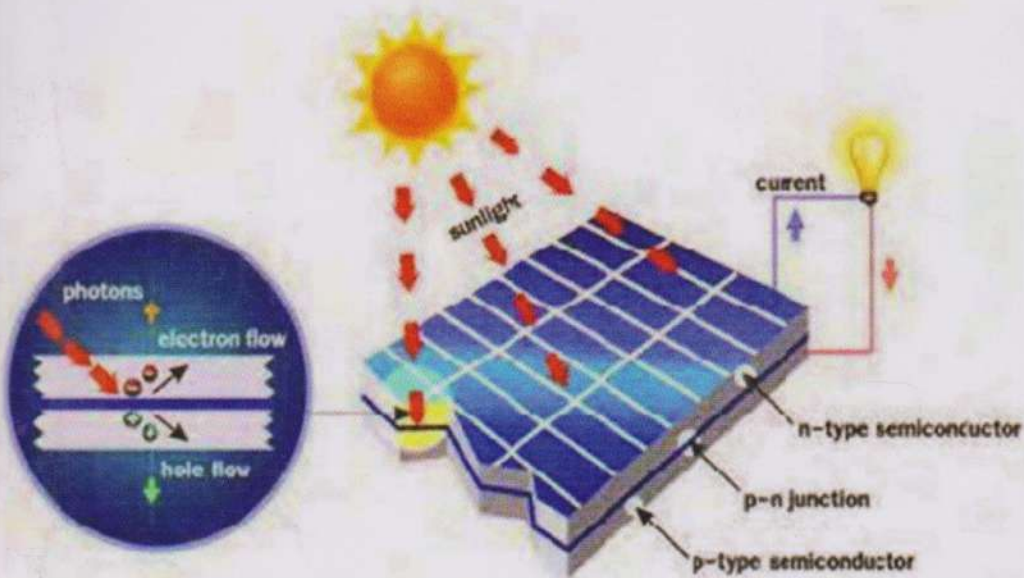


Desain Dan Implementasi

Pompa Air Tenaga Surya (PATS)



Liliana
Kunaif

M. Iryad
Susi Afriani



Desain dan Implementasi Pompa Air Tenaga Surya (PATS)

Penulis : Liliana,
M. Insyad,
Kunali,
Susi Afrani

Lay Out : Tim
Desain Cover : Liliana
Percetakan : GNR Grafika

Penyedia :
Al-Majalah Press
Jl. Mandayani Cg. Ros No. 52 Kel. Mahatani Kec. Marpoyan Damai
Pekantaran-Riau Email: almajalahpress@gmail.com
Hp. 081268094647 Hp. 0813 78712088

Hak Cipta dilindungi Undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau keseluruhan isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin penerbit.

Cetakan :
Pertama, Januari 2020
© Al-Majalah Press, 2020

Desain Dan Implementasi Pompa Air Tenaga Surya (PATS)

KATA PENGANTAR

Dalam kesempatan yang sangat berbahagia ini, rasanya tiada satu katapun yang paling layak yang pertama-tama diungkapkan, selain puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan pertolongan dan petunjuk-Nya, serta teringat salawat dan salam dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa manusia dari alam kegelapan ke alam yang terang benderang, sehingga buku yang berjudul DESAIN, IMPLEMENTASI DAN ANALISIS KINERJA POMPA AIR TENAGA SURYA DI UIN SUSKA RIAU ini mampu diselesaikan.

Buku merupakan sebuah penelitian ini dimaksudkan untuk membangun sebuah sistem PATS yang bekerja secara handal. Sistem yang akan dibangun di UIN Suska Riau ini diharapkan akan menjadi contoh untuk mendemonstrasikan bagaimana sebuah sistem PATS bekerja sehingga diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan pihak perencana program air bersih di kawasan pedesaan Propinsi Riau. Selain itu, sistem ini juga diharapkan dapat menjadi fasilitas bagi mahasiswa dan perusahaan instalator listrik untuk mempelajari sistem PATS.

Asas dilakukannya penelitian ini, **Pertama**, penelitian ini **mendukung pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi** dalam bidang energi. PATS adalah teknologi baru yang memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pompa air menggunakan generator diesel (*genset*). Kedua, penelitian ini **menunjang pembangunan**, khususnya di kawasan pedesaan di Propinsi Riau. Saat ini belum muncul keyakinan di kalangan pengambil kebijakan dan perencana kegiatan (terutama dari pihak Pemerintah) di Propinsi Riau untuk mengembangkan PATS sebagai pengganti *genset* dalam menyediakan suplai air bersih di kawasan yang membutuhkan. Kurangnya keyakinan tersebut karena belum ada contoh sistem PATS yang beroperasi dalam situasi sebenarnya (aktual). Dengan adanya sistem PATS di UIN Suska Riau, akan menjadi bukti bahwa PATS dapat dikembangkan untuk memaksimalkan potensi energi matahari di kawasan tropis untuk membantu masyarakat pedesaan yang kesulitan air. **Ketiga**, penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam **pengembangan institusi** UIN Suska Riau, khususnya Fakultas Sains dan Teknologi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan pada buku ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun untuk penyempurnaannya.

Terima kasih tak terhingga kepada Lembaga Penelitian Pengabdian Masyarakat (LPPM) UIN Suska Riau yang telah membantu penulis dalam pembiayaan dan penerbitan hasil penelitian sehingga buku ini bisa terbit.

Akhirnya penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua, terutama bagi pihak-pihak yang berkepentingan dalam pengembangan Pompa Air Tenaga Surya (PATS) dan

Pekanbaru, September 2019

Penulis

Liliana
Kunali
M. Insyad
Susi Afrani

Daftar Isi	i
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	x
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan dan Urgensi Penelitian	6
1.3.1. Tujuan Penelitian	6
1.3.2. Urgensi Penelitian	6
1.4. Penelitian Terkait	8
BAB 2 PATS dan Sel Surya	10
2.1. Pompa Air Tenaga Surya (PATS)	10
2.2. Aplikasi	10
2.3. Teknologi	12
2.4. Sel Surya	13
2.5. Modul Surya	20
2.5.1. Rangkaian Modul Surya	21
2.5.2. Rangkaian Paralel Modul Surya	23
2.5.3. Rangkaian Seri Paralel Modul Surya	25
2.5.6. Panel Surya	27
2.5.7. Susunan (<i>array</i>)	28
2.5.8. Menentukan Energi Outpu Array Surya	29
2.9. Sudut Pemasangan Modul Surya	30
BAB 3. Proteksi pada Sistem Sel Surya	32
3.1. Pentanahan	32
3.1.1. Pentanahan Sistem	33
3.1.2. Pentanahan Peralatan	36
3.2. Tegangan	37
3.2.1. Tegangan Sentuh	39
3.2.2. Tegangan Langkah	40
3.2.3. Tegangan Pindah	41
3.3. Arus Melalui Tubuh Manusia	42
3.3.1. Arus Mulai Terasa atau Persepsi (Perception Current)	42

3.3.2. Arus Mempengaruhi Otot	42
3.3.3. Arus Fibrilasi	43
3.4. Tahanan Tubuh manusia	44
3.5. Elektroda Pentanahan	44
3.5.1. Elektroda Batang	46
3.5.2. elektroda Bentuk Pita	48
3.5.3. Elektroda Bentuk Plat	49
3.6. Tahanan Jenis Tanah	51
3.7. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah	52
3.7.1. Metoda Tiga Titik	52
3.7.2. Metoda Empat Titik	54
3.8. Metode Menurunkan Tahanan Jenis Tanah	58
3.8.1. Metode Bak Ukur (Container Method)	58
3.8.2. Metode Parit (Trench method)	58
3.8.3. Menggunakan Elektroda batang Pentanahan Khusus	59
3.8.4. Metode Kombinasi	59
3.9. Battery Control Unit (BCU) sebagai Perangkat Proteksi Sistem Solar Cell	60
3.9.1. <i>Unit HVD Switching</i>	61
3.9.2. <i>Unit LVD Switching</i>	64
3.9.3. <i>Unit Fuse elektronik</i>	65
3.9.4. Unit indikator	66
3.10. Unit Proteksi	67
3.10.1. Proteksi Arus Bolak balik	67
3.10.2. Proteksi Polaritas Terbalik	67
3.10.3. Proteksi Hubung Singkat dan Beban Lebih	68
3.10.4. Proteksi Tegangan Kejut dari halilintar	68
BAB 4. Teori Kebutuhan PATS	70
4.1. Menentukan Kebutuhan Air	70
4.2. Radiasi Sinar Matahari	70
4.3. Pompa Air	71
4.4. Menghitung Daya Pompa	75
4.5. <i>Head</i>	77
4.6. Inverter	80
4.7. Baterai	82

4.7.1. Kapasitas Baterai	84
4.7.2. Siklus Baterai	86
4.7.3. Mekanisme Degradasi Baterai	87
4.7.4. Perawatan Baterai	91
4.7.5. Tahan Charging	93
4.7.6. Pengisian Air Elektrolit (Topping Up)	95
4.8. Battery Charge Controller	96
4.9 Pengukuran Kinerja Sisten PATS	97
4.10 Wirring/ Pengkawatan	98
4.11. Kabel Instalasi	98
4.12. Analisis kebutuhan Air	102
4.12.1. Sifat Air	104
4.12.2. Siklus Hidrologi	106
4.12.3. Badan Air	107
4.13. Reverse Osmosis	116
4.13.1. Definisi dan Prinsip operasi	117
4.13.2. Membran	119
4.13.3. Aplikasi	120
4.13.4. Pemurnian Air Minum	121
4.14. Tata Cara Pengelolaan Air Tanah	123
4.14.1. Perencanaan	124
4.14.2. Pelaksanaan	130
4.14.3. Operasi dan Pemeliharaan	137
4.15. Proyeksi Kebutuhan Air untuk kawasan Perkotaan	150
4.16. Dampak Perubahan Iklim terhadap Daya Dukung Air	152
4.17. Motor Listrik	153
4.17.1. Motor Induksi 1 Fasa	154
4.17.2. Motor Induksi tiga Fasa	156
BAB 5. Metode Perancangan PATS	159
5.1. Kerangka Pemikiran	159
5.2. garis Besar Penelitian	160
5.2.1. Survei Pendahuluan	160
5.2.2. Menghitung Kebutuhan Air	162
5.2.3. Perancangan dan Instalasi	162
5.2.4. Monitoring Kinerja Sistem	163

5.3. Jenis dan Sumber Data	164
BAB 6. Implementasi Sistem PATS	165
6.1. Survey Pendahuluan	165
6.2. Menghitung Kebutuhan Air	177
6.3. Perancangan dan Instalasi Sistem	179
6.3.1. Studi Beban	179
6.3.2. Informasi Umum Perancangan	180
6.3.3. Penentuan Bulan Desain	182
6.3.4. Menentukan Ukuran dan spesifikasi Inverter	183
6.3.5. Ukuran Spesifikasi Baterai	184
6.3.6. Penentuan Modul Surya dan Regulator	187
6.3.7. Menentukan Ukuran Kabel	192
6.3.8. Instalasi Sistem	193
6.4. Monitoring dan Analisis Kinerja Sistem	201
BAB 7 Kesimpulan	196
7.1. Kesimpulan	205
7.2. Rekomendasi	206
DAFTAR PUSTAKA	207
LAMPIRAN A	

Daftar Gambar

Gambar 1. Sebuah Sistem PATS dengan tanki pengumpul	10
Gambar 2. Suplai Air dengan PATS	11
Gambar 3. Sistem Irigasi Tenaga Surya	12
Gambar 4. Diagram Blok PATS	13
Gambar 5. Sketsa dua dimensi kristal silicon	14
Gambar 6. Semikonduktor tipe-P (kiri) dan tipe-N (kanan)	15
Gambar 7. Diagram energi sambungan p-n dan munculnya daerah deplesi	15
Gambar 8. Sel dan Modul Fotovoltaik Monokristal	17
Gambar 9. Sel dan Modul Fotovoltaik Polikristal	17
Gambar 10. Modul surya amorfous	18
Gambar 11. Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan elektron)	19
Gambar 12. Cara Kerja Sel surya dengan Prinsip p-n Junction	20
Gambar 13. Rangkaian Sel Surya dalam Modul	21
Gambar 14. Hubungan Seri Modul Surya	21
Gambar 15. Tiga buah modul surya dihubungkan secara seri	22
Gambar 16. Hasil simulasi modul surya terhubung seri	22
Gambar 17. Hubungan Paralel Modul Surya	23
Gambar 18. Tiga buah modul surya duhubungkan secara paralel	23
Gambar 19. Grafik I-V Susunan Seri, (b) Grafik P-V Susunan Paralel	24
Gambar 20. Hubungan Seri-Paralel Modul Surya	25
Gambar 21. Array atau Rangkaian Modul Surya	25

Gambar 22. Grafik I-V dan (b) Grafik P-V Kombinasi Seri-Paralel	26
Gambar 23. (a) Perbandingan Grafik I-V, dan (b) Perbandingan Grafik P-V untuk Susunan Paralel dan Kombinasi Seri-Paralel	27
Gambar 24. Rangkaian modul didalam panel surya	27
Gambar 25. Rangkaian panel didalam <i>array</i> surya	28
Gambar 26. Sel, modul, panel, dan <i>array</i> surya	28
Gambar 27. Sistem yang tidak tidak diketanahkan dalam keadaan gangguan kawat tanah	34
Gambar 28. Sistem yang diketanahkan dalam gangguan kawat tanah	34
Gambar 29. Komponen tahanan dari suatu batang elektroda pentanahan	45
Gambar 30. Jenis-jenis elektroda bentuk batang	48
Gambar 31. Jenis-jenis elektroda pita dan cara pemasangannya	49
Gambar 32. Elektroda plat dipasang vertikal	50
Gambar 33. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode Tiga Titik	53
Gambar 34. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat titik	54
Gambar 35. diagram blok <i>Solar Home System</i> (SHS)	61
Gambar 36. Rangkaian dasar BCU tipe shunt	62
Gambar 37. Diagram skematik unit HVD swiching mode on-off	63
Gambar 38. Diagram skematik unit LVD swiching mode on-off	65
Gambar 39. Diagram rangkaian pembatas arus dengan fuse elektronik	66
Gambar 40. Jatuh tegangan akibat tegangan kejut halilintar	69
Gambar 41. Skema PATS menggunakan poma <i>submersible</i>	72

Gambar 42. Skema PATS dengan submerged pump with surface mounted motor .	73
Gambar 43. Skema PATS dengan <i>floating motor pump</i>	74
Gambar 44. Skema PATS dengan surface suction pumpsets	75
Gambar 45. Grafik η_p , n_s , dan Q	76
Gambar 46. Jenis-jenis head	74
Gambar 47. Salah satu bentuk inverter	81
Gambar 48. Salah satu bentuk baterai untuk sistem energy surya	83
Gambar 49. Hubungan baterai	85
Gambar 50. Korelasi tegangan baterai vs laju discharge	86
Gambar 51. Siklus (<i>cycle life</i>) vs DOD baterai	87
Gambar 52. Degradasi baterai akibat efek Softening	88
Gambar 53. Degradasi baterai akibat efek korosi	89
Gambar 54. Degradasi baterai akibat efek sulfas	90
Gambar 55. Degradasi baterai akibat efek stratifikasi elektrolit	91
Gambar 56. Salah satu bentuk <i>charge controller</i> untuk sistem energy surya	96
Gambar 57. Contoh rangkaian pengujian PATS di laboratorium	97
Gambar 58. Kabel NYYHY	98
Gambar 59. Proses Osmosis	117
Gambar 60. Proses Osmosis dan Reserve Osmosis	118
Gambar 61. Ukuran penyisihan substansi untuk setiap jenis membran	120
Gambar 62. Tipe Membran	121
Gambar 63. Skema Proses Reverse Osmosis	122
Gambar 64. Diagram alir tahap kegiatan pengelolaan air tanah	124
Gambar 65. Kegiatan perencanaan pengelolaan air tanah	127

Gambar 66. Panen air hujan dan penyimpanan lengas tanah.	139
Gambar 67. Skematik Neraca air tanah	142
Gambar 68. Neraca air tanah pada zone perakaran tanaman	144
Gambar 69. Faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi	144
Gambar 70. Perubahan lengas tanah. Kapasitas lapang minus titik layu merupakan jumlah air yang tersedia abagi tanaman	144
Gambar 71. Sumber dan kehilangan lengas tanah	148
Gambar 72. Konstruksi motor induksi satu phasa	155
Gambar 73. Rangkaian dasar motor induksi 1 fasa	155
Gambar 74. Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa	158
Gambar 75. Rangkaian ekivalen Motor Induksi	158
Gambar 76. Diagram Alir Penelitian	161
Gambar 77. Masjid UIN Suska Riau sedang dibangun.	166
Gambar 78. Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau.	166
Gambar 79. Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.	167
Gambar 80. Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	167
Gambar 81. Reservoir di Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau	169
Gambar 82. Peta lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	163
Gambar 83. Topografi bagian belakang Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	170
Gambar 84. Calon lokasi instalasi panel surya, di sisi jalan sebelah Selatan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.	172
Gambar 85. Calon lokasi instalasi panel surya, di atap	

	Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.	173
Gambar 86.	Design Tilt angle	181
Gambar 87.	Konfigurasi sistem PATS yang digunakan di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	194
Gambar 88.	Mahasiswa membersihkan modul surya	195
Gambar 89.	Pembuatanudukan modul surya	196
Gambar 90.	Persiapan sumur bor	197
Gambar 91.	Survei lokasi instalasi modul surya di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi	197
Gambar 92.	Rangkaian modul surya	198
Gambar 93.	Pemasangan modul surya	198
Gambar 94.	Persiapan sistem kontrol: BCR, inverter, dan peralatan proteksi	199
Gambar 95.	Pemasangan baterai	200
Gambar 96.	Penyambungan komponen sistem	200
Gambar 97.	Monitoring kinerja sistem	201

Daftar Tabel

Tabel 1. Besar dan lama tegangan sentuh maksimum	38
Tabel 2. Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan	39
Tabel 3. Tegangan langkah yang diizinkan dan lama gangguan	40
Tabel 4. Nilai Tahanan Jenis Tanah	51
Tabel 5. Nilai Tahanan Pentanahan Satu Batang Pentanahan Tahanan Jenis Tanah: 100 Ohm-m)	52
Tabel 6. Inverter satu fasa untuk PLTS di pasar Indonesia	82
Tabel 7. Bulk charging current sesuai kapasitas baterai	94
Tabel 8. Tegangan charging berdasarkan tipe baterai	95
Tabel 9. Gauge Kabel Standar Amerika (AWG) (http://www.panelsurya.com)	99
Tabel 10. Arus dan Tabel gauge yang disarankan (http://www.panelsurya.com)	101
Tabel 11. Beberapa Jenis Air Tanah dan Kandungan Ion-Ion utama	111
Tabel 12. Data Jenis dan Luas Lahan Di Pekanbaru (Lahan Bukan Pertanian)	112
Tabel 13. Pertimbangan pemilihan lokasi instalasi sistem PATS.	168
Tabel 14. Koordinat Lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	169
Tabel 15. Potensi energi surya di lokasi penelitian	169
Tabel 16. Temperatur rata-rata di lokasi penelitian pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah	177
Tabel 17. Estimasi kebutuhan air di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	178
Tabel 18. Spesifikasi komponen sistem PATS direkomendasikan	191
Tabel 19. Kapasitas pengangkutan arus berbagai jenis diameter kabel	193
Tabel 20. Hasil pengukuran dan monitoring kinerja sistem	202

BAB 1

Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Air adalah kebutuhan yang krusial karena air dan kehidupan berhubungan satu dengan lain. Semua teori ilmiah tentang kehidupan sepakat bahwa air dalam bentuk cair diperlukan untuk mengawali dan melanjutkan kehidupan dan tidak ada enzim yang dapat bekerja di dalam mahluk hidup tanpa adanya molekul air (Chaplin 2012).

Para ilmuwan sesungguhnya bukan pihak pertama yang mengemukakan keterkaitan antara air dan kehidupan. Sebelumnya, Allah SWT melalui Al-Qur'an telah mewahyukan hal tersebut melalui tidak kurang dari 35 ayat, di antaranya:

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا
وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ^ط

“Dan apakah orang-orang yang kafir tidak mengetahui bahwasanya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah suatu yang padu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya. Dan dari air Kami jadikan segala sesuatu yang hidup. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman?” (Al Anbiyaa' 30).

وَاللَّهُ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَسْمَعُونَ^ط

“Dan Allah menurunkan dari langit air (hujan) dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi sesudah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang mendengarkan (pelajaran)” (An Nahl 65).

لِنُحْيِيَ بِهِ بَلْدَةً مَّيْتًا وَنُسْقِيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَمًا وَأُنَاسٍ كَثِيرًا

Kami memberi minum dengan air itu sebagian besar dari makhluk Kami, binatang-binatang ternak dan manusia yang banyak” (Al Furqaan 49).

Manusia tidak hanya menggunakan air secara sadar misalnya untuk minum, mencuci dan membersihkan, memasak, menanam tumbuhan, dan banyak kegunaan lain; tetapi terdapat banyak proses di alam yang tidak terlihat namun amat penting bagi kehidupan. Selain digunakan untuk melanjutkan kehidupan, air juga digunakan untuk mendukung kehidupan antara lain untuk keperluan mandi, cuci, kakus (MCK) dan keperluan ibadah seperti berwudhu untuk umat muslim.

Namun demikian, sebaran sumber air tidak sama di seluruh dunia. Terdapat kawasan-kawasan yang kurang beruntung di mana kebutuhan air tidak selalu mudah didapatkan. Di kawasan yang mengalami kesulitan suplai air bersih, masyarakat sering tidak memiliki banyak pilihan untuk mendapatkan air bersih. Di beberapa desa di Kecamatan Logas Tanah Darat - Kabupaten

Kuantan Singingi – Propinsi Riau misalnya, masyarakat

tidak bisa membuat sumur di rumah masing-masing karena sulit mendapatkan sumber mata air. Sumber air bersih utama di desa-desa tersebut berasal dari beberapa sumur umum dan anak sungai, namun dengan kapasitas yang tidak mencukupi.

Keadaan semakin buruk karena desa-desa tersebut belum tersambung listrik dari PLN, sehingga tidak memungkinkan pemasangan pompa air listrik di sumur-sumur umum. Akibatnya, dibutuhkan waktu yang lama untuk mengangkat sejumlah kecil air menggunakan ember. Dampaknya adalah warga harus antri untuk mandi sehingga anak-anak sering terlambat ke sekolah karena panjangnya antrian di sumur umum. Selain itu perempuan (ibu rumah tangga) setiap hari harus melakukan pekerjaan fisik yang berat dan menyita waktu berjalan kaki hingga 500 meter membawa ember berisi air dari sumur umum ke rumah.

Di Propinsi Riau terdapat berbagai lokasi yang mengalami kesulitan suplai air bersih, tersebar di 12 Kabupaten/Kota (CiputraNews 2013). Persoalan kesulitan suplai air bersih di kawasan yang belum tersambung listrik PLN seperti contoh di atas, sesungguhnya dapat dikurangi (atau bahkan diatasi) dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, khususnya energi matahari (surya). Sebagai kawasan tropis, sumber energi surya tersedia dalam kuantitas melimpah di Propinsi Riau.

Teknologi yang tersedia untuk memompa air dari sumur menggunakan energi surya dinamakan solar water pumping system (PATS) atau pompa air tenaga surya (PATS). Secara umum, sebuah sistem PATS terdiri dari

modul surya yang berfungsi menyerap energi matahari, mengubahnya menjadi energi listrik dan kemudian digunakan untuk menggerakkan pompa air untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat setempat. Dalam skala yang lebih besar, sistem PATS dapat dilengkapi dengan tangki pengumpul air dan sistem distribusi sehingga air dapat disimpan untuk jangka waktu lebih lama dan dialirkan langsung ke rumah-rumah penduduk.

Pemanfaatan PATS tidak hanya dapat membantu mengatasi persoalan kesulitan suplai air bersih di kawasan yang belum terjangkau jaringan PLN, namun juga menawarkan solusi ramah lingkungan. Sistem PATS tidak menggunakan bahan bakar yang menimbulkan polusi udara dan emisi gas rumah kaca. Energi surya adalah rahmat Allah SWT yang diberikan oleh secara cuma-cuma kepada manusia dan makhluk hidup lain.

Namun demikian, terlepas dari besarnya potensi yang tersedia, inisiatif pemanfaatan PATS di Propinsi Riau belum menggembirakan. Sebagian besar kawasan terpencil yang kesulitan air di Propinsi Riau belum memanfaatkan teknologi PATS dan masih menggunakan cara seperti di Kabupaten Kuantan Singingi sebagaimana dijelaskan di atas. Sebagian kecil desa menggunakan generator diesel untuk memompa air. Namun penggunaan generator diesel sering tidak bertahan lama karena besarnya biaya operasional (biaya bahan bakar dan perawatan).

Terdapat beberapa proyek PATS di kawasan terpencil di Propinsi Riau. Namun sebagian besar proyek tersebut gagal dalam waktu yang singkat. Salah satu penyebab kegagalan proyek-proyek PATS tersebut adalah

kelemahan dari sisi teknis sehingga usia sistem tidak bertahan lama. Kegagalan tersebut menyebabkan menurunnya kepercayaan di kalangan perencana kegiatan (terutama pemerintah) akan kehandalan sistem PATS untuk menjadi solusi yang tepat dari persoalan kesulitan suplai air bersih di kawasan terpencil.

Penelitian ini dimaksudkan untuk membangun sebuah sistem PATS yang bekerja secara handal. Sistem ini awalnya diencanakan untuk dibangun di Masjid UIN Suska Riau, namun kemudian dipindahkan ke gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi mengingat Masjid UIN Suska

Riau belum siap untuk dipasang sistem PATS. Sistem ini diharapkan akan menjadi contoh untuk mendemonstrasikan bagaimana sebuah sistem PATS bekerja sehingga diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan pihak perencana program air bersih di kawasan pedesaan Propinsi Riau. Selain itu, sistem ini juga diharapkan dapat menjadi fasilitas bagi mahasiswa dan perusahaan instalator listrik untuk mempelajari sistem PATS.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diatasi melalui penelitian ini adalah tersedianya suatu sistem demonstrasi (*display*) Pompa Air Tenaga Surya (PATS) di UIN Suska Riau yang handal secara teknis dan beroperasi pada kondisi aktual, sehingga dapat digunakan sebagai salah satu rujukan sistem PATS yang sesuai untuk kondisi Propinsi Riau, dan dapat digunakan sebagai sarana belajar bagi mahasiswa dan teknisi bidang energi surya.

Yang dimaksud dengan sistem demonstrasi adalah sebuah sistem yang dibangun dengan tujuan untuk menampilkan fakta bahwa sistem tersebut dapat beroperasi secara handal di bawah pengaruh kondisi lingkungan lokal. Sistem demonstrasi, pada saat yang bersamaan, juga dapat digunakan sebagai sarana belajar bagi pihak-pihak yang tertarik seperti mahasiswa, akademisi, dan teknisi listrik.

Yang dimaksud dengan handal adalah bahwa sistem yang dibangun dapat bekerja pada kondisi nyata dan terpapar pada berbagai tekanan lingkungan sekitar dalam dalam jangka waktu yang lama dengan kinerja yang sesuai dengan spesifikasi.

1.3. Tujuan dan Urgensi Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah sistem PATS di UIN Suska Riau dengan mempertimbangkan kondisi lokal. Setelah itu dilakukan analisis kinerja sistem ditinjau dari aspek teknis.

1.3.2. Urgensi Penelitian

Penelitian ini penting karena alasan-alasan sebagai berikut. **Pertama**, penelitian ini mendukung pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang energi. PATS adalah teknologi baru yang memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pompa air menggunakan generator diesel (*genset*). Di antara kelebihan tersebut adalah biaya operasional dan perawatan PATS amat kecil (bahkan bisa mencapai Rp.

0,-) dibandingkan dengan biaya genset yang amat mahal (khususnya biaya bahan bakar dan perawatan mesin). Biaya operasional yang kecil sesuai dengan kondisi ekonomi kebanyakan masyarakat pedesaan, sehingga sistem PATS dapat menjadi pilihan yang baik.

Kedua, penelitian ini menunjang pembangunan, khususnya di kawasan pedesaan di Propinsi Riau. Saat ini belum muncul keyakinan di kalangan pengambil kebijakan dan perencanaan kegiatan (terutama dari pihak Pemerintah) di Propinsi Riau untuk mengembangkan PATS sebagai pengganti *genset* dalam menyediakan suplai air bersih di kawasan yang membutuhkan. Kurangnya keyakinan tersebut karena belum ada contoh sistem PATS yang beroperasi dalam situasi sebenarnya (aktual). Dengan adanya sistem PATS di UIN Suska Riau, akan menjadi bukti bahwa PATS dapat dikembangkan untuk memaksimalkan potensi energi matahari di kawasan tropis untuk membantu masyarakat pedesaan yang kesulitan air.

Ketiga, penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam pengembangan institusi UIN Suska Riau, khususnya Fakultas Sains dan Teknologi. Karena sistem PATS tersebut dipasang di gedung laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, maka sistem tersebut dapat digunakan untuk kegiatan-kegiatan akademik seperti pengajaran, penelitian, dan pelatihan. Kegiatan pengajaran yang dapat memanfaatkan sistem tersebut adalah beberapa mata kuliah di Jurusan Teknik Elektro misalnya Mata Kuliah Energi Terbarukan,

Perancangan Sistem Energi Terbarukan, dan Peralatan Energi Terbarukan. Sistem PATS tersebut juga dapat

dimanfaatkan untuk topik-topik penelitian seperti pengamatan potensi energi surya, analisis kinerja sistem energi surya, aplikasi IT dalam monitoring sistem energi surya. Sedangkan topik pelatihan yang dapat menggunakan sistem tersebut antara lain pelatihan instalasi dan monitoring sistem energi surya.

1.4. Penelitian Terkait

Menurut Murdoch University (2013), ada lebih dari 10.000 PATS yang digunakan di dunia saat ini. Di Australia misalnya, PATS banyak digunakan di peternakan di kawasan pedalaman untuk memasok air untuk hewan ternak. Di negara-negara berkembang PATS digunakan secara luas untuk memompa air dari sumur dan sungai ke desa-desa untuk konsumsi rumah tangga dan irigasi.

Berbagai penelitian tentang PATS telah dipublikasikan. Di antara yang paling baru adalah penggunaan pompa Heliks untuk sumur dalam di lokasi gurun di Madinah - Saudi Arabia, menghasilkan 23 m³ air per hari (Benghanem et.al 2013). Pompa induksi telah digunakan sebagai komponen PATS di banyak lokasi. Sebuah aplikasi PATS di Tunisia menggunakan modul surya 2,1 kW dengan pompa motor induksi *submersible* (dicelupkan di dalam air) dengan kedalaman 65 m, menghasilkan 15 m³ air per hari (Belgacem 2012). Ditinjau dari aspek lingkungan hidup, PATS memberikan kontribusi pengurangan emisi karbon dioksida (CO₂) yang signifikan, misalnya 1.000 PATS dengan kapasitas 1 kW dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 4,2 ton per tahun (Amrouche et.al. 2010). Dibandingkan dengan pompa air menggunakan genset, biaya PATS lebih

murah, terutama untuk aplikasi kecil di bawah 2,8 kW (Odeh et.al. 2006).

BAB 2 PATS DAN SEL SURYA

2.1. Pompa Air Tenaga Surya (PATS)

Sistem PATS dapat bekerja dimana saja matahari bersinar. Pompa air umumnya digunakan untuk kebutuhan air desa, penyiraman tanaman, irigasi dan ternak. Pompa air tenaga surya pada dasarnya adalah sistem pompa air yang digerakkan oleh tenaga listrik. Dalam hal ini listrik diproduksi dari sinar matahari yang mengenai permukaan modul surya. Salah satu aplikasi PATS dengan tanki pengumpul ditunjukkan pada Gambar 1.



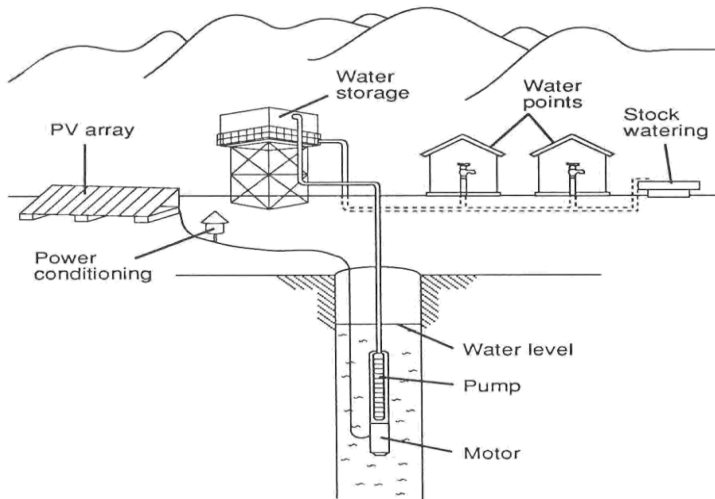
Gambar 1. Sebuah Sistem PATS dengan tanki pengumpul
(Sumber: Archiexpo n.d)

2.2. Aplikasi

Sebuah pompa air tenaga surya yang digunakan untuk pemasok kebutuhan air desa secara skematis dapat dilihat

pada Gambar 2. Sistem ini telah digunakan di Desa Sahel di Afrika ini memiliki permintaan air yang konstan dan perlu memiliki tanki penyimpanan yang cukup pada saat radiasi matahari rendah, misalnya pada malam hari, pada saat hujan, atau pada saat mendung/awal tebal.

Di Amerika Serikat dan Australia aplikasi utama penggunaan pompa air tenaga surya adalah untuk penyiraman dan ternak. Di Afrika sistem ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan air desa. Sedangkan untuk irigasi terutama digunakan di China dan India (Maupoux 2010).



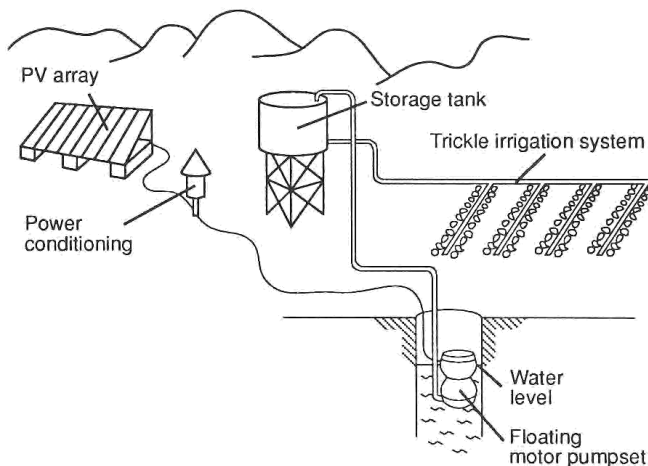
Gambar 2. Suplai Air dengan PATS
(Sumber : Maupoux, 2010)

Menurut Maupoux (2010), idealnya di Sahel Afrika penyimpanan harus harus mencukupi untuk 3-5 hari pemakaian air. Dalam prakteknya beberapa tangki tidak memiliki kapasitas yang cukup dan air sering kosong dihari terakhir. Hal ini disebabkan ketidak sesuaian antara ukuran

tangki penyimpanan, kapasitas pompa, dan perhitungan pemakaian air dalam satu hari.

Sebuah sistem irigasi bertenaga surya perlu memperhitungkan fakta bahwa kebutuhan air untuk irigasi bervariasi sepanjang tahun (Gambar 3). Permintaan puncak selama musim irigasi sering lebih dari dua kali lipat dari kebutuhan air rata-rata. Ini berarti bahwa pompa air tenaga surya untuk irigasi agak kurang dimanfaatkan dalam sebagian besar tahun.

Perhatian utama ditujukan pada sistem distribusi air dan aplikasi untuk tanaman. Sistem tersebut harus meminimalkan kehilangan air untuk menekan biaya operasi.

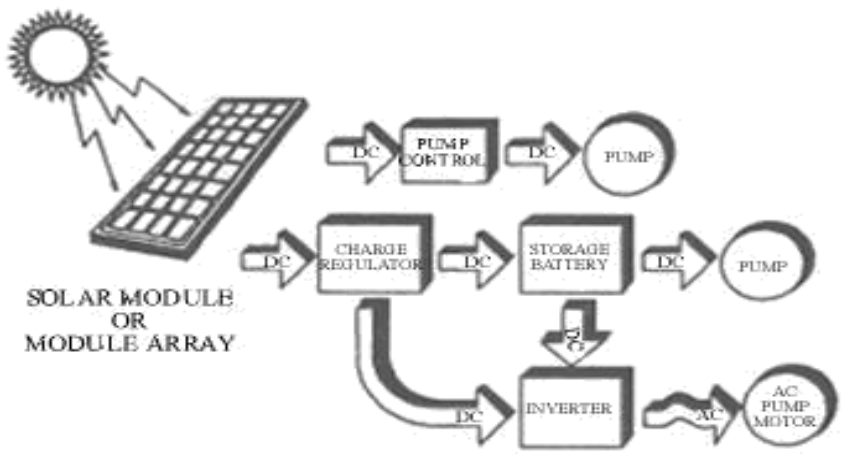


Gambar 3. Sistem Irigasi Tenaga Surya
(Sumber : Maupoux 2010)

2.3. Teknologi

Pompa air tenaga surya terdiri dari sejumlah komponen. Ada susunan (array) *photovoltaic* yang berfungsi mengubah energi

matahari secara langsung menjadi listrik searah (*direct current*, DC). Listrik DC tersebut digunakan oleh pompa sebagai tenaga penggerak. Karakteristik komponen perlu disesuaikan untuk mendapatkan kinerja terbaik. Unit motor pompa akan memiliki kecepatan optimum tergantung pada beban, jenis dan ukuran pompa.



