari PWM dapat dinyatakan sebagai.

$$\text{DutyCycle} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. pada duty cycle 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya.



Gambar 2.19 Duty cycle PWM [2]

Perhitungan Pengontrolan tegangan output motor dengan metode PWM cukup sederhana.



Dengan menghitung duty cycle yang diberikan, akan didapat tegangan output yang dihasilkan. Sesuai dengan rumus yang telah dijelaskan pada gambar.

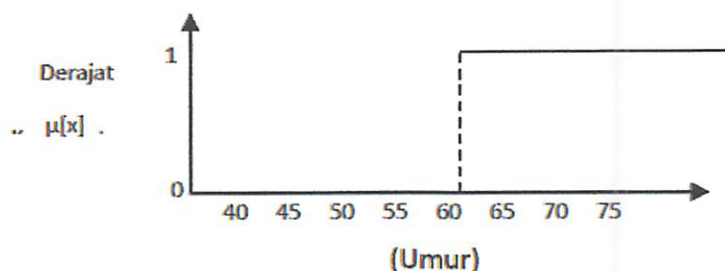
$$\text{Average Voltage} = \frac{a}{a+b} \times V_{full} \dots\dots\dots(2.6)$$

Average voltage merupakan tegangan output pada motor yang dikontrol oleh sinyal PWM. a adalah nilai duty cycle saat kondisi sinyal “on”. b adalah nilai duty cycle saat kondisi sinyal “off”. V_{full} adalah tegangan maximum pada motor. Dengan menggunakan rumus diatas, maka akan didapatkan tegangan output sesuai dengan sinyal kontrol PWM yang dibangkitkan.

2.2.4. Logika Fuzzy [2]

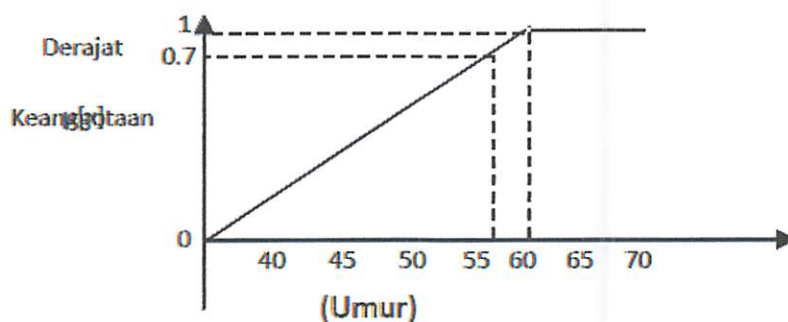
Teori himpunan fuzzy dikembangkan oleh Prof. Dr. Lotfi Zadeh pada tahun 1960-an. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dari logika Boolean tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan fuzzy. Tidak seperti logika Boolean, logika fuzzy mempunyai nilai yang kontinyu. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran.

Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Contoh berikut akan menjelaskan bagaimana konsep “umur” yang digolongkan “tua” dalam pengertian fuzzy/samar dan crisp (tegas). Misalnya diberikan suatu definisi bahwa setiap orang yang berumur 60 tahun atau lebih adalah “tua”.



Gambar 2.20 Konsep “Tua” Dalam Pengertian Tegas (Crisp)

Dalam pengertian crisp (tegas), batas-batas antara “tua” dan tidak “tua” sangat jelas, setiap orang yang berumur (40,...,55) adalah tidak “tua” (Gambar 2.20). Tidak ada derajat ketuaan, sedangkan dalam fuzzy setiap anggota memiliki nilai berdasarkan pada derajat keanggotaan, adapun konsep “umur” yang digolongkan “tua” dalam pengertian fuzzy :



Gambar 2. 21 Konsep “Tua” Dalam Pengertian Fuzzy

Gambar 2.21 memperlihatkan bahwa anggota yang berumur 55 tahun, derajat keanggotaannya bernilai 0.7, sedangkan anggota yang berumur 60 tahun derajat keanggotaannya bernilai 1. Untuk yang berumur mewakili secara tepat konsep “tua” yaitu memiliki derajat keanggotaan 1, sedangkan anggota yang berumur kurang dari 60 tahun memiliki derajat yang berlainan. Derajat keanggotaan ini, menunjukkan

seberapa dekat nilai tiap-tiap umur dalam anggota himpunan itu dalam konsep “tua”. Dapat dikatakan bahwa anggota yang berumur 55 tahun adalah 70% (0.7) mendekati “tua”, atau dengan bahasa alami “hampir atau mendekati tua”.

2.2.4.1. Himpunan fuzzy

Pada himpunan tegas (Crisp), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki dua kemungkinan, yaitu :

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan atau
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Contoh :

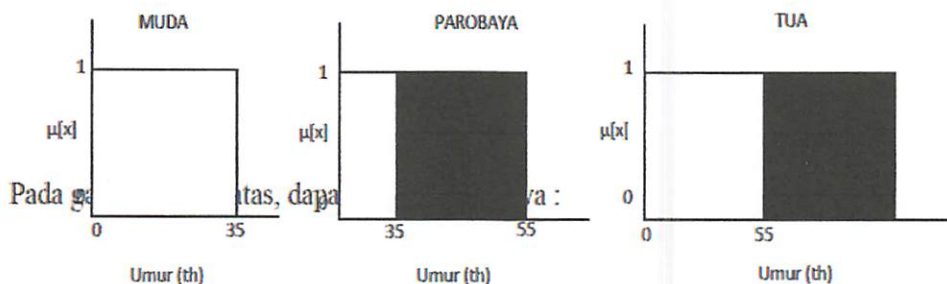
Misalkan variabel umur dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

MUDA umur < 35 tahun

PAROBAYA $35 \leq \text{umur} \leq 55$ tahun

TUA umur > 55 tahun

Nilai keanggotaan secara grafis, himpunan MUDA, PAROBAYA dan TUA ini dapat dilihat pada gambar 2.22.

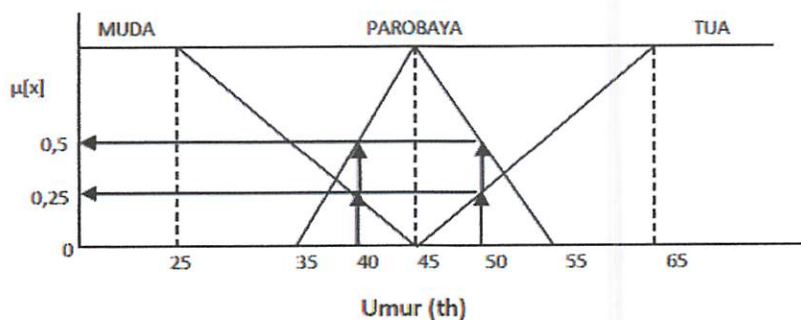


Gambar 2.22 Himpunan MUDA, PAROBAYA dan TUA

- a. Apabila seseorang berusia 34 tahun, maka ia dikatakan MUDA ($\mu_{\text{MUDA}}[34]=1$)
- b. Apabila seseorang berusia 35 tahun, maka ia dikatakan TIDAK MUDA ($\mu_{\text{MUDA}}[35]=0$)
- c. Apabila seseorang berusia 35 tahun kurang 1 hari, maka ia dikatakan TIDAK MUDA ($\mu_{\text{MUDA}}[35-1 \text{ hari}]=0$)
- d. Apabila seseorang berusia 35 tahun, maka ia dikatakan PAROBAYA ($\mu_{\text{PAROBAYA}}[35]=1$)
- e. Apabila seseorang berusia 34 tahun, maka ia dikatakan TIDAK PAROBAYA ($\mu_{\text{PAROBAYA}}[34]=0$)
- f. Apabila seseorang berusia 55 tahun, maka ia dikatakan PAROBAYA ($\mu_{\text{PAROBAYA}}[55]=1$)
- g. Apabila seseorang berusia 35 tahun kurang 1 hari, maka ia dikatakan TIDAK PAROBAYA ($\mu_{\text{PAROBAYA}}[35-1 \text{ hari}]=0$)

Dari sini bisa dikatakan bahwa pemakaian himpunan tegas (crisp) untuk menyatakan umur sangat tidak adil. Adanya perubahan kecil saja pada suatu nilai mengakibatkan perbedaan kategori yang cukup signifikan.

Himpunan fuzzy digunakan untuk mengantisipasi hal tersebut. Seseorang dapat masuk dalam dua himpunan yang berbeda, MUDA dan PAROBAYA, PAROBAYA dan TUA dan sebagainya, seberapa besar eksistensinya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada nilai keanggotannya. Gambar 2.23 menunjukkan himpunan fuzzy untuk variabel umur.



Gambar 2.23 Himpunan Fuzzy Untuk Variabel Umur

Pada gambar 2.23 di atas dapat dilihat bahwa :

- a. Seseorang yang berumur 40 tahun, termasuk dalam himpunan MUDA dengan $\mu_{MUDA}[40]=0,25$; namun dia juga termasuk dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{PAROBAYA}[40]=0,5$.
- b. Seseorang yang berumur 50 tahun, termasuk dalam himpunan TUA dengan $\mu_{TUA}[50]=0,25$; namun dia juga termasuk dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{PAROBAYA}[50]=0,5$. Kalau pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan hanya ada dua kemungkinan yaitu 0 atau 1, maka pada himpunan fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A[x]=0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A[x]=1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A .

Himpunan fuzzy memiliki dua atribut, yaitu :

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami seperti : MUDA, PAROBAYA, TUA.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti : 25, 35, 40 dan sebagainya.

Hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu [13]:

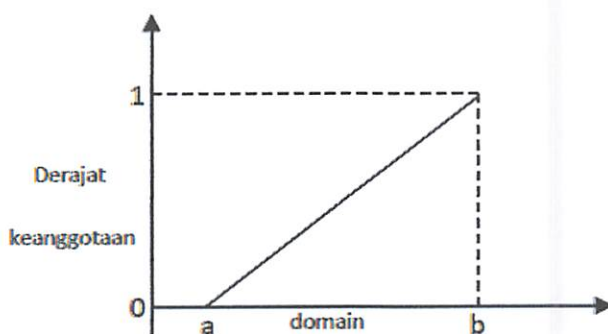
- a. Variabel fuzzy
Variabel fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu system fuzzy, contoh : umur, temperatur dll.
- b. Himpunan fuzzy
Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.

2.2.4.2. Fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk kurva ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan fuzzy yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Gambar 2.24).

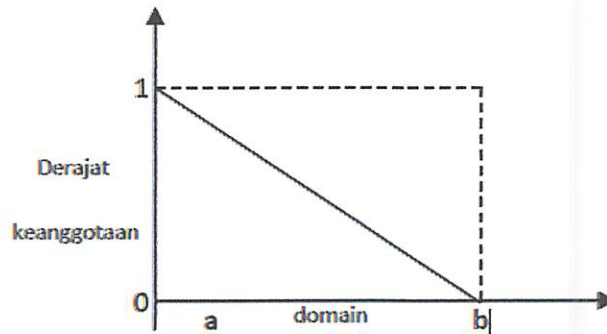


Gambar 2.24 Representasi Linear Naik

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; \\ (x - a)/(b - a); \\ 1; \end{cases} \dots\dots\dots (2.7)$$

Kedua, merupakan kebalikan dari yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah (Gambar 2.25).