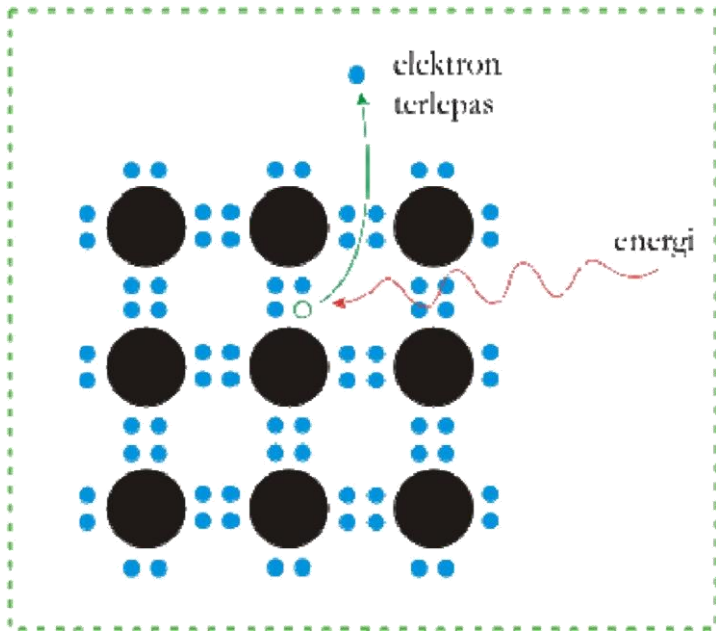
Gambar 4. Diagram Blok PATS
(Sumber : Solar Design Guide, n.d.)

Gambar 4 menunjukkan diagram blok dari sebuah PATS. Perancangan PATS ada dua model, yaitu menggunakan baterai sebagai backup energi sehingga pada saat intensitas cahaya matahari rendah, baterai dapat menambah energi. Sedangkan pada model lainnya energi dihasilkan oleh modul surya langsung tanpa menggunakan baterai.

2.4. Sel Surya

Menurut Iswanto (2008) sel surya atau *photovoltaic* (PV) merupakan bahan semikonduktor yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Proses konversi

cahaya menjadi listrik dimulai dengan pelepasan ikatan atom-atom yang terdapat pada bahan semikonduktor ketika mendapatkan energi. Semikonduktor ini bisanya terbuat dari Kristal *silicon* (Gambar 5).

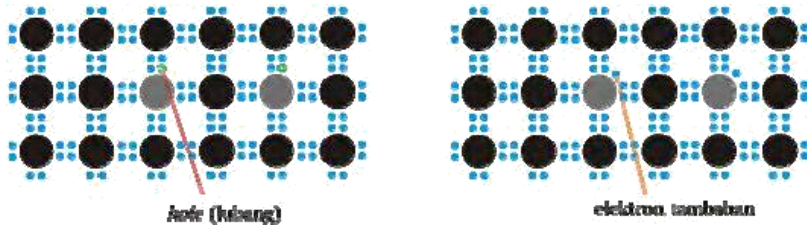


Gambar 5. Sketsa dua dimensi kristal silicon
(Sumber : Iswanto 2008)

Kristal Silikon akan di-*dop* dengan unsur golongan ke lima, contohnya Arsen. Atom-atom Arsen akan menempati ruang di antara atom-atom Silikon yang menyebabkan munculnya elektron bebas pada material semikonduktor tersebut. Elektron bebas ini berasal dari kelebihan elektron atom Arsen terhadap lingkungan sekitarnya, yaitu silikon. Semikonduktor inilah yang dinamakan dengan semikonduktor tipe-n (Gambar 6).

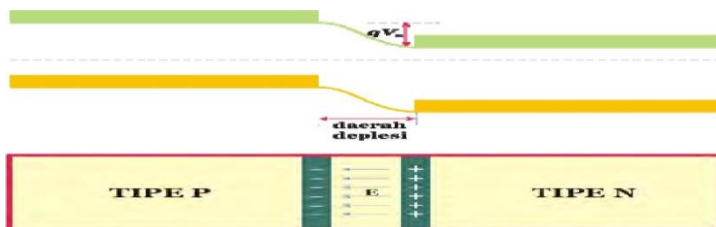
Jika kristal Silikon di-*dop* oleh unsur golongan ketiga, contohnya Boron, maka kurangnya elektron valensi atom

Boron dibandingkan dengan kondisi lingkungannya, yaitu Silikon, akan mengakibatkan timbulnya *hole* pada semikonduktor tersebut. Jenis semikonduktor ini dinamakan dengan semikonduktor tipe-p (Gambar 6).



Gambar 6. Semikonduktor tipe-P (kiri) dan tipe-N (kanan)
(sumber : Iswanto 2008)

Jika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi hole yang bermuatan positif dari tipe-p menuju tipe-n, dan sebaliknya akan terjadi difusi elektron yang bermuatan negatif dari bahan tipe-n menuju tipe-p, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Difusi ini akan meninggalkan daerah yang lebih negatif pada batas tipe-p dan daerah lebih positif pada batas tipe-n. Batas tempat terjadinya perbedaan muatan sambung p-n dinamakan daerah deplesi. Perbedaan muatan pada daerah deplesi akan menimbulkan medan listrik yang menghentikan laju difusi. Arus yang menimbulkan medan listrik ini dinamakan dengan arus *drift*.



Gambar 7. Diagram energi sambungan p-n dan munculnya daerah deplesi (Sumber : Iswanto, 2008)

Jika sambunga p-n mendapat sinar matahari maka akan

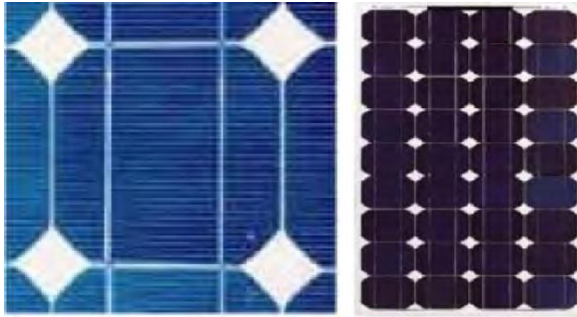
terjadi pelepasan elektron dan *hole* pada semikonduktor. Lepasannya elektron mengakibatkan timbulnya medan listrik di daerah deplesi. Dalam keadaan ini arus *drift* lebih besar dari arus difusi. Arus *drift* ini yang dimanfaatkan oleh sambungan p-n sebagai arus listrik.

Solar cell atau photovoltaic, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebagian besar dioda p-n junction dan dengan adanya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik. Perubahan ini disebut efek photovoltaic. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai photovoltaics (Akhulul. S. 2005).

Berdasarkan jenis dan bentuk susunan atom-atom penyusunannya, solar cell dapat dibedakan menjadi 3 jenis (Rif'an. M., dkk. 2012), yaitu :

1. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 14-18 %. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), sehingga efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



(a)

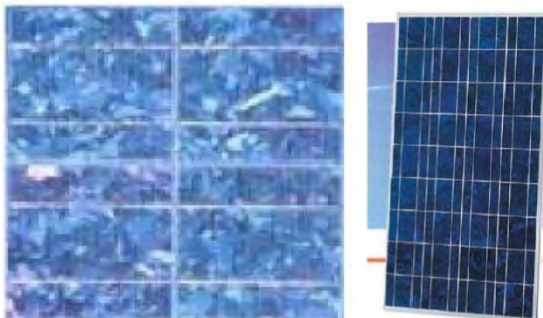
(b)

(a) Sel fotovoltaik; (b) Modul fotovoltaik

Gambar 8. Sel dan Modul Fotovoltaik Monokristal

2. Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan Kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



(a)

(b)

(a) Sel fotovoltaik; (b) Modul fotovoltaik

Gambar 9. Sel dan Modul Fotovoltaik Polikristal

3. Amorphous

“Amort” mengacu pada objek memiliki bentuk yang pasti dan tidak ada didefinisikan sebagai bahan non-kristal. Tidak seperti silikon kristal, dimana susunan atom yang teratur, fitur silikon amorf pengaturan atomnya tidak teratur. Sehingga, aktivitas timbal balik antara foton dan atom silikon lebih sering terjadi pada silikon amort dibandingkan kristal silikon, memungkinkan lebih banyak cahaya yang dapat diserap. Dengan demikian, sebuah film silikon amorf yang sangat tipis yang kurang dari $1\mu\text{m}$ dapat diproduksi dan digunakan untuk pembangkit listrik. Selain itu, dengan memanfaatkan logam atau plastik untuk substrat, sel surya fleksibel juga dapat diproduksi.

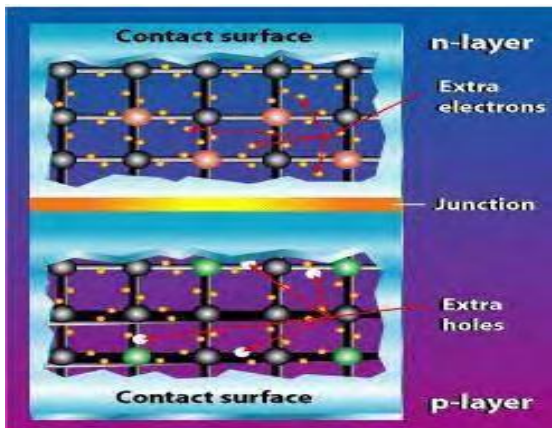


Gambar 10. Modul surya amorfous

Pada solar cell jenis amorphous adalah solar cell yang dibentuk dengan mendoping material silikon dibelakang lempeng kaca. Dinamakan amorphous atau tanpa bentuk karena material silikon yang membentuknya tidak terstruktur atau tidak mengkristal. Solar cell jenis ini biasanya berwarna coklat tua

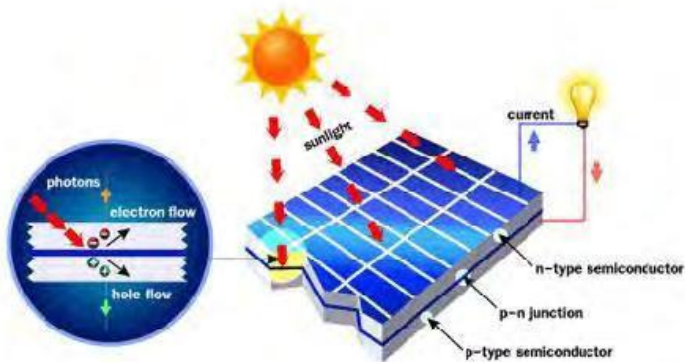
pada sisi yang menghadap matahari dan keperakan pada sisi konduktifnya. Pada solar cell jenis ini terdapat gari-garis tipis paralel dipermukaannya, garis-garis individu solar cell dalam panel. Solar cell jenis ini biasanya tanpa titik hook-up atau kabel yang jelas, sehingga dapat membingungkan untuk menggunakannya.

Solar cell konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah ini menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 11. Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan elektron) (Sumber: eere.energy.gov)

Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah ini.

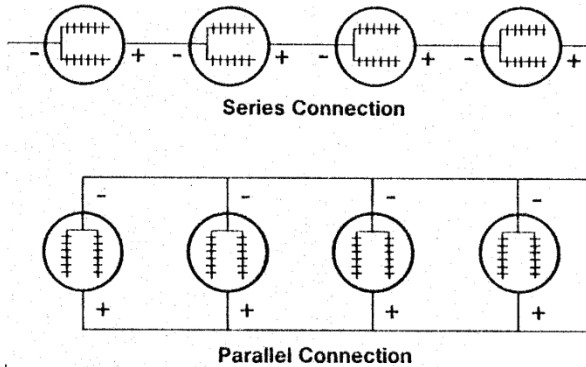


Gambar 12. Cara Kerja Sel surya dengan Prinsip p-n Junction
(Sumber: sun-nrg.org)

2.5. Modul Surya

Untuk memenuhi kebutuhan tegangan dan arus yang dibutuhkan, maka sel surya dihubungkan secara seri atau secara paralel (Dirgantara.M., dkk, 2012). Gabungan beberapa sel yang dihubungkan secara seri atau paralel ini dinamakan modul. Gambar 13 menunjukkan

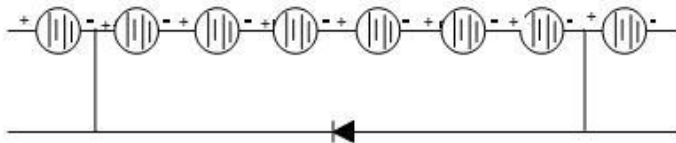
rangkaian sel surya yang tersambung secara seri dan parallel di dalam sebuah modul surya.



Gambar 13. Rangkaian Sel Surya dalam Modul
(Sumber : Strong 1987, dalam Mintorogo n.d)

2.5.1.Rangkaian Seri Modul Surya

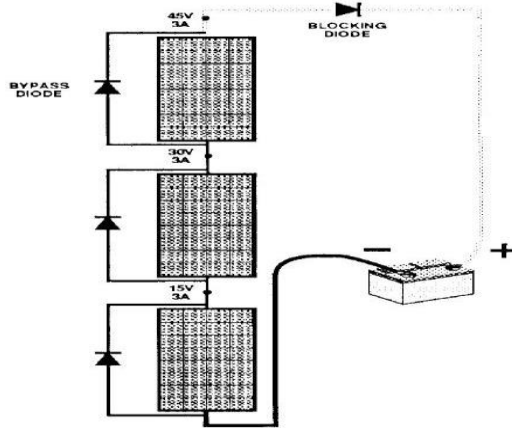
Hubungan seri suatu sel surya didapat apabila bagian depan (+) sel surya utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) sel surya kedua. Hubungan seri dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 14 Dari keadaan seri ini didapatkan Tegangan sel surya dijumlahkan apabila dihubungkan seri satu sama lain Arus sel surya sama apabila dihubungkan seri satu sama lain.



Gambar 14. Hubungan Seri Modul Surya (Naibaho,1994)

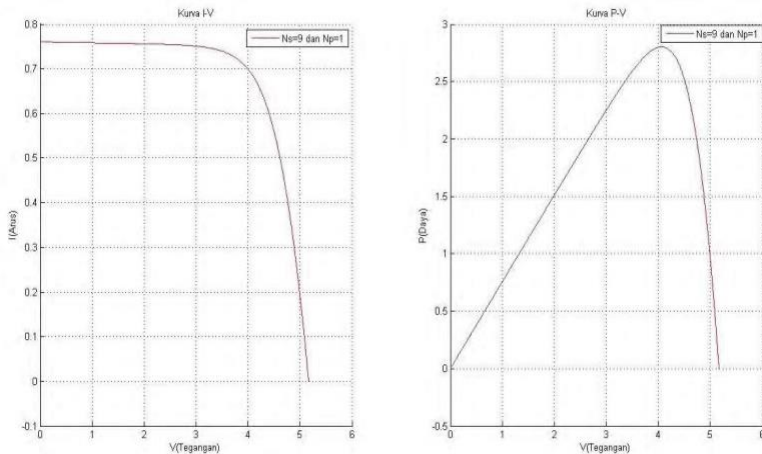
Tegangan total yang didapatkan dengan cara menghubungkan seri tiga buah modul masing–masing mempunyai tegangan 5 Volt adalah merupakan

jumlah yaitu 15 Volt, tetapi arus listrik total yang dihasilkan adalah sama dengan masing arus setiap modul yaitu 3 Ampere.



Gambar 15. Tiga buah modul surya dihubungkan secara seri (Sumber : PPPTK, 2008)

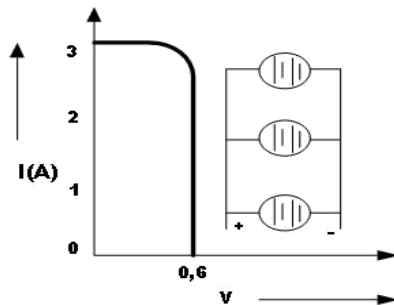
Berdasarkan hasil penelitian Dirgantara.M, dkk, (2012), didapatkan hasil simulasi modul surya terhubung seri menunjukkan bahwa penyusunan seri meningkatkan tegangan tetapi arus konstan.



Gambar 16. Hasil simulasi modul surya terhubung seri

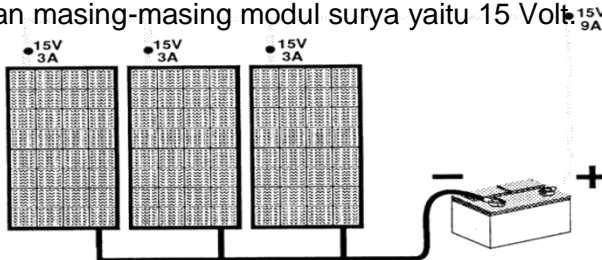
2.5.2. Rangkaian Paralel Modul Surya

Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari pada keluaran arus listrik dari setiap modul surya, maka modul surya dihubungkan secara paralel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan).



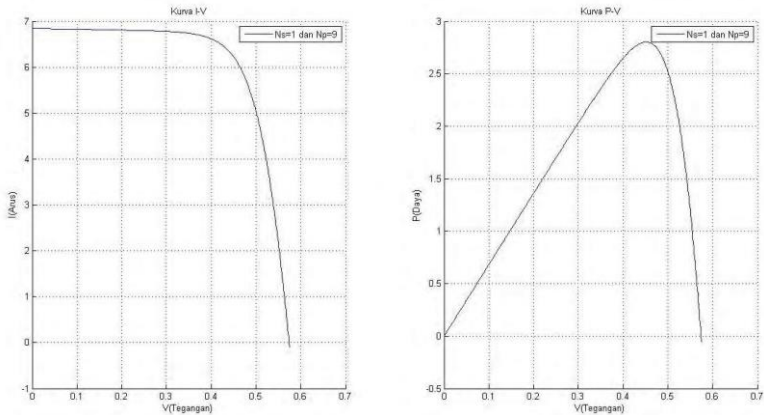
Gambar 17. Hubungan Paralel Modul Surya
(sumber : Naibaho, 1994)

Apabila masing-masing modul surya mempunyai tegangan kerja 15 Volt dan menghasilkan arus listrik sebesar masing-masing 3 Amper, kemudian ketiganya dihubungkan secara paralel maka akan didapatkan arus listrik total sebesar 9 Ampere sedangkan tegangan total akan sama dengan tegangan masing-masing modul surya yaitu 15 Volt.



Gambar 18. Tiga buah modul surya duhubungkan secara paralel
(Sumber : PPPTK, 2008)

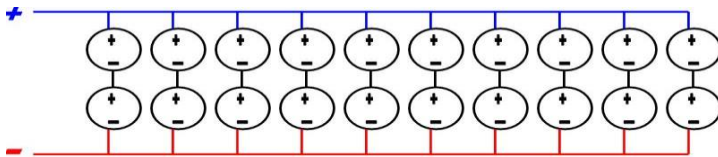
Rangkaian paralel sel surya di dapat apabila terminal kutub positif dan negative sel surya dihubungkan satu sama lain. Hubungan paralel dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 18. Tegangan sel surya yang dihubungkan paralel sama dengan satu sel surya Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi modul surya terhubung antara seri dan paralel ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 19. Grafik I-V Susunan Seri, (b) Grafik P-V Susunan Paralel

Gambar 19(a) menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan dan Gambar 19(b) menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan. Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa penyusunan seri meningkatkan arus tetapi tegangan konstan.

2.5.3 Rangkaian Seri-Paralel Modul Surya

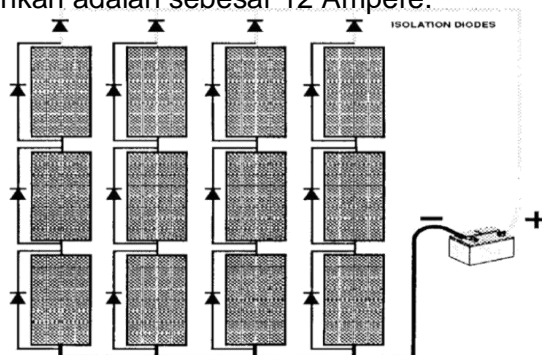


Gambar 20. Hubungan Seri-Paralel Modul Surya
(Sumber : Naibaho, 1994)

Dalam prakteknya kebanyakan sel surya dihubungkan secara gabungan / kombinasi dari seri dan paralel dan bersamaan dengan itu harus dipasangkan beberapa buah diode. Rangkaian seri dan paralel (campuran) pada sel surya dapat dilihat pada Gambar 20.

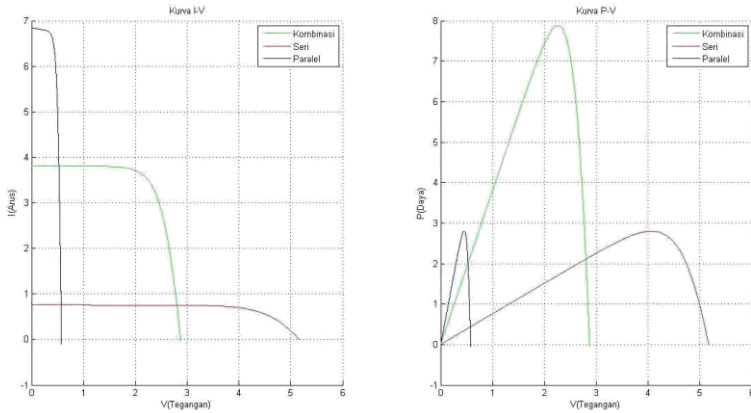
Untuk mencatu daya sistem-sistem PLTS yang diinginkan, maka perlu untuk menggabungkan sejumlah modul surya secara seri maupun paralel seperti terlihat pada gambar 21. Pada gambar terlihat bahwa array atau rangkaian modul surya untuk menacatu daya sistem terdiri dari 3 buah modul surya yang dihubungkan secara seri dan 4 buah modul surya yang dihubungkan secara paralel.

Tegangan kerja sistem tersebut adalah 15 Volt dan arus listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 12 Ampere.



Gambar 21. Array atau Rangkaian Modul Surya
(Sumber : PPPTK, 2008)

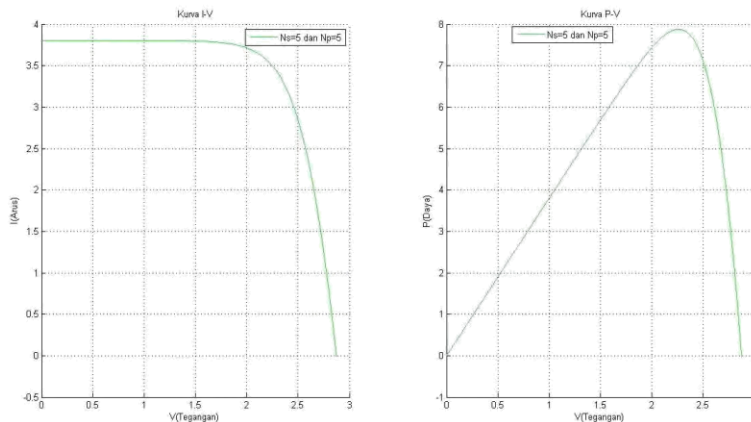
Gambar 21(a) menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan dan Gambar 21(b) menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi susunan seri dan paralel menghasilkan daya yang besar dengan meningkatkan arus dan tegangan.



Gambar 22. Grafik I-V dan (b) Grafik P-V Kombinasi Seri-Paralel

Berdasarkan gambar di atas dapat dibandingkan untuk ketiga susunan baik seri, paralel dan kombinasi seri-paralel sel surya dalam modul dapat dilihat pada Gambar 22. Gambar 22(a) memperlihatkan hubungan arus terhadap tegangan, terlihat susunan seri memiliki tegangan maksimum tertinggi, susunan paralel memiliki arus maksimum tertinggi dan susunan kombinasi seri-paralel memiliki tegangan dan arus di antara kedua susunan tersebut.

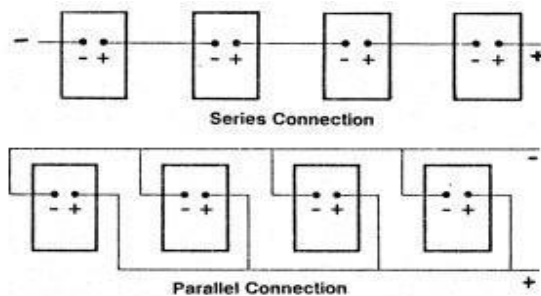
Gambar 22(b) memperlihatkan hubungan daya terhadap tegangan, terlihat daya maksimum antara susunan seri dan paralel hampir sama, dan susunan kombinasi seri-paralel mempunyai daya maksimum lebih besar dibandingkan seri atau paralel saja.



Gambar 23. (a) Perbandingan Grafik I-V, dan (b) Perbandingan Grafik P-V untuk Susunan Paralel dan Kombinasi Seri-Paralel

2.6. Panel Surya

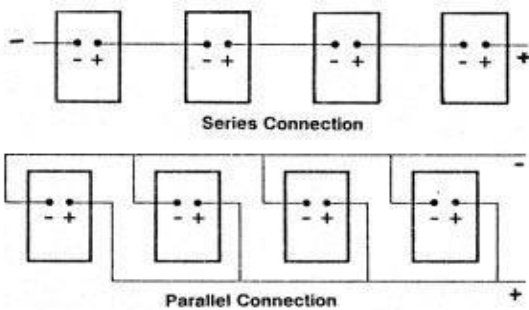
Panel surya adalah beberapa modul yang dihubungkan untuk membentuk rangkaian tertentu. Modul yang berada di dalam panel surya juga bisa dihubungkan secara seri maupun paralel seperti ditunjukkan Gambar 24.



Gambar 24. Rangkaian modul didalam panel surya (Sumber : Strong 1987, dalam Mintorogo n.d)

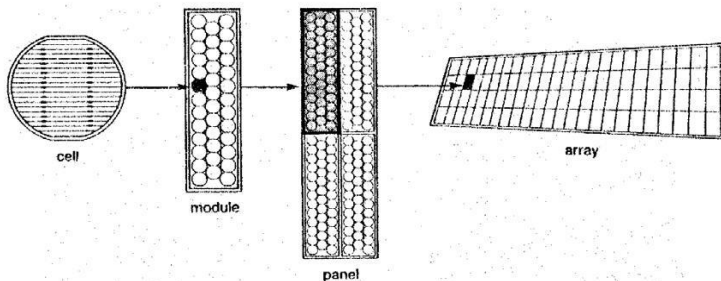
2.7. Susunan (*array*)

Array adalah beberapa panel surya yang disusun sedemikian rupa, baik secara seri maupun paralel. *Array*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 25 merupakan konfigurasi akhir sistem konversi energi matahari menjadi energi listrik di dalam sebuah sistem energi surya.



Gambar 25. Rangkaian panel didalam *array* surya
(Sumber : Strong 1987, dalam Mintorogo n.d)

Untuk melihat perbedaan antara sel, modul, panel, dan *array* surya, dapat dilihat pada hirarki sel-*array* yang ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 26. Sel, modul, panel, dan *array* surya
(Sumber :Strong 1987, dalam Mintorogo n.d)

2.8. Menentukan Energi Output Array Surya

Menghitung energi output *array* surya dapat dilakukan dengan banyak cara. Salah satu di antara cara instan adalah menggunakan fitur yang telah disediakan oleh website pengembang sel surya atau dapat juga dihitung menggunakan rumus-rumus tertentu. Menurut Helio Power System (2011), ada beberapa istilah yang digunakan untuk menghitung output energi dari sebuah sistem energi surya yaitu :

Watt : ukuran panel surya.

Peak Sunlight Hours (PSH) : Jumlah atau tingkat radiasi energi surya

Pitch: Sudut longitudinal panel surya terhadap arah sinar matahari datang

Azimuth : Arah lintang modul surya

Untuk menghitung energi output dari sebuah sistem energi surya, terdapat enam langkah umum yaitu:

1. Menghitung ukuran sistem.
Untuk menghitung ukuran sistem DC, secara sederhana dapat dilakukan dengan perkalian kapasitas (Watt) setiap modul surya dengan jumlah modul.
2. Menentukan Peak Sunlight Hours.
Menentukan PSH dengan cara mengalikan PSH rata-rata dengan daya total *array* surya,
3. Menghitung faktor *pitch* dan *azimuth*
Pitch dan *azimuth* adalah dua faktor paling penting untuk dipertimbangkan karena menentukan output yang akan dihasilkan oleh sebuah sistem energi surya. Keduanya

ditentukan menurut lokasi geografis di mana sistem akan dipasang.

4. Faktor Temperatur

Faktor suhu juga juga harus dipertimbangkan karena panel surya beroperasi paling efisien pada suhu 25°C. Jadi akan timbul kerugian jika temperatur aktual lebih tinggi. Para perancang sistem energi surya sering menggunakan 9% - 10% rugi-rugi akibat perubahan suhu.

5. Faktor rugi-rugi lainnya

Rugi-rugi ini disebabkan oleh kerugian koneksi, rugi-rugi kabel dan lain-lain. Para perancang sistem energi surya sering menggunakan 6% untuk rugi-rugi lain.

6. Menghitung output harian, bulanan dan tahun.

Penghitungan energi yang dihasilkan setiap hari adalah penting untuk memperkirakan jumlah energi output bulanan dan tahunan. Berasnya energi output harian tergantung dari kelima parameter di atas.

2.9. Sudut Pemasangan Modul Surya

Modul surya menerima radiasi surya langsung dari matahari, dari pantulan bangunan sekitar dan pantulan tanah sekitar lokasi sistem. Arah modul surya ditentukan dalam kemiringan tertentu untuk memaksimalkan produksi energi. Modul akan mengumpulkan radiasi matahari paling efisien ketika sinar matahari datang tegak lurus terhadap permukaan modul (Rensselaer Polytechnic Institute, 2006).

Secara umum, dalam aplikasi praktis pemasangan modul surya ditentukan oleh lokasi pemasangan terhadap garis katulistiwa. Jika lokasi pemasangan berada di Utara garis katulistiwa maka modul dihadapkan ke Selatan. Sebaliknya jika lokasi pemasangan modul berada di Selatan katulistiwa maka modul dihadapkan ke Utara. Derajat kemiringan modul

secara praktis sama dengan posisi derajat Lintang lokasi di mana sistem dipasang (Salim et.al. n.d). Misalnya, jika lokasi sistem ada pada 10° Lintang Utara, maka modul dipasang miring 10° mengarah ke Selatan.

BAB 3

PROTEKSI PADA SISTEM SEL SURYA

3.1. Pentanahan

Sistem pentanahan atau biasa disebut sebagai grounding sistem adalah sistem pengamanan terhadap arus gangguan yang dapat menimbulkan gradien tegangan di antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Pada sistem yang besar yang tidak diketanahkan misalnya pada sistem delta arus gangguan pada suatu sistem tenaga listrik relatif besar (>5 ampere) sehingga busur listrik yang timbul tidak dapat padam sendiri yang dapat mengakibatkan terjadinya busur tanah, pada sistem yang telah diketanahkan gejala tersebut dapat diminimalisir bahkan hampir tidak ada, selain itu dengan adanya pentanahan pada suatu sistem juga dapat membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (sehat) jadi pentanahan merupakan salah satu faktor kunci dalam usaha pengamanan (perlindungan) sistem tenaga listrik.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut (Pabla,1986) :

- a. Membuat jalur impedans rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents)
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Berdasarkan jenisnya, maka sistem pentanahan terbagi

menjadi 2 jenis yaitu pentanahan sistem dan pentanahan peralatan sistem tenaga listrik, yang masing – masing memiliki tujuan dan jenis yang berbeda – beda.

3.1.1. Pentanahan Sistem

Untuk pengamanan pada sistem tenaga listrik dari arus gangguan diperlukan suatu pentanahan sistem dengan cara mengalirkan arus gangguan tersebut melalui titik netral sistem yang diketanahkan melalui tahanan atau reaktans yang biasanya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator daya ke tanah.

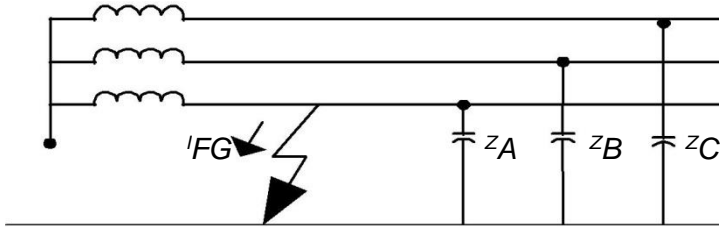
Pada sistem-sistem tidak diketanahkan atau sistem delta, arus gangguan tergantung dari impedans kapasitif ZA, ZB dan ZC, yaitu impedans kapasitif masing-masing kawat-fasa terhadap tanah, seperti pada Gambar 27.

Akan tetapi bila sistem itu diketanahkan arus gangguan itu tidak lagi tergantung hanya dari impedans kapasitif kawat-kawat tetapi juga tergantung pada impedans alat pentanahan dan tansformator, seperti pada

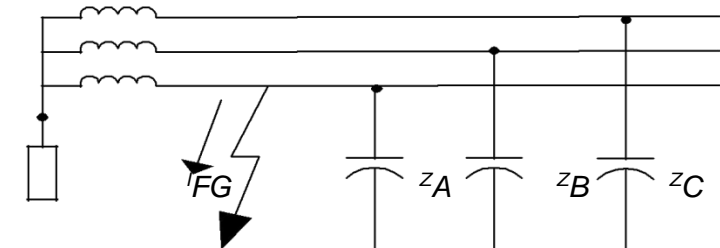
Gambar 28. Kecuali pada pentanahan dengan kumparan Petersen, impedans alat pentanahan itu sangat kecil dibandingkan dengan impedans kapasitif

$$\left(\frac{1}{Z_G} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) \text{ atau dengan kata lain arus gangguan itu tidak}$$

tergantung pada impedans Z_G . hubungan antara besar arus gangguan dan tegangan yang mungkin timbul.



Gambar 27. Sistem yang tidak tidak diketanahkan dalam keadaan gangguan kawat tanah



Gambar 28. Sistem yang diketanahkan dalam gangguan kawat tanah

Adapun metode-metode pentanahan netral dari sistem-sistem tenaga adalah sebagai berikut (Hutauruk, 1991):

1) Pentanahan melalui tahanan (resistance grounding).

Sistem pentanahan melalui tahanan pernah diterapkan pada sistem 230 kV. Sistem ini mempunyai tegangan lebih transien yang disebabkan oleh pemutusan relatif rendah. Maksud pentanahan ini adalah untuk membatasi arus gangguan ke tanah antara 10% sampai 25% dari arus gangguan 3 fasa. Batas yang paling bawah adalah batas minimum untuk dapat bekerjanya rele gangguan tanah,

sedangkan batas atas adalah untuk membatasi banyaknya panas yang hilang pada waktu terjadi gangguan.

Sistem pentanahan melalui tahanan ini sekarang jarang digunakan pada jaringan transmisi tetapi dipakai pada sistem distribusi, sebagai gantinya adalah penggunaan reaktor.

2) Pentanahan melalui reaktor dan efektif (reactor and effective grounding).

Reaktor pentanahan ini digunakan bila trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Pentanahan ini digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan, besarnya arus gangguan ke tanah di atas 25% dari arus gangguan 3 fasa. Keuntungannya dengan mengtanahkan trafo daya adalah untuk menekan tegangan lebih transien, sehingga trafo daya dapat menggunakan isolasi dan tipe arrester yang lebih kecil, mengurangi penggunaan metode pentanahan dengan reaktor, terutama untuk sistem-sistem di atas 115 kV.

3) Pentanahan tanpa impedans (solid grounding).

Pentanahan ini ialah apabila titik netral trafo kita hubungkan langsung ke tanah, pada sistem ini bila terjadi gangguan kawat ke tanah akan mengakibatkan terganggunya kawat dan gangguan ini harus diisolasi dengan memutus pemutus daya (PMT / CB). Tujuannya untuk mentanahkan titik netral secara langsung dan membatasi kenaikan tegangan dari fasa yang tidak terganggu. digunakan pada sistem dengan tegangan 20 kV. Sistem ini mengandalkan nilai besarnya tahanan pentanahan (makin kecil tahanan pentanahan makin baik) yang dipengaruhi oleh bahan dari elektroda pentanahannya.

- 4) Pentanahan dengan reaktor yang impedansinya dapat berubah-ubah (resonant grounding) atau pentanahan dengan kumparan Petersen.

Kumparan Petersen dapat digunakan pada sistem dengan tegangan mulai dari 2.3 kV sampai 230 kV. Tetapi karena faktor ekonomis, dimana pada tegangan di atas 115 kV dapat menggunakan trafo dengan isolasi dikurangi, maka penggunaan kumparan Petersen biasanya dibatasi sampai tegangan 115 kV. Penggunaan paling banyak dilakukan pada sistem-sistem 33 kV dan 66 kV, dan pada pentanahan netral generator terpadu (unit connected generator).

3.1.2. Pentanahan Peralatan

Pentanahan bagian dari satu atau lebih bagian metal sistem perkawatan, alat, mesin (peralatan) yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan dari pentanahan peralatan itu adalah (Hutauruk, 1991):

- 1) Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya adalah untuk memperoleh potensial yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat diperkecil.

2) Tujuan kedua dari pentanahan peralatan ini ialah untuk memperoleh impedans yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Kecelakaan pada personil timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Hal ini juga dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

Secara singkat tujuan pentanahan peralatan itu dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
- 2) Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- 3) Untuk memperbaiki penampilan dari sistem.