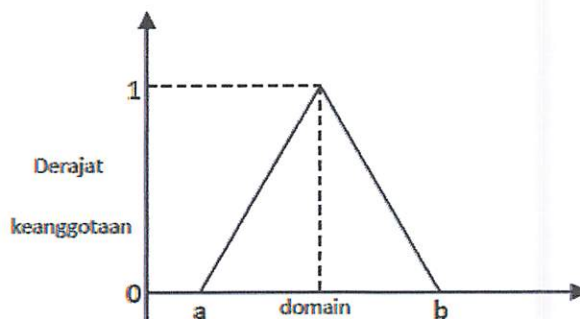
Gambar 2.25 Representasi Linear Turun

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} (b-x)/(b-a); \\ 0; \end{cases} \dots\dots\dots (2.8)$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti terlihat pada gambar



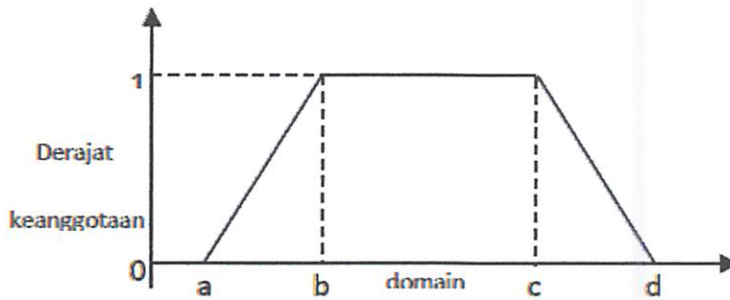
Gambar 2.26 Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; \\ (x-a)/(b-a); \\ (c-x)/(c-b); \end{cases} \dots\dots\dots (2.9)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.27 Kurva Trapesium

Fungsi Keanggotaan :

$$x \leq a \text{ atau } x \geq d$$

$$a \leq x \leq b$$

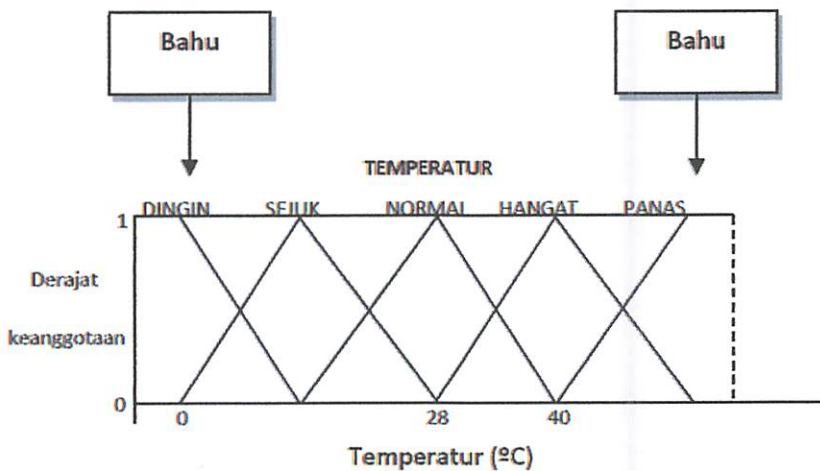
$$b \leq x \leq c$$

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; \\ (x-a)/(b-a); \\ 1; \\ (d-x)/(d-c); \end{cases} \dots\dots\dots (2.10)$$

d. Representasi Kurva Bentuk Bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun (misalkan : DINGIN bergerak ke SEJUK bergerak ke HANGAT dan bergerak ke PANAS).

Tetapi terkadang salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Sebagai contoh, apabila telah mencapai kondisi PANAS, kenaikan temperatur akan tetap berada pada kondisi PANAS. Himpunan fuzzy „bahu“, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar. Gambar dibawah menunjukkan variable TEMPERATUR dengan daerah bahunya.



Gambar 2.28 Daerah „Bahu“ Pada Daerah TEMPERATUR

2.2.4.3. Operator Dasar Zadeh Untuk Operasi Himpunan Fuzzy

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau α -predikat. Ada tiga operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu :

2.2.4.3.1. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots\dots\dots (2.11)$$

2.2.4.3.2. Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \dots\dots\dots (2.12)$$

2.2.4.3.3. Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x] \dots\dots\dots (2.13)$$

2.2.4.3.4. Penalaran Monoton

Metode penalaran secara monoton digunakan sebagai dasar untuk teknik implikasi fuzzy. Meskipun penalaran ini sudah jarang sekali digunakan namun terkadang masih digunakan untuk penskalaan fuzzy. Jika dua daerah fuzzy direlasikan dengan implikasi sederhana sebagai berikut :

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \dots\dots\dots (2.14)$$

transfer fungsi :

$$y = f((x,A),B) \dots\dots\dots (2.15)$$

maka sistem fuzzy dapat berjalan tanpa harus melalui komposisi dan dekomposisi fuzzy. Nilai output dapat diestimasi secara langsung dari nilai keanggotaan yang berhubungan dengan antesedennya.

2.2.4.3.5. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah :

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti :

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots\dots\dots \circ (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } y \text{ is } B$$

$$\text{dengan } \circ \text{ adalah operator (misal: OR atau AND)} \dots\dots\dots (2.17)$$

2.2.4.3.6. Fuzzy Inference System 2.2.4.3.6.1. Metode Tsukamoto

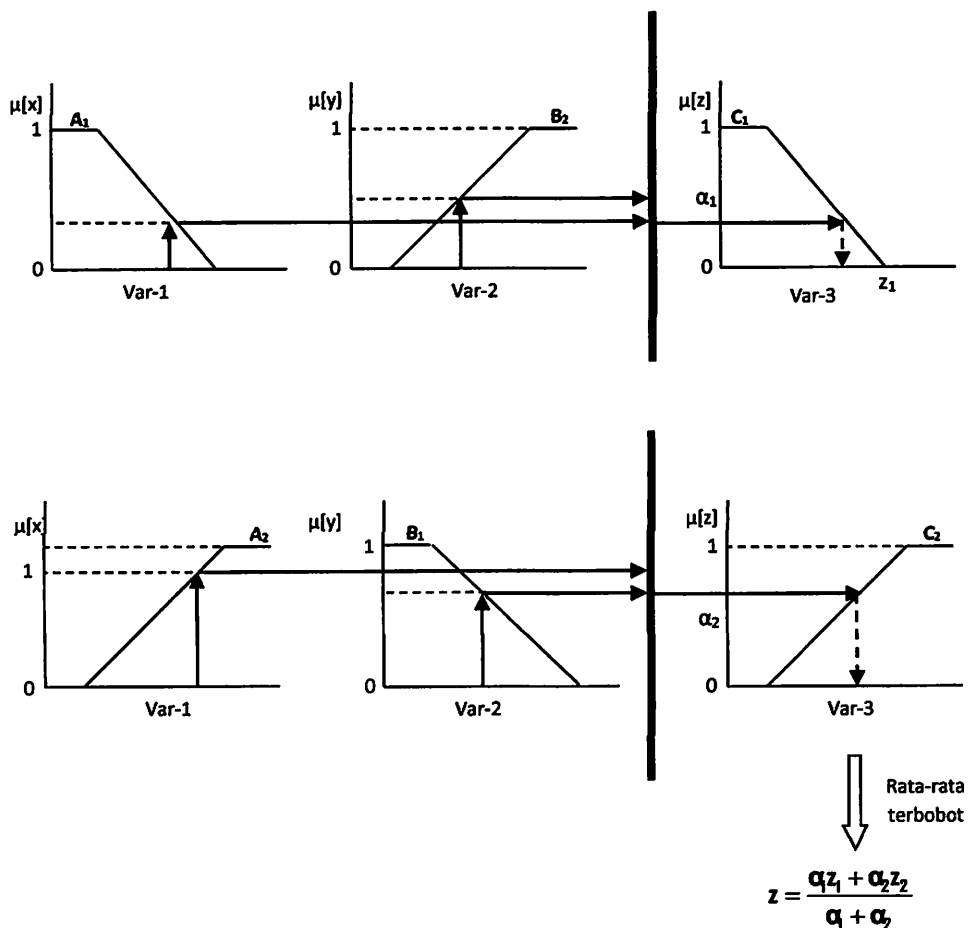
Pada Metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan α -predikat (fire strength). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Weight Average).

Misalkan ada 2 variabel input, Var-1 (x) dan Var-2 (y) serta 1 variabel output, Var-3 (z). Var-1 terbagi atas 2 himpunan yaitu A_1 dan A_2 . Var-2 terbagi atas 2 himpunan B_1 dan B_2 . Var-3 terbagi atas 2 himpunan yaitu C_1 dan C_2 (C_1 dan C_2 HARUS MONOTON). Ada 2 aturan yang digunakan, yaitu :

$$[R1] \text{ IF } (x \text{ is } A_1) \text{ AND } (y \text{ is } B_2) \text{ THEN } (z \text{ is } C_1) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$[R2] \text{ IF } (x \text{ is } A_2) \text{ AND } (y \text{ is } B_1) \text{ THEN } (z \text{ is } C_2) \dots\dots\dots (2.19)$$

Alur inferensi untuk mendapatkan satu nilai crisp z seperti terlihat pada gambar 2.29.



Gambar 2.29 Alur Inferensi Menggunakan Metode Tsukamoto

2.2.5. Konverter DC-DC [4]

Secara umum, konverter DC-DC berfungsi untuk mengkonversikan daya listrik searah (DC) ke bentuk daya listrik DC lainnya yang terkontrol arus, atau tegangan, atau dua-duanya. Ada lima rangkaian dasar dari konverter DC-DC nonisolasi, yaitu buck, boost, buck-boost, cuk, dan sepic. Pada artikel ini akan dibahas paparan dasar mengenai kelima topologi rangkaian konverter DC-DC ini. Ada banyak perkembangan pesat topologi baru konverter DC-DC dan juga di bidang

teknologi saklar semikonduktor, teknik untuk mengurangi rugi-rugi penyaklaran, penentuan tapis, dan rangkaian kendalinya.