3.2. Tegangan

Tegangan yang timbul pada kerangka peralatan akibat adanya kontak yang tidak disengaja yang dilalui arus dengan kerangka metal dari peralatan sehingga menyebabkan tegangan yang timbul pada kerangka metal sama dengan tegangan pada peralatan sedapatnya dibuat sekecil mungkin, hal ini bertujuan mencegah terjadinya tegangan kejut, dengan cara kerangka metal peralatan itu harus dihubungkan ke tanah melalui impedans yang rendah sehingga tegangan IZ yang timbul pada kerangka peralatan cukup kecil dan tidak berbahaya. Pada sistem tegangan konsumen International

Electrotechnical Commission (IEC) mengusulkan besar tegangan sentuh yang diijinkan sebagai fungsi dari lama gangguan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar dan lama tegangan sentuh maksimum

Tegangan Sentuh Volt (RMS)	Waktu Pemutusan Maksimum (detik)
< 50	~
50	5,0
75	1,0
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, secara umum bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan dari yang ringan sampai dengan yang berat yaitu terkejut, pingsan ataupun mati oleh tegangan ataupun arus listrik tergantung dari faktor tegangan dan kondisi orang terhadap tegangan tersebut, besarnya arus yang melewati tubuh manusia, dan jenis arus apakah searah ataupun bolak-balik.

Pada hakekatnya perbedaan tegangan selama mengalirnya arus gangguan tanah dan bahaya yang ditimbulkan bagi orang di sekitarnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu tegangan sentuh, tegangan langkah dan tegangan pindah (Hutauruk, 1991) :

3.2.1. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu obyek yang disentuh dari suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada di bawahnya. Besarnya arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke tanah dari kaki orang tersebut. Besarnya tegangan sentuh dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$E_s = (1000 + 3\rho_s/2)0.116/\sqrt{t}$$

dengan :

E_s = tegangan sentuh (Volt)

ρ_s = tahanan jenis tanah di sekitar permukaan tanah
(Ωm) = 3000 Ωm

untuk permukaan tanah yang dilapisi koral 10 cm

t = waktu kejut (detik) atau lama gangguan tanah

Tabel 2 berikut ini memperlihatkan besarnya tegangan sentuh yang diizinkan dan lamanya gangguan yang terjadi.

Tabel 2. Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan

Lama gangguan t (detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan (volt)
0.1	1.980
0.2	1.400
0.3	1.140
0.4	990
0.5	890
1.0	626
2.0	443
3.0	362

3.2.2. Tegangan Langkah

Tegangan yang timbul antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah yang sedang dialiri oleh arus gangguan ke tanah disebut dengan tegangan langkah. Besarnya tegangan langkah dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$E_l = \frac{116 + 0.656\rho_z}{\sqrt{t}}$$

dengan :

E_l = tegangan langkah (volt)

ρ_z = tahanan jenis tanah di sekitar permukaan tanah (Ωm) = 3000 Ωm

untuk permukaan tanah yang dilapisi koral 10 cm

t = waktu kejut (detik) atau lama gangguan tanah

Dalam Tabel 3 diberikan besar tegangan langkah yang diizinkan dan lama gangguan yang terjadi.

Tabel 3. Tegangan langkah yang diizinkan dan lama gangguan

Lama gangguan t (detik)	Tegangan langkah yang diizinkan (volt)
0.1	7.000
0.2	4.950
0.3	4.040
0.4	3.500
0.5	3.140
1.0	2.216
2.0	1.560
3.0	1.280

3.2.3. Tegangan Pindah

Hal khusus dari tegangan sentuh adalah tegangan pindah, tegangan ini lebih besar dirasakan dibandingkan dengan tegangan sentuh orang yang berdiri di dalam gardu induk pada saat terjadi arus gangguan dan menyentuh suatu peralatan yang diketanahkan pada titik jauh sedangkan alat tersebut dialiri oleh arus gangguan. Tegangan pindah akan sama dengan tegangan pada tahanan kontak pentanahan total. Tegangan pindah sulit diatasi, untuk meminimalisir terjadinya tegangan pindah dapat dilakukan dengan mengisolasi konduktor-konduktor telanjang yang letaknya bisa terjangkau oleh tangan manusia.

Besarnya tegangan pindah dapat diberikan pada persamaan berikut:

$$E_{\text{pindah}} = I R_0$$

dengan

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{Lp}$$

dengan

E_{pindah} = tegangan pindah (Volt)

R_0 = tahanan kontak pentanahan total (Ω)

r = jari-jari ekivalen dari luas gardu induk (m)

Lp = panjang total dari konduktor kisi-kisi dan batang (m)

ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

Tegangan pindah ini walaupun lebih besar dari tegangan sentuh tetapi untuk waktu tertentu dalam detik tegangan pindah yang diizinkan sama dengan tegangan sentuh.

3.3. Arus Melalui Tubuh Manusia

Berat ringannya bahaya yang dialami seseorang terbatas pada besarnya arus listrik yang melalui tubuh, lamanya arus tersebut mengalir dan frekuensinya, tetapi besarnya arus yang masih dapat ditahan tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar ditetapkan. Untuk memperoleh batas dan besarnya arus dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia para ahli telah banyak melakukan penelitian mengenai itu dengan sampel manusia dan binatang. Penelitian tersebut akhirnya menghasilkan batas-batas arus pada tubuh manusia yang digolongkan menjadi empat (Hutauruk, 1991):

3.3.1. Arus mulai terasa atau persepsi (perception current)

Bila seseorang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh orang tersebut akan memberikan pengaruh. Bila sumber tegangan bolak balik, mula mula akan merangsang syaraf sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya dan bila dengan arus searah akan terasa sedikit panas pada telapak tangan, gejala yang demikian disebut arus persepsi. Untuk mendapatkan nilai arus yang berpengaruh pada manusia sampai menghasilkan gejala yang dijelaskan di atas, pengujian telah dilakukan terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan pada Electrical Testing Laboratory New York tahun 1993 menghasilkan arus rata-rata yang disebut threshold of perception current. Arus rata-rata tersebut pada laki-laki sebesar 1.1 mA dan pada perempuan sebesar 0.7 mA.

3.3.2. Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya arus persepsi terus dinaikkan terus sedikit maka orang akan merasa sakit dan kalau terus dinaikkan maka otot-otot akan kaku sehingga

orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor tersebut.

Percobaan terhadap 34 orang laki-laki dan 28 orang perempuan telah dilakukan di Universitas of California Medical School menghasilkan arus rata-rata yang mempengaruhi otot yaitu pada laki-laki sebesar 16 mA dan pada perempuan 10.5 mA. Agar konduktor yang melekat pada manusia bisa dilepaskan berdasarkan penyelidikan ini juga telah ditetapkan arus maksimal yaitu pada laki-laki sebesar 9 mA dan pada perempuan sebesar 6 mA.

3.3.3. Arus Fibrilasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus yang mempengaruhi otot, arus listrik tersebut akan mempengaruhi jantung sehingga jantung berhenti bekerja dan peredaran darah tidak jalan, mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Dalziel disebutkan bahwa 99.5 % dari semua orang yang beratnya kurang dari 50 kg masih dapat menahan arus pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz yang mengalir melalui tubuhnya dan waktu yang ditentukan oleh persamaan sebagai berikut :

$$I_k^2 \cdot t = K$$

dengan

$$I_k = \sqrt{\frac{K}{t}}$$

jika

$$k = \sqrt{K}$$

maka

$$I_k = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

dengan

I_k = besarnya arus yang mengalir melalui tubuh (Ampere)

k = konstanta empiris, sehubungan dengan adanya daya kejut yang dapat ditahan oleh X % dari sekelompok manusia
 t = waktu kejut (detik) atau lama gangguan tanah

Untuk X = 99.5%, 50 kg diperoleh K = 0.0135, maka $k = 0.116$
Untuk X = 99.5 %, 70 kg diperoleh K= 0.01246 maka $k = 0.157$.

Dengan menggunakan persamaan (7) akan diperoleh besarnya arus yang masih dapat ditahan seseorang sebagai berikut :

Untuk berat $\pm 50 \text{ kg}$

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

Untuk berat $\pm 70 \text{ kg}$

$$I_k = \frac{0.157}{\sqrt{t}}$$

3.4. Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar di antara 500 Ω sampai 100.000 Ω tergantung dari tegangan, keadaan kulit pada tempat yang mengadakan hubungan (kontak) dan jalannya arus dalam tubuh. Kulit yang terdiri dari lapisan tanduk mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi terhadap tegangan yang tinggi kulit yang menyentuh konduktor langsung terbakar, sehingga tahanan dari kulit ini tidak berarti apa-apa. Tahanan tubuh manusia ini yang dapat membatasi arus. Berdasarkan hasil penyelidikan oleh para ahli maka sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1000 Ω .

3.5. Elektroda Pentanahan

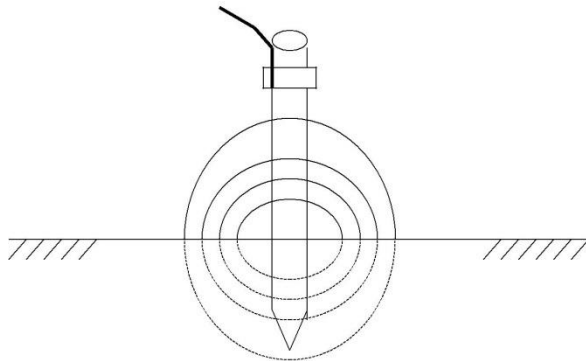
Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung tersebut diatas dengan tujuan penghantar

dapat melewati arus sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ke tanah. Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah.

Pada sistem pentanahan terdapat beberapa komponen tahanan yang berpengaruh terhadap besar tahanan pentanahan yaitu :

- 1) Tahanan elektroda pentanahan beserta sambungan-sambungan padanya.
- 2) Tahanan kontak antara elektroda pentanahan dengan tanah disekitarnya.
- 3) Tahanan tanah disekitarnya.

Ketiga komponen tahanan, tahanan tanah merupakan besaran yang paling besar pengaruhnya pada tahanan pentanahan dibandingkan tahanan elektroda dan tahanan kontak.



Gambar 29. Komponen tahanan dari suatu batang elektroda pentanahan

Elektroda pentanahan terbuat dari logam mempunyai tahanan cukup kecil jika ukurannya memadai. Demikian pula dengan

tahanan kontak ke tanah dapat diabaikan apabila permukaan elektroda bebas dari lemak dan cat serta tempat kontak cukup padat, sehingga elektroda dapat dipasak dengan kuat. Suatu batang elektroda pentanahan yang terbuat dari bahan yang serba sama

(Gambar 29) arus gangguan akan mengalir di dalam tanah ke semua arah. Tanah yang mengelilingi elektroda pentanahan tersebut dapat dianggap terdiri dari lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan sama dengan menganggap tanah tersebut serba sama pada setiap lapisan. Lapisan yang paling dekat dengan elektroda pentanahan mempunyai luas penampang yang terkecil, sehingga tahananannya terbesar, sedangkan lapisan yang berikutnya mempunyai luas lebih besar dengan demikian tahanannya akan lebih rendah.

Demikianlah seterusnya sampai pada suatu jarak tertentu dimana lapisan berikutnya tidak akan menambah tahanan secara berarti.

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pentanahan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin.

Tahanan pentanahan yang diperoleh juga ditentukan pula oleh jenis dan bentuk elektroda pentanahannya. Beberapa bentuk elektroda pentanahan yang dipergunakan yaitu elektroda bentuk batang, elektroda bentuk pita, dan elektroda bentuk plat (Tadjuddin, 1998) :

3.5.1. Elektroda Batang

Dari suatu konduktor terdapat hubungan antara tahanan dan kapasitans sebesar:

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi C}$$

dengan :

R_p = tahanan pentanahan (Ohm)

C = kapasitans (farad)

ρ = tahanan jenis tanah (Ohm.m)

Kapasitans ini termasuk kapasitans dari bayangan konduktor yang ditanam ke dalam tanah. elektroda berbentuk silinder dengan panjang L yang ditanam tegak lurus permukaan tanah berdiameter $2r$, dengan bayangan di atas permukaan tanah. Untuk menghitung kapasitans elektroda pentanahan dan bayangan, digunakan metode potensial rata rata . Dalam persoalan pentanahan, elektroda pentanahan merupakan bahan penghantar yang membawa muatan listrik yang terdistribusi (menyebar) di sekeliling elektroda pentanahan. Dengan cara seperti ini potensial di setiap tempat pada permukaan elektroda akan sama.

Bila pada elektroda tersebut diberikan suatu muatan yang merata, maka kapasitans dapat dihitung dengan metode potensial rata rata. Hasil yang didapatkan untuk satu batang elektroda berbentuk silinder yang ditanam seluruhnya di dalam tanah dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

maka tahanan dari satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah (Hutauruk, 1991) .

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right) \text{ (untuk } L \gg a \text{)}$$

dengan :

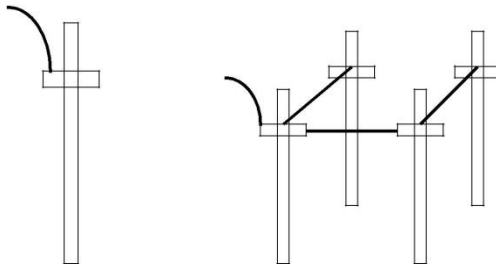
R_p = tahanan pentanahan (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

a = jari-jari elektroda (m)

L = Kedalaman elektroda yang ditanam (m)

Persamaan 3 digunakan untuk menentukan nilai tahanan pentanahan adalah dengan anggapan bahwa nilai tahanan jenis tanah di tempat pengukuran seragam (uniform).



(a). Elektroda batang tunggal (b). Elektroda batang dalam group

Gambar 30. Jenis-jenis elektroda bentuk batang

3.5.2. Elektroda Bentuk Pita

Elektroda ini merupakan logam yang mempunyai penampang yang berbentuk pita atau dapat juga berbentuk bulat, pita yang dipilin atau dapat juga berbentuk kawat yang dipilin. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman antara 0,5 sampai 1 meter dari permukaan tanah, tergantung dari kondisi dan jenis tanah. Dalam pemasangannya elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar atau kombinasi dari lingkaran dan radial.

Besar tahanan pentanahan untuk elektroda pita dapat dihitung dengan rumus

$$R_{pt} = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L_p}{d_p} \right)$$

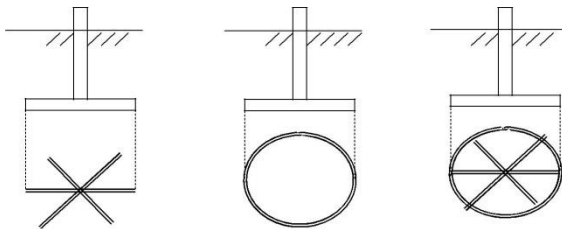
Dengan

R_{pt} = tahanan pembumian elektroda pita (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

L_p = panjang elektroda pita yang tertanam (m)

d_p = lebar pita/diameter elektroda pita kalau bulat (m)



(a). Radial

(b). Lingkaran

(c). Kombinasi lingkaran radial

Gambar 31. Jenis-jenis elektroda pita dan cara pemasangannya

3.5.3. Elektroda Bentuk Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. Pada pemasangannya elektroda ini dapat ditanam tegak lurus atau mendatar tergantung dari tujuan penggunaannya. Bila digunakan sebagai elektroda pentanahan pengaman maka cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira 1 meter di bawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Bila digunakan sebagai elektroda pengatur yaitu mengatur kecuraman gradien tegangan guna menghindari tegangan langkah yang besar dan berbahaya, maka elektroda plat tersebut ditanam mendatar.

Untuk menghitung besar tahanan pentanahan

elektroda plat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{pl} = \frac{\rho}{4,1Lt} \left(1 + 1,84 \frac{b}{h} \right)$$

dengan

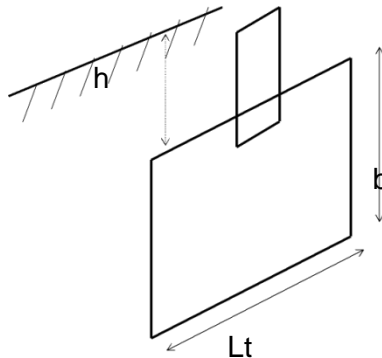
R_{pl} = tahanan pentanahan elektroda plat (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

Lt = panjang elektroda plat (m)

b = lebar plat (m)

h = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah(m)



Gambar 32. Elektroda plat dipasang vertikal

Keterangan gambar :

Lt = panjang plat

h = kedalaman tertanam

b = lebar plat

3.6. Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitans di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu :

- a) Keadaan struktur tanah antara lain ialah struktur geologinya, seperti tanah liat, tanah rawa, tanah berbatu, tanah berpasir, tanah gambut dan sebagainya.
- b) Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam, dan mineral-mineral lainnya.
- c) Keadaan iklim, basah atau kering.
- d) Temperatur tanah dan jenis tanah

Nilai tahanan jenis tanah berbeda-beda tergantung pada komposisi tanah seperti tercantum dalam Tabel 4 (Pijpaert, 1999).

Tabel 4 Nilai Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ω -m)
tanah rawa	10 – 40
tanah liat dan tanah ladang	20 – 100
pasir basah	50 – 200
kerikil basah	200 – 300
pasir/kerikil kering	<10000
tanah berbatu	2000 – 3000
air laut dan air tawar	10 – 100

Pasir kering mutlak atau batu adalah isolasi yang baik, sama seperti air destilasi, oleh karena itu, batang pentanah harus ditanam sedalam mungkin di dalam tanah, sehingga dalam musim kemarau selalu berada dalam lapisan tanah yang basah.

Tahanan pentanahan satu batang pentanah tergantung pada jenis dan kondisi tanah serta ukuran dan susunan batang pentanah. Tabel 5 memperlihatkan tahanan pentanahan untuk satu batang pentanah (Pijpaert, 1999).

Tabel 5 Nilai Tahanan Pentanahan Satu Batang Pentanah (Tahanan Jenis Tanah : 100 Ω -m)

Panjang (m)	1	2	3	5
Tahanan Pentanahan (Ω)	70	40	30	20

3.7. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara metode tiga titik (*three-point methode*) dan metode empat titik (*four electrode methode*).

3.7.1. Metode Tiga Titik

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan metode tiga titik (*three-point methode*). Misalkan ada tiga buah batang pentanah dengan batang 1 yang tahanannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahanannya, seperti pada Gambar 33

Bila tahanan diantara tiap – tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis

sebagai berikut (Hutauruk, 1991) :

$$R_{1-2} = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} + R_{22} - 2R_{12}$$

$$R_{1-3} = \frac{V_{1-3}}{I} = R_{11} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$R_{2-3} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{23}$$

dengan

R_{11} = tahanan pada elektroda bantu 1

R_{22} = tahanan pada elektroda bantu 2

R_{33} = tahanan pada elektroda utama 3

R_{12} = tahanan pada elektroda 1 dan 2

R_{13} = tahanan pada elektroda 1 dan 3

R_{23} = tahanan pada elektroda 2 dan 3

R_{1-2} = tahanan total elektroda 1 dan 2

R_{1-3} = tahanan total elektroda 1 dan 3

R_{2-3} = tahanan total elektroda 2 dan 3

V_{1-2} = tegangan pada elektroda 1 dan 2

V_{2-3} = tegangan pada elektroda 2 dan 3

V_{1-3} = tegangan pada elektroda 1 dan 3

$$\frac{V_{1-2} + V_{1-3} - V_{2-3}}{I} = 2R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} + 2R_{23}$$

tetapi, $V_{1-3} = V_{1-2} + V_{2-3}$

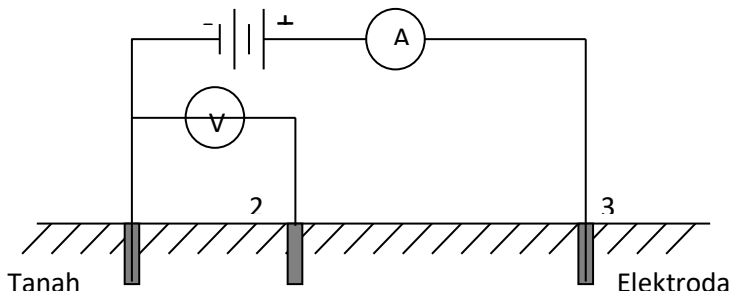
jadi : $R = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} + R_{23}$

akhirnya :

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} - R_{23}$$

Tahanan batang pengetanahan dari elektroda 1 dapat dibuat :

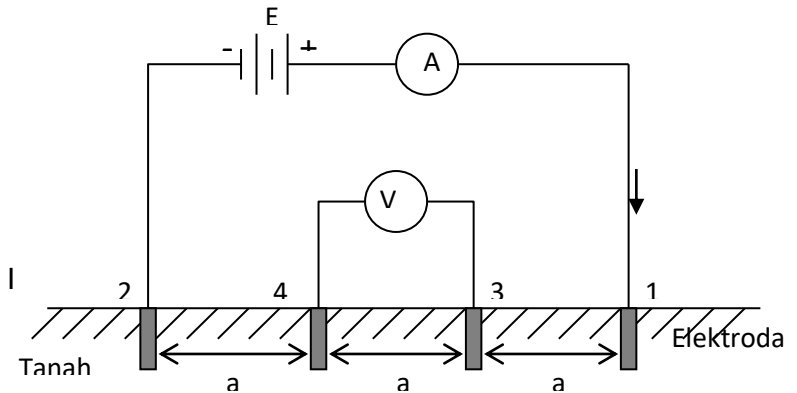
$$R_{12} + R_{13} - R_{23} = 0$$



Gambar 33 Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode Tiga Titik

3.7.2. Metoda Empat Titik

Metoda pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti Gambar 2.8



Gambar 34. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat titik

Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh

diameter konduktor dapat diabaikan. Arus masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\rho r^2$, dan rapat arus adalah :

dengan

$J =$ kerapatan arus (A/m^2)

$a =$ jari-jari elektroda (m)

$I =$ arus yang mengalir dalam tanah (A)

Jika ρ adalah tahanan jenis tanah, maka medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak r adalah :

$$E_{(a)} = J \rho \text{ (V / m)}$$

Sehingga menjadi

$$E_{(a)} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \rho \text{ (V / m)}$$

Potensial pada jarak r dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak r ke titik tak berhingga :

$$V = \int_r^{\infty} E(r) \cdot da$$

$$V_3 = \int_l^{2l} \frac{I \rho}{2 \pi a^2} da$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_l^{2l} \frac{1}{a^2} da = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_l^{2l} a^{-2} da$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-a^{-1} \right) \Big|_{2l}^l$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{a} \right) \Big|_{2l}^l \quad V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{2l} + \frac{1}{l} \right)$$

$$V_3 = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(-\frac{1}{2l} + \frac{1}{l} \right) = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{2l} \right)$$

$$V_4 = \int_{2l}^l \frac{I \rho}{2 \pi a^2} da$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_{2l}^l \frac{1}{a^2} da = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_{2l}^l a^{-2} da$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-a^{-1} \right) \Big|_{2l}^l$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{a} \right) \Big|_{2l}^l$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{l} + \frac{1}{2l} \right)$$

$$V_4 = \rho \frac{I}{2\pi} \left(-\frac{1}{l} + \frac{1}{2l} \right) = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{2l} - \frac{1}{l} \right)$$

Karena $V_{34} = V_3 - V_4$, maka

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{2l} \right) - \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{2l} - \frac{1}{l} \right)$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{l} - \frac{1}{2l} \right) - \left(\frac{1}{2l} - \frac{1}{l} \right) \right]$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{2}{l} - \frac{1}{l} \right)$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{l} \right)$$

$$V_{34} = I \frac{\rho}{2\pi l}$$

dan

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I} = \frac{\rho}{2\pi l}$$

sehingga:

$$\rho = R_{34} (2\pi l)$$

dengan

l = jarak antara elektroda (m)
 R_{34} = tahanan antara elektroda 3 dan 4 (Ω)
 V_{34} = tegangan pada elektroda 3 dan 4 (Volt)
 ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

Dengan alat ukur yang dibuat khusus untuk ini yang terdiri dari generator yang diputar dengan tangan dan *ohm-meter*, dapat dibaca langsung tahanan antara elektroda, arus, dan tegangan elektroda.

3.8. Metode Menurunkan Tahanan Jenis Tanah

3.8.1. Metode Bak Ukur (Container Method)

Proses dengan metode bak ukur ini cukup efektif untuk menurunkan tahanan jenis tanah yang dilakukan dengan cara memasukkan bahan kimia seperti sodium klorida, kalsium klorida, magnesium klorida atau tembaga sulfat ke dalam tanah di sekitar batang pentanahan melalui sebuah bak ukur (container). Cara ini hanya baik untuk sementara waktu saja, sehingga proses memasukkan bahan kimia tersebut harus sering dilakukan secara periodik misalnya 6 bulan sekali.

3.8.2. Metode Parit (Trench Method)

Metode ini cukup efektif digunakan untuk menurunkan tahanan jenis tanah dengan cara menjaga kelembaban tanah disekitar elektroda pentanahan.

Secara teknis metode ini dibuat dengan pemberian bentonit secara melingkar di dalam parit di sekitar batang pentanah dengan tidak mengenai langsung elektroda pentanahannya. Parit yang dibuat berbentuk lingkaran, $\frac{3}{4}$ lingkaran, $\frac{1}{2}$ lingkaran atau $\frac{1}{4}$ lingkaran .

3.8.3 Menggunakan elektroda batang pentanahan khusus

Metode ini tidak begitu dianjurkan dalam perencanaan suatu sistem pentanahan kecuali merupakan solusi akhir ketika tahanan pentanahan yang efektif sangat sulit diperoleh pada lokasi sistem pentanahan. Misalnya dengan membuat batang pentanah dari pipa tembaga dengan berbagai diameter dan ukuran panjang yang diisi dengan butiran atau serabut baja.

3.8.4. Metode Kombinasi

Metode kombinasi merupakan penggabungan antara metode a sampai dengan c, dengan memparalel batang pentanah, memperpanjang ukuran batang pentanah, sekaligus membuat perlakuan terhadap unsur kimia tanah, sudah tentu secara efektif dapat mereduksi nilai tahanan pentanahan. Namun demikian, hal ini tidak mungkin dilakukan secara serempak, bila lokasi pada sistem pentanahan tidak mengizinkan dan secara ekonomis kurang efisien.

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih. Sekarang telah dikembangkan teknologi pemanfaatan sumber energi alternatif untuk menghasilkan listrik, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya

(PLTS). PLTS merupakan sistem pembangkit yang tergolong mudah, murah, ramah lingkungan dan terbarukan. Pada sistem pembangkit ini, terjadi suatu proses penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh modul solar cells atau Photovoltaic. Biasanya energi listrik ini disimpan pada baterai dalam bentuk energi elektrokimia. Pada proses penyimpanan energi tersebut, diperlukan suatu alat yang berfungsi mengatur proses tadi agar tidak terjadi pengisian berlebih pada baterai (over charge) yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai.

3.9. Battery Control Unit (BCU) sebagai perangkat proteksi sistem solar cell

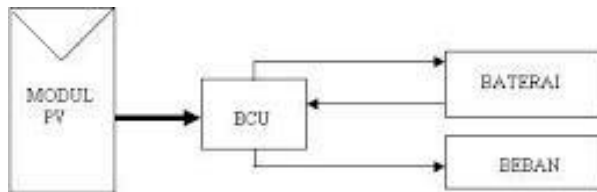
Sebuah alat yang berfungsi memberikan pengamanan terhadap sistem solar cell adalah **Battery Control Unit (BCU)**, alat ini menjaga keseimbangan energi di battery dengan cara mengatur tegangan maksimum dan minimal dari battery tersebut, alat ini juga berfungsi untuk memberikan pengamanan terhadap sistem yaitu : Proteksi terhadap pengisian berlebih (over discharge) di battery, proteksi terhadap pemakaian berlebih (over charge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke Modul Surya, melindungi terhadap terjadinya hubungan singkat pada beban listrik dan sebagai interkoneksi dan komponen-komponen lainnya. (Triandini. A, dkk, 2013).

Prinsip kerja alat secara keseluruhan pada sistem PLTS. Pada dasarnya, baterai dan modul photovoltaic bekerja sama dalam memberikan energi listrik kepada beban. Energi listrik dapat dihasilkan langsung dari modul photovoltaic pada siang hari, dan dari baterai pada malam hari. Bisa juga dari keduanya pada saat cuaca mendung. Semua itu tidak terlepas dari fungsi BCU sebagai alat pengatur.

Pada siang hari, matahari bersinar dengan mengeluarkan energi radiasi melalui gelombang cahaya. Dengan menggunakan modul photovoltaic energi ini dikonversikan menjadi energi listrik. Apabila tegangan pada modul lebih besar dari tegangan baterai, maka terjadi arus pengisian ke baterai. Tegangan baterai akan terus meningkat sejalan dengan makin lamanya waktu pengisian. Dan apabila tegangan baterai telah mencapai batas ambang tegangan kerja atas (titik mati tegangan atas). yang ditetapkan pada BCU yaitu 12 volt, maka BCU akan memutuskan hubungan antara modul dengan baterai yang ditandai dengan adanya arus hubungan singkat pada modul photovoltaic.

Pada malam hari, tidak ada energi yang dihasilkan oleh modul photovoltaic dan pada saat itu secara otomatis yang mensuplai energi ke beban adalah baterai. Jika penggunaan energi baterai terlalu banyak, maka tegangan baterai akan turun sejalan dengan berkurangnya energi baterai. Jika tegangan baterai turun melewati batas ambang bawah (titik mati tegangan bawah) yang ditetapkan oleh BCU yaitu 11,5 volt, maka secara otomatis beban akan mati yang ditandai dengan terputusnya hubungan antara baterai dengan beban (hubungan terbuka).

Battery Control Unit (BCU) yang berfungsi sebagai proteksi over charge, juga sebagai proteksi pengosongan baterai berlebih (over discharge), proteksi beban lebih, hubung singkat, tegangan kejut halilintar, arus balik dari baterai ke sumber (pembangkit), dan proteksi polaritas terbalik baterai dan sumber (pembangkit).



Gambar 35. diagram blok *Solar Home System* (SHS)

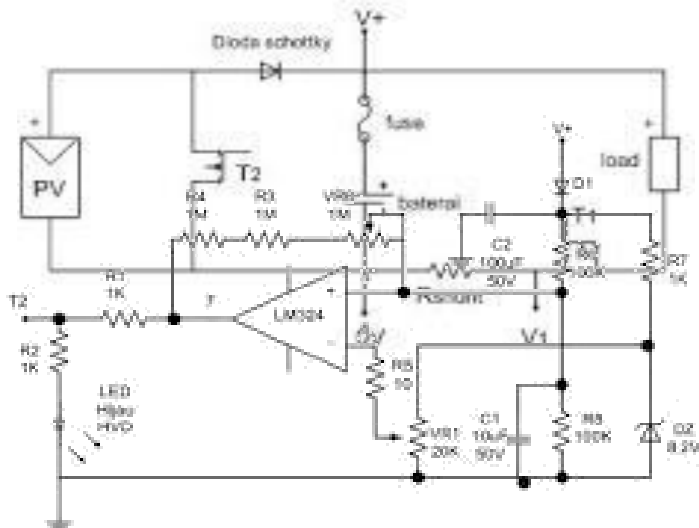
Pada gambar diagram blok diatas diperlihatkan bahwa pada rancangan alat Battery Control Unit (BCU) ini menggunakan sebuah sumber yaitu dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menggunakan modul photovoltaic (PV) sebesar 50 Wp. Sehingga pada alat BCU ini dibuat pada kapasitas 100-120 VA.

3.9.1. *Unit HVD Swiching*

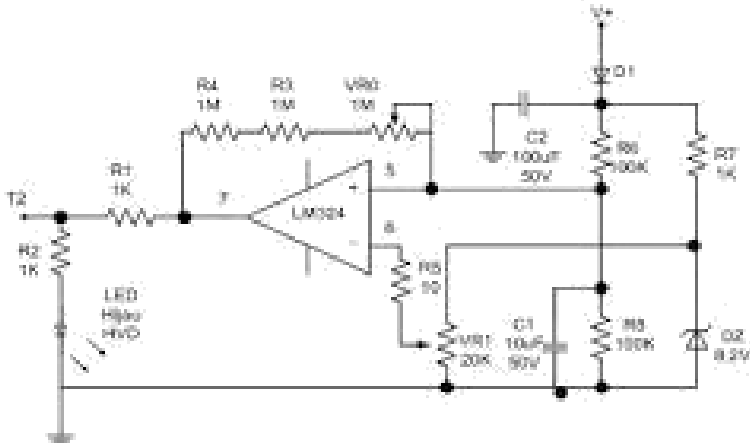
HVD merupakan titik tegangan atas baterai maksimum yang

pada titik ini aliran arus pengisian dari modul photovoltaic ke baterai terputus. Mengacu pada standard UL, titik HVD untuk baterai jenis asam timbal direkomendasikan pada tegangan 14.2–14.7 volt, maka ditentukan pada rancangan spesifik untuk titik HVD pada tegangan 14.6 volt. Dan terhubung kembali pada tegangan 13,0 volt.

Bagi BCU tipe shunt (gambar 36) keadaan HVD terjadi ketika arus dari modul photovoltaic tidak mengalir ke baterai tapi ke mosfet T1. arus yang mengalir pada kondisi ini merupakan arus hubung singkat modul, sehingga dapat menimbulkan panas yang tinggi akibat rugi-rugi energi ($I^2 \cdot R$) pada mosfet T1. Untuk itu, diperlukan pendingin yang baik agar tidak merusak komponen ini. Terjadinya HVD agar tidak over charge dikendalikan oleh mosfet T1. Kerja dari komponen ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan baterai dengan tegangan referensi yang ada.



Gambar 36. Rangkaian dasar BCU tipe shunt



Gambar 37. Diagram skematik unit HVD swiching mode on-off

Pada gambar 37 terlihat bahwa tegangan baterai $V+$ dibandingkan dengan tegangan referensi dari diode zener yaitu sebesar 8,2 V. IC1b merupakan komparator biasa dengan hysteresis dengan membandingkan tegangan yang ada pada kaki masukan inverting dan non inverting. Jika tegangan baterai yang diwakili oleh tegangan pada pin 5 lebih besar dari tegangan referensi yang diwakili tegangan pada pin 6, maka keluaran pada pin 7 terdapat tegangan yang ditandai dengan menyalnya lampu LED hijau. Tegangan pada pin 7 berarti pula terdapat tegangan antara kaki gate dan source, yang mengaktifkan mosfet T2. dan sebaliknya, jika tegangan baterai lebih kecil dari tegangan referensi maka keluaran dari IC1b adalah 0 volt, sehingga lampu LED hijau mati, mosfet tidak bekerja, dan terjadi pengisian baterai oleh modul PV.

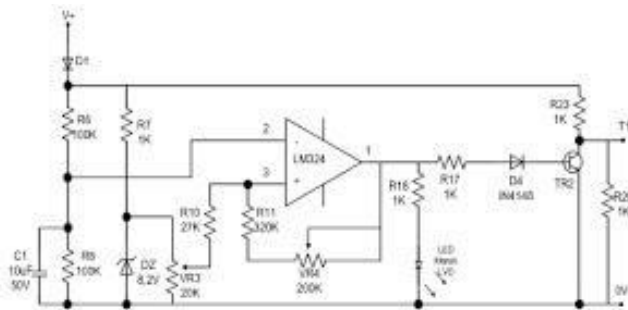
Potensiometer atau single tune (VR1) digunakan untuk mengatur besarnya tegangan referensi pada kaki masukan inverting, yang berarti pula untuk menseting tegangan HVD pada 14.6 volt. Resistor variabel lainnya yaitu VR0 digunakan untuk mengatur besarnya histeresis, yang berarti untuk mengeset tegangan reconnect pada 13.0 volt.

3.9.2. Unit LVD Switching

LVD merupakan titik tegangan mati bawah dari baterai. Pada tegangan ini arus yang mengalir dari baterai ke beban harus diputuskan, karena untuk menjaga baterai tetap aman dari kerusakan. Menurut standard UL dan rekomendasi dari THE WORLD BANK Assosiation, titik LVD untuk baterai jenis asam timbal berkisar 1.8–1.9 volt per sel baterai, atau 10.8 – 11.6 volt baterai dan reconnect pada 11.6. pada rancangan spesifikasi alat ditentukan titik LVD di 11,5 volt. Ketika tegangan baterai normal dan diberikan beban maka keadaan mosfet T1 aktif (short circuit) beban menyala. Tetapi ketika baterai telah mencapai titik tegangan mati bawah (LVD) maka mosfet T1 tidak bekerja, sehingga sirkuit terbuka dan mati. Kerja dari komponen T1 ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan baterai dari tegangan referensi.

Pada gambar 38 ditunjukkan skematik rangkaian untuk unit pembatas pengosongan baterai berlebih (over discharge). Rangkaiannya berbeda dengan rangkaian LVD, meskipun prinsipnya sama yaitu komparator dengan hysteresis. Pada rangkaian tersebut kaki inverting (pin 2)

IC1a merupakan tegangan masukan dari baterai, dan tegangan referensi atau set point pada kaki non inverting (pin 3). Control on-off ini bekerja sebagai inverse acting, artinya keluaran dari IC1a berlawanan dengan masukan pada kaki inverting yang mewakili tegangan baterai. Berbeda dengan control pada HVD yang bekerja sebagai direct acting, unit LVD switching berfungsi ditandai dengan menyalanya lampu LED merah dan terputusnya arus beban.

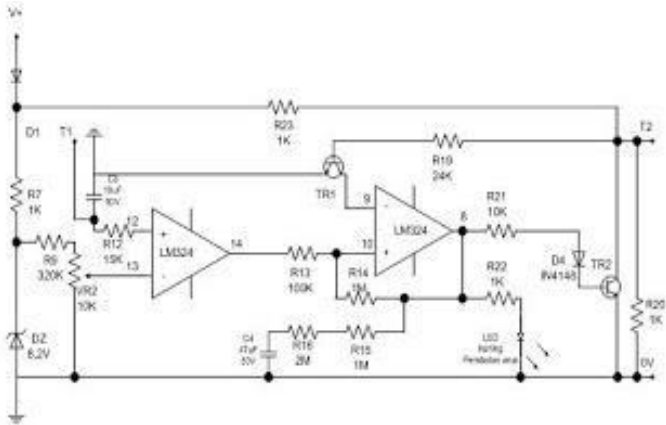


Gambar 38. Diagram skematik unit LVD switching mode on-off

3.9.3. Unit Fuse Elektronik

Gambar menunjukkan rangkaian pembatas arus pada sistem negatif switching. Resistor paralel ditambahkan untuk mengukur besarnya arus beban. Tegangan pada resistor tersebut dibandingkan dengan tegangan referensi dari dioda zener (DZ) pada op-amp IC1d .normalnya, keluaran dari pin 14 sama dengan keluaran pin 8 yaitu 0 volt.Kapasitor polar

C3 discharge melalui TR1 / R19, karena T1 sedang bekerja. Jika arus beban melebihi batas, keluaran pin 14 menjadi 12 volt, sedangkan pin 8 masih tetap 0 volt dan tegangan pin 10 kira-kira menjadi 4 volt.keluaran IC1c dari pin 14 meningkat menjadi 12 volt. sekarang T1 tidak bekerja akibat TR2 on. Tidak ada arus beban yang mengalir di R-shunt, sehingga keluaran dari pin 14 kembali menjadi 0 volt. pin 10 akan memiliki tegangan 0.98 v. keluaran pin 8 perlahan mengisi kapasitor C3, dan memerlukan waktu kira-kira 10 detik untuk mendapatkan tegangan 0.98 volt. inilah tiik ketika keluaran dari pin 8 menjadi 0 v kembali. T1 menjadi aktif, C3 mengalami discharge, dan sistem kembali ke keadaan semula. Jika masih terdapat arus pada R-shunt yang melebihi batas (over current), siklus akan berulang kembali.



Gambar 39. Diagram rangkaian pembatas arus dengan fuse elektronik

Bagaimanapun, interval waktu yang terjadi akan ditentukan oleh waktu pengosongan kapasitor C3, yaitu kira-kira 1 detik. Kapasitor C4 dan R16 harus ditambahkan untuk menahan gelombang on-off switching.

Sebaliknya pembatas arus akan merespon setiap waktu oleh beban ketika dihidupkan. Ketika controller ini dihubungkan pertama kali, pin 12 merespon masukan lebih lambat dibandingkan pada pin 13 karena adanya C4. Untuk itu, pembatas arus dalam keadaan off setelah pemasangan pertama kali. Sistem kembali dalam keadaan seimbang.

3.9.4. Unit Indikator

Indikator yang digunakan pada rangkaian terdiri dari 3 buah lampu LED dan masing-masing warna memiliki arti yang berbeda, yaitu :

- 1) LED warna hijau, sebagai indikator baterai sudah penuh.

Jika lampu ini menyala, maka menunjukkan unit HVD switching bekerja. Sehingga tidak ada lagi arus yang mengalir ke baterai.

- 2) LED warna merah, sebagai indikator baterai kosong (pada tegangan rendah). Jika lampu ini menyala, maka menunjukkan unit LVD switching berfungsi. Sehingga arus ke beban terputus.
- 3) LED warna kuning, sebagai indikator pembatas arus dan proteksi beban berlebih. Jika lampu ini menyala, unit pembatas arus bekerja. Berfungsinya pembatas arus dengan fuse elektronik, ditandai dengan mati–nyala pada beban (waktu mati sekitar 10 detik) dan menyebabkan terjadinya proses pengisian pada baterai (charging).

3.10. Unit Proteksi

3.10.1. Proteksi Arus Balik

Pada malam hari, tegangan listrik di modul photovoltaic adalah nol, tapi baterai terisi penuh hasil pengisian pada siang hari. Untuk menghindari terjadinya arus balik dari baterai ke modul photovoltaic akibat beda tegangan, maka dipasang dioda penghambat atau blocking dioda pada BCU. Dioda schottky B1645 (D1) dipasang untuk melakukan fungsi tersebut. Biasanya pada modul photovoltaic yang standard juga sudah terpasang dioda penghambat tersebut.

3.10.2. Proteksi Polaritas Terbalik

Berdasarkan standard dari UL, sebuah BCU atau BCR harus memiliki proteksi terhadap pemasangan polaritas yang terbalik. Pemasangan polaritas kabel yang terbalik dapat terjadi pada modul, baterai, dan beban. Jika terjadi kesalahan polaritas pada modul, maka akan menimbulkan arus hubung singkat yang melewati mosfet T2. sebab didalam komponen tersebut terdapat juga internal freewalk diode yang bisa mengalirkan arus dari kaki sumber ke cerat. Akibat dari arus

hubung singkat ini diperlukan pendingin yang bagus untuk mosfet T2, karena terdapat rugi energi berupa panas yang tinggi akibat drop tegangan dan arus yang besar. Sehingga pendingin yang baik bisa mengatasi masalah ini.

Polaritas terbalik dari baterai, juga akan mengakibatkan arus short circuit pada baterai. Arus ini mengalir dari polaritas positif ke terminal negatif baterai melalui 2 dioda yaitu schottky dan dioda internal pada mosfet T2. keadaan ini bisa diatasi dengan adanya fuse.

3.10.3. Proteksi Hubung Singkat Dan Beban Lebih

Hubung singkat pada beban dapat menimbulkan arus yang besar. Hal ini terjadi mungkin dikarenakan rusaknya beban atau sambungan kabel + dan – karena terkelupas, dsb. Begitu juga pada saat beban lebih, arus yang disuplai ke kabel melewati batas maks dari spesifikasi alat. Untuk mengatasi adanya arus yang besar ini rangkaian dilengkapi fuse elektronik dan fuse biasa (kawat termal).

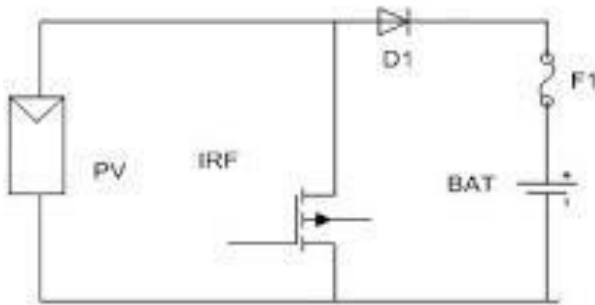
Cara kerja fuse elektronik sudah dijelaskan pada sub bab unit fuse elektronik bab II. fuse kawat dipasang sebagai pendukung (back up) dari fuse elektronik. Ketika fuse elektronik tidak berfungsi masih terdapat fuse kawat untuk melindungi alat. Tujuan dari fuse elektronik adalah untuk menghindari seringnya mengganti fuse kawat setiap kali terjadi arus beban yang melebihi arus maks dan adanya arus hubung singkat.

3.10.4. Proteksi Tegangan Kejut dari Halilintar

Sesuai dengan standard dunia bahwa perlindungan tegangan kejut dari halilintar pada BCU sangat diperlukan, sebab di beberapa daerah sering terjadi halilintar. Halilintar yang mengenai modul photovoltaic pada sistem PLTS dapat merusak komponen lain yang terhubung dengan modul. Tegangan induksi pada kabel dari modul photovoltaic yang

sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan. Komponen yang dapat meredam tegangan kejut dari halilintar salah satunya adalah metal-oxide varistor (MOV).

Sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan AT&T dan IEC, jika digunakan visitor dengan tegangan stand off 30 volt maka maksimum tegangan puncak yang terjadi tidak 30 volt tapi lebih yaitu sekitar 60 volt. Ini berarti jika modul photovoltaic terkena halilintar, tegangan keluaran menjadi 60 volt. Sehingga tegangan ini juga ditanggung oleh mosfet dan pada dioda schottky terjadi beda tegangan sebesar 48 volt (gambar 48). Ini merupakan kelemahan dari sistem regulator shunt.



Gambar 40. Jatuh tegangan akibat tegangan kejut halilintar

BAB 4 TEORI KEBUTUHAN PATS

4.1. Menentukan Kebutuhan Air

Kebutuhan air yang akan disuplai oleh sebuah sistem PATS adalah pertimbangan pertama dalam desain sebuah PATS. Di dalam buku Panduan Prasarana Air Bersih (PNPM Mandiri Pedesaan 2008), kebutuhan air bersih setiap individu rata-rata adalah 60 liter/orang/hari. Untuk menghitung kebutuhan air masyarakat pedesaan dapat digunakan rumus berikut:

$$P = 60 \left(1 + \frac{\text{Pertumbuhan Penduduk}}{100} \right)^n$$

di mana :

n = Pertumbuhan penduduk selama n tahun

4.2. Radiasi Sinar Matahari

Radiasi matahari dipancarkan dalam bentuk energi foton dan gelombang elektromagnetik (Stoner 1998). Besarnya radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung pada empat faktor yaitu:

1. Jarak matahari dengan titik tertentu di permukaan Bumi
Setiap daerah yang ada di bumi ini memiliki jarak yang berbeda-beda dengan matahari, sehingga menimbulkan variasi intensitas cahaya yang diterima. Selain itu, jarak lokasi yang sama di permukaan Bumi dengan matahari juga berubah sepanjang tahun karena lintasan orbit Bumi mengelilingi matahari berbentuk elips sehingga pada saat tertentu jarak Bumi-Matahari lebih dekat dibandingkan pada saat lain.

2. Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari pada suatu bidang ditentukan oleh besar kecilnya sudut datang sinar matahari di permukaan bumi. Jumlah intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan besarnya sudut datang.

3. Panjang Hari (Sun Hours)

Panjang hari adalah jarak waktu antara matahari terbit sampai terbenam di suatu lokasi di permukaan Bumi.

4. Pengaruh Atmosfer

Sinar yang melalui atmosfer sebagian akan diserap oleh gas-gas, debu dan uap air, dipantulkan kembali, dipancarkan, dan sisanya diteruskan ke permukaan bumi.

2. Menentukan intensitas cahaya matahari

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menentukan intensitas radiasi matahari di suatu lokasi di permukaan Bumi. Pada penelitian ini akan digunakan database dari *Surface Meteorological and Solar Energy* (SMSE – NASA. SMSE – NASA merupakan program penelitian Bumi sejak 22 tahun yang lalu yang didukung lebih dari 200 satelit. Salah satu hasil dari program ini berupa data global energi surya untuk 1195 lokasi di Bumi (SMSE – NASA. n.d).

4.3. Pompa Air

Berdasarkan jenis motor yang digunakan, pompa air terbagi dua yaitu pompa AC dan pompa DC. Dalam penelitian ini pompa yang digunakan adalah pompa DC. Pompa akan dicelupkan kedalam sumur sedangkan pengontrol beban akan diletakkan di atas permukaan tanah. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah mudah dalam pemasangannya dan pompa yang terendam dapat mengurangi resiko kerusakan.

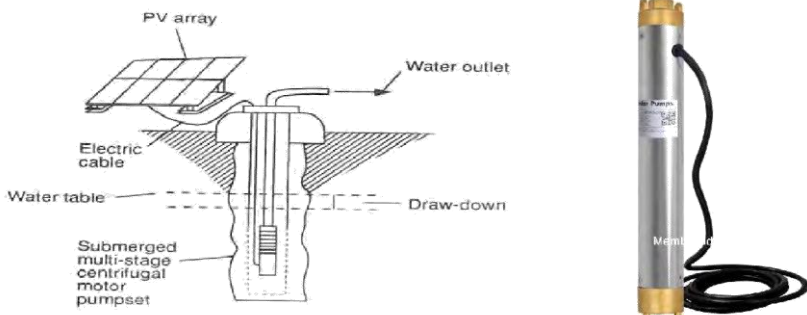
Menurut Maupoux (2010), ada enam jenis pompa yang biasa

digunakan dalam sistem PATS.

1. *Submersible Pumps*

Submersible Pumps biasanya menggunakan pengontrol beban elektronik.

Pompa ini dibenamkan ke dalam air sedangkan pengontrol beban diletakkan di atas permukaan tanah. Keutungan dari konfigurasi ini adalah mudah dalam penginstalasi dan pompa terendam jauh dari kerusakan (Gambar 41).



Gambar 41. Skema PATS menggunakan pompa *submersible* (Maupoux 2010)

2. *Multistage centrifugal pumps*

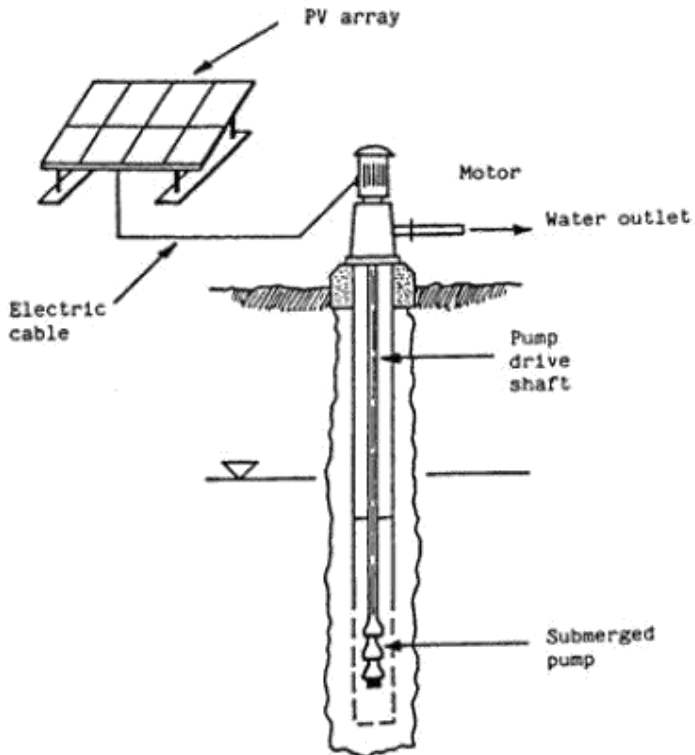
Pompa sentrifugal akan memulai pemompaan dengan torsi yang rendah lalu torsinya akan disesuaikan dengan kemampuan *array* surya karena pompa ini tidak menggunakan pengontrol beban.

3. *Positive displacement helical pumps* (Pompa Spiral)

Pompa spiral merupakan pompa yang memiliki efisiensi terbaik, pompa ini biasanya digunakan untuk modul surya yang terbatas. Pompa ini cocok digunakan untuk sumur dalam.

4. *Submerged pump with surface mounted motor*

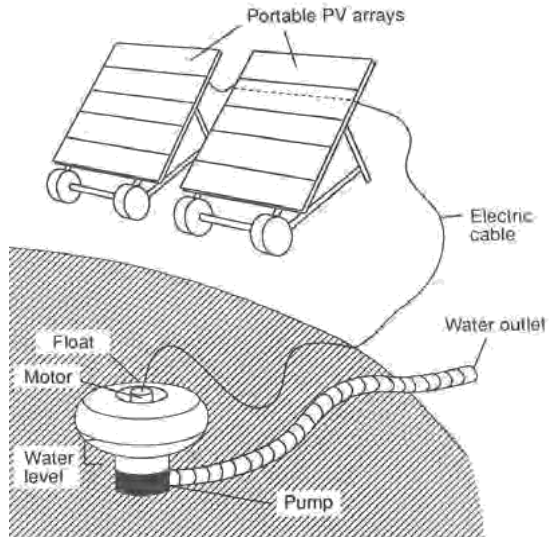
Pompa ini diinstal di atas permukaan tanah, sehingga mudah dalam pemeliharannya. Kekurangan pompa ini adalah biaya instalasi yang mahal (Gambar 42).



Gambar 42. Skema PATS dengan submersed pump with surface mounted motor (Maupoux 2010)

5. *Floating motor pump sets*

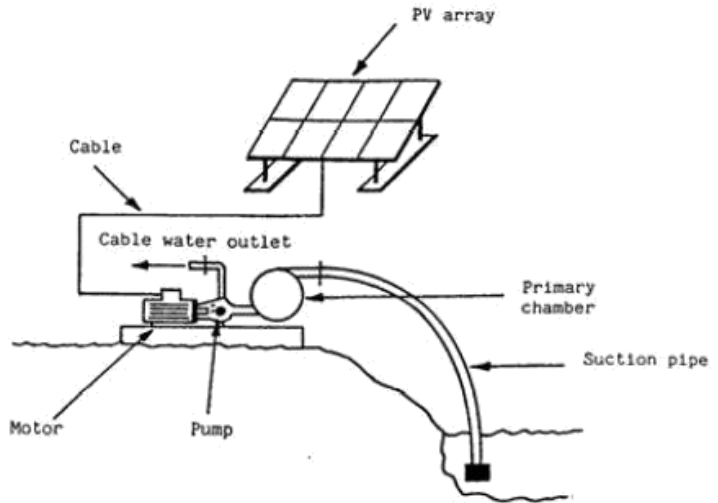
Pompa ini mudah dipindahkan membuat pompa ini sangat cocok digunakan untuk irigasi. Pompa ini hanya bisa memompa dari sumber air terbuka (Gambar 43).



Gambar 43. Skema PATS dengan *floating motor pump* (Maupoux 2010)

6. *Surface suction pumpsets*

Jenis pompa ini cocok digunakan untuk *head* yang rendah (sumur dangkal). Jenis pompa ini tidak direkomendasikan karena bila pompa bekerja harus ada teknisi yang mengawasi kinerja pompa. Contohnya adalah pompa yang dibuat dalam satu set dengan genset (Gambar 44).



Gambar 44. Skema PATS dengan surface suction pumpsets (Maupoux 2010)

4.4. Menghitung daya pompa

Menurut Kusuma (n.d.), untuk mendapatkan hasil yang maksimal perlu diperhitungkan ukuran pompa yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$P_p = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta_p$$

dengan

P_p = Daya pompa (watt)

ρ = Kerapatan air (998,3 kg/m³ pada suhu 20° C)

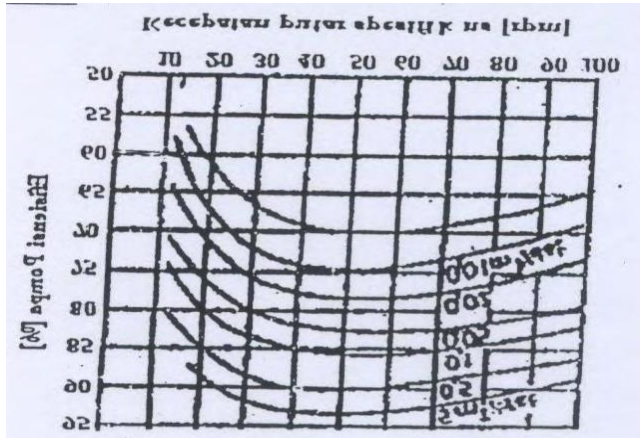
g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Q = Kapasitas pompa (m³/s)

H = Head total pompa (m)

η_p = Efisiensi pompa (%)

Untuk mencari efisiensi pompa (η_p), menggunakan grafik yang ada pada grafik dibawah ini



Gambar 45. Grafik η_p , n_s , dan Q (Kusuma n.d.)

Untuk mencari putaran spesifik pompa (n_s), menggunakan rumus :

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

dengan

n_s = Putaran spesifik pompa

n = Putaran pompa (rpm)

Q = Kapasitas pompa (GPM)

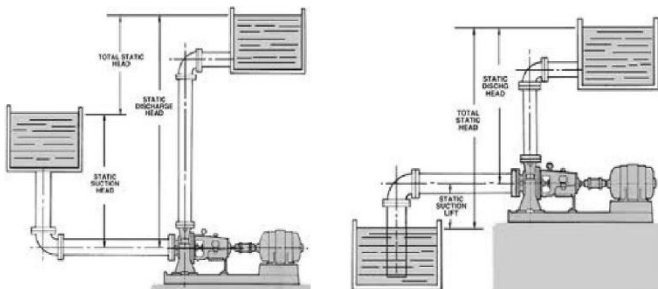
H = Head pompa (Feet)

4.5. Head

Menurut Scherer (1993) “head” adalah jarak vertikal pompa harus mengangkat air. Atau dengan kata lain head adalah jarak vertikal permukaan air sumur ditambah dengan jarak vertikal dari pompa menuju tangki penyimpanan.

Ada lima jenis head yang digunakan dalam sistem pompa air yaitu (Gambar 46):

1. *Static Suction Head*
Static Suction Head adalah tinggi permukaan air penyimpanan dengan pompa.
2. *Static Discharge Head*
Ketinggian vertical dari titik pusat pompa ke titik tujuan yang tertinggi.
3. *Static Suction Lift*
Static suction Lift adalah ketinggian vertical dari permukaan air yang harus dipompa ke atas oleh pompa terhadap pusat pompa.
4. *Total Static Head*
Total Static Head adalah ketinggian vertical total dari permukaan air *inlet* terhadap permukaan *outlet* pompa.
5. *Net Positive Suction Head*
Net Positive Suction Head adalah besar total dari *suction head*



Gambar 46. Jenis-jenis head (sumber : Scherer 1993)

Menurut Kusuma (n.d.), untuk mencari besar head pompa dapat dinyatakan dengan rumus berikut

$$\text{Besar Head Total (H)} = h_a + h_p + h_1 + \frac{v^2}{2g}$$

di mana:

H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total, yaitu vertical antara permukaan air sisi keluar dengan permukaan air sisi isap (m)

h_p = Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

h_1 = Kerugian head pada pipa yang menyangkut panjang pipa, fitting, katup (valve), dan lain-lain.

$\frac{v_2}{2g}$ = tekanan kecepatan pada lubang keluar pipa (m)

Untuk menentukan perbedaan head yang bekerja pada kedua permukaan air h_p (m) dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$H_p = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} = 0 \text{ m}$$

Karena P_1 dan P_2 merupakan tekanan tangki terbuka, maka P_1 dan P_2 adalah 0.

dengan

P_1 = Tekanan pada permukaan sumber air

P_2 = Tekanan pada tangki penyimpanan

ρ = Massa jenis air

g = Gravitasi

Untuk menentukan kerugian head h_1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$h_1 = h_f + h_e$$

dengan

h_f = Kerugian gesek dalam pipa

h_e = kerugian *plumbing accessories*

Sebelum menentukan kerugian gesek (h_f), maka harus ditentukan terlebih dahulu apakah aliran yang terjadi adalah aliran *laminar* atau aliran *turbulen* dengan menggunakan bilangan Reynolds yaitu :

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

dengan

Re = Bilangan Reynolds

Bila $Re < 2300$, aliran bersifat laminar

Bila $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen

v = Kecepatan aliran (m/s)

d = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinematik air (m²/s)

= 0,801.10⁻⁶ m²/s (pada suhu 30o C) $d = 65$ mm

Karena $Re > 4000$, maka aliran yang terjadi bersifat *turbulen*. Maka untuk menghitung kerugian gesek yang terjadi dalam pipa menggunakan rumus :

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g}$$

dengan:

λ = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

- d = diameter pipa (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- v = Kecepatan aliran (m/s)

Untuk menentukan koefisien kerugian gesek λ ditentukan dengan menggunakan Formula Darcy untuk aliran turbulen sebagai berikut:

$$\lambda = 0.020 + 0.0005 + 0.065 = 0.0277$$

Sedangkan untuk menghitung kerugian head *plumbing accessories* menggunakan persamaan :

$$h_e = K \frac{v^2}{2g}$$

di mana:

K = Koefisien kerugian

Untuk menghitung K ada beberapa konstanta koefisien yaitu, *flexible join*, *gate valve*, *check valve*, dan *elbow 90*. Masing-masing koefisien ini mempunyai nilai kerugian sebagai berikut :

- a. *Flexible Join* = 10
- b. *Gate Valve* = 0,19
- c. *Check Valve* = 2,5
- d. *Elbow 90* = 0.9

4.6. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Untuk aplikasi di Indonesia, tegangan yang dihasilkan oleh

inverter adalah 220V dengan frekwensi 50 Hz. Tegangan ini hampir sama dengan tegangan yang dihasilkan listrik PLN (Kumara 2010).



Gambar 47. Salah satu bentuk inverter (SolarTech n.d.)

Menurut Kumara (2010), berdasarkan bentuk gelombang output, inverter terbagi menjadi tiga jenis. Jenis-jenis inverter tersebut yaitu *square*, *modified*, dan *true sinewave*. Inverter yang terbaik adalah inverter yang mampu menghasilkan gelombang sinusoida murni atau *true sine wave* karena gelombang arus outputnya sama dengan gelombang arus dari listrik PLN.

Prinsip dasar dari inverter adalah menyalakan dan memadamkan arus searah dengan frekwensi tertentu kemudian outputnya diperhalus sehingga listrik yang dihasilkan sama dengan listrik PLN (Andreas dkk. 2000). Untuk mencapai tujuan tersebut inverter menggunakan rangkaian elektronika yaitu osilator, transistor daya, dan trafo *step up*.

Di Indonesia berbagai macam inverter beredar di pasaran, ada produk lokal dan ada juga produk dari luar negeri. Tabel 3 merangkum daftar inverter yang beredar di pasaran Indonesia.

Tabel 6. Inverter satu fasa untuk PLTS di pasar Indonesia

Produk Inverter	Pembuat	Square atau Modified	True Sine Wave	Kapasitas (Watt)
BELL	Indonesia	x		500, 3000
BledPower	Indonesia	x	x	500, 1000
Cyceron		x	x	600, 1200, 2000
Kawachi	Taiwan		x	500, 1000
Lotway		x		500
Selectronic	Australia		x	1600, 2400, 3600
SunPower	Amerika			240, 480
Suoer	Cina			1000
Studer	Swiss		x	200, 300, 400, 500, 600, 700, 1300, 2100, 2400
Targa		x		1000
TBE		x		100, 300, 1000, 1200
Xantrex	Kanada	x	x	150, 300, 500, 1000, 1500, 1800

Sumber : Kumara (2010)

4.7. Baterai

Jika tidak disambungkan dengan listrik PLN, sebuah PATS akan membutuhkan penyimpanan energi supaya sistem dapat beroperasi normal selama 2-3 hari pada waktu tidak ada radiasi matahari (malam hari) atau saat radiasi matahari tidak cukup (cuaca mendung). Dalam semua kasus di mana penyimpanan energi listrik dibutuhkan, baterai elektrokimia adalah jenis yang paling paling nyaman digunakan terutama karena karakteristik DC memungkinkan untuk koneksi langsung antara *array* surya dan baterai tanpa diperlukan konversi atau transformasi energi yang dihasilkan *array* surya. Meskipun berbagai teknologi penyimpanan sedang dalam pengembangan, baterai *lead-acid* masih, dan akan untuk beberapa tahun yang akan datang, digunakan secara luas untuk aplikasi energi surya (Loque dan Hegedus 2003).



Gambar 48. Salah satu bentuk baterai untuk sistem energy surya (Firstbtob. n.d.)

Dimensi baterai yang digunakan ditentukan oleh kedalaman harian pengosongan (*discharge*) baterai PATS adalah dalam kisaran 25% sampai 30% dari rating kapasitas (10 h) baterai.

Karena usia operasi baterai adalah salah satu faktor kunci yang menentukan biaya dari suatu sistem PATS, maka perencana sistem PATS harus mematuhi aturan kompleks untuk memaksimalkan usia baterai. Di antara aturan tersebut adalah: pilih teknologi baterai yang paling cocok untuk aplikasi PATS, tentukan ambang batas akhir pengisian dan akhir pengosongan secara tepat, hindari pengosongan dalam, hindari stratifikasi asam dalam larutan elektrolit baterai, hindari suhu baterai tinggi, jamin pengisian sampai penuh, dan hindari pengoperasian sel baterai tunggal (Loque dan Hegedus 2003).

Baterai Pembangkit listrik tenaga matahari pada umumnya hanya aktif pada saat siang hari (pada saat sinar matahari ada). Sehingga untuk keperluan malam hari solar cell tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka energi yang dihasilkan solar cell pada siang hari disimpan sebagai energi cadangan pada saat matahari tidak tampak. Untuk menyimpan energi tersebut dipakai suatu baterai sebagai penyimpanan muatan energi. Baterai digunakan untuk sistem pembangkit tenaga listrik matahari mempunyai fungsi yang

ganda. Disuatu sisi baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi, sedang disisi lain baterai harus dapat berfungsi sebagai satu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban. Menurut penggunaan baterai dapat diklasifikasikan menjadi: 1 Baterai Primer 2. Baterai Sekunder Baterai primer hanya digunakan dalam pemakaian sekali saja. Pada waktu baterai dipakai, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

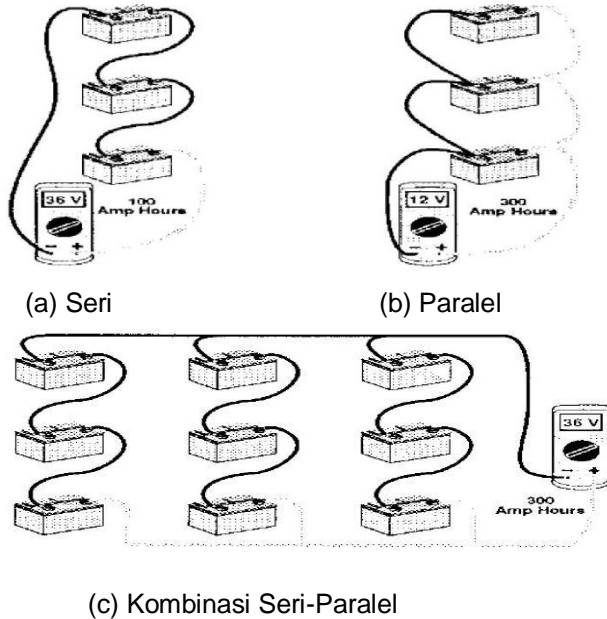
Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan kembali dan kembali dimuati. Pada waktu pengisian baterai elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia, setelah baterai dipakai, elektroda dan elektrolit dapat dimuati kembali, kondisi semula setelah kekuatannya melemah yaitu dengan melewati arus dengan arah yang berlawanan dengan pada saat baterai digunakan. Pada saat dimuati energi listrik diubah dalam energi kimia. Jadi, dapat kita ketahui bahwa fungsi baterai pada rancangan pembangkit tenaga surya ini adalah untuk menyimpan energi yang dihasilkan solar cell pada siang hari, tujuannya adalah untuk menyimpan energi listrik cadangan ketika cuaca mendung atau hujan serta pada malam hari. Dengan demikian dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbale (baterai basah) yang dapat diisi ulang cairan kimia dan energi listrik.

4.7.1. Kapasitas baterai

Kapasitas suatu baterai dinyatakan dalam Ampere hour (Ah) atau Ampere-Jam, yang merupakan suatu ukuran seberapa besar energi listrik yang dapat disimpan pada suatu tegangan nominal tertentu. Kapasitas suatu baterai bersifat aditif jika baterai dihubungkan secara paralel.

Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan secara seri, maka tegangan akan menjadi

36 volt sedangkan kapasitas tetap 100Ah (3600 watt-hour). Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan secara paralel, maka tegangan akan tetap 12 volt sedangkan kapasitas menjadi 300Ah (3600 watt-hour).



Gambar 49. Hubungan baterai

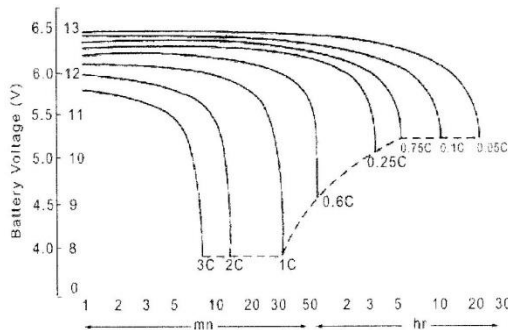
Karena baterai dalam proses pengisian dan pelepasan energinya bergantung pada reaksi kimia, maka kapasitas yang tersedia (available capacity) relatif terhadap kapasitas total akan bergantung kepada seberapa cepat pengisian dan pelepasan dilakukan, dimana keduanya merupakan reaksi-reaksi kimia yang berbeda arahnya.

Kapasitas total/kapasitas nominal biasanya diberi tanda C, yang merupakan ukuran seberapa besar energi yang dapat

disimpan dalam baterai. Kapasitas yang tersedia biasanya lebih kecil dibanding dengan kapasitas total.

Umumnya kapasitas Ampere-hour dari suatu baterai diukur pada suatu laju pengeluaran yang akan menyebabkan baterai habis/ kosong dalam 20 jam. (atau laju C/20 atau 0.05C). Jika dilakukan pelepasan pada laju lebih besar dari C/20, akan didapatkan kapasitas tersedia yang lebih kecil dari C total.

Selain laju C/20, kapasitas nominal kadang-kadang dinyatakan dalam C/10, C/100 dan lainnya, tergantung pada laju dimana baterai akan digunakan.



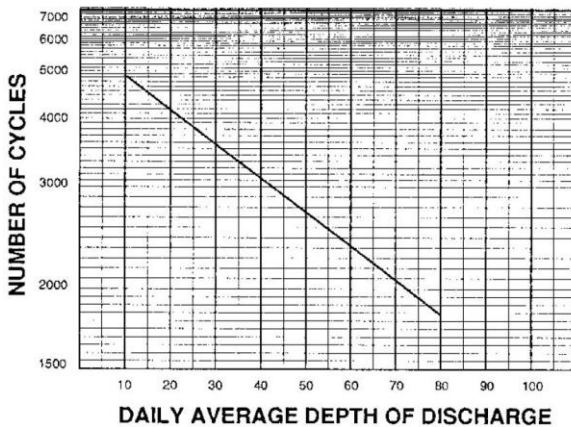
Gambar 50. Korelasi tegangan baterai vs laju discharge (PPPTK,2008)

4.7.2. Siklus Baterai

Cycle atau Siklus, merupakan suatu interval yang meliputi satu perioda pengisian dan satu perioda pelepasan. Idealnya baterai selalu diisi/charge sampai dengan 100% SOC selama perioda pengisian pada tiap siklus. Sementara baterai dihindarkan digunakan atau discharge sampai dengan 0% SOC.

Suatu baterai dengan siklus dangkal atau Shallow Cycle dirancang hanya untuk melakukan pelepasan/discharge sebesar 10-25% DOD dari kapasitas total pada tiap siklusnya. Sedangkan baterai siklus dalam atau Deep-Cycle dirancang untuk dapat melakukan pelepasan/discharge sampai dengan 80% DOD dari kapasitas total pada tiap siklusnya.

Usia baterai jenis deep cycle, sangat dipengaruhi besarnya DOD pada tiap siklus. Semakin besar DOD akan semakin kecil jumlah siklus yang dapat dilalui baterai tersebut.



Gambar 51. Siklus (*cycle life*) vs DOD baterai

4.7.3. Mekanisme Degradasi Baterai

Terdapat empat mekanisme degradasi/kerusakan utama yang dapat terjadi pada baterai yang dioperasikan dalam sistem

tenaga surya (PPPTK,2008):

1. Softening
2. Korosi grid
3. Sulfasi
4. Stratifikasi

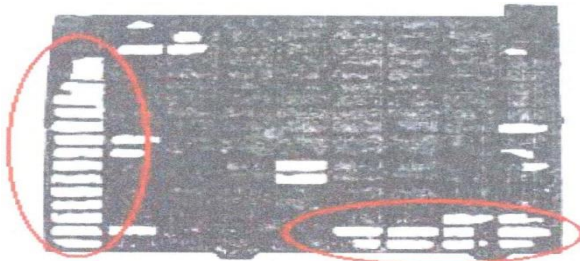
1. Softening

Jika baterai dioperasikan dalam siklus charge-discharge yang berulang-ulang, akan terjadi variasi volum (mengembang dan menyusut) dari komponen aktif pada pelat, variasi volum ini akan menyebabkan perubahan pada sifat-sifat bahan seperti daya kohesi, distribusi kristal dan ukuran kristal.

Perubahan-perubahan ini menyebabkan lemahnya ikatan antar kristal timah oksida sehingga terjadi softening atau rapuhnya komponen aktif.

Konsekuensi pertama perubahan diatas adalah kehilangan kapasitas, akibat berkurangnya butiran komponen aktif yang ikut dalam reaksi kimia.

Akibat yang paling ekstrim adalah jika tidak adanya ikatan lagi antara bahan komponen aktif dengan grid, sehingga komponen aktif lepas dan jatuh ke dasar kontener. Proses ini dikenal juga dengan "shedding".

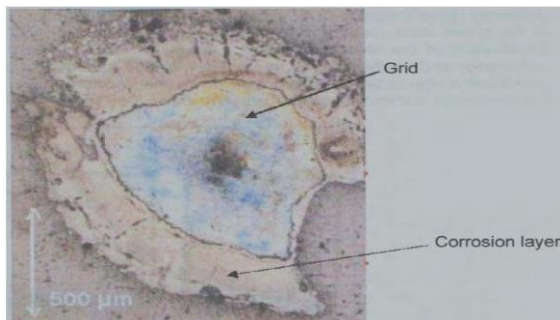


Gambar 52. Degradasi baterai akibat efek Softening

2. Korosi Grid

Jika baterai lead-acid dalam kondisi bertegangan tinggi (saat akhir Charge atau Overcharge), oksigen yang terbentuk pada pelat positif cenderung untuk membentuk lapisan oksigen di antar muka grid dengan komponen aktif, sehingga grid teroksidasi membentuk lapisan korosi (karat). Lapisan korosi yang sama juga terjadi jika baterai dibiarkan dalam keadaan rangkaian terbuka untuk waktu yang lama.