2.2.5.1. Dasar Teori

Konverter DC-DC berlaku seperti halnya trafo/*transformer* yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan AC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya, sehingga secara ideal persamaan dayanya dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

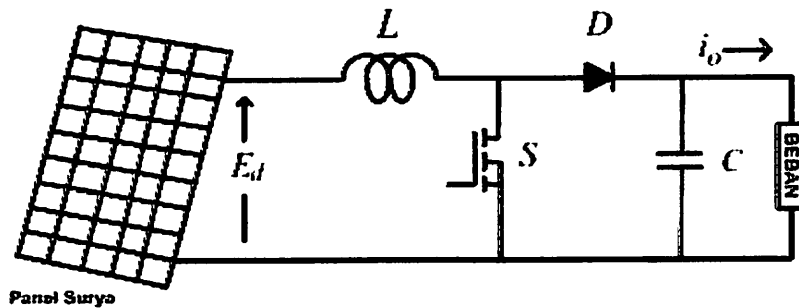
Konverter DC-DC dapat dibagi menjadi 2 kategori besar, yaitu yang terisolasi dan yang tak terisolasi. Kata 'isolasi' disini secara sederhana bermakna adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter DC-DC. Beberapa sumber menyebutkan bahwa konverter DC-DC yang tak terisolasi dengan istilah *direct converter*, dan konverter yang terisolasi dengan istilah *indirect converter*.

2.2.5.2. Topologi Penaik Tegangan (*Boost Converter*)

Konverter *boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya, atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga surya dan turbin angin.

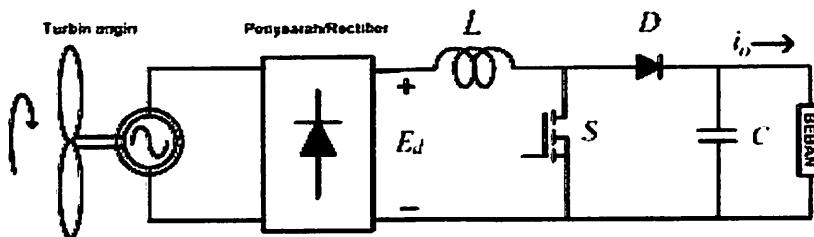
Skema konverter jenis ini dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4, dimana komponen utamanya terdiri atas MOSFET, dioda, induktor, dan kapasitor. Jika saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka, arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang

tersimpan di induktor akan turun. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar. Keunggulan dari konverter *boost* adalah mampu menghasilkan arus masukan yang kontinyu.



Gambar 2.30 Rangkaian konverter DC-DC tipe boost

Karena arus masukan konverter dapat dijaga kontinu, pada saat konverter ini diserikan dengan penyearah dioda, konverter ini tidak menimbulkan harmonisa pada arus sumber penyearah dioda. Atau dengan kata lain, arus sumber mempunyai bentuk gelombang mendekati sinusoidal dengan faktor daya sama dengan satu.



Gambar 2.31 Rangkaian konverter DC-DC tipe boost + penyearah dioda (faktor daya satu)

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1 Rancangan Sistem

Penelitian ini fokus pada rancangan *simulink* dari sistem MPPT menggunakan *Boost* konverter dengan teknik FLC (*Fuzzy logic control*). Pada penelitian ini membandingkan panel PV tanpa MPPT dengan sistem PV dengan MPPT menggunakan *Boost* konverter dan teknik FLC (*Fuzzy logic control*). Kemudian melakukan simulasi untuk mengetahui keluaran dari MPPT sistem PV berupa nilai tegangan dan arus atau daya serta grafik. Keluaran sistem dianalisis untuk dibahas dan disimpulkan dalam penelitian.

Konsep dari simulasi MPPT ini meliputi 4 elemen dasar dalam diagram yaitu Panel PV, MPPT, DC-DC konverter dan FLC (*Fuzzy logic control*). PV merupakan masukan sistem, MPPT dan teknik FLC (*Fuzzy logic control*) merupakan bagian sistem yang dirancang sebagai pengontrol tegangan masukan dari PV, sedangkan beban merupakan indikator yang dikontrol dari keluaran sistem.

3.2 Waktu dan Pengukuran

Pengukuran ini dilakukan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional Malang. Direncanakan berlangsung selama 6 bulan, mulai dari bulan Juni 2014 sampai Januari 2015.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Panel Surya Tipe Polykristal milik ETL-SEMCO tipe ST- 50 (W)P, dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi panel surya tipe Polykristal ETL-SEMCO tipe ST- 50 (W)P

P_{max}	50 Wp
V_{oc}	23 Volt
I_{sc}	3.02 Ampere
V_{MPP}	17,5 Volt
I_{MPP}	2,72 Ampere
<i>Irradiance</i>	1000 W/m ² AM1. 5 spectrum
<i>Cell temperature</i>	25° C
Luas sel surya	36 sel (15,5 cm x 7,8 cm)
Luas panel surya	78,5 cm x 67 cm
<i>Irradiance</i>	1000 W/m ² AM1. 5 spectrum

2. Komputer *acer aspire 4738G* intel core i3-380M
3. Software *microsoft word 2007* untuk pembuatan laporan
4. Software *Matlab Simulink* versi 8.2 (R2013a) untuk simulasi MPPT

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

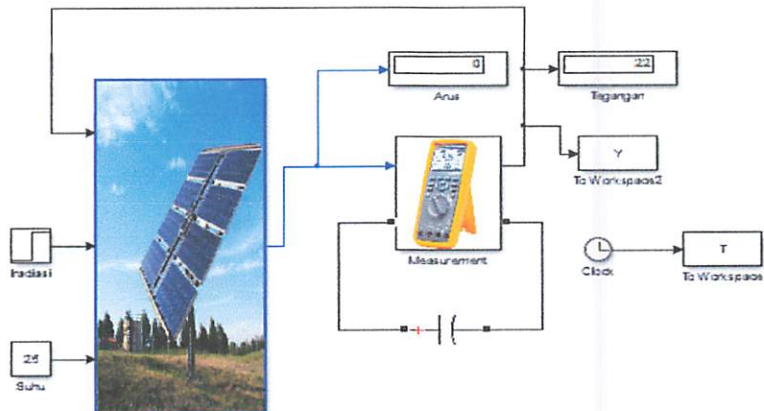
Langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini dapat dituangkan dalam tahapan- tahapan seperti berikut:

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap paling awal yang dilakukan dalam memulai suatu penelitian. Tahap ini diperlukan agar peneliti memiliki pengetahuan dasar yang kuat dan memadai dalam melakukan perancangan dan pembuatan sistem. Penelitian ini menghimpun buku, jurnal, artikel yang berkaitan dengan MPPT pada sistem PV dengan berbagai macam metode/teknik.

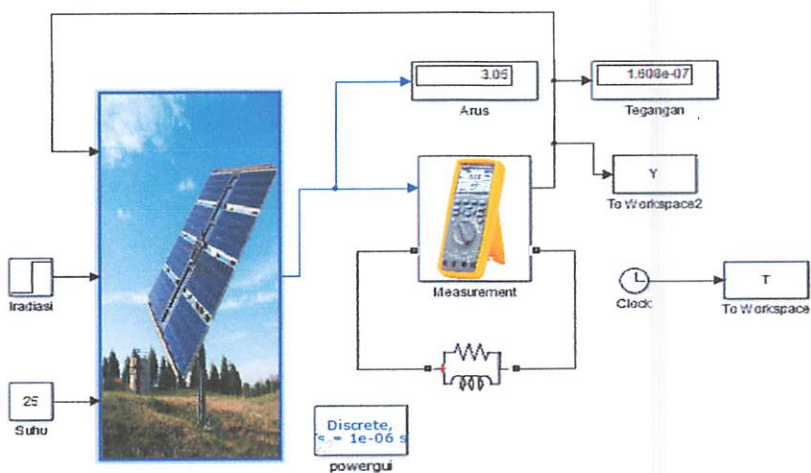
3.4.2 Perancangan Sistem Simulink

3.4.2.1 Pengujian PV



Gambar 3.1 Pengujian tegangan PV dengan *simulink*

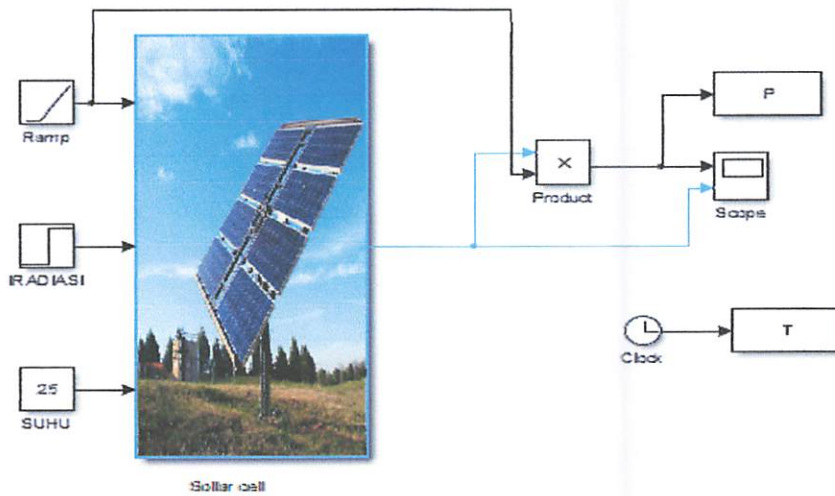
Pada gambar 3.1 terlihat pengukuran tegangan pada panel surya milik ETL-SEMCO tipe ST- 50 (W)P bahwa tegangan Voc mampu mencapai 22v, sehingga tegangan PV sesuai dengan data sheet.



Gambar 3.2 Pengujian arus PV dengan *simulink*

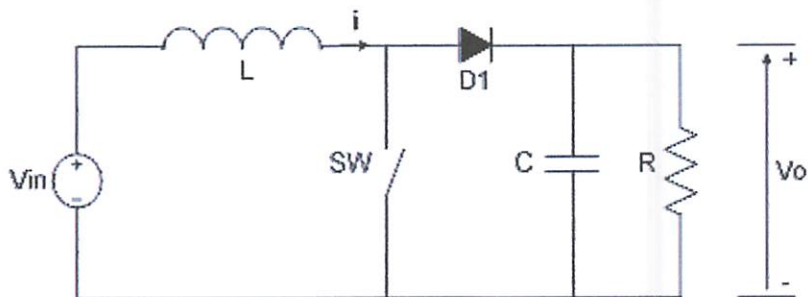
Pada gambar 3.2 terlihat pengujian PV untuk melihat berapa arus yang mampu dihasilkan panel surya ETL-SEMCO tipe ST- 50 (W)P bahwa arus mampu mencapai 3.05 A, sehingga arus pada PV sesuai dengan data sheet.

Berikut adalah blok pengujian untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan oleh panel PV.