Lapisan korosi bersifat resistif (tahanan) yang akan mempengaruhi penyaluran arus listrik hasil reaksi melalui grid. Konsekuensi dari adanya lapisan korosi ini diantaranya adalah, meningkatnya tahanan internal baterai, berkurangnya daya serap muatan listrik, menurunnya kapasitas baterai, serta menjadi rapuhnya grid.



Gambar 53. Degradasi baterai akibat efek korosi

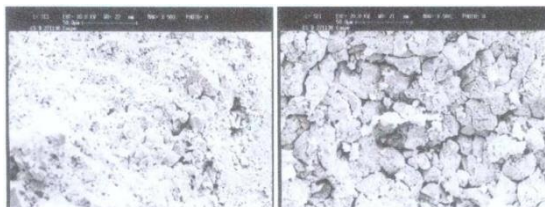
3. Sulfasi

Kristal lead-sulphate terbentuk selama proses discharge dari baterai akibat reaksi antara timah dengan asam-sulfat.

Jika baterai dibiarkan pada keadaan SOC yang rendah, suatu proses rekristalisasi dari lead sulphate terjadi yang disebut dengan sulfasi, dan mempengaruhi karakteristik baterai. Kristal lead sulphat pada pelat positif dan negatif

menjadi bertambah besar, dan cenderung memisahkan diri dari komponen aktif, sehingga sulit untuk diuraikan kembali menjadi komponen aktif dan asam sulfat saat dilakukan charging.

Konsekuensi dari proses ini adalah berkurangnya kapasitas baterai karena berkurangnya komponen aktif.

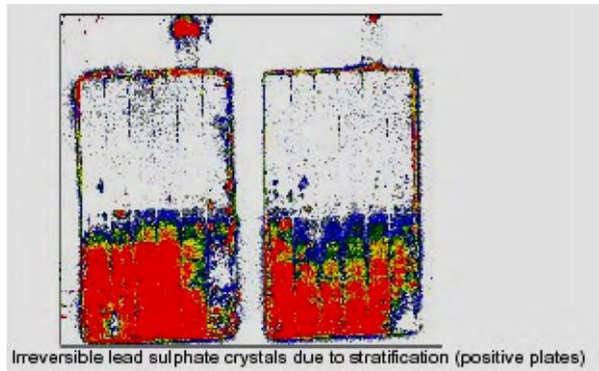


Gambar 54. Degradasi baterai akibat efek sulfas

4. Stratifikasi Elektrolit

Stratifikasi elektrolit dalam baterai adalah terjadinya perbedaan konsentrasi asam sulfat, karena proses pengoperasian baterai. Asam sulfat terbentuk saat baterai dalam kondisi charging, mempunyai densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolit secara keseluruhan, sehingga cenderung turun ke bagian dasar baterai. Gejala ini tampak jelas pada pengoperasian deep-discharge dan recharge, namun dengan melakukan overcharging stratifikasi ini dapat berkurang. Overcharge menghasilkan gelembung gas hidrogen dan oksigen akibat peristiwa elektrolisa air, gelembung-gelembung gas ini dapat mengaduk elektrolit sehingga konsentrasinya lebih homogen.

Konsekuensi dari stratifikasi adalah hilangnya kapasitas baterai, bagian bawah dari pelat cenderung terjadi suiphasi karena kurang recharge.



Gambar 55. Degradasi baterai akibat efek stratifikasi elektrolit

4.7.4. Perawatan Baterai

Perawatan yang tepat akan memperpanjang usia baterai dan akan membantu dalam menjamin bahwa baterai akan memenuhi kemampuannya sesuai dengan desain yang dibutuhkan. Program perawatan baterai yang baik akan menjadi petunjuk untuk menentukan kapan baterai harus diganti. Tindakan perawatan baterai harus dilakukan oleh personil yang terlatih dan mengerti tentang baterai.

Sebagian bahan yang disajikan disini berkaitan dengan baterai tipe flooded ataupun non-free maintenance baterai. Tetapi sebenarnya, baterai free-maintenance dan baterai VRLA pun memerlukan perawatan.

Baterai-baterai tipe ini memang tidak memerlukan penambahan air atau pemantauan terhadap 'specific gravity'-nya, tetapi baterai ini memerlukan pembersihan, pemantauan tegangan sel dan tegangan float total, tes kapasitas, pengukuran tahanan dalam, pembersihan dan pengencangan (torquing) baut-baut dan lain sebagainya.

Secara umum perawatan yang baik meliputi tindakan-tindakan sebagai berikut:

- matching/penyesuaian charger dengan kebutuhan

- baterai;
- menghindarkan underdischarge dan overcharge pada baterai;
- menjaga agar elektrolit berada pada level yang tepat;
- menjaga kebersihan baterai;
- menghindari kondisi overheating;

- melakukan ekualisasi secara periodik terhadap baterai/sel yang lemah.

Praktek pengisian/charging yang tidak sesuai paling berpengaruh kepada pendeknya usia baterai dibanding dengan penyebab kerusakan lainnya.

Charging dilakukan dengan berbagai metoda, tetapi tujuan pengisian arus listrik yang berlawanan arah dengan discharging/ pelepasan adalah tetap sama.

Aspek terpenting dari charging adalah mencari kesesuaian antara charger dengan aplikasi . Ketika memilih charger perlu diketahui beberapa hal seperti, tipe baterai, cara pelepasan arus/ discharge baterai, waktu yang tersedia untuk recharge, temperatur teringgi yang akan dialami baterai serta jumlah sel dalam baterai. Hal yang paling bijaksana adalah menanyakan kepada manufaktur tentang cara pengisian yang tepat saat baterai pertama kali dibeli.

Secara umum baterai lead acid dapat dicharge dengan rate/ laju pengisian yang manapun asalkan tidak menimbulkan excessive gassing, overcharge, ataupun temperatur yang terlampau tinggi.

Baterai dalam kondisi kosong, pada tahap awal dapat dicharge dengan arus yang cukup besar, namun ketika baterai sudah mendekati penuh arus pengisian harus diperkecil untuk mengurangi gassing dan overcharging.

4.7.5. Tahap Charging

Pada dasarnya setiap rangkaian charging terdiri dari 3-4 tahap pengisian yaitu: bulk, absorption, equalization dan float.

1. Bulk Charging

Tahap ini adalah dimana arus charging konstan, sementara tegangan baterai meningkat. Pada tahap ini dapat dilakukan pengisian arus yang dikehendaki asal tidak melebihi dari 20% rating kapasitas Ah baterai, sehingga tidak akan terjadi overheating.

2. Absorption Charging

Tahap absorption charging adalah tahap dimana tegangan charger konstan, sementara arus charging menurun sampai baterai mencapai tahap fully charged, atau penuh atau 100% SOC. Indikasi ini diketahui manakala arus pengisian turun hingga mencapai 1% dari rating kapasitas Ah. Contohnya, jika kapasitas Baterai 100 Ah maka arus pengisian akhir atau final charging current nya adalah 1 ampere.

3. Equalization Charging

Tahap ini adalah tahap pengisian berlebih yang terkendali (5% overcharge), dimaksudkan untuk menyeimbangkan tegangan sel dan specific gravity di dalam baterai. Keseimbangan dapat tercapai akibat dinaikkannya tegangan pengisian sampai ke level tertentu selama beberapa saat.

Ekualisasi akan memulihkan gejala-gejala kerusakan seperti stratifikasi, yaitu terkonsentrasinya asam di bagian bawah baterai, ataupun sulfasi yaitu terbentuknya kristal sulfat secara berlebihan dibagian pelat aktif. Tahap ekualisasi ini dilakukan pada interval waktu tertentu saja dapat dilakukan sekali sebulan sampai dengan setahun sekali, setelah 10 sampai

100 deep-cycle bergantung pada rekomendasi dari pihak manufaktur baterai.

Ekualisasi wajib dilakukan bila hasil pemantauan specific gravity sel menunjukkan perbedaan lebih dari 0,03.

4. Float Charging

Tahap Float Charging adalah tahap pengisian dimana tegangan charging diturunkan dan dijaga konstan dalam tempo yang tak berhingga, dengan maksud menjaga agar baterai selalu dalam kondisi sehat (100% SOC).

Berikut adalah tabel yang menggambarkan panduan pengisian baterai sebagai fungsi dari kapasitasnya yang dinyatakan dalam reserve capacity.

Panduan ini dapat digunakan untuk menentukan besarnya bulk charging current untuk masing-masing baterai sesuai dengan kapasitasnya.

Tabel 7. Bulk charging current sesuai kapasitas baterai

Reserve Capacity (RC) Rating	Slow Charge (RECOMMENDED)	Fast Charge
80 Minutes or less [32 ampere hours or less]	15 Hours @ 3 amps	5 Hours @ 10 amps
80 to 125 Minutes [32 to 50 ampere hours]	21 Hours @ 4 amps	7.5 Hours @ 10 amps
125 to 170 Minutes [50 to 68 ampere hours]	22 Hours @ 5 amps	10 Hours @ 10 amps
170 to 250 Minutes [68 to 100 ampere hours]	23 Hours @ 6 amps	7.5 Hours @ 20 amps
Above 250 Minutes [over 100 ampere hours]	24 Hours @ 10 amps	6 Hours @ 40 amps

Untuk menentukan setting tegangan bulk charging, float charging maupun equalization charging pada kontrol pengisian baterai, tabel berikut dapat digunakan sebagai panduan.

Tabel 8. Tegangan charging berdasarkan tipe baterai

Battery Type	Charging Voltage	Float Voltage	Equalizing Voltage
Wet Low Maintenance	14.4	13.2	15.1
Wet Maintenance Free	14.8	13.4	15.5
Sealed & VRLA	14.4	13.2	15.1
AGM	14.4	13.6	15.5
Gel Cell	14.1	13.2	N/A
Wet Deep Cycle	14.5	13.2	15.8

Untuk memastikan harga-harga parameter charging sebaiknya diminta petunjuk dari pihak manufaktur merek baterai yang bersangkutan. Dengan demikian pemilihan charger untuk baterai lead-acid harus mempertimbangkan kemampuan charger dalam memenuhi parameter-parameter pengisian tersebut diatas, sehingga dapat dipenuhi kriteria perawatan baterai melalui cara pengisian yang tepat.

4.7.6. Pengisian Air Elektrolit (Topping Up)

Pengisian air elektrolit atau dikenal dengan Topping-Up pada baterai lead-acid hanya dilakukan untuk baterai tipe flooded. Seperti mesin memerlukan oli untuk pelumasan, baterai memerlukan penambahan air pada saat yang tepat dan dalam jumlah yang tepat pula, jika tidak unjuk kerja baterai maupun usianya akan berkurang. Tiga hal penting dalam pengisian air pada baterai yaitu:

- Jangan sampai pelat aktif terekspos (terbuka) terhadap udara bebas, karena hal ini akan menyebabkan korosi pelat aktif.
- Jangan mengisi air secara berlebihan sehingga terjadi

overflow, sebaiknya ikuti level/batas pengisian yang tertera pada kontainer baterai. Pengisian yang berlebihan akan menyebabkan korosi pada bagian baterai lainnya.

- Jangan menambahkan asam kedalam baterai untuk toping up atau penambahan air. Air yang digunakan hanya lah air yang tidak mengandung mineral berat..

Sebagai panduan pengisian baterai, untuk tahap awal pemakaian dianjurkan dilakukan sebulan sekali. Setelah beberapa kali pengisian akan diketahui seberapa besar konsumsi air yang dibutuhkan oleh baterai, sehingga dapat disesuaikan kembali jadwal pengisiannya.

4.8. Battery Charge Controller

Meskipun suatu sistem energi surya dapat digunakan tanpa *charge controller* seperti banyak dilakukan dalam sistem energi surya kecil, namun seperti disebutkan pada bagian 2.2.18 di atas, untuk mendapatkan usia baterai yang panjang, harus dihindari *overcharge* dan *overdischarge*. Sebuah *charge controller* adalah penyambung antara *array* surya, baterai dan beban. *Charge controller* berfungsi mencegah pengisian yang berlebihan dan pengosongan yang terlalu dalam.



Gambar 56. Salah satu bentuk *charge controller* untuk sistem energy surya (Sumber : Buysolarpane n.d.)

4.9. Pengukuran Kinerja Sistem PATS

Kinerja sebuah sistem PATS diamati dengan melakukan monitoring. Monitoring juga diperlukan jika perbaikan sistem diperlukan. Kinerja sistem dapat ditentukan oleh evaluasi sistem secara lengkap dalam berbagai kondisi, baik di laboratorium atau kondisi lapangan.

Menurut dokumen standar dari *the International Electrotechnical Commission - IEC 62253:2011 Photovoltaic pumping systems. Design qualification and performance measurements*, beberapa hal yang harus diamati untuk menilai kinerja sebuah sistem PATS adalah:

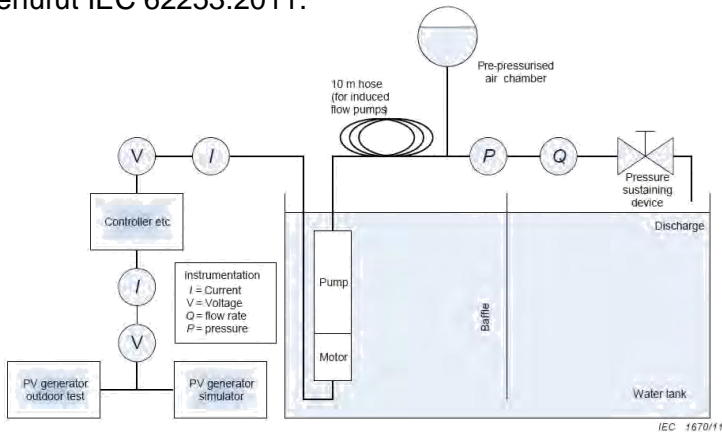
1. Kelistrikan

Pengamatan output *array* surya dengan pengukuran radiasi dan angin, dan pengamatan kabel (jenis, panjang, dan diameter), menggunakan alat ukur yang akurat.

2. Hidrolik

Mencakup pengamatan kondisi tangki air, pompa, tekanan transduser, kecepatan aliran air, dan arus listrik.

Gambar 57 memperlihatkan rangkaian pengujian sistem PATS menurut IEC 62253:2011.



Gambar 57. Contoh rangkaian pengujian PATS di laboratorium (Sumber : IEC 2011).

4.10. Wiring / Pengkawatan

Kabel Daya dan kabel beban, berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari Module ke battery dan dari battery ke beban. Berbagai kabel standar berpenghantar tembaga yang berisolasi dan berselubung dari PVC dapat digunakan untuk SHS, tetapi melihat faktor keamanan dan keselamatan dari sistem ini serta temperatur ruangan, BPP Teknologi menganjurkan untuk pemakaian jenis kabel Standar Nasional Indonesia yang disesuaikan dengan pemakaiannya seperti :

- Kabel termoplastik berselubung termoplastik (NYYHY) ukuran 2X2,5mm² untuk hubungan modul surya – BCU.
- Kabel termoplastik berselubung termoplastik (NYYHY) ukuran 2X1,5mm² untuk Instalasi rumah.
- Kabel rumah plastik berselubung termoplastik (NYM) ukuran 2X2,5mm² untuk hubungan Battery – BCU.



Gambar 58. Kabel NYYHY (sumber: <http://www.panelsurya.com>)

4.11. Kabel Instalasi

Kabel untuk menghubungkan komponen perangkat dalam implementasi pembangkit listrik tenaga surya sebaiknya memperhatikan spesifikasi perkabelan untuk mengurangi loss

(kehilangan) daya, pemanasan pada kabel, dan kerusakan pada perangkat. Untuk menghubungkan perangkat charge controller dan panel surya / solar cell perhatikan spesifikasi kabel, karena dalam dengan tegangan 12 Volt, spesifikasi kabel yang sesuai dapat mengurangi losses 3% ataupun mengurangi penurunan tegangan.

Kabel memiliki resistansi (ohm), semakin besar kabel, resistansi nya semakin kecil. Pada tegangan 12 Volt, pengurangan tegangan terjadi pada kabel yang panjang, sehingga mengurangi efisiensi dari instalasi pembangkit listrik tenaga surya kita. Untuk itu perhatikan tabel gauge kabelstandar Amerika (AWG) berikut ini:

Diameter kabel yang kecil memiliki nomor wire gauge yang besar. Tabel itu adalah untuk ukuran kabel tunggal. Salah satu contoh saja, kabel UTP cat 5 adalah 24 AWG.

Tabel 9. Gauge Kabel Standar Amerika

AWG	Diameter (mm)	Resistansi (Ohm/km)
0000 (4/0)	11.68	0.16
000 (3/0)	10.4	0.2
00 (2/0)	9.27	0.26
0 (1/0)	8.25	0.32
1	7.35	0.41
2	6.54	0.51
3	5.83	0.65
4	5.19	0.82
5	4.62	1.03
6	4.12	1.3
7	3.67	1.63

AWG	Diameter (mm)	Resistansi (Ohm/km)
8	3.26	2.06
9	2.91	2.6
10	2.59	3.28
11	2.31	4.13
12	2.05	5.21
13	1.83	6.57
14	1.63	8.29
15	1.45	10.45
16	1.29	13.17
17	1.15	16.61
18	1.02	20.95
19	0.91	26.42
20	0.81	33.31
21	0.72	42
22	0.64	52.96
23	0.57	66.79
24	0.51	84.22
25	0.46	106.2

(Sumber : //www.panelsurya.com)

Sebagai contoh, tiga panel surya / solar cell dengan masing-masing arus 6 ampere dihubungkan sepanjang 30 feet (1 feet adalah 30 cm) dari charge controller. Berarti ada 18 Ampere arus melalui kabel. Tabel di bawah ini adalah tabel arus (baris kolom) dan tabel gauge kabel (baris atas) yang disarankan. Untuk melihat kabel yang sesuai, pilih sesuai dengan jarak (lebih besar lebih baik) dan nomor AWG kecil.

Tabel 10. Arus dan Tabel gauge yang disarankan

	#12	#10	#8	#6	#4	#3	#2	#1	#1/0	#2/0
4	22.7	36.3	57.8	91.6	146	184	232	292	369	465
6	15.2	24.2	38.6	61.1	97.4	122	155	195	246	310
8	11.4	18.2	28.9	45.8	73.1	91.8	116	146	184	233
10	9.1	14.5	23.1	36.7	58.4	73.5	92.8	117	148	186
12	7.6	12.1	19.3	30.6	48.7	61.2	77.3	97.4	123	155
14	6.5	10.4	16.5	26.2	41.7	52.5	66.3	83.5	105	133
16	5.7	9.1	14.5	22.9	36.5	45.9	58	73	92	116
18	5.1	8.1	12.9	20.4	32.5	40.8	51.6	64.9	81.9	103
20	4.6	7.3	11.6	18.3	29.2	36.7	46.4	58.4	73.8	93.1
25	3.6	5.8	9.3	14.7	23.4	29.4	37.1	46.8	59.1	74.5
30	3.1	4.8	7.7	12.2	19.5	24.5	30.9	38.9	49.2	62.1
35	2.6	4.2	6.6	10.5	16.7	20.9	26.5	33.4	42.2	53.2
40	2.3	3.6	5.8	9.2	14.6	18.4	23.2	29.2	36.9	46.5

(sumber : <http://www.panelsurya.com>)

Sesuai dengan tabel diatas, kita akan menggunakan kabel AWG 4, untuk mencapai pengurangan tegangan kurang dari 3%. Tabel diatas adalah untuk 12 Volt, untuk 24 Volt, bagi jarak dengan 2, untuk 48 Volt, bagi jarak dengan angka 4.

Untuk menghubungkan charge controller dengan baterai, gunakan gauge kabel yang sama, dengan alasan, arus antara charge controller ke baterai, dan arus panel surya / solar cell ke charge controller, hampir sama.

Untuk baterai ke inverter, gunakan kabel yang sebesar mungkin ataupun hampir sama dengan kabel yang digunakan oleh aki mobil. Usahakan jarak antara inverter dan baterai tidak lebih dari 1.8 m. Pertimbangannya adalah

10 Amps AC pada 240 Volts, sama dengan 200 Amps pada 12 Volt DC baterai. Kabel yang tidak sesuai menyebabkan panas dan bisa menyebabkan kebakaran.

4.12. Analisis Kualitas Air

Air bermanfaat secara langsung untuk keperluan rumah tangga, industri dan perdagangan, pertanian, perikanan dan akuakultur, transportasi, pembangkit tenaga listrik, pariwisata, dan sebagainya. Sehingga perlu adanya kesadaran semua pihak bahwa sumberdaya air harus dilindungi agar tetap diperoleh manfaat optimum dari keberadaan sumberdaya air. Air merupakan kebutuhan utama bagi keberlangsungan proses kehidupan seluruh makhluk hidup di muka bumi, setelah oksigen. Perlindungan terhadap sumberdaya air dewasa ini masih belum layak untuk menghindari terjadinya kehancuran kehidupan secara total. Dari sifat air secara fisik-kimia sangat menakjubkan dan memiliki manfaat tidak terhingga dalam menunjang kelancaran pembangunan ekonomi.

Berdasarkan daur hidrologi, ketersediaan air permukaan dari waktu ke waktu relatif tetap. Namun pemakaian dan pemanfaatan dibatasi oleh keadaan dan sifat kualitasnya. Kebutuhan air pada saat ini dan masa mendatang akan terus meningkat sejalan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan.

Sementara ketersediaan air permukaan relatif tetap dan tersebar di banyak pulau. Sumberdaya air yang terpelihara menjadi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan pasokan air untuk berbagai sektor pembangunan dalam merangsang pertumbuhan ekonomi nasional dan peningkatan kesejahteraan penduduk. Pemenuhan kebutuhan air utama sangat diperlukan bagi sektor pertanian, industri dan rumah tangga.

Penggunaan air pada sektor pertanian yang mencapai 98% dari konsumsi air secara keseluruhan. Tetap terjaminnya kebutuhan air bagi sektor pertanian dapat menjamin keberlanjutan produksi pangan. Sedangkan kebutuhan air bagi sektor industri masih di bawah sektor pertanian, meskipun demikian kebutuhan air tersebut perlu diantisipasi untuk menghindari ambruknya kegiatan industri yang sangat bergantung pada ketersediaan sumberdaya air dan akhirnya menimbulkan dampak sosial.

Pemenuhan kebutuhan air untuk sektor rumah tangga sangat penting untuk menjaga produktivitas. Ketersediaan air bersih untuk pemenuhan kebutuhan rumah tangga sehari-hari masih sangat terbatas, terutama masyarakat golongan ekonomi lemah di perkotaan dan pedesaan. Masalah akses terhadap air yang aman dikonsumsi menjadi beban sehari-hari dan berkontribusi terhadap menurunnya kualitas hidup. Kondisi ini diperburuk lagi oleh kelangkaan air yang semakin mempersulit upaya untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air atau hanya mungkin dicapai dengan biaya tinggi.

Strategi pengelolaan sumberdaya air harus dilaksanakan lintas sektoral dan lintas wilayah dengan tetap memperhatikan fungsi ganda air, yaitu: fungsi ekonomi, ekologi dan sosial. Aspek kualitas air yang layak perlu diperhatikan agar dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih.

Potensi sumberdaya air di Indonesia khususnya propinsi Riau meliputi air permukaan (terutama sungai dan danau) dan air tanah. Sumberdaya air permukaan terutama sungai dan anak-anak sungai memiliki kualitas yang kurang baik, yang umumnya disebabkan oleh terjadinya pencemaran air sungai. Sementara air tanah memiliki kualitas yang lebih baik untuk kebutuhan air bersih, namun kuantitas airnya terbatas.

Daerah Propinsi Riau memiliki kategori Hidrologi air tanah

kemungkinan berasal dari Formasi Petani, sifat air tanahnya kurang baik sebagai air minum. Sedangkan hidrologi air tanah dangkal berasal dari Formasi Minas.

Mengingat kondisi batuan Formasi Minas yaitu memiliki permeabilitas dan porositas yang tinggi, maka Kota Pekanbaru memiliki potensi ketersediaan air tanah dangkal yang cukup banyak.

4.12.1. Sifat Air

Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lainnya, karakter tersebut antara lain:

- 1) Sifatnya cair pada suhu yang sesuai dengan kehidupan yaitu 00 C- 1000 C yang disebut sebagai rentang titik beku dan titik didih. Tanpa sifat tersebut, air yang terdapat pada jaringan tubuh makhluk hidup maupun yang terdapat pada air laut, sungai, danau dan badan air lainnya akan berada pada fasa gas atau padat, sehingga tidak akan terdapat kehidupan pada permukaan bumi ini.
- 2) Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik, sifat ini juga menyebabkan air sangat baik digunakan sebagai pendingin mesin
- 3) Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan (Evaporasi) yang memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar namun sebaliknya pada saat proses perubahan uap air menjadi cairan (Kondensasi) melepaskan energi panas dalam jumlah yang cukup besar. Sifat ini juga merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya penyebaran panas secara baik di bumi
- 4) Air merupakan pelarut yang baik. Air mampu melarutkan

berbagai jenis senyawa kimia. Air hujan mengandung senyawa kimia dalam jumlah yang sedikit, sedangkan air laut mengandung senyawa kimia yang lebih besar mencapai 35.000 mg/l (tebbut,1992). Sifat ini memungkinkan unsur hara terlarut diangkut keseluruhan jaringan tubuh makhluk hidup dan memungkinkan bahan-bahan toksik yang masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup dilarutkan kembali. Sifat ini juga memungkinkan air sebagai pencuci yang baik dan pengencer bahan pencemar (polutan) yang masuk ke badan air.

- 5) Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi yang menyebabkan air mempunyai sifat membasahi suatu bahan secara baik. Tegangan permukaan yang tinggi juga memungkinkan terjadinya sistem kapiler, yaitu kemampuan untuk bergerak dalam pipa kapiler (pipa dengan lubang yang kecil). Dengan adanya sistem kapiler dan sifat sebagai pelarut yang baik, air dapat membawa nutrient dari dalam tanah ke jaringan tumbuhan

(akar, batang, dan daun). Adanya tegangan permukaan juga memungkinkan beberapa organisme seperti jenis insecta dapat merayap dipermukaan air.

- 6) Air merupakan satu-satunya senyawa yang merenggang ketika membeku. Pada saat membeku, air merenggang hingga es memiliki nilai densitas yang lebih rendah daripada air, sehingga es dapat mengapung diatas permukaan air. Sifat ini mengakibatkan danau-danau didaerah yang beriklim subtropics hanya membeku pada bagian permukaan saja sedangkan pada bagian bawah permukaan masih dalam bentuk cairan, sehingga kehidupan akuatik tetap berlangsung. Sifat ini juga dapat menyebabkan pecahnya pipa air pada saat air didalam pipa membeku

4.12.2. Siklus Hidrologi

Air merupakan salah satu senyawa kimia yang terdapat di alam secara berlimpah. Namun, ketersediaan air yang memenuhi syarat bagi keperluan manusia relatif sedikit karena dibatasi oleh berbagai faktor. Lebih dari 97 % air di muka bumi ini merupakan air laut yang tidak dapat digunakan oleh manusia secara langsung, dari 3% air yang tersisa 2 % diantaranya tersimpan sebagai gunung es kutub dan uap air, yang juga tidak bisa dimanfaatkan secara langsung. Air yang benar-benar tersedia bagi keperluan manusia hanya 0,62 % meliputi air yang terdapat di danau, sungai dan air tanah (Mills 1996 dalam Effendi, 2003).

Air tawar yang tersedia selalu mengalami siklus hidrologi. Pergantian total (replacement) air sungai berlangsung sekitar 18-20 tahun, sedangkan pergantian uap air yang terdapat di atmosfer berlangsung sekitar 12 hari sedangkan pergantian air tanah dalam (deep groundwater) membutuhkan waktu ratusan tahun. Air tawar dapat dikonsumsi tersebar secara tidak merata karena adanya perbedaan curah hujan tahunan. Wilayah yang kaya akan air terdapat di daerah tropis dan daerah yang memiliki empat musim sedangkan di daerah yang kering termasuk daerah yang miskin air.

Siklus hidrologi air tergantung pada proses Evaporasi dan presipitasi. Air yang terdapat di permukaan bumi berubah menjadi uap air di lapisan atmosfer melalui proses penguapan (Evaporasi) air sungai, danau dan laut serta proses evapotranspirasi atau penguapan air oleh tanaman. Uap air bergerak ke atas hingga ke atas hingga membentuk awan yang dapat berpindah karena tiupan angin. Ruang udara yang mendapat akumulasi uap air secara terus-menerus akan menjadi jenuh. Oleh karena pengaruh udara dingin pada lapisan atmosfer, uap air tersebut mengalami sublimasi, sehingga butiran-butiran air yang membesar dan akhirnya jatuh sebagai hujan.

Zat yang bersifat higroskopis (menyerap air) dapat mempercepat integrasi pengikatan molekul uap air menjadi air. Sehingga pada pembuatan hujan buatan, dilakukan penambahan zat yang bersifat higroskopis terhadap awan (NaCl atau urea). Proses penguapan yang terjadi dilaut lebih banyak daripada proses penguapan yang terjadi diperairan daratan. Dilaut, proses Evaporasi juga melebihi proses presipitasi sehingga lautan merupakan sumber air utama bagi proses presipitasi. Sebaliknya, didaratan, sekitar 50 % air yang diperoleh melalui presipitasi akan mengalami Evaporasi dan sisanya tersimpan didanau, sungai, maupun sebagai air tanah.

Air yang jatuh sebagai hujan tidak semuanya dapat mencapai permukaan tanah, sebagian tertahan oleh vegetasi dan bangunan. Sebagian air yang mencapai permukaan tanah akan masuk kedalam tanah dan menjadi air

tanah melalui proses infiltrasi, sebagian lagi mengalir ke badan air sebagai air permukaan.

Kuantitas air yang mampu diserap oleh tanah sangat tergantung pada kondisi fisik tanah, misalnya bobot isi tanah, permeabilitas, infiltrasi (daya tanah meresapkan air), porositas dan struktur tanah. Sebelum mencapai jenuh, air masih dapat diserap oleh tanah. Jika telah melebihi kejenuhan, air hujan yang jatuh ke permukaan akan dialirkan sebagai limpasan permukaan

(surface run off) ke badan air, air yang masuk kedalam tanah akan mencapai akifer.

4.12.3. Badan air

1. Air Permukaan (surface water)

Air tawar berasal dari dua sumber yaitu air permukaan (surface water) dan air tanah (ground water). Air permukaan adalah air yang berada di sungai, waduk, danau, rawa dan badan air lain yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Areal tanah yang mengalirkan air ke badan air disebut sebagai drainage basins. Air yang mengalir dari daratan menuju suatu badan air disebut limpasan permukaan (surface run off) dan air yang mengalir disungai menuju laut disebut aliran air sungai (river run off). Sekitar 69% air yang masuk ke sungai berasal dari air hujan, pencairan es/ salju, dan sisanya berasal dari air tanah.

Air hujan yang jatuh ke bumi dan menjadi air permukaan memiliki kadar bahan terlarut atau unsur hara yang sangat sedikit. Air hujan biasanya bersifat asam, dengan pH sekitar 4,2. Hal ini disebabkan air hujan melarutkan gas-gas yang terdapat di atmosfer, misalnya gas karbondioksida (CO_2), sulfur dan nitrogen oksida yang dapat membentuk asam lemah. Setelah jatuh ke permukaan bumi, air hujan mengalami kontak dengan tanah dan melarutkan bahan-bahan yang terkandung di dalam tanah.

Perairan permukaan dibagi atas dua kelompok utama yaitu:

- a) Badan air tergenang (standing water) atau lentik
Perairan tergenang meliputi danau, kolam, waduk dan lainnya.
- b) Badan air mengalir (flowing water) atau lotik

Perairan mengalir salah satunya adalah sungai.

2. Air Tanah (ground water)

Air tanah (ground water) merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah, yang ditemukan pada akifer. Pergerakan air tanah sangat lambat berkisar 10^{-10} - 10^{-3} m/detik dan

dipengaruhi oleh porositas, permeabilitas dari lapisan tanah dan pengisian kembali air (recharge).

Karakteristik utama yang membedakan air tanah dengan air permukaan adalah pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal (residence time) yang sangat lama, dapat mencapai puluhan atau bahkan ratusan tahun.

Karena pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang lama tersebut maka air tanah akan sulit mengalami pemulihan jika telah mengalami pencemaran.

Daerah dibawah tanah yang terisi air disebut daerah saturasi. Pada daerah saturasi, setiap pori tanah dan batuan terisi oleh air yang merupakan air tanah. Batas atas daerah saturasi disebut sebagai watertable, yang merupakan peralihan antara daerah saturasi yang banyak mengandung air dan daerah belum saturasi/jenuh yang masih mampu menyerap air.

Kemampuan tanah dan batuan dalam menahan air tergantung pada sifat porositas dan permeabilitas tanah. Jenis tanah yang mempunyai kemampuan menahan nutrien dan infiltrasi air yang cukup baik adalah jenis tanah pekat / liat (clay) dan pasir (sand).

Lapisan tanah yang bersifat porous (mampu menahan air) dan mampu memindahkan air disebut akifer, yang terdiri dari akifer dangkal dan akifer dalam. Pada akifer dangkal, muka air tanah biasanya lebih dipengaruhi oleh curah hujan.

Pada dasarnya air tanah dapat berasal dari air hujan, baik melalui proses infiltrasi secara langsung ataupun secara tidak langsung dari air sungai, danau, rawa dan genangan air lainnya. Air yang terdapat dirawa-rawa (marshes) sering kali dikategorikan sebagai peralihan antara air tanah dan air permukaan. Daerah yang merupakan tempat masuknya air permukaan atau air hujan kedalam tanah untuk mengisi air tanah disebut recharge area, sedangkan tempat keluarnya disebut discharge area. Sungai, danau, rawa dan

genangan air lainnya dapat berperan sebagai recharge maupun discharge area. Ruang hijau dan terbuka yang ditumbuhi vegetasi berperan sebagai recharge area yang sangat baik karena dapat menahan laju limpasan air pada saat hujan, sehingga air memiliki waktu yang lebih lama untuk mengalami infiltrasi kedalam tanah.

Karakteristik kualitas air tanah sangat berbeda dengan kualitas air permukaan, pada saat infiltrasi kedalam tanah, air permukaan mengalami kontak dengan mineral-mineral yang terdapat didalam tanah dan melarutkannya, sehingga kualitas air mengalami perubahan karena terjadi reaksi kimia. Kadar oksigen dalam air yang masuk kedalam tanah menurun, digantikan oleh karbondioksida yang berasal dari aktivitas biologis, yaitu dekomposisi bahan organik yang terdapat dalam lapisan tanah (top soil).

Air tanah yang berasal dari lapisan deposit pasir memiliki kandungan karbondioksida tinggi dan kandungan bahan terlarut (total dissolved solid) yang rendah. Air tanah yang berasal dari lapisan deposit kapur (limestone) juga memiliki kadar karbondioksida rendah (karena CO₂ bereaksi dengan kapur), namun memiliki nilai TDS yang tinggi. Beberapa jenis air tanah dengan perbedaan kualitas air dapat ditemukan dalam tabel 6.

Berikut dapat dilihat kandungan ion yang terdapat pada air tanah:

Tabel 11. Beberapa Jenis Air Tanah dan Kandungan Ion-Ion utama

Parameter	Jenis Air Tanah				
	Magmatic Rock	Sandstone	Carbonate Rock	Gypsum	Rock Salt
Na ⁺ (mg/l)	5-15	3-30	2-100	10-40	Hingga 1000
K ⁺ (mg/l)	0,2-1,5	0,2-5	Hingga 1	5-10	Hingga 100
Ca ⁺ (mg/l)	4-30	5-40	40-90	Hingga 100	Hingga 1000
Mg ²⁺ (mg/l)	2-6	0-30	10-50	Hingga 70	Hingga 1000
Fe ²⁺ (mg/l)	Hingga 3	0,1-5	Hingga 0,1	Hingga 0,1	Hingga 2
Cl ⁻ (mg/l)	3-30	5-20	5-15	10-50	Hingga 1000

(Sumber : Rump and Krist,1992 dalam Effendi, 2003)

Dari tabel 11 dapat dilihat bahwa kualitas air tanah akan sangat dipengaruhi oleh ion yang juga mempengaruhi sifat fisika dan kimia air. Air tanah biasanya memiliki kandungan besi relatif tinggi. Jika air tanah mengalami kontak dengan udara dan mengalami oksidasi, ion ferri pada ferri hidroksida yang banyak terdapat dalam air tanah akan teroksidasi menjadi ion ferro, dan segera mengalami presipitasi (pengendapan) serta membentuk warna kemerahan pada air. Oleh karena itu, sebelum digunakan untuk berbagai peruntukan, sebaiknya air tanah tersebut didiamkan terlebih dahulu selama beberapa saat untuk mengendapkan besi, selain itu perlakuan ini juga bertujuan untuk menurunkan kadar karbondioksida dan menaikkan kadar oksigen terlarut.

Menurut Peraturan Pemerintah No.20 tahun 1990 kualitas air dikelompokkan menjadi beberapa golongan menurut peruntukannya, sebagai berikut :

- 1) Golongan A, yaitu golongan air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu
- 2) Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air

baku air minum

- 3) Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan
- 4) Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha dipertanian, industri, dan pembangkit listrik tenaga air

Kebutuhan pengolahan terhadap air dipengaruhi oleh golongan peruntukan sesuai dengan peraturan pemerintah diatas.

Teknik pengolahan air yang diperlukan dipengaruhi oleh jenis air (kategori golongan B atau C pada jenis air) yang terdapat pada suatu daerah tersebut.

Propinsi Riau memiliki lahan yang termasuk jenis lahan rawa-rawa yang cukup besar. Di kota Pekanbaru sendiri luas lahan rawa-rawa mencapai 4000 ha dari total luas kota pekan baru seperti yang terlihat pada tabel berikut :

Tabel 12. Data Jenis dan Luas Lahan Di Kota Pekanbaru (Lahan Bukan Pertanian)

NO	Jenis Lahan	Luah Lahan (ha)
1	RUMAH, HALAMAN BANGUNAN DAN	22.689,00
2	HUTAN NEGARA	1.000,00
3	RAWA – RAWA	4.127,00
4	LAINNYA (JALAN, SUNGAI, DANAU DLL)	5.387,00
	Jumlah	33.203,00

Sumber: Pekanbaru Dalam Angka, 2011

Dari Tabel 12 tersebut dapat kita lihat bahwa daerah yang merupakan lahan rawa yang terdapat dikota Pekanbaru mencapai 12 % dari luas lahan non pertanian. Lokasi kampus UIN Suska Riau termasuk salah satu bagian dari daerah yang memiliki karakter lahan rawa tersebut, sehingga kita dapat ketahui kualitas air tanah yang terdapat diUIN Suska Riau dipengaruhi oleh karakter air rawa (gambut).

Air gambut secara umum tidak memenuhi persyaratan kualitas air bersih yang disyaratkan oleh Departemen Kesehatan RI melalui PERMENKES No.416/MENKES /PER/IX/1990.

Untuk proses pengolahan pada air gambut, proses yang digunakan sangat tergantung pada kondisi kualitas air bakunya, serta tingkat kualitas air olahan yang diinginkan.

Tahapan proses pengolahan yang umum digunakan terdiri dari beberapa tahapan proses yakni proses netralisasi, oksidasi untuk menghilangkan zat besi atau mangan, proses koagulasi-flokulasi, proses pengendapan, proses penyaringan atau filtrasi serta proses disinfeksi untuk membunuh kuman yang ada di dalam air.

1. Proses Netralisasi

Netralisasi adalah salah satu upaya agar pH air menjadi normal. Netralisasi dalam mengolah air gambut adalah mengatur pH air gambut yang bersifat asam ($\text{pH} < 7$) menjadi netral ($\text{pH} 7-8$) dengan cara pembubuhan alkali. Cara yang paling mudah dan murah adalah dengan membubuhkan CaO (kapur tohor) atau CaCO_3 (batu gamping).

Tujuan proses netralisasi adalah untuk membantu efektivitas proses selanjutnya, antara lain:

- Pada proses Oksidasi dengan udara, pengurangan Fe dan Mn akan sangat efektif pada $\text{pH} 7 - 8$.

- Pada proses oksidasi dengan chlorine reaksi efektif pada pH 7–8,5 (80%), sedangkan pada pH <6 dan >8,5 hanya bereaksi < 40%.
- Pada proses koagulasi dengan menggunakan alum akan efektif pada pH \geq
- Pengendapan semua logam akan terjadi pada pH \geq 8,3; Fe pada pH 8 – 9 dan Mn pada pH 11.

Zat alkali dipakai untuk mengolah air dengan tujuan mengatur pH agar pH air menjadi netral agar proses flokulasi dan koagulasi dapat berjalan baik dan efektif. Zat-zat alkali yang sering digunakan adalah batu kapur (slake lime), soda abu, Na (HCO₃). Batu kapur (slake lime) banyak digunakan karena harganya murah dan hasilnya baik. Tetapi mempunyai beberapa kekurangan yaitu kelarutan kecil dan dapat memperbesar kesadahan.

2. Proses Oksidasi dengan Aerasi

Proses aerasi yaitu proses melarutkan udara khususnya oksigen (O₂) ke dalam air baku. Proses oksidasi ini secara luas telah digunakan untuk pengolahan air dengan kandungan zat besi (Fe) dan mangan (Mn) yang tinggi. Zat tersebut memberikan rasa pahit pada air, memberikan warna hitam pada beras yang dimasak dan memberikan noda hitam dan kecoklatan pada pakaian.

Tujuan dari proses aerasi adalah untuk oksidasi zat besi (Fe) dan mangan (Mn) yang terdapat dalam air baku dan selanjutnya membentuk senyawa besi dan mangan yang dapat diendapkan. Disamping itu proses aerasi juga berfungsi untuk menghilangkan gas-gas beracun yang tidak diinginkan seperti gas H₂S, Methan, CO₂, dan berbagai senyawa-senyawa organik yang bersifat volatil (mudah menguap) serta gas-gas beracun lainnya. Oksidasi mangan dengan oksigen dari udara tidak seefektif besi, tetapi jika kadar mangan tidak

terlalu tinggi maka sebagian mangan dapat juga teroksidasi dan terendapkan.

3. Proses Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses pengumpulan partikel-partikel halus yang tidak dapat diendapkan secara gravitasi. Sehingga agar dapat menjadi partikel yang lebih besar dan diendapkan secara gravitasi perlu dilakukan penambahan bahan koagulan kedalam air baku.

Proses koagulasi dibagi menjadi dua tahap, yang pertama yaitu koagulasi partikel kotoran menjadi flok-flok yang masih halus dengan cara pengadukan cepat segera setelah koagulan dibubuhkan. Tahap ini disebut proses pencampuran cepat dan proses dilakukan pada bak pencampur cepat. Tahap selanjutnya yaitu proses pertumbuhan flok agar menjadi cepat dan stabil dengan cara pengadukan lambat pada bak flokulator. Proses tersebut dinamakan flokulasi. Dengan demikian untuk proses koagulasi diperlukan dua bak yaitu bak pencampur cepat dan bak pengadukan lambat.

4. Proses Pengendapan atau Sedimentasi

Proses sedimentasi merupakan proses pengendapan dimana masing-masing partikel tidak mengalami perubahan bentuk ukuran maupun kerapatan selama proses pengendapan berlangsung. Partikel-partikel padat akan mengendap apabila gaya gravitasi lebih besar dari kekentalan dan gaya inersia dalam cairan. Proses sedimentasi itu sendiri dibagi menjadi dua, yaitu:

- Sedimentasi secara alamiah, yaitu partikel padat tersuspensi mengendap karena gaya beratnya sendiri, tanpa tambahan bahan kimia (partikel-partikel kotoran dalam air baku yang berdiameter 0.01 milimeter).
- Sedimentasi non alamiah, yaitu partikel padat yang tersuspensi mengendap karena ada penambahan

bahan lain partikel yang sangat halus dengan ukuran lebih kecil dari 0.01 milimeter sehingga partikel dapat bergabung menjadi lebih besar, berat dan stabil sehingga daya endap akibat gaya gravitasinya juga menjadi lebih besar.

5. Proses Filtrasi atau Penyaringan

Merupakan proses penyaringan untuk menghilangkan zat padat tersuspensi dalam air melalui media berpori. Zat padat tersuspensi dihilangkan pada waktu air melalui lapisan media filter. Pada waktu air melalui lapisan filter, zat padat terlarut bersentuhan dan melekat pada butiran gumpalan partikel atau flok yang terjadi tidak semuanya dapat mengendap. Flok-flok yang masih relatif kecil dan halus masih melayang-layang dalam air. Oleh karena itu, untuk mendapatkan air yang betul-betul jernih harus dilakukan penyaringan atau filtrasi. Filtrasi dilakukan dengan media penyaring yang terdiri dari kerikil, pasir dan arang aktif.

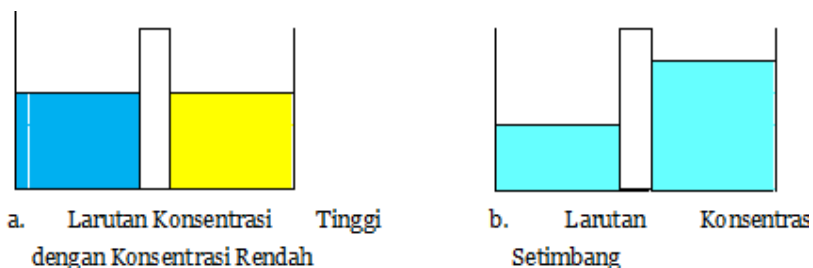
Pengolahan terhadap air baku jika diperuntukan sebagai air minum memerlukan tahap yang lebih lanjut. Salah satu teknologi yang saat ini juga banyak dikembangkan adalah dengan teknik pemisahan menggunakan membran reverse osmosis.

4.13. Reverse Osmosis

Osmosis adalah suatu proses perpindahan larutan karena perbedaan konsentrasi. Larutan dengan konsentrasi lebih rendah akan bergerak menuju larutan dengan konsentrasi lebih tinggi sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Perpindahan larutan terjadi melalui membran semipermeabel.

Membran semipermeabel harus dapat ditembus oleh pelarut, tapi tidak oleh zat terlarut seperti ion (contohnya Na^+ , Ca^{2+} , Cl) atau molekul yang lebih besar seperti (glukosa, urea, bakteri),

yang mengakibatkan gradien tekanan sepanjang membran.



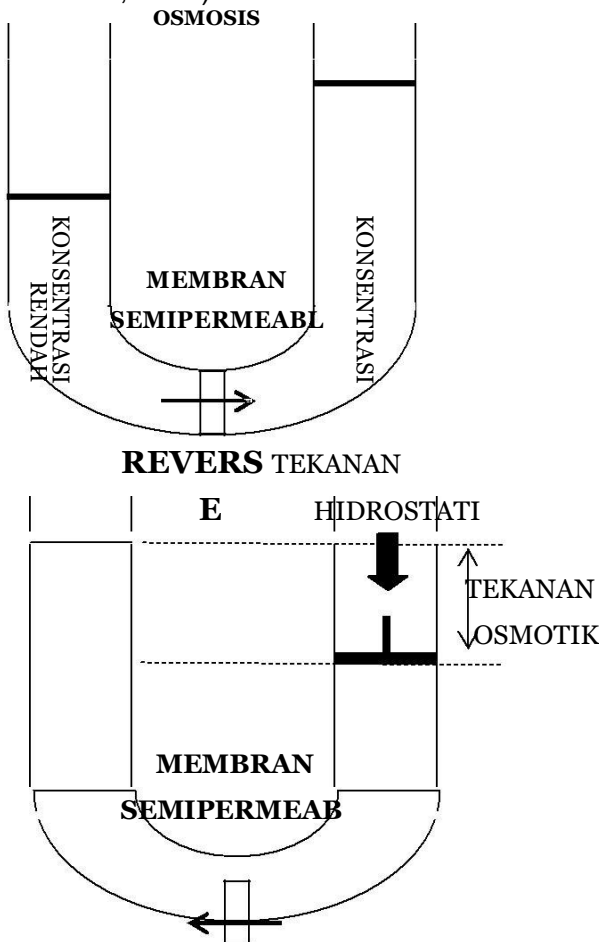
Gambar 59. Proses Osmosis

Osmosis merupakan suatu fenomena alami, tetapi aliran larutan dapat diperlambat, dihentikan, dan bahkan dapat dibalikkan (hal ini dikenal dengan istilah “Reverse Osmosis”). Hal ini dilakukan dengan meningkatkan tekanan pada bagian dengan konsentrasi tinggi menjadi melebihi bagian dengan konsentrasi yang lebih rendah. Gaya per unit luas yang dibutuhkan untuk mencegah mengalirnya pelarut melalui membran semipermeabel selektif dan masuk ke larutan dengan konsentrasi yang lebih pekat sebanding dengan tekanan osmotik.

4.13.1. Definisi dan Prinsip Operasi

Reverse osmosis terjadi saat larutan mengalir melalui membran semipermeabel dengan arah aliran berlawanan gradien konsentrasi, dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi lebih tinggi. Untuk mengilustrasikan peristiwa ini, bayangkan sebuah membran semipermeabel dengan air di satu sisi dan larutan dengan konsentrasi tinggi di sisi lain. Apabila terjadi peristiwa osmosis normal, air akan melewati membran menuju larutan dengan konsentrasi tinggi. Pada peristiwa reverse osmosis, pada sisi larutan dengan konsentrasi tinggi diberikan tekanan untuk mendorong molekul air melewati membran menuju sisi larutan air.

Tekanan yang diberikan dalam proses ini dinamakan “tekanan hidrostatis”. Air produk akan berada pada tekanan atmosfer sedangkan buangan atau larutan dengan konsentrasi pekat memiliki tekanan yang sama dengan tekanan sebelumnya. Perbedaan tekanan antara kedua larutan ini disebut “tekanan osmotik”. Tekanan osmotik merupakan fungsi dari konsentrasi zat terlarut, temperatur, dan karakteristik zat terlarut (Shun Dar Lin, 2001).



Gambar 60. Proses Osmosis dan Reserve Osmosis

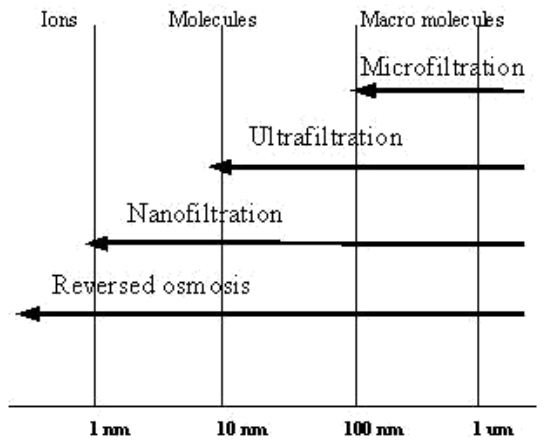
4.13.2. Membran

Membran merupakan bagian terpenting dalam reverse osmosis. Membran berfungsi sebagai suatu penghalang tipis yang sangat selektif antara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain di suatu aliran fluida yang dialirkan melalui membran (Mulder, 1996).

Membran dapat digolongkan dalam dua bagian yaitu mikro dan ultra filtrasi serta nano filtrasi dan reverse osmosis. Membran micro dan ultra filtrasi digunakan untuk menyisihkan partikel dengan ukuran lebih besar. Karena pori membran ini besar saat tekanan dan temperature rendah. Nano filtrasi dan reverse osmosis dapat digunakan untuk menyisihkan garam dari air. Nano filtrasi dan reverse osmosis bekerja tidak berdasarkan besarnya pori.

Pemisahan terjadi dengan proses difusi ataupun osmosis pada dinding. Nano filtrasi dan reverse osmosis membutuhkan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan mikro dan ultra filtrasi, sedangkan produktifitas nano filtrasi dan reverse osmosis lebih rendah dibandingkan produktifitas nano dan mikro filtrasi.

Membran reverse osmosis dapat menyisihkan zat terlarut dari ukuran 1 μm sampai 1 nm. Ukuran penyisihan zat terlarut untuk setiap jenis membran adalah sebagai berikut:

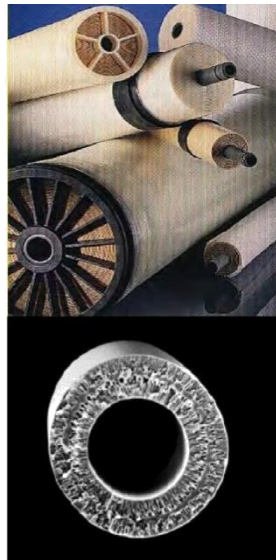
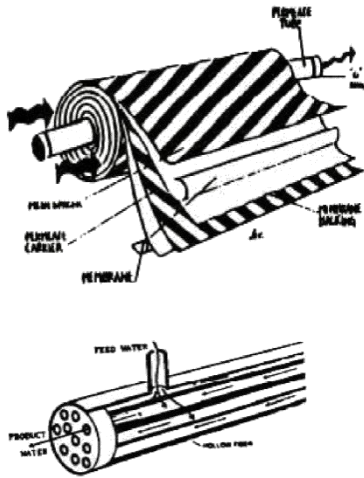


Gambar 61. Ukuran penyisihan substansi untuk setiap jenis membran

Pada umumnya membran reverse osmosis yang komersial terbuat dari cellulose acetate, polysulfonate, dan polyamide. Selain itu juga ada membran reverse osmosis yang terbuat dari single polymer atau copolymer. Dua tipe membrane reverse osmosis yang umum digunakan adalah spiral wound dan hollow fiber

4.13.3. Aplikasi

Reverse osmosis telah dikenal lebih dari 100 tahun, tetapi baru komersial pada tahun 60an saat membran dikembangkan. Reverse osmosis banyak diaplikasikan karena terjadi pada temperature rendah energi yang relatif efisien. Proses yang menerapkan reverse osmosis adalah desalinasi, pengolahan air limbah, pemurnian air minum, dan industri makanan. Di bawah ini akan diterangkan secara ringkas aplikasi reverse osmosis pada pemurnian air minum.



(a)
a. Spiral Wound

(b)
b. Hollow Fiber

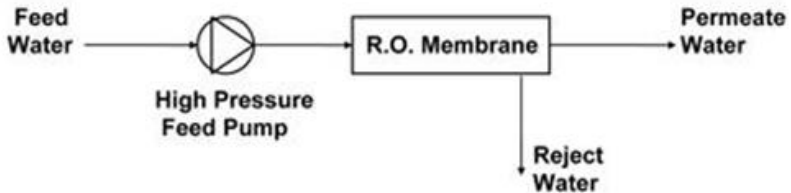
Gambar 62. Tipe Membran

4.13.4. Pemurnian Air Minum

Reverse osmosis digunakan untuk memurnikan air dan menyisihkan garam dan zat terlarut lainnya untuk memulihkan warna, rasa dan kualitas air lainnya. Penggunaan yang paling umum untuk reverse osmosis adalah untuk pemurnian air, digunakan untuk menghasilkan air yang memiliki kualitas terbaik.

Pada proses pemurnian air minum, reverse osmosis dapat menyisihkan zat organik dan 90-99% ion-ion lain. Reverse osmosis juga dapat menyisihkan 99,9% virus, bakteri dan pirogen. Selain itu reverse osmosis dapat menyisihkan garam, gula, protein, partikel, pewarna dan konstituen lain

dengan berat molekul lebih besar dari 150 – 350 dalton. Apabila dibandingkan dengan distilasi dan pertukaran ion, maka membran reverse osmosis lebih hemat energi dan lebih efisien karena tidak ada energi yang dibutuhkan untuk perubahan fase.



Gambar 63. Skema Proses Reverse Osmosis

Secara umum dikenal tiga jenis larutan dalam pemurnian air minum dengan reverse osmosis, yaitu "air umpan", "air produk", dan "konsentrat". Air umpan memiliki konsentrasi zat terlarut yang lebih rendah dibanding larutan yang akan dimurnikan. Air produk merupakan hasil dari proses pemurnian, sedangkan konsentrat adalah buangan berupa larutan dengan konsentrasi tinggi. Skema proses reverse osmosis pada proses pengolahan air dapat dilihat pada gambar berikut :

Perbandingan jumlah zat terlarut dalam air produk terhadap air umpan memiliki persentase yang mendekati konstan. Contohnya, apabila air umpan mengandung zat terlarut sebesar 300 ppm, maka air produk yang dihasilkan mengandung zat terlarut sebesar 15 sampai 30 ppm (penyisihan zat terlarut masing-masing adalah 95 % dan 90%).

Desain sistem reverse osmosis tergantung dari kandungan zat terlarut pada air umpan, persentase zat terlarut yang

dibuang, dan persentase persentase zat terlarut di konsentrat yang diinginkan. Semakin tinggi persentase zat terlarut dalam produk dan semakin rendah persentase zat terlarut dalam konsentrat, maka semakin rendah kualitas air produk. Air baku yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis air tanah (ground water) yang terletak pada lokasi tanah yang didominasi gambut, sehingga kualitas air tanah yang dihasilkan masih memiliki kandungan mineral besi magnesium yang secara fisik mempengaruhi warna air yang dihasilkan (merah kecoklatan) akibat adanya reaksi oksigenasi. Jika hanya digunakan untuk kebutuhan domestik saat aktifitas belajar mengajar berlangsung maka secara umum tidak memerlukan pengolahan yang lebih rumit, bisa langsung digunakan, namun akan menimbulkan sisa warna kecoklatan pada wadah penampungan air yang digunakan.

4.14. Tata Cara Pengelolaan Air Tanah

Tata cara pengelolaan air tanah merupakan rangkaian ketentuan yang perlu ditaati agar hasil pengelolaan tersebut dapat bermanfaat bagi kesejahteraan bersama. Tata cara tersebut dapat dilihat pada Gambar 64.

Pengaturan pengelolaan air tanah bertujuan untuk mewujudkan keseimbangan antara upaya konservasi dan pendayagunaan air tanah.



Gambar 64. Diagram alir tahap kegiatan pengelolaan Air Tanah

Pelaksanaan kegiatan tersebut secara teknis perlu disesuaikan dengan perilaku air tanah, meliputi keterdapatan, penyebaran, potensi mencakup kuantitas dan kualitas air tanah serta kondisi lingkungan air tanah. Akan tetapi, karena air tanah terletak di dalam batuan, maka pembentukannya sudah barang tentu berkaitan erat dengan proses geologi, sehingga dalam pengaturan pengelolaannya perlu memperhatikan kaidah-kaidah geologi dan hidrogeologi. Pengaturan pengelolaan air tanah mencakup pengaturan perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan evaluasi terhadap penyelenggaraan konservasi air tanah, pendayagunaan air tanah, dan pengendalian daya rusak air tanah seperti terlihat pada Gambar 59.

4.14 1. Perencanaan

Perencanaan pengelolaan air tanah yang baik adalah perencanaan yang lentur, bisa berubah sesuai dengan perubahan di masa depan. Kondisi hidrologi di masa depan tidak pasti, keadaan ekonomi, sosial dan hukum yang sah akan terus berubah. Kelenturan dari perencanaan dan

penyesuaian hasil dari pengawasan adalah kunci dari suksesnya perencanaan pengelolaan.

Perencanaan pengelolaan yang dipilih harus bisa diterima pelaksanaannya oleh semua pihak. Analisis final untuk perencanaan tersebut dapat mencakup kendala di bidang ekonomi, sosial, kelembagaan, dan hukum. Oleh karena itu implementasi dari perencanaan pengelolaan air tanah harus dapat mencakup hubungan antar bidang-bidang yang bersangkutan.

Dalam melakukan perencanaan pengelolaan air tanah, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Pertimbangan ekonomi

Rencana-rencana alternatif muncul dengan perbandingan perbedaan biaya, keuntungan dan penyelesaian, sehingga dipilihlah satu rencana yang terbaik.

Seorang perencana harus dapat mengestimasi keseluruhan dari biaya total dan keuntungan total yang didapat, sehingga seorang insinyur, ahli ekonomi, dan ahli ekologi harus dapat bekerjasama dengan baik.

Semua keuntungan dan biaya dari setiap rencana tergantung dari dasar ekonomi, politik, hukum, kelembagaan, dan lingkungan. Biaya rencana yang dipilih dapat dikalkulasi dengan mengurangi biaya yang paling ekonomis dengan biaya rencana dengan pertimbangan non ekonomi.

Tiap bagian dari perencanaan harus dapat dipertimbangkan secara individual dan kombinasi supaya potensi dari pembangunan dalam rangka pengelolaan air tanah dapat berkembang secara penuh dan rencana pengelolaan air tanah dapat diaplikasikan secara maksimal.

2. Pertimbangan sosial dan kelembagaan

Dalam memilih rencana pengelolaan, seorang manajer tidak hanya mempertimbangkan rencana yang paling ekonomis saja, tetapi harus mempertimbangkan aspek dan struktur sosial dari air tanah. Teknik yang paling mudah adalah dengan membentuk dewan penasehat di bidang sosial yang mewakili aspirasi para pengguna air tanah, sehingga dapat meminimalkan konflik sosial dalam tahap perencanaan air tanah.

3. Pertimbangan hukum

Perlu adanya keputusan hukum mengenai hak atas air, hal ini dapat dilakukan sebelum, pada saat, dan sesudah investigasi pengelolaan air tanah. Biasanya banyak terdapat batasan pada pelaksanaan perencanaan pengelolaan air tanah. Biasanya hak atas air tanah sudah diatur dalam alokasi biaya operasi. Di Indonesia perencanaan pengelolaan air tanah seyogyanya dapat disusun secara terkoordinasi dengan rencana pengelolaan sumber daya air. Kegiatan perencanaan menurut PP No. 43/2008 dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 65. Kegiatan perencanaan pengelolaan air tanah

4. Inventarisasi Air Tanah

Inventarisasi air tanah merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi air tanah sebagai dasar perencanaan pengelolaan air tanah, yang dilakukan pada setiap cekungan air tanah.

Kegiatan inventarisasi sumber daya air dimaksudkan antara lain untuk mengetahui kondisi hidrologi, hidrometeorologi, hidrogeologi, potensi sumber daya air yang tersedia, dan kebutuhan air baik menyangkut kuantitas maupun kualitas beserta prasarana dan sarana serta lingkungannya termasuk kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakatnya.

Inventarisasi pada seluruh aspek air tanah yang ada bertujuan untuk mengetahui potensi ketersediaannya, melalui kegiatan pemetaan, penyelidikan, penelitian, eksplorasi dan evaluasi, dan pengelolaan data air tanah. Inventarisasi potensi air tanah merupakan fungsi paling menentukan dalam pendayagunaan air tanah yang berwawasan lingkungan.

Kegiatan inventarisasi dilakukan melalui pengumpulan dan pengolahan data untuk memperoleh informasi tentang:

- a. Sebaran dan potensi cekungan air tanah.
- b. Dimensi dan geometri akuifer.
- c. Parameter akuifer.
- d. Daerah imbuhan dan daerah luhan air tanah.
- e. Keterdapatan dan jumlah ketersediaan air tanah.
- f. Mutu air tanah.
- g. Jumlah pengambilan air tanah.

Kegiatan inventarisasi dapat dirinci sebagai berikut (PP No. 43/2008 Pasal 21 Ayat (4)):

- Pemetaan

Pemetaan air tanah dilakukan untuk memperoleh data keterdapatan, sebaran, dan produktivitas akuifer, serta kondisi keberadaan air tanah dengan tema tertentu yang disajikan dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah provinsi, atau pemerintah kabupaten/kota, serta pihak yang berkepentingan dengan air tanah.

- Penyelidikan

Penyelidikan dan penelitian air tanah dilakukan untuk memperoleh data spesifik kondisi dan lingkungan air tanah meliputi konfigurasi dan parameter

akuifer, sebaran daerah imbuhan dan luhan air tanah, kuantitas dan kualitas air tanah, serta dampak pengambilan air tanah. Penyelidikan dan penelitian air tanah dapat dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah provinsi, dan pemerintah kabupaten/kota, serta pihak yang berkepentingan dengan air tanah.

- Penelitian

Eksplorasi air tanah dilakukan untuk memperoleh data air tanah melalui kegiatan pengeboran atau penggalian eksplorasi air tanah, dan survei geofisika. Kegiatan eksplorasi air tanah wajib dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah provinsi, dan pemerintah kabupaten/ kota, serta pihak yang berkepentingan dengan air tanah.

- Eksplorasi

Eksplorasi air tanah bertujuan untuk memperoleh data air tanah mencakup antara lain sebaran dan sifat fisik batuan yang mengandung air tanah, kedalaman akuifer, konstruksi sumur, debit optimum, kualitas air tanah, dan lain-lain, melalui kegiatan survei geofisika, pengeboran, penampangan sumur, uji pemompaan, dan pemeriksaan laboratorium contoh air.

Eksplorasi air tanah dilakukan melalui kegiatan pengeboran atau penggalian eksplorasi air tanah dan survei geofisika. Kegiatan eksplorasi air tanah wajib dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah provinsi, dan pemerintah kabupaten/ kota, serta pihak yang berkepentingan dengan air tanah.

- Evaluasi Data

Evaluasi data air tanah bertujuan untuk mengetahui sebaran, kuantitas, dan kualitas air tanah. Hasil kegiatan evaluasi data inventarisasi air tanah berupa informasi dimensi cekungan air tanah, konfigurasi dan parameter akuifer, serta potensi air tanah. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan air tanah, serta pelaksanaan konservasi dan pendayagunaan air tanah. Kegiatan evaluasi data inventarisasi air tanah dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah provinsi, pemerintah kabupaten/kota, dan semua pihak yang berkepentingan dengan air tanah.

Wewenang mengenai kegiatan inventarisasi berada di

tangan Pemerintah dalam hal ini Menteri, gubernur, dan bupati/walikota, dan dalam pelaksanaannya dapat menugaskan pihak lain baik instansi, lembaga pemerintah maupun swasta seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), perguruan tinggi, dan badan usaha yang mempunyai kompetensi di bidang air tanah. Ketentuan lebih lanjut mengenai kegiatan inventarisasi diatur dengan peraturan Menteri.

Hierarki pelaporan hasil kegiatan inventarisasi yaitu (PP No. 43/2008, Pasal 23):

1. Hasil kegiatan inventarisasi tingkat kabupaten/kota yang dilakukan oleh bupati/walikota dilaporkan kepada gubernur.
2. Hasil kegiatan inventarisasi yang dilakukan oleh gubernur kemudian dilaporkan kepada Menteri.
3. Seluruh hasil kegiatan inventarisasi tersebut merupakan milik negara.

Data dan informasi hasil kegiatan inventarisasi digunakan sebagai bahan penyusunan zona konservasi air tanah.

- Sebaran Cekungan Air tanah

Sebaran cekungan air tanah ditentukan oleh batas lateral cekungan air tanah berikut tipenya dan batas vertikal cekungan air tanah yang meliputi batas bagian atas dan bagian bawah.

Mengingat teknis pengelolaan air tanah didasarkan pada cekungan air tanah, maka penentuan batas cekungan ini menjadi penting karena terkait dengan batas kewenangan pengelolaan oleh daerah. Dengan tidak berimpitnya batas cekungan air tanah dengan batas administrasi, maka konsekuensinya akan terdapat areal cakupan cekungan air tanah:

1. Cekungan dalam satu kabupaten/kota.
2. Cekungan lintas kabupaten/kota.

3. Cekungan lintas provinsi.
4. Cekungan lintas negara.

- Dimensi dan Geometri Akuifer

Informasi yang diperoleh dapat dibedakan antara konfigurasi sistem akuifer dan parameter akuifer. Pengkajian konfigurasi sistem akuifer dimaksudkan untuk mengetahui sebaran baik lateral maupun vertikal serta dimensi akuifer dan non akuifer yang merupakan suatu wadah atau media di mana air tanah tersimpan dan mengalir.

Pengkajian ini meliputi:

1. Penentuan sebaran lateral akuifer dan non-akuifer

Sebaran lateral akuifer dan non akuifer dalam suatu cekungan air tanah ditentukan berdasarkan kemampuan meluluskan air dari batuan/ formasi batuan yang membentuk cekungan tersebut mengkonversikan satuan batuan atau formasi batuan menjadi satuan-satuan hidrogeologi berdasarkan kemampuan meluluskan air, apakah termasuk akuifer atau non-akuifer.

2. Penentuan sebaran vertikal sistem akuifer dan non-akuifer

Sebaran vertikal dari unit hidrogeologi ditentukan dengan pendekatan sistem, artinya beberapa akuifer atau non-akuifer yang mempunyai karakteristik hidraulika yang relatif sama, misal kedudukan muka air tanahnya, dikelompokkan menjadi satu sistem (akuifer atau non-akuifer).

Data yang digunakan meliputi data hidrogeologi bawah permukaan yang diperoleh dari hasil analisis geofisika dan hasil kegiatan pengeboran sumur eksplorasi, sumur eksploitasi, serta sumur pantau.

Penentuan sebaran vertikal dilakukan dengan cara :

- a. Membuat penampang hidrogeologi;
- b. Menentukan kedalaman bagian atas sistem akuifer;
- c. Menentukan kedalaman bagian bawah sistem akuifer.

3. Penentuan model konseptual sistem akuifer

Hasil pengkajian pada butir 1 dan 2 di atas, dipakai dasar untuk menentukan model konseptual sistem akuifer dari cekungan air tanah yang dikaji, dengan tujuan antara lain untuk memudahkan di dalam penghitungan neraca air pada cekungan air tanah tersebut.

Daerah Imbuhan dan Daerah Luahan/Lepasan Air Tanah

Penentuan daerah imbuhan dan daerah lepasan bukanlah hal yang mudah mengingat ketersediaan data di suatu cekungan berbeda-beda, terutama ketersediaan data muka freatik dan muka piezometrik yang dipakai dasar untuk penentuan batas kedua daerah tersebut.

1. Di suatu cekungan air tanah di mana data muka freatik dan muka piezometri tersedia memadai, penentuan batas antara daerah imbuhan dan daerah lepasan diperoleh dengan cara menumpang-tindih (overlay) antara peta muka freatik dan peta muka piezometrik. Garis perpotongan antara muka freatik dan muka piezometrik adalah garis engsel, yang merupakan batas antara daerah imbuhan dan daerah lepasan.
2. Di suatu cekungan air tanah di mana data muka freatik dan muka piezometrik tidak tersedia secara memadai, penentuan batas antara daerah imbuhan dan daerah lepasan dilakukan dengan cara pendekatan yang mengacu kepada konsepsi-konsepsi hidrogeologi yang berlaku.

Jumlah Ketersediaan Air Tanah

Pengkajian jumlah air tanah dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara perubahan air tanah yang masuk maupun ke luar dari suatu wadah di dalam cekungan (intra basin) maupun antar cekungan (inter basin) dalam batasan waktu tertentu (neraca air). Pengkajian jumlah air tanah melalui penghitungan parameter-parameter jumlah sebagai berikut:

1. Imbuhan Air Tanah

Perhitungan imbuhan air tanah untuk mengetahui perkiraan secara kuantitatif tentang jumlah imbuhan ke dalam suatu akuifer di suatu cekungan. Perkiraan secara kuantitatif ini sering menemui kesulitan sehubungan dengan faktor-faktor yang terkait seperti hidrometeorologi dan sifat fisik tanah serta karakteristik hidrauliknya.

Penilaian jumlah imbuhan air tanah dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain persentasi curah hujan, neraca massa klorida, dan hidrograf sumur.

2. Neraca Air

Pengkajian tentang neraca air pada suatu cekungan air tanah dilakukan untuk menentukan angka besaran beberapa komponen daur hidrologi, artinya melakukan evaluasi terhadap jumlah masukan dan keluaran air di cekungan tersebut. Dalam kondisi di mana jumlah masukan sama besarnya dengan jumlah keluaran, maka neraca air dalam keadaan seimbang walaupun daya simpan air juga perlu diperhitungkan.

Mutu Air Tanah

Mutu air tanah dinyatakan menurut sifat fisik, kandungan

unsur kimia, maupun kandungan bakteriologi yang terkandung di dalamnya. Data yang digunakan untuk menentukan mutu air tanah bersumber dari hasil pengamatan dan pengukuran lapangan dan analisis laboratorium dari beberapa contoh air yang mewakili

Jumlah Pengambilan Air Tanah

Dengan pembatasan debit pengambilan air tanah maka penurunan muka air akan dapat dibatasi pada kedudukan yang aman. Aman di sini dalam arti mencegah terjadinya kondisi air tanah menjadi rawan, kritis dan rusak, sehingga pengambilan air tanah harus disesuaikan dengan jumlah imbuhan dan cadangan air tanah yang tersedia. Kondisi hidrogeologi suatu daerah, sangat menentukan cadangan dan mutu air tanah, sehingga batas aman dari jumlah pengambilan air tanah, sangat berbeda dari suatu daerah ke daerah yang lain, tergantung dari kondisi hidrogeologinya. Namun secara kasar dapat dikatakan, jumlah pengambilan air tanah hendaknya tidak melebihi jumlah imbuhan air tanah.

Penentuan Zona Konservasi Air Tanah

Penentuan zona konservasi air tanah dilaksanakan untuk mengetahui tingkat perubahan kondisi dan lingkungan air tanah yang disebabkan oleh proses alami dan atau akibat kegiatan manusia. Pelaksanaan kegiatan penentuan zona konservasi dilakukan untuk menentukan upaya konservasi air tanah dalam kegiatan pendayagunaan air tanah. Penentuan zona konservasi air tanah merupakan salah satu unsur untuk menyusun rencana pengambilan, penyediaan, pemanfaatan, pengembangan, pengusahaan air tanah, dan rencana tata ruang wilayah pada suatu cekungan air tanah.

Zona konservasi air tanah ditentukan berdasarkan faktor-faktor berikut:

1. keterdapatan dan potensi ketersediaan air tanah;

2. perubahan muka air tanah;
3. perubahan kualitas air tanah;
4. perubahan lingkungan air tanah;
5. ketersediaan sumber air lain di luar air tanah;
6. prioritas pemanfaatan air tanah;
7. kepentingan masyarakat dan pembangunan.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut zona konservasi air tanah suatu daerah dibedakan dalam katagori aman, rawan, kritis dan rusak, yang kemudian disajikan dalam bentuk peta. Selain itu di dalamnya juga memuat informasi mengenai hidrogeologi dan potensi air tanah. Ketentuan lebih lanjut mengenai klasifikasi zona konservasi air tanah diatur dengan peraturan Menteri (PP No. 43/2008 Pasal 24).

Kewenangan penetapan zona konservasi air tanah berada di tangan pemerintah yaitu Menteri, gubernur, atau bupati/walikota, setelah dilakukan konsultasi publik (PP No. 43/2008 Pasal 24, Ayat (2)).

Zona konservasi air tanah dapat ditinjau kembali apabila terjadi perubahan kuantitas, kualitas, dan lingkungan air tanah (PP No. 43/2008 Pasal 24, Ayat (5)).

Penyusunan Rancangan dan Penetapan Rencana Pengelolaan Air Tanah

Rencana pengelolaan air tanah disusun berdasarkan pada kebijakan air tanah dan strategi pengelolaan air tanah. Sebelum membuat rencana pengelolaan air tanah, maka disusun rancangan rencana pengelolaan air tanah terlebih dahulu.