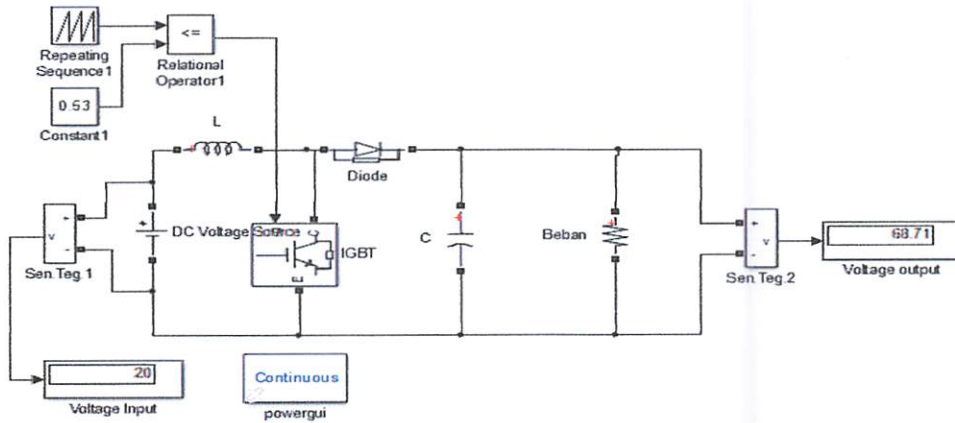


Gambar 3.3 Blok rangkaian PV

3.4.2.2 Desain Rangkaian Konverter Boost



Gambar 3.4 Rangkaian *Boost* konverter



Gambar.3.5 Blok rangkaian *Boost* konverter pada *simulink*

Pada perancangan sistem rangkaian pada gambar 3.4, digunakan hanya 1 *switch* yang berfungsi untuk menjalankan sistem MPPT, karena MPPT bekerja untuk meningkatkan daya PV dengan menaikkan tegangan dari PV. Dalam pembahasan ini untuk memaksimalkan keluaran PV digunakan rangkaian *boost* konverter yang fungsinya meningkatkan tegangan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Sinyal PWM yang diatur lebar pulsanya pada *duty cycle* tertentu akan meningkatkan tegangan masukan pada *boost* konverter tersebut. Sebelum membuat rancangan *boost* konverter, kita dapat membuat desain sistem dan mensimulasikannya menggunakan *simulink* matlab.

Dalam mendesain *boost* konverter diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik.

Untuk mendesain rangkaian konverter, perlu ditetapkan beberapa variabel, yaitu:

- Mencari nilai Duty Cycle

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \dots\dots\dots (3.1)$$

- Mencari nilai P ouput

$$P = V_{out} \times I_{out} \dots\dots\dots (3.2)$$

- Mencari nilai R

$$R = \frac{V_{out}^2}{P_{out}} \dots\dots\dots (3.3)$$

- Mencari nilai L

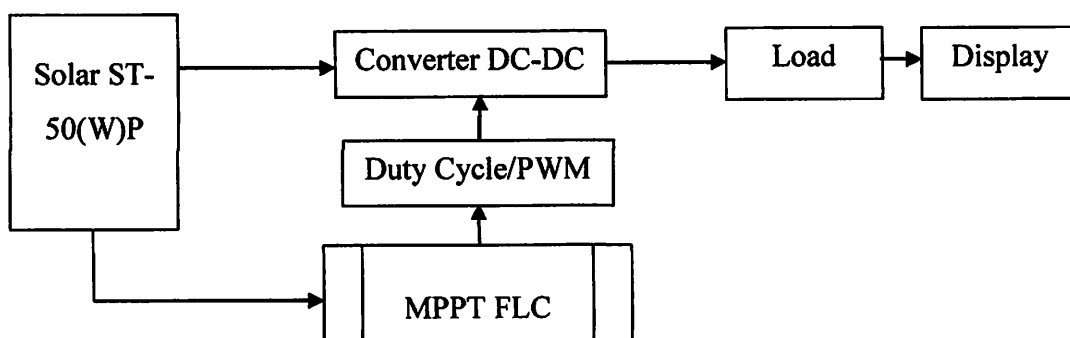
$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2 \times F} \times R \dots\dots\dots (3.4)$$

- Mencari nilai C

$$r = \frac{D}{R \times C \times F} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dari persamaan diatas akan didapat nilai D,R,L dan C yang digunakan untuk perancangan *boost* konverter.

3.4.2.3 Sistem Kroller MPPT Fuzzy Logic control



Gambar 3.6 Diagram blok MPPT

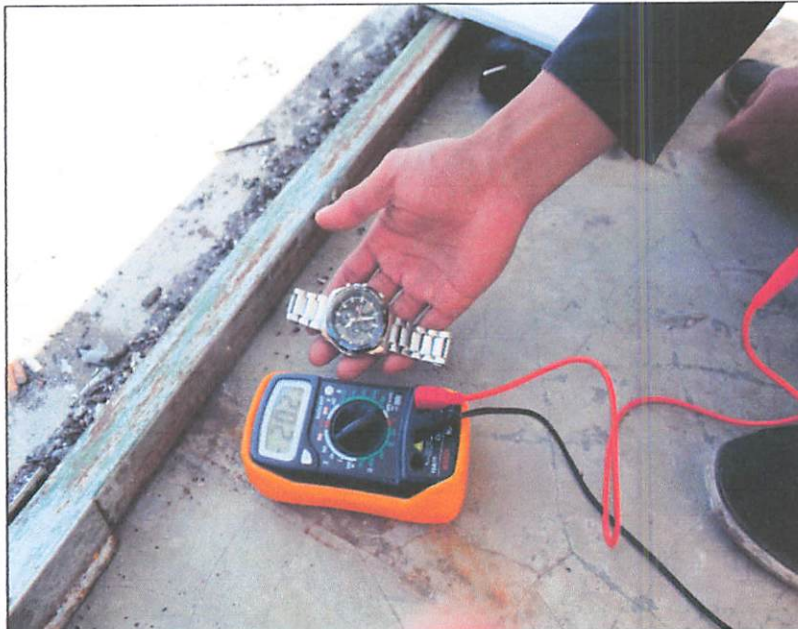
Berdasarkan blok diagram pada gambar 3.6, dapat dijelaskan proses kerja dari sistem kontrol MPPT tersebut. Dimana sumber tegangan yang akan di kontrol berasal

dari tegangan PV, selanjutnya FLC berfungsi untuk mengontrol besar kecilnya nilai *duty cycle* pada konverter dimana sebelumnya program algoritma FLC ada pada *simulink*. Display di sini berfungsi hanya untuk menampilkan tegangan masukan PV (v), daya (W), arus (A) dan tegangan keluaran.

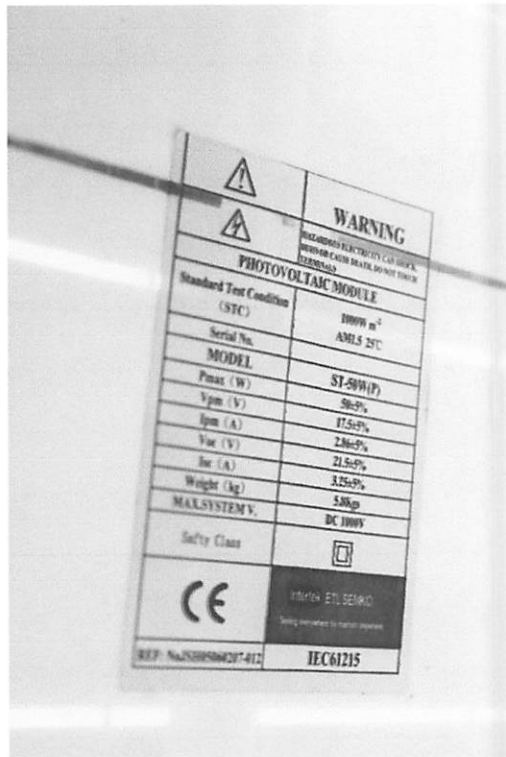
3.4.2.4 Pengambilan data

1. Pengambilan data panel surya

Pengambilan data atau sampling dari panel surya selama 6 hari berturut-turut, sample yang diambil yaitu keluaran nilai dari radiasi matahari, temperatur, tegangan, dan arus. Data diambil selama 10 kali dalam sehari dari jam 09.00 sampai dengan jam 18.00. Hasil pengukuran ini dilakukan agar mengetahui tegangan dan arus terhadap intensitas cahaya matahari yang mampu di keluarkan oleh panel surya di lab energi baru terbarukan Fakultas Institute Teknologi Nasional malang type ST-50(W)P.



Gambar 3.7 Pengambilan Data



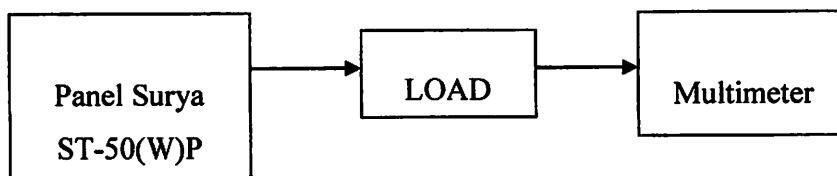
Gambar 3.8 Name Plate Panel surya

Tabel 3.2 Data hasil pengukuran panel surya yang digunakan

No	Waktu	Voc
1	08.15	19.8
2	08.30	19.8
3	09.00	20
4	09.10	20
5	09.45	20.3
6	10.10	20.2
7	10.25	20.7
8	12.00	21
9	13.25	21
10	14.05	20.5
11	14.50	20.3
12	15.10	20.2
13	15.25	20
14	15.45	19
15	16.15	19

2. Pengujian sistem surya tanpa menggunakan MPPT

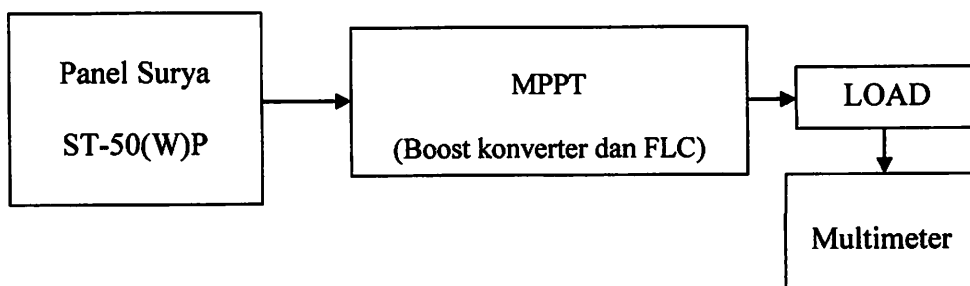
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya yang mampu dikeluarkan panel surya saat diberi beban dan tanpa menggunakan MPPT. Proses pengujian dapat kita lihat pada blok diagram dibawah ini.



Gambar 3.9 Blok Diagram Pengujian tanpa MPPT

3. Pengujian sistem surya menggunakan MPPT

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya yang mampu di bangkitkan panel surya yang menggunakan MPPT jika diberi beban. Proses pengujian dapat kita lihat pda blok diagram dibawah ini.



Gambar 3.10 Blok diagram pengujian menggunakan MPPT

3.4.3 Prosedur Algoritma Fuzy Logic Control (FLC)

Prosedur pengaturan dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller (FLC)* merupakan kumpulan aturan-aturan kontrol sebagai acuan untuk menyatakan aksi controller. Aturan tersebut disusun berdasarkan pengamatan atau perkiraan terhadap respon dinamik dari suatu sistem. Untuk menentukan rule base digunakan metode pendekatan secara linguistik, yaitu dengan melakukan pengamatan respon terhadap masukan maka selanjutnya ditentukan rule base kontrol logika fuzzy yang sesuai dengan kondisi yang terjadi.

3.4.3.1 Menentukan Rule Base FLC

Rule base merupakan sekelompok aturan dalam fuzzy yang mengolah sinyal data masukan dan sinyal data keluaran. Pada penyusunan rule base fuzzy akan dibuat aturan-aturan dasar untuk pengambilan keputusan pada keluaran FLC.

Banyaknya jumlah kelompok rule base yang akan dibuat sesuai dengan banyaknya sinyal keluaran. Jika sinyal keluaran FLC hanya terdapat satu macam, maka akan hanya terdapat satu macam kelompok rule base.

Untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik dapat dilakukan dengan pembagian ruang yang lebih banyak. Dalam Tugas Akhir ini, syntax “if-then” selalu digunakan untuk mengekspresikan fuzzy rule. Sedangkan rule yang digunakan sebanyak 7 rule base, seperti yang di tunjukan dibawah.

If (Daya is P1) then (DutyCycle is SR)

If (Daya is P2) then (DutyCycle is R)

If (Daya is P3) then (DutyCycle is CT)

If (Daya is P4) then (DutyCycle is S)

If (Daya is P5) then (DutyCycle is CT)

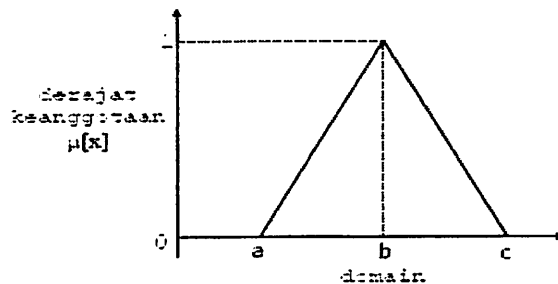
If (Daya is P6) then (DutyCycle is T)

If (Daya is P7) then (DutyCycle is ST)

3.4.3.2 Menentukan Membership Function

Fungsi keanggotaan atau Membership Function (MF) menyatakan fungsi secara keseluruhan yang menyatakan derajat keanggotaan (Membership Function) dari masing-masing variabel. Sedangkan yang dimaksud variabel disini adalah Daya (P) dan Duty Cycle. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Fungsi yang digunakan yaitu

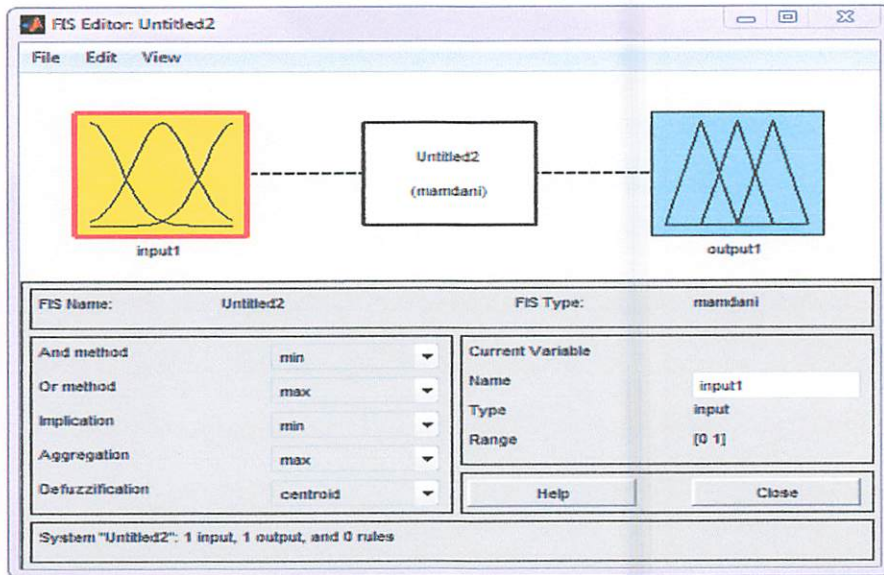
kurva segitiga. Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti terlihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Kurva segitiga

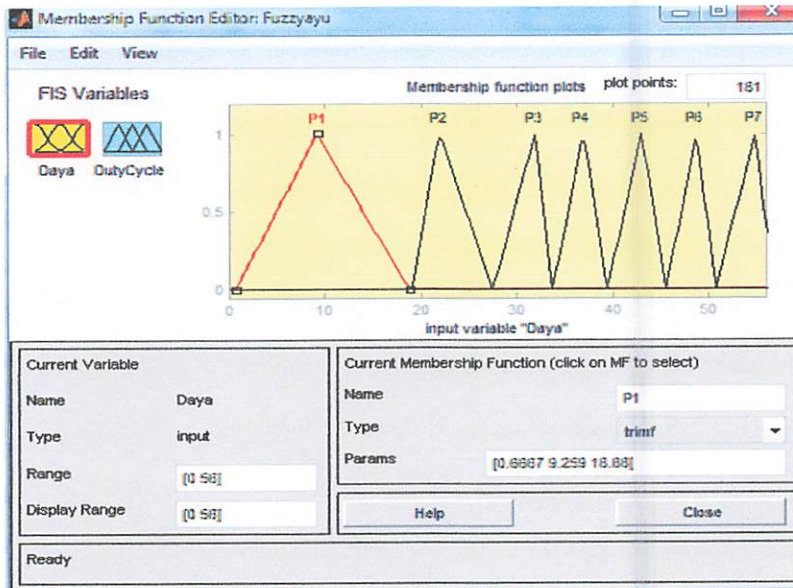
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(b-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3.2)$$

Di dalam software MATLAB telah tersedia toolbox untuk Fuzzy Logic Controller. Pada gambar 3.12 diperlihatkan tampilan window untuk pendefinisian input pada fuzzy controller yaitu daya dengan tipe fuzzy yang digunakan adalah fuzzy mamdani dan satu output yaitu duty cycle. Selain itu juga ditentukan untuk operasi reasoning yaitu Min untuk And Method dan Max untuk Or Method. Sedang untuk proses implication menggunakan Min, Aggregation menggunakan Max, dan Defuzzyfication menggunakan Center of Area (COA).



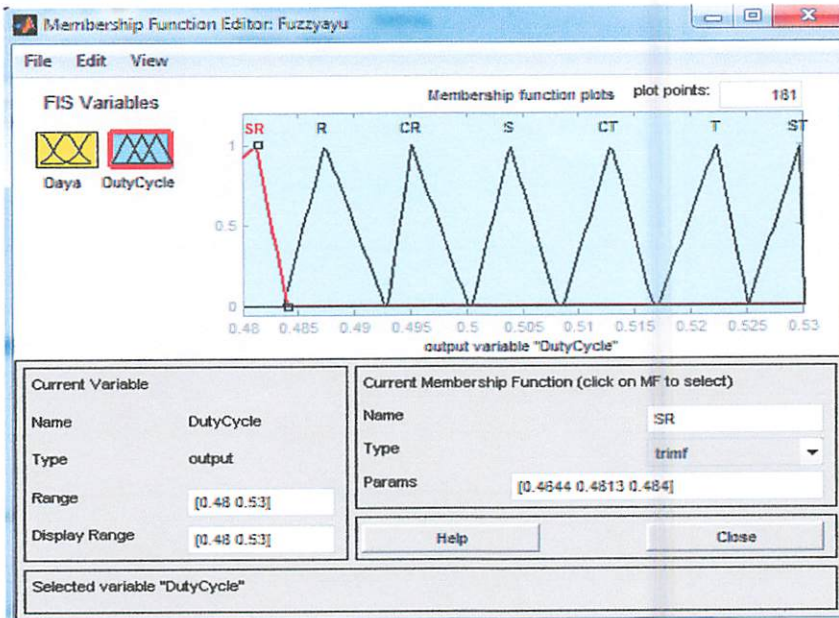
Gambar 3.12 Tampilan Window Pendefinisian Input dan Output pada Toolbox Fuzzy Logic dalam Software MATLAB

Fungsi keanggotaan (Membership Function) yang dipakai untuk masukan daya seperti pada gambar 3.13 adalah fungsi segitiga yang digunakan untuk membagi daerah batas sinyal kontrol yang akan didefuzifikasikan untuk masukan pada FLC. Pada daerah batasan ini dipakai 7 fungsi segitiga untuk masukan daya, yaitu P1, P2, P3, P4, P5, P6, dan P7.