Rancangan rencana pengelolaan air tanah terdiri dari rencana jangka panjang, jangka menengah, dan jangka pendek dengan rincian sebagai berikut (PP No. 43/ 2008):

1. Rencana jangka panjang pengelolaan air tanah memuat

- pokok-pokok program konservasi dan pendayagunaan air tanah untuk jangka waktu 20 tahun.
2. Rencana jangka menengah pengelolaan air tanah memuat pokok-pokok program konservasi dan pendayagunaan air tanah untuk jangka waktu 5 tahun.
 3. Rencana jangka pendek pengelolaan air tanah memuat pokok-pokok kegiatan konservasi dan pendayagunaan air tanah untuk jangka waktu 1 tahun.

Rancangan rencana pengelolaan air tanah diumumkan secara terbuka kepada masyarakat oleh Menteri , gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya. Pengumuman secara terbuka dapat dilakukan melalui papan pengumuman, media cetak, dan/ atau media elektronik. Masyarakat dapat menyampaikan keberatan terhadap rancangan rencana pengelolaan air tanah yang telah diumumkan dalam jangka waktu paling lama 30 hari kalender sejak tanggal diumumkan (PP No. 43/2008).

Rancangan rencana pengelolaan air tanah tersebut kemudian ditetapkan oleh Menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya menjadi rencana pengelolaan air tanah.

4.14.2. Pelaksanaan

Dalam pelaksanaan pengelolaan air tanah Pemerintah melibatkan pihak lain yang memegang izin pelaksanaan konstruksi, operasi, pemeliharaan. Pemegang izin adalah perorangan atau badan usaha yang memiliki izin pemakaian air tanah atau izin perusahaan air tanah.

Pelaksanaan konstruksi, operasi dan pemeliharaan dilakukan pada zona konservasi air tanah, akuifer dan lapisan batuan lainnya yang berpengaruh terhadap ketersediaan air tanah pada cekungan air. Pelaksanaan konstruksi ditujukan untuk penyediaan sarana prasarana air tanah. Penyediaan sarana dan prasarana dilakukan antara lain dengan pengeboran,

penggalan, dan pengadaan alat pantau air tanah.

Pelaksanaan konstruksi dilakukan berdasarkan norma, standar, pedoman, dan manual sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

4.14.3. Operasi dan Pemeliharaan

Pelaksanaan operasi dan pemeliharaan ditujukan untuk mengoptimalkan upaya konservasi, pendayagunaan, pengendalian daya rusak, dan prasarana pada cekungan air tanah. Pelaksanaan operasi dan pemeliharaan terdiri atas:

- a. pemeliharaan cekungan air tanah yang dilakukan melalui kegiatan pencegahan dan/atau perbaikan kerusakan akuifer dan air tanah.
- b. operasi dan pemeliharaan prasarana pada cekungan air tanah yang meliputi:
 - operasi prasarana pada cekungan air tanah yang terdiri atas kegiatan pengaturan, pengalokasian serta penyediaan air tanah;
 - pemeliharaan prasarana pada cekungan air tanah yang terdiri atas kegiatan pencegahan kerusakan dan/atau penurunan fungsi prasarana air tanah.

Simpanan Air Hujan didalam Tanah

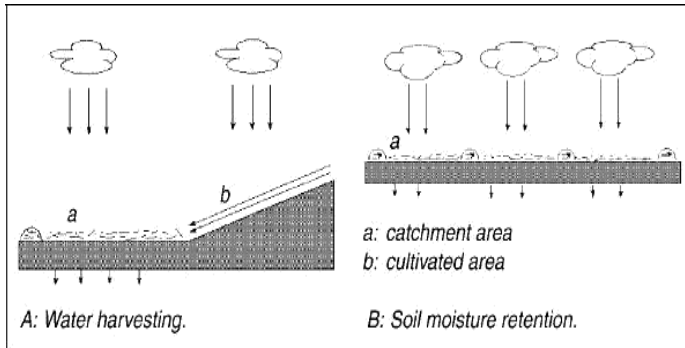
Air merupakan salah satu kebutuhan utama untuk pertumbuhan tanaman yang sehat. Akan tetapi di daerah tertentu kekurangan air sering terjadi akibat kurangnya curah hujan. Di daerah seperti ini, laju evapoprasi yang tinggi selama musim tanaman juga lazim terjadi. Saat terjadi daerah berupa hujan lebat, Kondisi tanah yang ada tidak dapat menyerap semua air hujan yang volumenya besar dalam waktu singkat. Akibatnya hujan di daerah ini biasanya dibarengi dengan volume air limpasan-permukaan (runoff) yang besar.

Faktor-faktor klimatik mengisyaratkan bahwa kita harus dapat memanfaatkan jumlah curah hujan yang terbatas seefisien mungkin. Salah satu cara untuk dapat melakukan hal ini adalah memanfaatkan air limpasan permukaan (runoff) dengan jalan "PEMANENAN AIR". Cara lain adalah memperbesar infiltrasi dan penyimpanan air hujan dalam tanah (penyimpanan dan konservasi lengas tanah). Keuntungan dari teknik-teknik pemanenan air hujan dan penyimpanannya dapat diikhtisarkan berikut ini.

Lebih banyak air tersedia bagi tanaman dapat mewujudkan kepastian produksi dan tingkat hasil tanaman yang lebih tinggi. Selain itu, dengan cara-cara ini dimungkinkan suplai air bagi tanaman di lahan kering, yang pada kondisi yang biasa tidak dapat berproduksi.

Kebanyakan teknik untuk mengumpulkan air biasanya menggunakan sumber air yang besar seperti sungai dan groundwater (misal Sumur dan sistem irigasi), dan memerlukan investasi sekala besar. Tetapi di banyak Negara dunia, beragam metode sekala kecil dan sederhana telah dikembangkan untuk menangkap dan mengumpulkan air limpasan permukaan (runoff) digunakan untuk beragam tujuan produktif. Kalau limpasan permukaan ini dibiarkan saja akan dapat menyebabkan erosi tanah, runoff ini dapat dipanen dan dimanfaatkan. Beragam teknik pemanenan air dengan aneka ragam aplikasinya telah tersedia.

Pemanenan air hujan ini ditujukan untuk memanfaatkan runoff (Gambar 1), penyimpanan lengas tanah bertujuan untuk mencegah runoff dan menyimpan air hujan di tempat dimana ia jatuh dari langit sebanyak mungkin. Perbedaan di antara dua macam teknologi ini tidak terlalu jelas, terutama kalau daerah-tangkapan hujan (penghasil runoff) sekalanya sangat kecil. Selain itu, teknologi penyimpanan lengas tanah dapat diaplikasikan di daerah lahan budidaya pertanian.



Gambar 66. Panen air hujan dan penyimpanan lengas tanah.

Ada dua hal yang harus diperhatikan. Pertama, teknik-teknik yang dikaji tidak dapat meningkatkan jumlah total curah hujan yang terjadi di suatu area. Cara-cara itu hanya dapat meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman, dengan jalan mengumpulkan dan menyimpan dalam tanah, karena kalau tidak begitu air hujan tersebut akan hilang. Ke dua, semua cara pemanenan air hujan biasanya akan mengumpulkan air runoff di suatu area tertentu yang digarap, sehingga dimungkinkan terjadi peningkatan risiko erosi.

Neraca Lengas Tanah

Neraca air (neraca lengas) merupakan suatu akuntansi input dan output air. Neraca air di suatu lokasi, apakah lahan pertanian, DAS, atau benua, dapat ditentukan dengan jalan menghitung input, output dan perubahan simpanan air di permukaan bumi. Input utama air adalah presipitasi dan outputnya adalah evapotranspirasi. Seorang pakar geografi C. W. Thornthwaite (1899-

1963) memelopori pendekatan neraca air untuk analisis sumberdaya air. Ia dan tim ahlinya menggunakan metodologi neraca air untuk menduga kebutuhan air irigasi dan isu-isu lainnya.

Precipitation (P). Precipitasi dalam bentuk hujan, salju, embun dan lain lain. Merupakan suplai utama air ke permukaan bumi. Di beberapa lokasi yang sangat kering air disuplai dalam bentuk kabut dan embun.

Actual evapotranspiration (AE). Evaporasi merupakan perubahan fase dari cair menjadi gas (uap) yang melepaskan air dari permukaan basah ke udara di atasnya. Serupa dengan itu, transpirasi mencerminkan perubahan fase ketika air dilepaskan oleh tumbuhan masuk ke udara. Evapotranspirasi merupakan gabungan transfer air ke dalam udara oleh evaporasi dan transpirasi. Actual evapotranspiration merupakan jumlah air yang diangkut masuk ke udara dari kedua proses ini. Evapotranspirasi aktual merupakan output air yang tergantung pada ketersediaan air, temperatur dan kelembaban. Evapotranspirasi aktual dapat dipandang sebagai "water use", yaitu air yang sebenarnya menguap dari tanah dan tumbuhan pada kondisi lingkungan tertentu di suatu tempat. Evapotranspirasi aktual meningkat kalau suhu meningkat, selama ada air yang diuapkan dan ada tumbuhan yang menguapkan air. Jumlah evapotranspirasi juga tergantung pada berapa banyak air tersedia, yang selanjutnya hal ini dipengaruhi oleh kapasitas lapang tanah. Dengan kata lain, kalau tidak ada air, maka tidak akan terjadi evaporasi atau transpirasi.

Potential evapotranspiration (PE). Kondisi lingkungan di suatu tempat akan menciptakan kebutuhan air. Khususnya dalam hal tumbuhan, kalau energi meningkat maka kebutuhan air juga bertambah untuk mempertahankan proses kehidupannya. Kalau kebutuhan ini tidak dapat terpenuhi maka akan terjadi gangguan serius. Kalau kebutuhan air jauh melampaui jumlah air yang ada, maka akan terjadi kondisi cekaman lengas tanah.

Evapotranspirasi potensial adalah jumlah air yang akan

diupakan pada kondisi lingkungan optimal, dimana suplai air tidak terbatas. Anggaplah evapotranspirasi potensial ini juga merupakan "water need". Dengan kata lain, air yang dibutuhkan untuk evaporasi dan transpirasi diberikan oleh kondisi lingkungan lokal. Salah satu faktor sangat penting yang menentukan kebutuhan air adalah radiasi matahari. Kalau input energi meningkat, maka kebutuhan air juga meningkat, terutama kebutuhan air tumbuhan. Selama masih ada air dalam tanah, tumbuhan masih mampu memenuhi kebutuhan airnya. Kalau tumbuhan tidak dapat mengakses air dalam tanah, ia akan tercekam dan akhirnya mati.

Simpanan Lengas Tanah = Soil Moisture Storage (ST).

Simpanan lengas tanah adalah jumlah air yang ditahan dalam tanah selama waktu tertentu. Jumlah air dalam tanah tergantung pada sifat tanah seperti tekstur tanah dan kandungan bahan organik tanah. Jumlah maksimum air yang dapat ditahan dalam tanah disebut KAPASITAS LAPANG. Tanah-tanah berbutir halus mempunyai kapasitas lapang lebih besar dibandingkan dengan tanah-tanah berbutir kasar (tanah berpasir). Dengan demikian lebih banyak air yang tersedia untuk evapotranspirasi aktual dari tanah-tanah yang teksturnya halus daripada tanah yang teksturnya kasar. Batas maksimum simpanan lengas tanah adalah KAPASITAS LAPANG, batas minimumnya adalah nol (0) ketika tanah telah mengering.

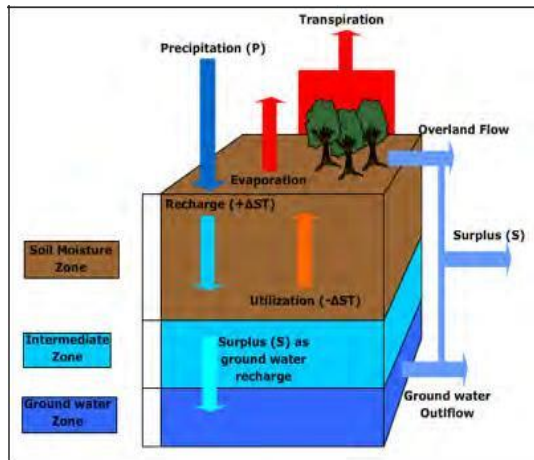
Perubahan Simpanan Lengas Tanah = Change in Soil Moisture Storage (ΔST). Perubahan simpanan lengas tanah merupakan jumlah air yang ditambahkan atau dikurangkan dari simpanan tanah. Besarnya perubahan simpanan lengas tanah berada pada kisaran 0 hingga kapasitas lapang.

Ada tiga proses utama yang dialami oleh air dalam tanah: Air yang meresap masuk ke dalam tanah (infiltrasi), ditahan oleh tanah, dan mengalir ke luar tanah. Bagaimana ketiga proses ini berlangsung sangat tergantung pada tipe tanah dan

pengelolaannya.

Infiltrasi mencerminkan kecepatan meresapnya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Semakin tinggi infiltrasi, semakin banyak air yang akan tersedia bagi tanaman dan semakin sedikit air runoff di permukaan tanah, semakin sedikit pula erosi dan pencucian unsur hara. Seresah tanaman, tumbuhan hidup, atau permukaan yang kasar, akan menghambat aliran air di permukaan tanah, sehingga air mempunyai kesempatan untuk meresap ke dalam tanah. Kerak tanah dapat mereduksi infiltrasi dan dapat diminimumkan dengan jalan membiarkan seresah tumbuhan tetap di

permukaan tanah, memperbaiki kandungan bahan organik tanah, dan memacu aktivitas biologis.



Gambar 67. Skematik Neraca air tanah
(Sumber; Strahler & Strahler, 2006)

Kapasitas penahanan air tersedia (AWHC) merupakan jumlah air tanah yang dapat ditahan untuk diserap oleh tanaman. Setelah air meresap ke dalam tanah, tegangan-permukaan air

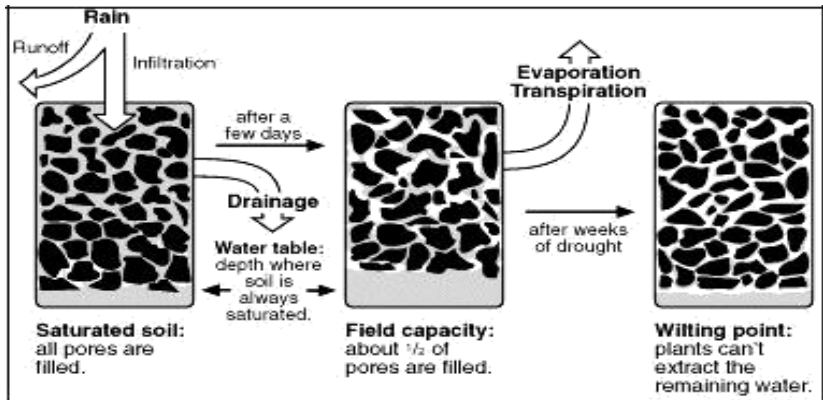
akan menahan molekul-molekul air dalam pori tanah untuk melawan gaya gravitasi. Karena adanya tegangan-permukaan inilah, pori-kecil dalam tanah yang bertekstur halus (debu dan lempung debu) menahan lebih banyak air dibandingkan dengan pori-besar pada tanah berpasir.

Bahan organik tanah juga menahan sejumlah besar air. Jumlah maksimum air yang dapat ditahan oleh tanah dan dapat melawan gaya gravitasi disebut Kapasitas Lapang. Biasanya kalau tanah pada kondisi kapasitas lapangnya, sekitar 50% porinya terisi dengan air.

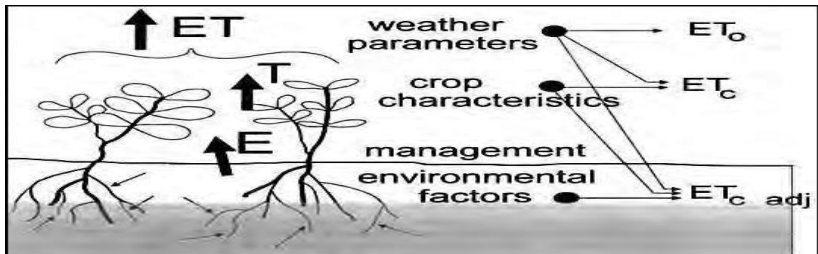
Tanaman tidak dapat menggunakan semua air yang ada dalam tanah. Kalau air tanah menguap dan diserap oleh akar tanaman, kadar air tanah akan berkurang hingga akar tanaman tidak mampu lagi menyerap molekul-molekul air yang terikat kuat oleh partikel tanah. Jumlah air yang tersisa ini disebut Titik layu. Tanah-tanah liat mempunyai titik layu yang tinggi. Mereka mampu menahan dengan kuatnya lebih banyak air dibandingkan dengan tanah-tanah berpasir, sehingga lebih sedikit air tersedia bagi tanaman. Dengan demikian, meskipun tanah lempung-debu menahan lebih sedikit air

(kapasitas lapangnya lebih rendah) dibandingkan dengan tanah Lempung-liat, namun lebih banyak air yang tersedia bagi tanaman.

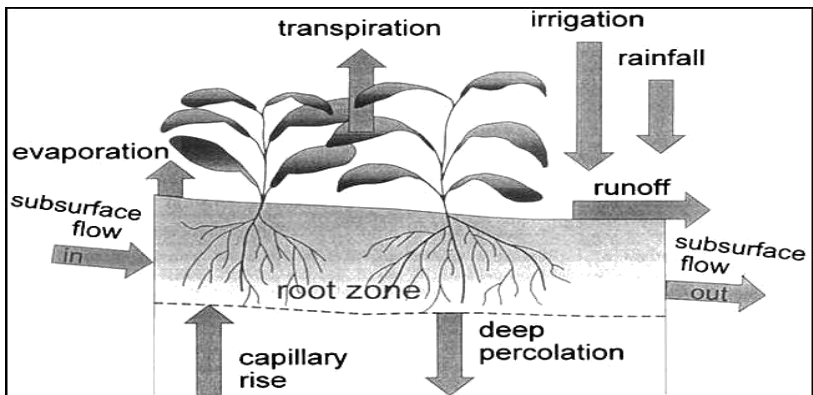
Drainage atau perkolasi merupakan kelebihan air yang tidak dapat ditahan oleh tanah dan mengalir ke luar zone perakaran, sehingga akar dan organisme tanah dapat memperoleh udara yang cukup. Setelah hujan lebat, tanah akan menjadi jenuh (semua pori tanah akan terisi air). Banyak akar dan organisme tanah akan mati kalau kelebihan air ini tidak segera mengalir ke luar dan udara masuk kembali ke dalam pori tanah.



Gambar 68. Neraca air tanah pada zone perakaran tanaman



Gambar 69. Faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi



Gambar 70. Perubahan lengas tanah. Kapasitas lapang minus titik layu merupakan jumlah air yang tersedia bagi tanaman.

Upaya Memperbaiki ketersediaan air dalam tanah

Beberapa praktek pengelolaan tanah yang dapat meningkatkan kapasitas lapang dan memperbaiki infiltrasi:

1. Pengelolaan bahan organik. Bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air (water-holding capacity, WHC) melalui dua cara. Bahan organik mampu menyimpan dan menahan banyak air, dan dapat memperbaiki struktur tana, meningkatkan total volume dan ukuran pori yang dapat menyimpan air dan mencegah pembentukan kerak tanah di permukaan.
2. Praktek pengolahan tanah. Membiarkan seresah sisa panen di permukaan tanah dapat memperlambat runoff dan mencegah pembentukan kerak tanah di permukaan. Seresah ini dapat mendorong perkembangan populasi cacing tanah dan organisme lain yang membuat liang dalam tanah, dan air hujan dapat dengan cepat meresap ke dalam tanah melalui lubang-lubang tersebut.
 3. Pencegahan pemadatan. Pemadatan tanah dapat mereduksi WHC, karena berkurangnya jumlah dan ukuran pori tanah.
 4. Pengendalian erosi. Erosi tanah dapat mereduksi kedalaman tanah (solum tanah menjadi tipis) dan menurunkan WHC.

Infiltrasi merupakan proses meresapnya air ke dalam tanah. Kecepatan meresapnya air ke dalam tanah disebut Laju Infiltrasi. Laju infiltrasi dinyatakan dengan satuan mm per jam atau inchi per jam. Air hujan dan irigasi harus dapat meresap masuk ke dalam tanah supaya bermanfaat bagi tanaman.

Infiltrasi merupakan indikator kemampuan tanah untuk meresapkan air di permukaan dan ke seluruh pprofil tanah. Tanah dapat menyimpan air untuk sementara waktu, membuatnya tersedia bagi akar tanaman , bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dan habitat bagi organisme tanah.

Kalau suplai air melebihi kapasitas infiltrasi tanah, air akan mengalir di permukaan tanah sebagai runoff menuruni lereng. Kalau runoff terjadi pada lahan yang vegetasinya buruk, dapat mengakibatkan erosi tanah. Runoff mengangkut unsur hara, senyawa kimia, dan material tanah, sehingga produktivitas tanah menurun, sedimentasi meningkat dan kualitas air menurun. Sedimentasi dapat mengurangi kapasitas simpanan air dari reservoir dan sungai, mengakibatkan banjir.

Penghambatan infiltrasi dan penggenangan air di permukaan tanah dapat memperburuk aerasi tanah, yang selanjutnya dapat memperburuk fungsi akar dan pertumbuhan tanaman, demikian juga mereduksi ketersediaan hara dan mengganggu siklus hidup organisme tanah. Penggenangan dan kejenuhan tanah dapat menurunkan kekuatan tanah, merusak struktur tanah, meningkatkan penghancuran partikel tanah dan membuat tanah lebih peka erosi. Penggenangan air di permukaan tanah akan memacu penguapan, sehingga mengurangi jumlah air tersedia bagi tanaman.

Praktek konservasi yang dapat memperburuk infiltrasi:

- Pembakaran dan pengangkutan sisa-sisa panen
- Metode pengolahan tanah yang merusak koneksi pori dengan permukaan tanah, dan mencegah akumulasi bahan organik tanah
- Lalu lintas peralatan dan ternak, terutama pada saat tabnah dalam kondisi bawah, yang menyebabkan pemadatan dan reduksi porositas tanah.

Beberapa praktek konservasi membantu mempertahankan atau memperbaiki infiltrasi air ke dalam tanah dengan jalan meningkatkan tutupan vegetatif di permukaan tanah, mengelola residu vegetatif, dan meningkatkan bahan organik tanah. Biasanya, praktek-praktek ini meminimumkan gangguan tanah dan pemadatan tanah, melindungi tanah dari erosi, dan mendorong perkembangan struktur tanah yang baik

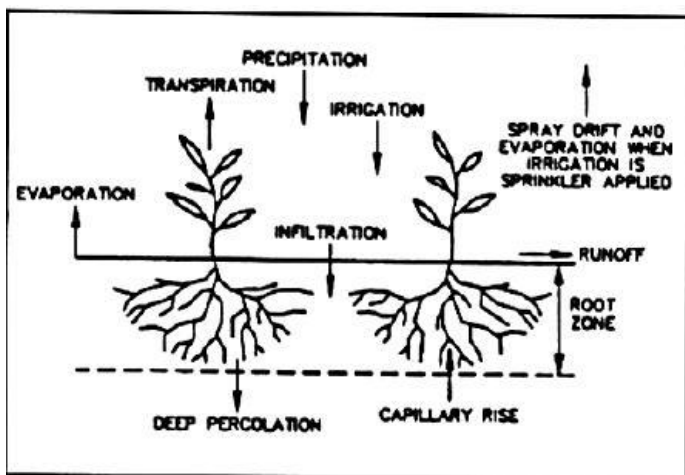
dan ruang pori yang kontinyu.

Sebagai solusi jangka pendek mengatasi buruknya infiltrasi adalah membongkar kerak permukaan dengan membajak tanah, dan lapisan tanah yang kompak dapat dibongkar dengan pengolahan tanah secara dalam.

Solusi jangka panjang untuk memperbaiki infiltrasi tanah adalah dengan praktek budidaya yang mampu emningkatkan bahan organik tanah dan agregasi tanah, dan mereduksi gangguan-tanah dan pemadatan tanah. Jenis tanaman yang menghasilkan banyak residu (jerami, seresah), seperti jagung, rerumputan perennial, dan tanaman penutup tanah. Mampu melindungi permukaan tanah dari bahaya erosi, dan meningkatkan kandungan bahan organik tanah, kalau pengolahan tanah untuk tanaman berikutnya dilakukan dengan membiarkan seresah residu panen di permukaan tanah. Peningkatan bahan organik tanah akan memperbaiki agregasi dan struktur tanah, sehingga laju infiltrasi dapat diperbaiki. Pengolahan tanah konservasi, mereduksi gangguan tanah, dan mengurangi gangguan terhadap kontinuitas pori tanah, serta meminimumkan efek pemadatan tanah.

Praktek konservasi yang memperbaiki laju infiltrasi:

- Pergiliran tanaman
- Tanaman penutup tanah
- Grazing terkendali
- Pengelolaan residu dan seresah tanaman, serta Pengolahan tanah
- Pemanfaatan sisa panen.



Gambar 71. Sumber dan kehilangan lengas tanah

Nilai Maksimum Laju Infiltrasi berbagai tipe tanah.

Tipe Tanah	Laju Infiltrasi (inch/hr)*
Pasir = Sand	2
Pasir berlempung = Loamysand	1.8
Lempung berpasir = Sandy loam	1.5
Lempung = Loam	1
Debu = Silt dan Lempung Liat	0.5
Liat = Clay	0.2

(*) Asumsi tanaman penutup tanah penuh. Laju pada Tanah bera sebesar $\frac{1}{2}$ dari laju pada tanah dengan tumbuhan penutup tanah penuh.

Simpanan Lengas Tanah = SOIL WATER STORAGE

Dalam kaitannya dengan irigasi dan pengairan, kapasitas simpanan air tanah (SWS) didefinisikan sebagai jumlah total air yang disimpan dalam tanah pada zone perakaran tanaman. Tekstur dan struktur tanah, serta kedalaman perakaran tanaman akan menentukan besarnya SWS ini. Semakin dalam

perakaran tanaman, berarti semakin banyak air yang dapat disimpan dalam tanah dan semakin besar pula cadangan air tersedia bagi tanaman selama periode tidak ada penambahan air.

Dengan mengetahui kapasitas simpanan air tanah ini, memungkinkan kita menentukan berapa banyak air yang harus ditambahkan pada suatu saat dan berapa lama kita bisa menunggu sebelum menambahkan air. Penambahan air ke tanah melebihi kapasitas simpanan airnya akan mengakibatkan kehilangan air perkolasi dan epencucian unsur hara ke luar zone perakaran tanaman. Hanya sebagian saja dari total air tanah yang mudah diserap oleh akar tanaman. Tanaman hanya dapat menyerap sebagian dari air yang disimpan dalam tanah. Koefisien ketersediaan digunakan untuk menghitung persentase air yang mudah tersedia bagi tanaman. Defisit maksimum lengas tanah (maximum soil water deficit (MSWD), sering disebut sebagai “the management allowable deficit”, merupakan jumlah air yang disimpan dalam tanah yang mudah tersedia bagi tanaman. Tanaman harus diberi tambahan air kalau sejumlah air tersebut telah diambil dari tanah. Nilai ini juga merupakan nilai maksimum yang dapat diberikan ke tanah pada suatu waktu tertentu. Maksimal air yang berlebihan akan mengakibatkan terjadinya perkolasi dalam.

Pemanfaatan lengas tanah merupakan faktor penting yang membatasi produksi tanaman. Pengetahuan mengenai simpanan air tersedia dalam tanah sangat penting dalam pengelolaan pertanian lahan kering. Kajian tentang simpanan air tanah, komponen-komponen dari siklus air, sangat diperlukan dalam perhitungan neraca air lahan. Neraca air lahan menyajikan informasi tentang masukan air (hujan dan irigasi), kehilangan air

(evapotranspirasi, run-off dan drainage), serta perubahan simpanan lengas tanah yang terjadi selama periode waktu

tertentu. Pengelolaan simpanan lengas tanah secara efisien dapat dicapai dengan jalan memanipulasi neraca air lahan. Hal ini melibatkan pemantauan dan pengendalian berbagai proses aliran lengas tanah, termasuk infiltrasi, redistribusi, drainage, evaporasi dan penyerapan air oleh tanaman. Bahan organik tanah mempunyai peran penting dalam mengendalikan semua proses-proses fisika ini.

4.15. Proyeksi Kebutuhan Air Untuk Kawasan Perkotaan

Teknik Estimasi ataupun proyeksi kebutuhan air disuatu wilayah dimasa yang akan datang dipengaruhi oleh proyeksi jumlah penduduk. Karena kebutuhan air domestik ekivalen dengan kenaikan jumlah penduduk. Umumnya masyarakat yang tinggal didaerah perkotaan kebutuhan air domestiknya lebih besar dibandingkan dengan masyarakat pedesaan.

Ada beberapa metode proyeksi jumlah penduduk. Salah satu di antaranya adalah Mathematical Method. Metode ini digunakan apabila data mengenai komponen pertumbuhan penduduk tidak diketahui, sehingga yang dianggap dalam perhitungan adalah penduduk keseluruhan.

a. Metode linier dengan dengan cara aritmatik dan geometric

Arti nya data perkembangan penduduk menggambarkan kecenderungan garis linier, meskipun perkembangan penduduk selalu fluktuatif (bertambah)

b. Metode linier dengan cara aritmatik

Metode ini sesuai untuk daerah yang mempunyai perkembangan penduduk yang relative konstan dan dalam kurun waktu yang pendek (kurang atau sama lima tahun) atau kurun waktu proyeksi sama dengan waktu perolehan data. Pada dasarnya metode ini kurang baik digunakan, karena jumlah pertambahan penduduk tidak mungkin jumlahnya

sama.

c. Metode linier dengan cara Geometrik

Metode ini menganggap bahwa perkembangan jumlah penduduk secara otomatis berganda. Metode ini sesuai untuk daerah yang pertambahan penduduknya berganda, kepadatan penduduk mendekati maksimum dan dalam kurun waktu yang cukup lama.

d. Metode linier dengan cara Last square

Metode ini menganggap garis regresi yang dibuat akan memberikan penyimpanan nilai data atas data penduduk masa lalu, berlaku pula untuk masa depan.

d. Non linier dengan cara eksponensial

Pertumbuhan penduduk secara terus menerus setiap hari dengan angka pertumbuhan yang konstan. Pertumbuhan penduduk eksponensial.

Hasil proyeksi jumlah penduduk untuk beberapa tahun kedepan merefleksikan jumlah kebutuhan air domestik karena kenaikan jumlah penduduk ekuivalen dengan kebutuhan air domestiknya.

Indikator keberlanjutan air di suatu daerah menurut Commission of Sustainable Development (2011) meliputi :

1. Dari aspek kuantitas indikator untuk keberlanjutan daya dukung air adalah persentase pengambilan tahunan dari air tanah dan air permukaan. Persentase pengambilan air tanah dan air permukaan merefleksikan perbandingan kebutuhan air dan tersedianya air pada suatu wilayah
2. Dari aspek kualitas, indikator untuk keberlanjutan daya dukung air adalah BOD pada badan air dan konsentrasi bakteri E.Coli (faecal Coliform) pada badan air. Nilai BOD

dan bakteri E.Coli merefleksikan kondisi sanitasi suatu ekosistem dan kesehatan manusia didalamnya.

Menurut the United Nations World Water Development (2006), ketika penggunaan air melebihi kemampuan suplai lokal wilayah tersebut, sehingga masyarakat lokal bergantung pada infrastruktur dari luar untuk mendukung suplai lokal (misalnya melalui system perpipaan dan saluran air) atau masyarakat menggantungkan kebutuhannya pada air tanah, maka kondisi ini dikatakan tidak berlanjut (unsustainable).

4.16. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Daya Dukung Air

Iklim dibumi tidak selalu konstan begitu pula dengan kondisi dalam suatu wilayah juga bervariasi. Indonesia mempunyai peranan strategis dalam struktur iklim geografi dunia karena sebagai Negara tropis ekuator yang memiliki laut terluas didunia dan mempunyai fungsi sebagai penyerap gas rumah kaca yang besar.

Dampak perubahan iklim pada lingkungan diantaranya:

1. Perubahan pada daerah es dan salju
2. Perubahan angin arus, badai tropis yang buruk, kerusakan ekosistem pantai
3. Sistem hidrologi, terjadinya perubahan curah hujan dan kelembaban tanah
4. Ekosistem dan tumbuhan, perubahan daerah vegetasi dan campuran spesies, pengurangan keanekaragaman hayati

Perubahan iklim menyebabkan perubahan pada temperatur harian suatu wilayah, akibatnya volume air yang menguap dan kemudian jatuh menjadi curah hujan akan mengalami perubahan, sehingga juga akan mempengaruhi pengisian air tanah maupun air yang melimpas kesungai. Dampak berkurangnya debit limpasan maka pengenceran yang terjadi

akan makin berkurang dan arus air menjadi kecil lebih lanjut mengurangi aerasi alamiah pada badan sungai sehingga menurunkan kemampuan sungai menetralsir polutan.

Perubahan iklim ditandai dengan perubahan dua faktor meteorologi penting yaitu temperature dan curah hujan yang kemudian dapat menaikkan muka laut.

Perubahan curah hujan yang dimaksud tidaklah mengubah jumlah curah hujan, tapi yang berubah adalah distribusinya. Artinya pada musim hujan, suatu daerah akan mengalami hujan lebih banyak dan pada musin kemarau akan mengalami hujan yang lebih sedikit. Dengan kondisi tersebut pada musim hujan potensi terjadinya bencana seperti banjir, longsor, dan penyebaran penyakit menular akan meningkat. Dan pada musim kemarau bencana akan terus berlanjut seperti dengan adanya kekeringan sehingga akan menyebabkan gagal panen dan menimbulkan berbagai macam penyakit.

4.17. Motor Listrik

Motor listrik arus bolak-balik diklasifikasikan dengan dasar prinsip pengoperasian sebagai motor asinkron (induksi) atau motor sinkron. Motor induksi adalah jenis motor dimana tidak ada tegangan eksternal yang diberikan pada rotornya, tetapi arus pada stator menginduksikan tegangan pada celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Medan magnet stator dan rotor kemudian berinteraksi dan menyebabkan rotor motor berputar.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan

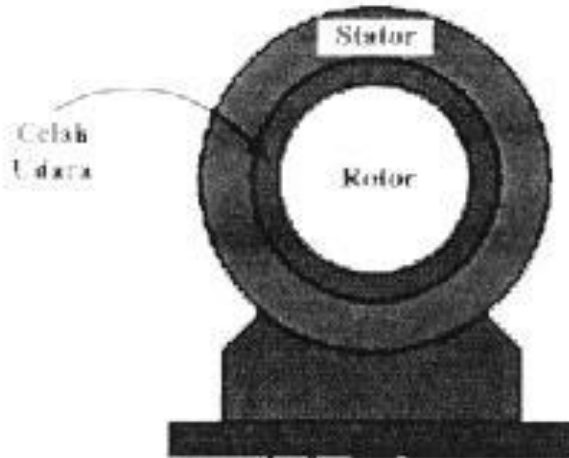
banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci, pompa air dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah.

Pada era industri modern saat ini, kebutuhan terhadap alat produksi yang tepat guna sangat diperlukan untuk dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Sebagian besar alat industri menggunakan tenaga listrik sebagai energi penggerak utamanya, dan di berbagai perindustrian banyak menggunakan mesin-mesin dengan penggerak utamanya adalah Motor AC

Phasa Satu. Yang mana pada umumnya digunakan pada mesin produksi seperti mesin bubut, mesin bor, dan sebagainya. Faktor yang menyebabkan hal tersebut karena motor induksi memiliki beberapa kelebihan antara lain: harga lebih murah, mudah dalam perawatan, konstruksi sederhana, tetapi motor induksi juga memiliki kekurangan antara lain: motor induksi memiliki nilai slip (perbedaan kecepatan putar medan stator terhadap kecepatan medan rotor) yang sangat besar, dan motor induksi sulit dalam pengendalian kecepatan putarnya.

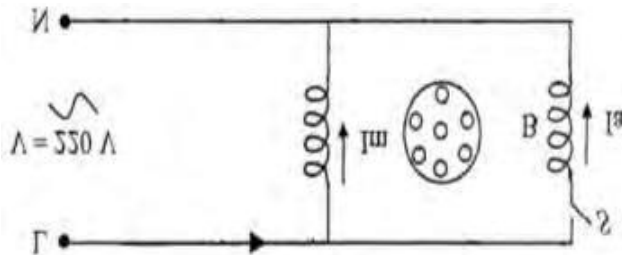
4.17.1. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi 1 fasa pada umumnya memiliki daya kecil, efisiensinya relatif rendah, antara 38% sampai 70%. Inti stator motor induksi 1 fasa terdiri dari lapisan plat-plat besi (laminasi) tersusun secara rapi dan ujung-ujungnya diklem. Plat-plat besi (laminasi) dibentuk sedemikian rupa menjadi alur-alur dan gigi-gigi alur stator. Sedangkan konduktor rotor dibuat dari batangan tembaga, aluminium atau aluminium paduan.



Gambar 72. Konstruksi motor induksi satu fasa

Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan-kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Rangkaian dasar motor induksi 1 fasa ditunjukkan dalam Gambar 73.



Gambar 73. Rangkaian dasar motor induksi 1 fasa(Zuhal, 1993)

Motor induksi satu fasa mempunyai dua kumparan stator yaitu:kumparan utama (U) dan kumparan bantu (B) yang digulung pada stator dengan perbedaan sudut 90° listrik. Kumparan bantu mempunyai tahanan lebih besar dari kumparan utama, sedangkan reaktansinya dibuat lebih kecil.