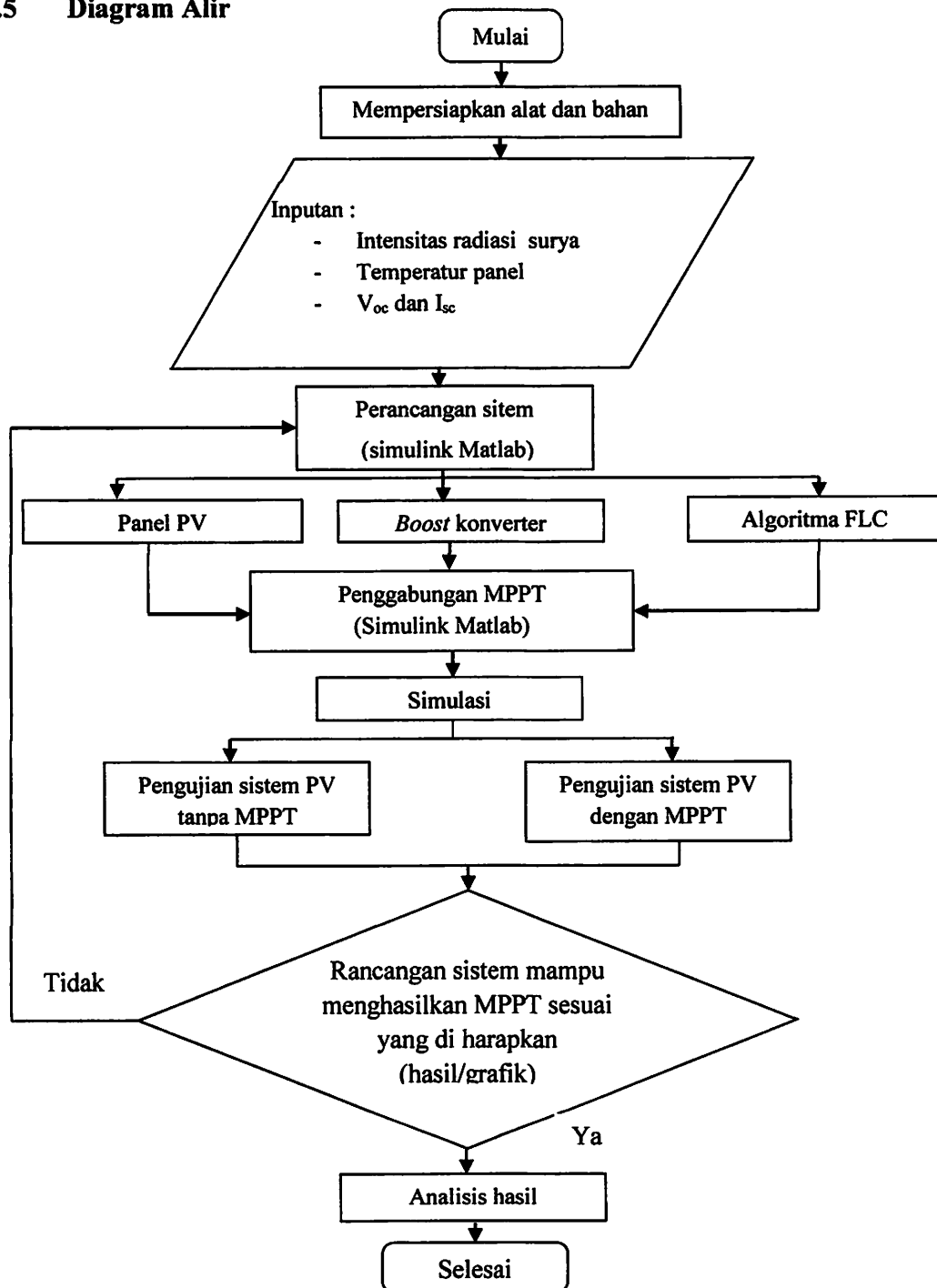
Gambar 3.13 Membership Function Daya

Fungsi keanggotaan (Membership Function) yang dipakai sebagai keluaran yaitu duty cycle seperti pada gambar 3.13 adalah fungsi segitiga yang digunakan untuk membagi daerah batas sinyal kontrol yang akan didefuzifikasikan untuk keluaran pada FLC. Pada daerah batasan ini dipakai 7 fungsi segitiga untuk keluaran duty cycle, yaitu SR, R, CR, S, CT, T, dan ST.



Gambar 3.14 Membership Function Duty Cycle

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.15 Diagram alir penelitian

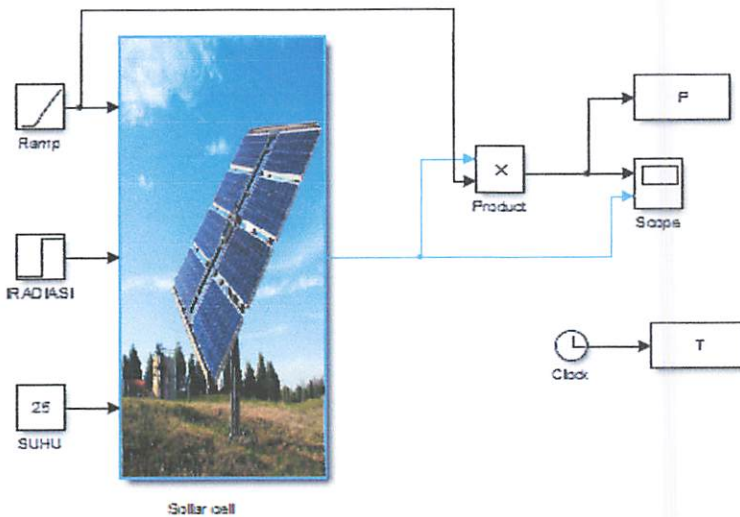
BAB IV

HASIL dan ANALISIS

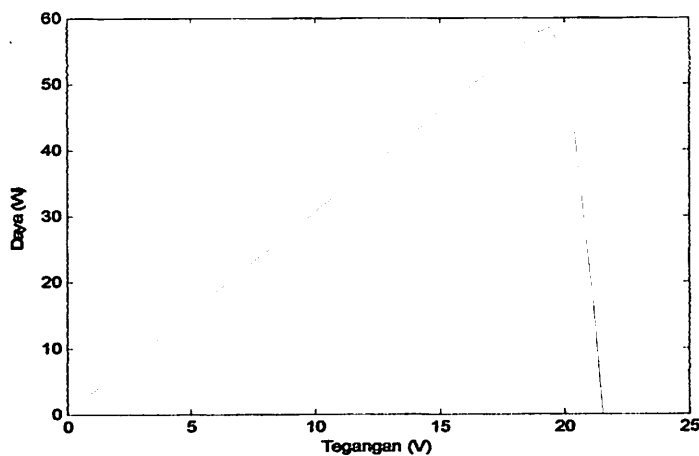
Pada bab ini akan dilakukan pengujian dari sistem yang telah dirancang. Adapun tujuan dilakukannya pengujian adalah untuk mengetahui kehandalan kontrol fuzzy dalam menjaga kestabilan sistem. Pengujian ini terlebih dahulu di uji cobakan dengan cara melakukan simulasi di program simulink MATLAB R2013a. Kemudian dengan langkah yang sama pengujian dilakukan pada rangkaian sesungguhnya.

4.1 Pengujian Model Panel Surya

Simulasi hasil perancangan ini dilakukan pada program simulink MATLAB dengan meniru panel surya Lab Elektro Institute Teknologi Nasional Malang tipe ST-50(W)P. Hasil perancangan ini dapat diperhatikan seperti blok diagram di bawah ini :



Gambar 4.1 Rangkaian Panel Surya



Gambar 4.2 Hasil Pemodelan Panel Surya

Hasil pengujian panel surya pada program MATLAB dengan suhu 25 celcius dan iradiasi 0-1000W/m² terlihat respon output daya dan tegangan yang dihasilkan mendekati dengan data sheet panel surya Lab Elektro Institute Teknologi Nasional Malang tipe ST-50(W)P. Berikut tabel hasil pengujian model panel surya dengan suhu dan iradiasi yang berbeda :

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Panel Surya

No	Suhu °C	Iradiasi W/m ²	Voc
1	22	600	21.35
2	23	600	21.40
3	24	600	21.45
4	25	600	21.50
5	25	700	21.53
6	26	700	21.58
7	27	800	21.65
8	28	800	21.70
9	26	900	21.63
10	25	1000	21.60

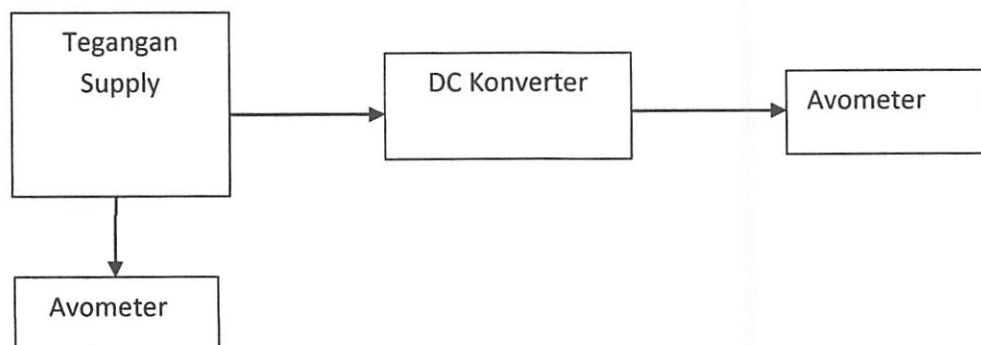
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Panel Surya tipe ST-50(W)P

No	Waktu	Voc
1	08.15	19.8
2	08.30	19.8
3	09.00	20
4	09.10	20
5	09.45	20.3
6	10.10	20.2
7	10.25	20.7
8	12.00	21
9	13.25	21
10	14.05	20.5
11	14.50	20.3
12	15.10	20.2
13	15.25	20
14	15.45	19
15	16.15	19

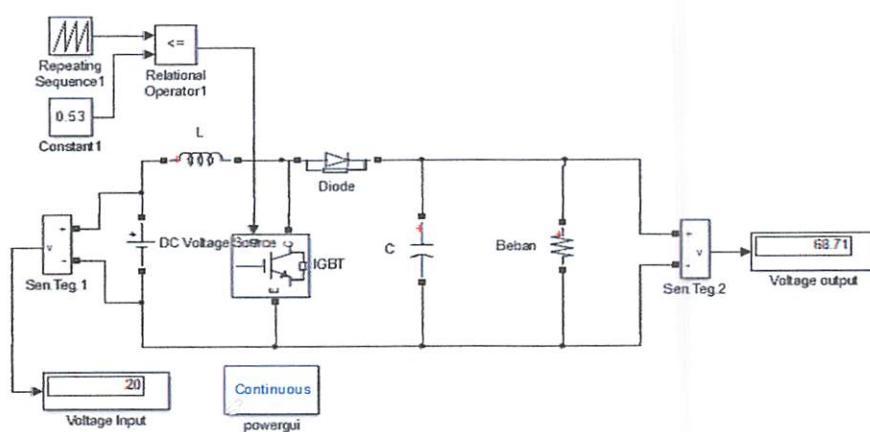
Berdasarkan hasil simulasi model dan pengujian panel surya tipe ST-50(W)P terdapat perbedaan Voc antara 0 – 2.5 Volt.

4.2 Pengujian Rangkaian Konverter Boost

Pengujian rangkaian boost konverter ini berfungsi untuk melihat karakteristik konverter tersebut apakah sesuai dengan karakteristik aslinya apa tidak, yang mana karakteristik aslinya yaitu mampu menghasilkan tegangan outputnya lebih besar dari tegangan inputnya.



Gambar 4.3 Block diagram pengujian rangkaian Konverter Boost



Gambar 4.4 Pengujian Simulasi rangkaian Konverter Boost

Avometer pada block diagram diatas untuk mengukur tegangan pada V_{in} dan V_{out} rangkain konverter boost dapat dilihat pada gambar 4.4 yang mana mampu menaikkan tegangan input 20volt hingga menjadi 68 volt dengan dutycycle 53%. Sesuai dengan karateristik yang di harapkan mampu mengeluarkan tegangan output lebih besar dari tegangan input.

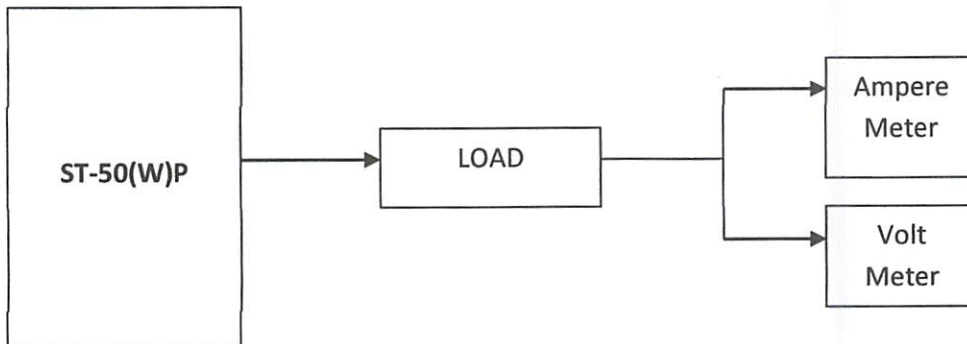
Tabel 4.3 Hasil uji rangkain Konverter *Boost* dengan pemberian dutycycle 50%.

No	Tegangan Vin supply (v)	Tegangan Vout (v)
1	7	13
2	9	16.27
3	12	22.22
4	14	26.24
5	15	28.25
6	16	30.15
7	17	32.25
8	18	34.15
9	20	38.28
10	22	42.29

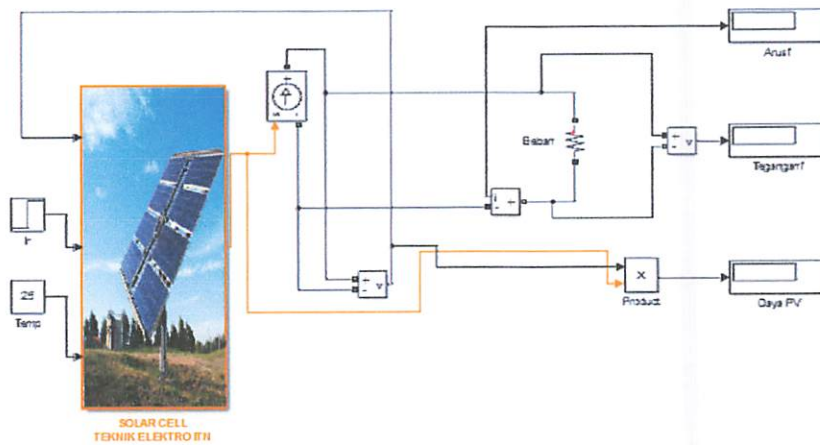
4.3. Pengujian Sistem Sel surya

4.3.1 Pengujian Sistem Sel Surya Tanpa MPPT

Pengujian sel surya tanpa MPPT guna untuk mengetahui daya yang mampu di kelurkan panel surya saat menggunakan beberapa beban yang berbeda. Pengujian dilakukan pada rangkaian block diagram dibawah ini akan di simulasikan pada software matlab.



Gambar 4.6 Block diagram pengujian tanpa MPPT



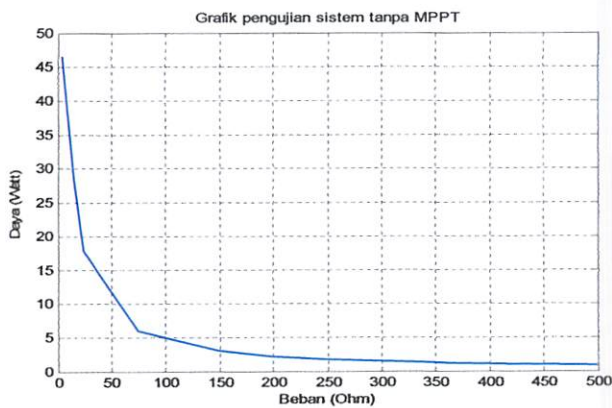
Gambar 4.7 Blok rangkaian sistem tanpa menggunakan MPPT

Berikut adalah data hasil lengkap pengujian tanpa MPPT dengan nilai beban yang berbeda ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian sistem tanpa MPPT

No.	Beban (Ω)	Tegangan (v)	Arus (I)	Daya (w)
1	5	15.25	3.05	46.51
2	15	20.88	1.39	29.05
3	25	21.17	0.84	17.92
4	75	21.46	0.286	6.138
5	150	21.53	0.143	3.09
6	200	21.55	0.107	2.321
7	250	21.56	0.086	1.859
8	370	21.57	0.058	1.258
9	420	21.57	0.051	1.108
10	500	21.58	0.043	0.931

Dari tabel data hasil pengujian sistem tanpa menggunakan MPPT maka didapatkan grafik yang menunjukkan daya terus menurun ketika beban semakin besar, dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik daya terhadap beban

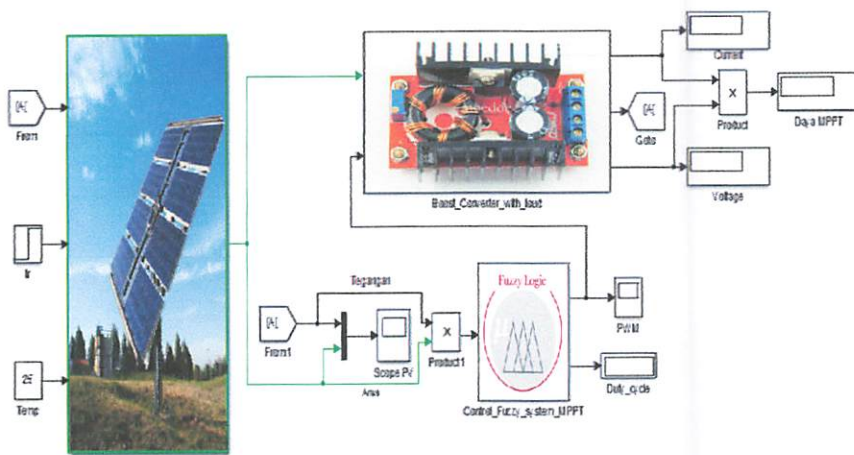
Berdasarkan pengujian sistem surya tanpa MPPT dapat dijelaskan bahwa daya yang dihasilkan akan lebih kecil dengan perubahan beban, sesuai dengan rumus berikut:

$$V = I.R, \text{ maka } I = \frac{V}{R}$$

artinya daya akan berpengaruh terhadap beban sehingga semakin besar beban (watt) yang di pakai untuk simulasi maka semakin kecil daya yang dihasilkan, hal ini dikarenakan beban berbanding terbalik dengan arus.

4.3.2 Pengujian Sistem Sel Surya MPPT

Pengujian Sistem Sel surya menggunakan MPPT guna untuk mengetahui daya yang mampu dibangkitkan oleh panel surya menggunakan sistem MPPT. Maka dibuatlah suatu sistem pada simulink guna untuk simulasi pelacakan titik daya maksimum pada panel PV. Berikut pengujian dilakukan pada gambar rangkaian 4.9.



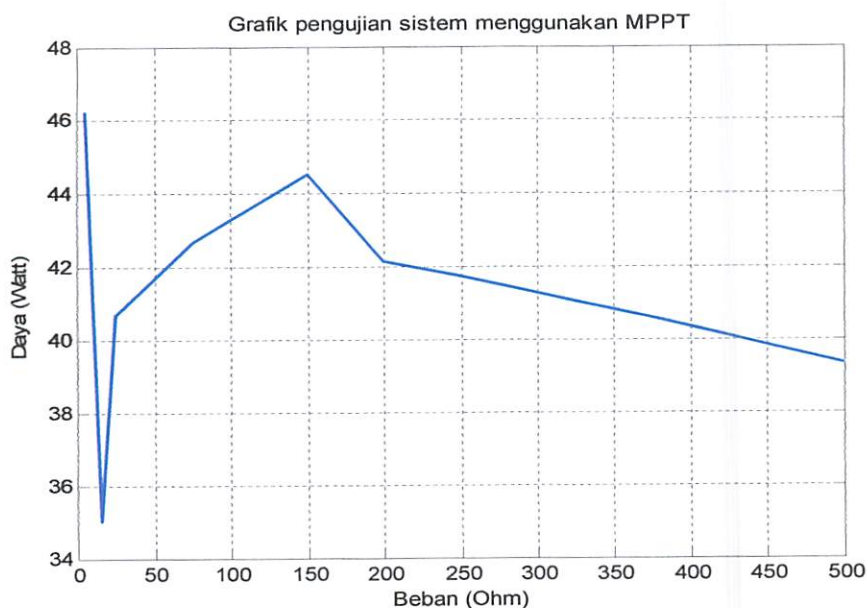
Gambar 4.9 Gambar pengujian menggunakan MPPT

Gambar diatas Menunjukkan keseluruhan sistem yang akan diuji dengan beban yang berbeda dimana MPPT mampu meningkatkan kinerja panel surya. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil pengujian sistem menggunakan MPPT

No.	Beban (Ω)	Tegangan (v)	Arus (I)	Daya (w)
1	5	15.21	3.042	46.28
2	15	22.92	1.528	35.03
3	25	31.89	1.276	40.69
4	75	56.61	0.75	42.71
5	150	81.74	0.545	44.55
6	200	91.84	0.459	42.17
7	250	102.2	0.408	41.75
8	370	122.6	0.331	40.64
9	420	129.9	0.309	40.15
10	500	140.2	0.280	39.33

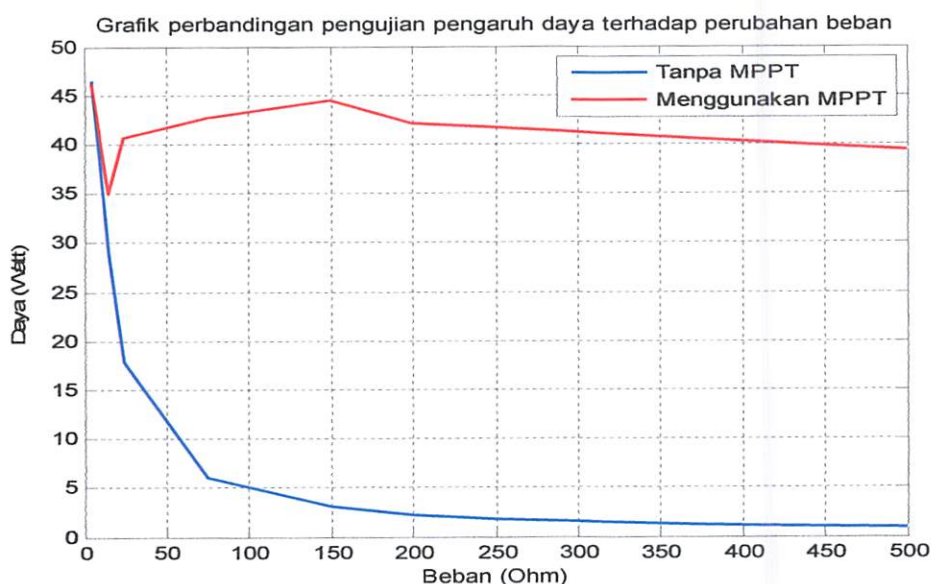
Berdasarkan tabel data hasil pengujian sistem dengan menggunakan MPPT maka didapatkan grafik yang menunjukkan daya bisa meningkat.



Gambar 4.10 Grafik daya terhadap tegangan menggunakan MPPT

Berdasarkan hasil pengujian sistem MPPT, untuk meningkatkan optimalisasi kinerja panel PV mampu mencapai daya maksimal meskipun adanya perubahan beban seperti data tabel 4.5, hal ini dikarenakan kontrol Fuzzy yang bekerja cukup baik artinya ketika beban semakin tinggi maka kontrol fuzzy akan mengatur nilai pensaklaran pada Boost konverter, dalam hal ini adalah duty cycle. Seperti pada pengujian duty cycle semakin besar nilai duty yang dikontrol maka semakin tinggi tegangan output yang dihasilkan, sehingga pada beban 500Ω tegangan yang dihasilkan sebesar 140.2 V. Tentunya nilai arus akan tetap turun saat beban naik namun akan diseimbangkan dengan nilai tegangan yang naik sehingga daya yang dicapai juga cenderung tidak berbeda jauh.

Pada hasil pengujian sistem MPPT dan tanpa MPPT menggunakan kontrol Fuzzy (*fuzzy logic control*), Adapun data hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.4 dan 4.5 dari hasil pengujian dapat dibandingkan dengan grafik di bawah ini.



Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian pengaruh daya terhadap perubahan beban

Dari Gambar Grafik 4.11 Menunjukkan bahwa pengaruh perubahan beban terhadap daya yang di hasilkan oleh panel surya. Sistem yang tidak menggunakan MPPT menghasilkan daya yang turun drastis pada beban 5 Ohm sampai dengan 500 Ohm, tetapi tegangan konstan yaitu sekitar 21 Volt. Sedangkan dengan menggunakan MPPT pada perubahan beban yang sama dengan di kontrol dengan FLC (*Fuzzy logic control*) pada konverter dapat menghasilkan daya maksimum yang stabil dibandingkan hasil sistem yang menggunakan tanpa MPPT. Pada kondisi ini tegangan relatif stabil pada hasil pembebanan mulai beban 200 Ohm sampai dengan 420 Ohm.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan Skripsi Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Boost Konverter Dengan Metode Logika Fuzzy ini adalah

1. Metode *maximum power point tracker* (MPPT) sesuai untuk memaksimalkan daya output PV dikarenakan memiliki respon yang cepat terhadap perubahan tegangan pada panel surya sehingga dapat memaksimalkan daya output PV.
2. MPPT dengan FLC dapat bekerja lebih baik dan dapat menghasilkan daya keluaran maksimum dibandingkan dengan tanpa menggunakan MPPT.
3. Perancangan system fuzzy sebagai kontroler dan terhubung Boost converter dapat meningkatkan keluaran PV hingga 80%, artinya nilai keluaran yang di hasilkan mampu mendekati nilai daya maksimal dari keluaran PV.
4. Pada penggunaan metode MPPT daya max relatif sinkron,tegangan relatif stabil pada pembebanan tertentu dan tanpa menggunakan MPPT tegangan konstan daya turun drastis pada saat pembebanan.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan:

1. Untuk dapat memperoleh tingkat ketelitian yang lebih baik pada setiap beban pada berbagai tingkat iradiasi matahari maka sistem MPPT dengan metode *lookup table* memerlukan data yang lebih banyak agar dapat dihasilkan ketelitian yang lebih akurat.
2. Dengan Metode yang lebih canggih lagi semisal neuro-fuzzy untuk MPPT dapat dilakukan untuk memperbaiki kinerja dari MPPT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim.2012. Panel surya charge controller langsung saat ini.
<http://id.hicow.com/panel-surya/charge-controller/langsung-saat-ini1963572.html> di akses tanggal 29 Januari 2012
- [2] Kusumadewi,Sri; dan Hartati ,Sri.2006.*Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*.Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Y.Yusof ,S.H. Sayuti, M.A.Latif and M. Zamri, 2004, “*Modelling and Simulation of Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System*”, Power energy Conference, PEC, pp. 88-93.
- [4] Purnomo, Sejati. 2011. Topologi converter DC-DC. [Konversi _wordpress.com/topologi/converter](http://konversi.wordpress.com/topologi/converter). Diakses 24 Agustus 2011.
- [5] Rashid, Muhammad H. 2001. “*Power Electronics Handbook*”. New York. Academic Press.
- [6] Widodo, Rusminti tjatur. 2003 “*solar sel sumber energy masadepan yang ramah lingkungan*”. Surabaya PENS-ITS.
- [7] Wikipedia. 2012. “solar cell”. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell diakses pada tanggal 28 Januari 2012.
- [8] Laksono, Hendra, dkk. 2012. “*system tracker pada pembangkit listrik tenaga surya untuk emergency rumah tangga*” jurnal elektro PEND, vol. I. tidak diterbitkan.
- [9] Faranda, Roberto dan Leva, Sonia. 2008. “*Energy cmparison of MPPT techniques for PV system*”. Italia.
- [10] A. Reatti, MK dan Kazimier Czuk. 2003. “*small signal model PWM converter for disconius conduction mode and its application for boost converter*”. IEEE transaction circuit and system, pp 65-73

LAMPIRAN



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Ikhtiar taufikurrahman
NIM : 08.12.015
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ***MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL
SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL***
Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :
Hari : Sabtu
Tanggal : 21 Februari 2015
Nilai : 74,42 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.Y.1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.Y.1030100361

Anggota Penguji

Penguji I

Dr.Eng.Ir. I Made Wartana, MT
NIP.196105031992021001

Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1030300378

Formulir Perbaikan Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi jenjang Strata satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : Ikhtiar taufikurrahman

NIM : 08.12.015

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

JudulSkripsi : MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA
STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Penguji I <ul style="list-style-type: none">- Dari Tabel 4.4 dan 4.5 terlihat bahwa fungsi MPPT hanya menstabilkan daya output beban pada besar 35W sampai dengan 46W tergantung variasi beban- Tapi dampak dari poin 1 diatas tegangan beban berfluktuasi dari 15V sampai dengan 140V apakah mungkin V beban berubah-ubah- Kenapa pengujian hanya pada beban resistif saja	
2	Penguji II <ul style="list-style-type: none">- Tambahkan rangkaian lengkap berupa MPPT- Bebannya berupa apa- Penulisan tabel harap di betulkan/(tidak boleh putus)- Tujuan mendesain MPPT, apa betul? gambar rangkaian hasil desain?	

Disetujui,

Penguji I



Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP.196105031992021001

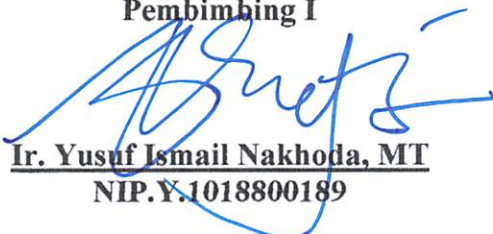
Penguji II



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1030300378

Mengetahui,

Pembimbing I



Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y.1018800189

Pembimbing II



Ir. Ni putu Agustini, MT
NIP.Y.1030100371



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO


Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Ikhsan Taufikurrahman .
NIM : 08.12.015
Perbaikan meliputi :

- 1) Dari tabel 4.4 & 4.5 terlihat bahwa fungsi MPPT hanya mengalokasikan daya out put beban pd beban 25... s.d 46 Watt tergantung variasi beban
- 2) Tapi bagaimana dari poin 1 di atas bagaimana beban berfluktuasi dari 15... s.d 140 Volt apakah mungkin V beban berubah?
- 3) Kenapa pengujian hanya pd beban resistif saja?

Malang,

()



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

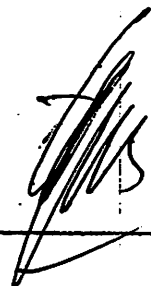
Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Ikhtiar Taufikurrahman
NIM : 0812015
Perbaikan meliputi :

- 1) Tambahkan rangkaian lengkap MPPT.
- 2) Beban nya berupa apa ?
- 3) Penulisan tabel 4.4 harap dibetulkan /
(tdk boleh terputus)
- 4) Tujuan mendesain MPPT, apa
betul ? Gambar rangkaian hasil
design ?

Malang,

()

MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2014-2015

Nama Mahasiswa

: Ikhtiar taufikurrahman .

NIM

: 0812015

Nama Pembimbing

: Ir. YUSUF Ismail Nakhoda, MT

Judul Skripsi

: DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)
PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY
LOGIC CONTROL

Minggu Ke-	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Malang,

Pembimbing

.....

NIP.



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : IKHTIAR TAUFIKURRAHMAN
 NIM : 0812015
 Semester : VIII (Delapan)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 Konsentrasi : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**
~~TEKNIK ELEKTRONIKA~~
~~TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA~~
~~TEKNIK KOMPUTER~~
~~TEKNIK TELEKOMUNIKASI~~
 Alamat : Jln. Bhakti 90 Kelurahan Pale Arjosari kec. Belimbing

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

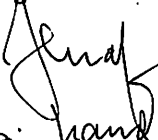
Apapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Untuk permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.


Yang diteliti kebenarannya data tersebut diatas

Recording Teknik Elektro S-I


 (..... handayani) (.....)


Malang, Kamis, 11 - September 2014

Pemohon


 (..... IKHTIAR TAUFIKUR R.)


Disetujui

Ketua Prodi Teknik Elektro S-I


 M. Ibrahim Ashari, ST, MT
 NIP. P. 1030100358

Mengetahui

Dosen Wali


 (.....) TEGUH H

Itatan:

Agar mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Prodi T. elektro S-I

1. 402-5 / 13.8 = 292
2.
3.



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-279/EL-FTI/2014

20 November 2014

Tempat : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Dosen Teknik Elektro S-1

ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : **Ikhtiar Taufikurrahman**

Nim : **0812015**

Fakultas : **Teknologi Industri**

Program Studi : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Ganjil Tahun Akademik 2014-2015 "

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Studi Teknik Elektro S-1



M. Ibrahim Ashari, ST, MT 20/11/2014

NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-279/EL-FTI/2014

20 November 2014

Tempiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Ni Putu Agustini, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : **Ikhtiar Taufikurrahman**
Nim : **9812015**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Gaajil Tahun Akademik 2014-2015"

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

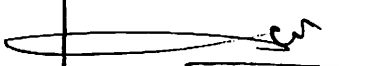

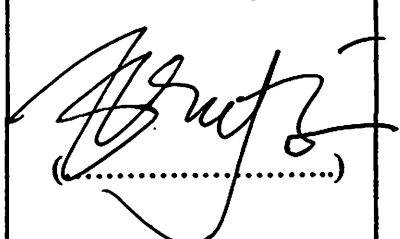
Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 0812015		
2.	Nama	: IKHTIAR TAUFIKURRAHMAN		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	18 Nopember 2014	09:00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PANEL SURYA STATIS DENGAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :	<i>Dipastikan dulu data riil yang diambil darimana ?</i>		
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian II  (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian III (.....)	
	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs			
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1  M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P 1030100358		Pembimbing I  (.....)	Pembimbing II (.....)	