14.17.2. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Salah satu kelemahan motor induksi yaitu memiliki beberapa karakteristik parameter yang tidak linier, terutama resistansi rotor yang memiliki nilai yang bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban. Oleh karena itu untuk mendapatkan kecepatan yang konstan dan peformansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol

Motor induksi 3 fasa adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC. Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban.

Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka dibutuhkan suatu pengontrol.

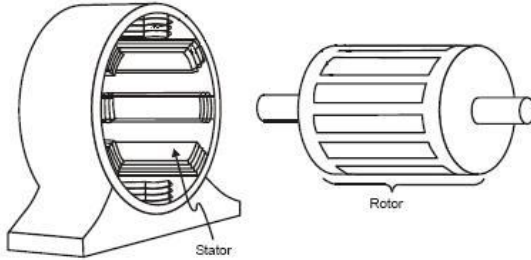
Penggunaan motor induksi tiga fasa di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban. Salah satu contoh aplikasi motor induksi yaitu pada industri kertas. Pada industri kertas ini untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik, dimana ketebalan kertas yang dihasilkan dapat merata membutuhkan ketelitian dan kecepatan yang konstan dari motor penggeraknya, sedangkan pada motor induksi yang digunakan dapat terjadi perubahan beban yang besar.

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (ac) yang paling luas penggunaannya. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relative antara stator dan rotor disebut slip.

Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dikenal dua tipe motor induksi yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan rotor sangkar.

Sebuah motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan

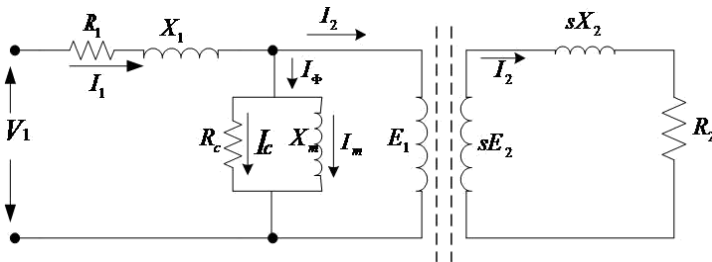
bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar sebagaimana diperlihatkan pada gambar 74. Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm.



Gambar 74. Penampang Stator dan Rotor Motor Induksi Tiga Fasa

Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi 3 Fasa

Saat diberi tegangan ke motor induksi muncullah medan magnet pada kutub medan yang ada di stator sehingga ada E_1 (ggl lawan oleh fluks) pada stator. kemudian menuju ke konduktor rotor yang menghasilkan E_2 pada rotor.



Gambar 75. Rangkaian ekuivalen Motor Induksi
(Sumber : Wijaya, Mochtar, 2001)

BAB 5 METODE PERANCANGAN PATS

5.1. Kerangka Pemikiran

Penelitian ini adalah kerjasama tiga pihak. Pihak kedua dan ketiga adalah *University of Applied Sciences Amberg Weiden* (HAW) Jerman dan Pemerintah Kabupaten Kuantan Singingi. Peran peneliti UIN Suska Riau adalah melakukan perancangan, implementasi, monitoring, dan analisa kinerja sistem PATS. Selain itu peneliti UIN Suska juga menyediakan beberapa komponen sistem seperti sumur bor, pengkabelan dan baterai.

Pihak HAW Jerman menyediakan sebagian komponen sistem yaitu inverter dan *charge controller*. Sedangkan pihak Pemerintah Kuantan Singingi menyumbangkan modul surya yang sebelumnya dipakai untuk sistem lain. Semua kontribusi HAW Jerman dan Pemerintah Kuantan Singingi akan segera dikirim kepada peneliti UIN Suska Riau pada saat penelitian ini akan dimulai.

Sebagaimana dijelaskan pada Bab I, permasalahan yang ingin diatasi melalui penelitian ini adalah tersedianya suatu sistem demonstrasi (*display*) Pompa Air Tenaga Surya (PATS) di UIN Suska Riau yang handal secara teknis dan beroperasi pada kondisi aktual, sehingga dapat digunakan sebagai salah satu rujukan sistem PATS yang sesuai untuk kondisi Propinsi Riau, dan dapat digunakan sebagai sarana belajar bagi mahasiswa dan teknisi bidang energi surya.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka metode penelitian ini disusun untuk menjamin beberapa karakteristik hasil yang akan dicapai sebagai berikut:

1. Sistem PATS yang dibangun adalah sebuah sistem yang handal pada saat beroperasi pada kondisi aktual. Untuk

menjamin kehandalan sistem, maka pada penelitian ini akan digunakan sebuah standar internasional yang menjadi rujukan di seluruh dunia dalam merancang (desain) dan memonitor kinerja sebuah sistem PATS. Standar tersebut dikeluarkan oleh

The International Electrotechnical Commission (IEC) dengan judul IEC 62253:2011 Photovoltaic pumping systems Design qualification and performance measurements.

2. Sistem PATS yang akan dibangun adalah sebuah sistem yang dapat digunakan sebagai sarana belajar. Untuk menjamin hal tersebut, maka instalasi sistem akan dibuat secara modular (bagian per bagian) sehingga dapat diamati komponen-komponen sistem yang terlibat dan hubungan antar komponen. Selain itu, instalasi sistem akan dibangun di atas papan-papan percobaan sehingga memiliki kedudukan yang kuat dan memudahkan untuk melakukan pengukuran kelistrikan.

5.2. Garis Besar Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian ini. Penelitian ini terdiri dari lima tahap, yaitu: (1) survey pendahuluan; (2) menghitung kebutuhan air; (3) perancangan dan instalasi sistem; (4) monitoring kinerja sistem; dan (5) analisa kinerja sistem.

5.2.1. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan informasi geografis, iklim dan kondisi khusus di lokasi di mana sistem PATS akan dipasang. Hasil survey adalah informasi seperti derajat bujur, lintang dan topografi lokasi sistem. Survei juga dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang intensitas radiasi matahari di lokasi, suhu, curah hujan, kecepatan angin

di lokasi, sumber air di lokasi khususnya pada bulan kemarau.

Data dan Sumber Data	Hasil
<ul style="list-style-type: none"> Geografis [Google Earth dan pengamatan lapangan] Ilmiah [NASA dan BMKG Pekanbaru] Kondisi khusus di lokasi [wawancara dengan Bag. Rumah Tangga UIN Suska] 	<ul style="list-style-type: none"> Bujur, lintang, topografi dari lokasi sistem akan dipasang (sekitar gedung Lab. FST UIN Suska Riau). Intensitas radiasi matahari di lokasi, Suhu di lokasi: rata-rata, maks., min., Curah hujan rata-rata di lokasi, Kecapatan angin di lokasi: rata-rata dan maks.
➔	<p>Data sumur dan sumber air, mencakup:</p> <ul style="list-style-type: none"> Kedalaman air, Cadangan air pada saat kemarau.

MENGHITUNG KEBUTUHAN AIR

Data dan Sumber Data	Hasil
<ul style="list-style-type: none"> Kebutuhan air per hari pada kondisi terburuk (kemarau) [statistik jumlah mahasiswa, dosen dan pegawai FST yang menggunakan laboratorium]. Profil penggunaan air (hari dan jam) operasi gedung lab. FST 	<ul style="list-style-type: none"> Menentukan bulan dengan kondisi terburuk, Kebutuhan air (dalam m³/hari) pada saat kondisi terburuk. Profil penggunaan air menurut bulan (hari, jam)

PERANCANGAN DAN INSTALASI

Data dan Sumber Data	Hasil
<ul style="list-style-type: none"> Hasil survei pendahuluan dan penghitungan kebutuhan air, dan AS 4509.2-2002. Lembar spesifikasi setiap komponen sistem (nanti di update) 	<ul style="list-style-type: none"> Konfigurasi sistem, Ukuran masing-masing komponen sistem. Komponen sistem dibeli
Tidak ada	<ul style="list-style-type: none"> Sistem dipasang di lokasi dan dilakukan pengujian.

MONITORING KINERJA SISTEM

Data dan Sumber Data	Hasil
<ul style="list-style-type: none"> Pengamatan produksi air selama 1 bulan [pengukuran langsung]. Pengukuran besaran listrik setiap komponen sistem [pengukuran langsung] 	<ul style="list-style-type: none"> Kinerja umum: produksi air selama 1 bulan, Kinerja kelistrikan: sifat-sifat kelistrikan setiap komponen sistem

Gambar 76. Diagram Alir Penelitian

5.2.2. Menghitung Kebutuhan Air

Penghitungan kebutuhan air dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak air digunakan di Gedung Laboratorium FST UIN Suska Riau per hari.

Kebutuhan air ini akan dibedakan antara musim kemarau dan musim hujan untuk mengetahui kebutuhan air saat kondisi terburuk. Kriteria lain dari kondisi terburuk adalah intensitas radiasi matahari pada bulan-bulan tertentu (khususnya musim hujan).

Selain itu, tahap ini juga dimaksudkan untuk mengetahui profil pemakaian air di Gedung Laboratorium FST UIN Suska Riau. Hal ini penting karena penggunaan air tidak sama antara masa perkuliahan aktif dengan masa libur kuliah, antara siang dan malam, dan antara hari kerja dan hari libur.

5.2.3. Perancangan dan instalasi

Perancangan sistem akan dilakukan untuk menentukan ukuran (kapasitas) masing-masing komponen sistem dan bagaimana mereka dirakit, sehingga dengan cadangan air yang ada di dalam sumur dan kondisi intensitas radiasi matahari, kebutuhan air dapat dipenuhi. Sistem akan dirancang sedemikian sehingga memudahkan untuk dipelajari dan dimonitor setelah sistem beroperasi. Perancangan sistem menggunakan Australian Standard AS

4509.2—2002 tentang Stand Alone Power Systems Bagian 2: System Design and Guidelines. Standar ini dipilih karena karena Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk perancangan RAPS belum tersedia. Selain itu, standar ini mudah diikuti dan sesuai dengan standar internasional *International Electrotechnical Commission (IEC) 61836* tentang *Solar Photovoltaic Energy Systems*.

Tahap selanjutnya adalah instalasi sistem. Tahap ini mencakup pengeboran sumur di lokasi dengan sumber air cukup dan pemasangan pompa air di dalam sumur. Selanjutnya adalah pembuatan papan percobaan untuk kedudukan inverter dan charger controller, yang akan dipasang di dalam

Gedung Laboratorium FST UIN Suska Riau. Pemasangan baterai juga akan dilakukan di dalam gedung, sedangkan instalasi *array* surya akan dilakukan di atap Gedung Laboratorium FST UIN Suska Riau. Selanjutnya adalah pemasangan kabel dan pipa. Pipa akan dipasang untuk memungkinkan air ditarik ke tangki pengumpul di atap gedung. Sedangkan pemasangan pipa penyaluran air tidak akan dilakukan karena sudah ada di lokasi.

5.2.4. Monitoring Kinerja Sistem

Monitoring kinerja sistem akan dilakukan selama 1 bulan untuk mengamati produksi air dan kinerja kelistrikan. Masa monitoring dapat diperpanjang jika instalasi sistem dapat diselesaikan lebih awal. Produksi air akan dihitung per hari selama 1 bulan dalam satuan m^3 . Sedangkan kinerja kelistrikan sistem akan dilakukan dengan mengukur parameter kelistrikan (tegangan, arus, faktor daya dan fasa) setiap komponen sistem yang sesuai.

5.2.5. Analisa Kinerja Sistem

Analisa kinerja sistem akan dilakukan dengan cara membandingkan kondisi aktual dengan persyaratan IEC 62253:2011. Setiap perbedaan akan dicatat dan dijelaskan penyebabnya. Jika diperlukan akan dihasilkan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja sistem.

5.3. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer didapat dari pengukuran/pengamatan langsung dan wawancara. Contoh data primer adalah data geografis, kondisi khusus lokasi, produksi air, dan kondisi kelistrikan sistem.

Data sekunder didapatkan dari berbagai *database* dan institusi seperti Google Earth, NASA, BMKG Pekanbaru, FST UIN Suska, IEC, pencarian internet, dan supplier peralatan. Contoh data sekunder adalah posisi geografis lokasi, kondisi iklim setempat, data pengguna gedung laboratorium FST, IEC 62253:2011 dan spesifikasi komponen sistem.

BAB 6

IMPLEMENTASI SISTEM PATS

6.1. Survey Pendahuluan

Survey pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan informasi geografis dan lokasi di mana pompa akan dipasang. Informasi geografis mencakup koordinat lokasi (derajat bujur dan lintang) dan topografi. Koordinat lokasi diperlukan untuk melakukan estimasi potensi energi surya di lokasi studi sedangkan informasi topografi diperlukan untuk melakukan perkiraan suplai air pada lokasi studi. Koordinat lokasi didapatkan dari Google Earth^(R) sedangkan informasi topografi didapatkan dari pengamatan langsung dan wawancara dengan Bagian Rumah Tangga UIN Suska Riau. Bagian Rumah

Tangga UIN Suska Riau memiliki tugas untuk merencanakan, mengadakan dan memelihara seluruh fasilitas di UIN Suska Riau termasuk semua sumur yang telah dibuat sebelumnya. Dengan demikian, Bagian Rumah Tangga UIN Suska Riau memiliki pengalaman dalam mengamati suplai air di setiap lokasi di kampus UIN Suska Riau.

Empat lokasi telah diidentifikasi sebagai lokasi pemasangan sistem PATS, yaitu Masjid UIN Suska Riau, Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau, Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau dan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau. Calon lokasi pertama, sesuai dengan proposal penelitian ini adalah di Masjid UIN Suska

Riau. Namun demikian, lokasi pertama ini harus dibatalkan karena kondisi Masjid UIN Suska Riau belum memungkinkan saat pemasangan sistem harus dilakukan. Gambar 77, 78, 79, dan 80 berturut-turut menunjukkan Masjid UIN Suska Riau,

Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau, Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau dan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.



Gambar 77. Masjid UIN Suska Riau sedang dibangun.



Gambar 78. Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau.



Gambar 79. Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.



Gambar 80. Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

Lokasi yang dipilih adalah Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi dengan pertimbangan sebagaimana diperlihatkan Tabel 13.

Tabel 13. Pertimbangan pemilihan lokasi instalasi sistem PATS.

Nama Gedung	Kelebihan	Kekurangan
Masjid UIN Suska Riau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gedung Masjid adadi pusat kampus, sehingga keberadaan PATS bisa lebih dikenal. ▪ Air yang dipompa digunakan secara rutin untuk kebutuhan penjaga Masjid dan jamaah, khususnya shalat 5 waktu. ▪ Posisi atap masjid sebagian cocok untuk dipasang modul surya. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pekerjaan konstruksi masih berlangsung sehingga sumur belum bisa di-bor. Atap yang cocok sebagai tempat modul surya kemungkinan masih akan diperbaiki atau dicat, sehingga membuka akses pekerja ke modul. ▪ Setelah jam 12 siang pada musim panas kemungkinan sebagian modul surya terhalang bayangan kubah masjid.
Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan air di asrama besar. ▪ Terdapat bangunan ruang kontrol yang memungkinkan sinar matahari bebas mengenai modul surya. ▪ Ada reservoir air, sehingga tidak perlu lagi menggali sumur bor (Gambar 8o). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reservoir tidak digunakan lagi, hanya diisi dengan air hujan, kedalaman air tidak cukup untuk menelupkan pompa submersible. ▪ Sistem PATS hanya digunakan untuk pompa dan tidak dapat digunakan untuk belajar mahasiswa setiap saat.
Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan air di FST tinggi. ▪ Sebagian dosen-dosen pengusul berkantor di gedung Fakultas, sehingga pengawasan lebih mudah. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tidak ada posisi yang cocok untuk pemasangan panel surya sehingga sinar matahari mengenai panel sepanjang siang.
Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistem bisa dijadikan untuk demonstrasi atau praktek mahasiswa ▪ Sebagian dosen-dosen pengusul berkantor di gedung Lab, sehingga pengawasan lebih mudah. 	<ul style="list-style-type: none"> Setelah jam 12 siang pada musim panas kemungkinan sebagian modul surya terhalang bayangan kubah masjid.

Berdasarkan pertimbangan di atas, dengan menitikberatkan pada kemanfaatan sistem PATS untuk mahasiswa dan pompa air, akses lokasi pada sinar matahari, dan kesiapan gedung untuk dipasang sistem PATS, maka dipilih Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi sebagai lokasi pemasangan sistem PATS.



Gambar 81. Reservoir di Asrama Mahasiswa Putra UIN Suska Riau

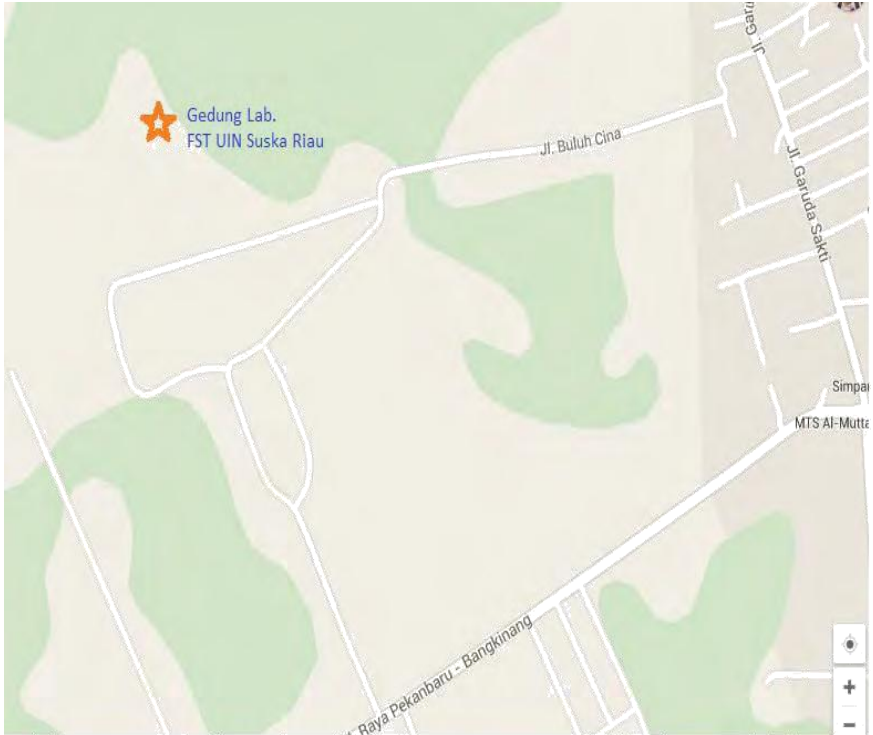
Tabel 14 menunjukkan koordinat lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi, di mana lokasi sumur digali dan pompa air dipasang.

Tabel 14. Koordinat Lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

Nama Gedung	Lintang	Bujur
Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau	0.47 LU	101.35 BT

Catatan: LU= Lintang Utara; BT= Bujur Timur

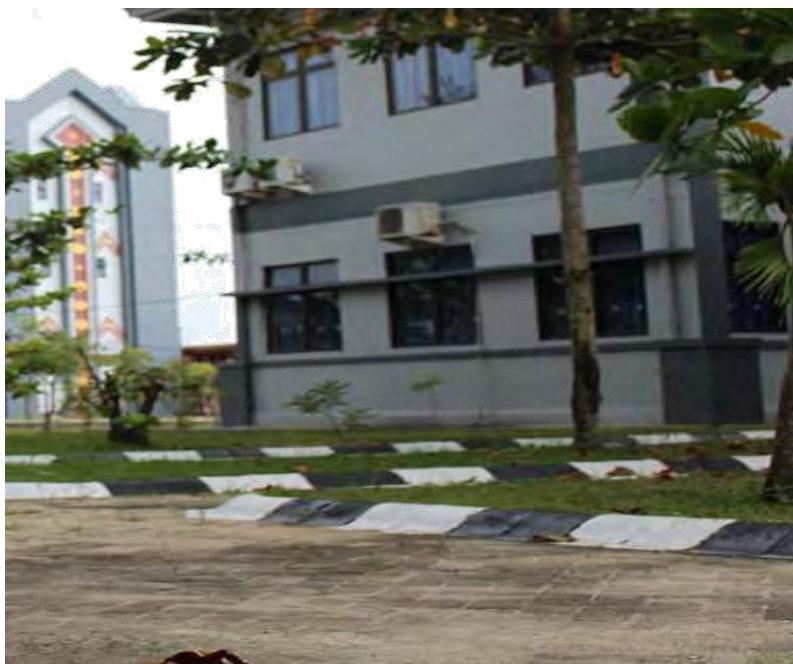
Gambar 82 memperlihatkan peta lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi



Gambar 82. Peta lokasi Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

Topografi di sekitar Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi dan kawasan sekitarnya relatif rata. Di bawah lapisan permukaan tanah terdapat lapisan gambut dengan ketebalan antara 1m hingga 2m. Di bawah lapisan tanah gambut, terdapat lapisan tanah liat dengan ketebalan sekitar 3m.

Dibawah lapisan tanah liat terdapat lapisan pasir halus (ketebalan sekitar 3m), pasir kasar (ketebalan sekitar 6m) dan tanah padat (ketebalan sekitar 6m). Oleh sebab itu, posisi air yang cukup besar berasa pada kedalaman antara 6 m sampai 13m). Gambar 64 memperlihatkan topografi bagian belakang Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi di mana sumur digali dan pompa dipasang.



Gambar 83. Topografi bagian belakang Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

Survey pendahuluan juga dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang calon lokasi instalasi panel surya dan peralatan kontrol, dan baterai. Lokasi terbaik untuk instalasi panel surya memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Terpapar ke sinar matahari langsung sepanjang tahun,

- Lahan/lokasi tersedia dengan biaya rendah,
- Lahan/lokasi memungkinkan instalasi dilakukan secara mudah,
- Jarak antar komponen dekat,
- Aman.

Berdasarkan pertimbangan paparan sinar matahari, kemudahan instalasi, dan jarak antar komponen, maka lokasi yang paling cocok untuk instalasi panel surya untuk sistem PLTS adalah di di sisi jalan sebelah Selatan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau (Gambar 84).

Namun demikian, untuk mempersiapkan lokasi tersebut diperlukan biaya yang cukup mahal. Selain itu, lokasi tersebut mungkin tidak aman dari pencurian komponen, kecuali dipasang pagar yang membutuhkan biaya tambahan.



Gambar 84. Calon lokasi instalasi panel surya, di sisi jalan sebelah Selatan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.

Lokasi kedua yang dipertimbangkan untuk instalasi panel surya adalah atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau (Gambar 84). Lokasi ini memungkinkan jarak yang dekat antar komponen, jaminan keamanan, dan tersedia dengan biaya rendah. Namun demikian lokasi ini tidak memberikan akses pada sinar matahari langsung sepanjang tahun dan pekerjaan instalasi relatif sulit terutama untuk pengangkutan peralatan ke atap gedung.



Gambar 85. Calon lokasi instalasi panel surya, di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.

Dengan mempertimbangkan keunggulan dan kekurangan kedua calon lokasi tersebut di atas, maka atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau dipilih sebagai lokasi instalasi panel surya untuk sistem PATS. Pertimbangan dalam memiliki lokasi lebih berat pada faktor keamanan peralatan setelah instalasi. Mengingat berbagai kasus pencurian yang terjadi di kampus UIN Suska Riau,

maka keamanan peralatan yang sebagian berasal dari bantuan HAW Jerman adalah hal yang mutlak. Selain itu, untuk instalasi modul surya di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau tidak memerlukan biaya tambahan karena permukaan atap yang kuat, bersih, dan rata.

Penetapan lokasi instalasi modul surya juga menentukan lokasi komponen elektronik/kontrol, dan baterai. Untuk mengurangi rugi-rugi tegangan pada kawat penghantar, maka kawat yang menghubungkan komponen sistem harus diusahakan sependek mungkin. Hal tersebut sulit dilakukan karena pertimbangan ketersediaan ruangan, akses pada ruangan di mana peralatan dipasang, dan keamanan.

Oleh sebab itu, ruangan Laboratorium Fisika di lantai 2 Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau telah dipilih sebagai lokasi pemasangan peralatan elektronik/kontrol. Ruangan tersebut dipilih karena kunci ruangan dipegang oleh teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Elektro sehingga aman dan memudahkan akses. Selain itu, ruangan tersebut cukup lapang dari peralatan lain.

Pada saat dioperasikan, baterai mengeluarkan gas beracun yang berbahaya bagi manusia. Selain itu, baterai tidak diizinkan untuk terlalu panas atau basah. Oleh sebab itu lokasi pemasangan harus terbebas dari resiko dan memenuhi persyaratan tersebut. Balkon belakang pada lantai dua Gedung

Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau telah dipilih sebagai lokasi pemasangan baterai. Lokasi ini memiliki kelemahan yaitu di luar ruangan terbuka, sehingga ada sedikit resiko embun air mengenai baterai. Namun demikian lokasi tersebut dipilih karena aman dari pencurian, aman bagi manusia, aman dari air hujan, dan tidak akan menimbulkan panas saat dioperasikan.

Survey pendahuluan juga dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi iklim di lokasi pemasangan sistem antara lain intensitas radiasi matahari, temperatur, dan curah hujan.

Radiasi matahari merupakan sumber energi pada sistem PLTS. Sistem akan berkerja maksimal apabila mendapat radiasi matahari tinggi, dan sebaliknya.

Cara terbaik mendapatkan data potensi energi surya adalah dengan melakukan pengukuran langsung di lokasi tempat sistem akan dipasang. Namun metode tersebut memerlukan waktu minimal satu tahun dan biaya cukup tinggi untuk pembelian sistem akuisisi data. Maka, pada penelitian ini digunakan metode lain yang tersedia yaitu menggunakan database SMSE NASA. Dua informasi yang akan diakses pada database SMSE NASA adalah solar irradiation (dalam satuan kWh/m²/day) dan clearness index (dalam bilangan pecahan atau persentase, tanpa satuan). Kedua informasi tersebut menggambarkan kualitas energi surya di lokasi penelitian. Data SMSE NASA dapat diakses menggunakan user name dan password khusus, dengan memberikan koordinat lokasi penelitian. Koordinat lokasi penelitian didapatkan menggunakan Google Earth^(R).

Database SMSE menyediakan banyak parameter, dan dua diantaranya digunakan pada penelitian ini yaitu intersitas radiasi matahari rata-rata perbulan pada permukaan horizontal (dalam kWh/m²/hari), dan indeks kecerahan langit (clearness index). Tabel berikut memperlihatkan data potensi energi surya di lokasi penelitian. Terlihat bahwa potensi energi surya rata-rata per tahun adalah 4,81 kWh/m²/hari dengan intensitas minimum

4,26 kWh/m²/hari pada bulan Januari dan intensitas maksimum 5,11 kWh/m²/hari. Detail kondisi iklim di lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 15. Potensi energi surya di lokasi penelitian

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
kWh/ m ² per hari	4,26	4,88	4,98	5,11	4,92	4,83	4,87	4,88	4,95	5,07	4,71	4,33	4,81

Sumber: NASA

Berdasarkan informasi di atas, dapat disimpulkan bahwa lokasi penelitian memiliki kualitas energi matahari yang bagus. Alasannya adalah sebagai berikut:

- Intensitas radiasi matahari rata-rata tahunan adalah 4,81 kWh/m²/hari, mendekati 5 kWh/m²/hari yang merupakan batas kualitas energi surya dapat dikategorikan bagus.
- Karena Indonesia berada di garis katulistiwa, variasi bulanan rendah. Hal ini menguntungkan dari aspek instalasi karena tidak diperlukan solar tracker.

Temperatur adalah faktor iklim yang juga penting dalam teknologi energi surya. Temperatur yang terlalu dingin menyulitkan pergerakan elektron dalam sel surya sehingga mengurangi produksi energi. Sedangkan temperatur yang terlalu tinggi dapat menimbulkan panas berlebihan pada modul surya sehingga mengurangi efisiensinya. Tabel berikut memperlihatkan temperatur rata-rata di lokasi penelitian pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah. Terlihat bahwa temperatur rata-rata tahunan adalah 25,3 derajat Celsius.

Tabel 16. Temperatur rata-rata di lokasi penelitian pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah.

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
kWh/ m ² per hari	24,8	25,1	25,3	25,6	25,8	25,4	25,1	25,4	25,3	25,5	25,4	25,0	25,3

Tabel di atas memperlihatkan bahwa temperatur di lokasi penelitian berkisar antara 24,8 derajat Celsius dan 25,8 derajat Celsius. Cakupan temperatur tersebut memberikan kinerja maksimal pada modul surya.

6.2. Menghitung Kebutuhan Air

Kebutuhan air di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau ditentukan oleh intensitas penggunaan gedung yang bervariasi berdasarkan aktivitas akademik, yaitu masa perkuliahan, masa ujian, dan masa liburan. Selain itu, kebutuhan air di gedung Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau hanya digunakan untuk keperluan berwudu (2 kali per hari) dan toilet. Estimasi kebutuhan air rata-rata per orang per hari adalah sekitar 10 liter. Berikut adalah perhitungan kebutuhan air total per hari di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan

Teknologi UIN Suska Riau.

Jumlah lantai	:	2 lantai
Luas setiap lantai	:	900 m ²
Luas efektif kantor	:	70 % orang/
Jumlah penghuni tiap m ² luas lantai	:	0,16 m ²
Pemakaian air per orang per hari untuk	:	10 liter

kantor

Jangka waktu pemakaian air per hari	:	8 jam
Luas total kantor	:	1800 m ²
Jumlah penghuni	:	201,6 orang
Kebutuhan air total per hari	:	2.016 liter

Tabel berikut memperlihatkan estimasi kebutuhan air di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan gedung.

Tabel 17. Estimasi kebutuhan air di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

No	Bulan	Musim	Aktifitas Akademik	Jumlah hari efektif rata-rata per bulan	Estimasi kebutuhan air harian rata-rata (liter)
1	Januari	Hujan	Perkuliahahan Aktif + UAS + libur 1 minggu	5	504
2	Februari	Hujan	Perkuliahahan Aktif	20	2016
3	Maret	Hujan	Perkuliahahan Aktif	20	2016
4	April	Hujan	Perkuliahahan Aktif + UTS	15	1512
5	Mei	Kemarau	Perkuliahahan Aktif	20	2016
6	Juni	Kemarau	Perkuliahahan Aktif + UAS	10	1008
7	Juli	Kemarau	Perkuliahahan Libur	0	0
8	Agustus	Kemarau	Perkuliahahan Libur	0	0
9	September	Kemarau	Perkuliahahan Aktif	20	2016
10	Oktober	Kemarau	Perkuliahahan Aktif	20	2016
11	November	Hujan	Perkuliahahan Aktif + UTS	15	1512
12	Desember	Hujan	Perkuliahahan Aktif	20	2016

6.3. Perancangan dan Instalasi Sistem

Pada bagian ini dijelaskan tahap-tahap perancangan yang dilakukan pada penelitian ini. Pada awalnya dilakukan penghitungan beban listrik yang dibutuhkan oleh pompa air. Proses selanjutnya adalah perancangan detail meliputi penentuan spesifikasi inverter, baterai, battery charger controller (BCR), dan modul surya.

Metode perancangan mengikuti Australian Standard AS 4509.2—2002 tentang Stand Alone Power Systems Bagian 2: System Design and Guidelines. Standar ini dipilih karena karena Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk perancangan RAPS belum tersedia. Selain itu, standar ini mudah diikuti dan sesuai dengan standar internasional International Electrotechnical Commission (IEC) 61836 tentang Solar Photovoltaic Energy Systems.

6.3.1. Studi Beban

Kebutuhan energi pompa setiap hari, disimbolkan dengan E, yang akan dilayani oleh sistem PLTS dinyatakan dalam Wh atau kWh. Energi yang dikonsumsi oleh pompa listrik dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$E = P \times t$$

di mana:

E: Konsumsi energi peralatan listrik per hari (Wh)

P: Daya peralatan listrik (W)

t: Lamanya beban digunakan per hari (jam)

Daya pompa air yang digunakan adalah 260 Watt. Dengan jam operasional selama 5 jam sehari, maka energi rata-rata yang dibutuhkan pompa setiap hari adalah 1,3 kWh. Faktor daya pompa adalah 0,7, dengan demikian kontribusi daya pada beban maksimal adalah $260 \text{ watt}/0,7 = 371 \text{ VA}$. Jika

diasumsikan surge factor adalah 7 kali lipat, maka kontribusi daya pada surge demand adalah 7×371 watt atau sekitar 2600 VA.

Dengan demikian dapat disimpulkan beban sebagai berikut:

- Energy harian beban : 1,3 kWh
- Kebutuhan maksimum $\frac{1}{2}$ jam : 371 VA
- Surge demand : 2.600 VA

6.3.2. Informasi Umum Perancangan

Beberapa informasi umum yang diperlukan dalam perancangan. Sesuai ketentuan AS 4509.2 adalah sebagai berikut:

- Efisiensi inverter rata-rata, dengan simbol η_{inv} .

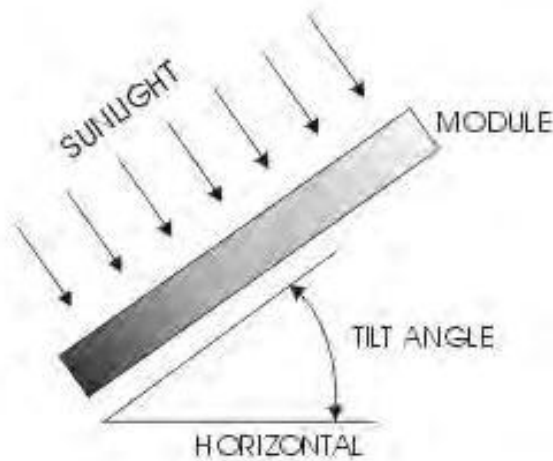
Efisiensi inverter rata-rata yang digunakan pada penelitian ini adalah 85%.

- Energy beban desain, dengan simbol E_{tot} , adalah besarnya energi rata-rata per hari yang harus dilayani oleh sistem. E_{tot} dihitung menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} E_{tot} &= (\text{Energi harian beban/efisiensi inverter}) \\ &= (1,4 \text{ kWh}/0,85) \\ &= 1,65 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- Sudut kemiringan, adalah sudut antara permukaan horizontal dengan permukaan modul surya, seperti ditunjukkan Gambar 85. Secara praktis, menurut AS 4509.2, tilt angle yang digunakan pada perancangan PLTS adalah sama dengan derajat lintang lokasi dimana modul dipasang.

Karena derajat lintang lokasi penelitian adalah $0,4^{\circ}$, maka tilt angle mestinya horizontal. Namun, posisi ini beresiko menampung air hujan pada modul. Maka pada penelitian ini digunakan tilt angle 10° , menghadap khatulistiwa.



Gambar 86. Design Tilt angle

(Sumber: <http://www.cnbestsolar.com/images/an1.jpg>)

- Daya maksimum pada line DC, adalah daya maksimum pada bagian output baterai atau input inverter, atau dikenal juga dengan beban puncak.
 Daya max. pada line DC = (Kebutuhan maksimum $\frac{1}{2}$ jam x faktor daya) / efisiensi inverter
 $= (371 \text{ VA} \times 0,8) / 0,85$
 $= 350 \text{ watt}$
- Tegangan nominal sistem, adalah tegangan pada line DC yang nilainya sama dengan tegangan baterai (battery bank). Tegangan nominal sistem, menurut AS 4509.2, ditentukan oleh desainer. Pada penelitian ini digunakan tegangan operasi DC 48 Volt.

- Perkiraan arus DC pada beban maksimum, adalah arus maksimum pada line DC pada saat beban puncak yang ditentukan dengan persamaan berikut:

Arus DC pada beban maksimum
 = Daya maksimum pada line DC / tegangan nominal sistem
 = 350 watt / 48 volt = 7,3 A

6.3.3. Penentuan bulan desain

Terdapat dua pilihan dalam menentukan bulan desain:

- Desain dilakukan pada bulan terburuk (*worst month*), di mana intensitas cahaya matahari paling rendah. Pilihan ini akan menjamin beban dilayani sepanjang tahun, namun biaya yang diperlukan lebih besar. Berdasar

Tabel 15, bulan terburuk adalah Januari dengan radiasi matahari 4,26 kWh/m².

- Desain dilakukan pada bulan rata-rata (*avarage month*), di mana intensitas cahaya matahari rata-rata digunakan di dalam desain. Pilihan ini lebih murah. Sistem akan melayani beban secara penuh selama sebagian besar masa setahun, namun pada bulan-bulan di mana intensitas cahaya matahari terlalu sedikit, beban tidak bisa dilayani selama waktu otonomi yang ditentukan. Berdasar Tabel 15, intensitas cahaya matahari rata-rata adalah 4,81 kWh/m²/hari.

Pada penelitian ini bulan desain yang dipilih adalah bulan rata-rata dengan alasan bahwa variasi radiasi matahari tahunan kecil.

6.3.4. Menentukan ukuran dan spesifikasi inverter

Berikut ini adalah tahapan dalam menentukan ukuran dan spesifikasi inverter.

- *Demand max inverter ½ h*, dengan simbol $S_{inv,30min}$, adalah daya semu maksimum selama 30 menit (jika beban memiliki komponen induktif), atau daya beban (jika beban tidak memiliki komponen induktif), yang memasuki inverter. Pada penelitian ini *demand max inverter ½ h* sama dengan kontribusi daya pada beban maksimal yaitu 371 VA.
- *Surge demand*, dengan simbol $S_{inv,sur}$, adalah beban puncak sesaat

(biasanya selama 10 detik) atau kurang (diukur dalam VA). Pada penelitian ini *surge demand* adalah 2.600 VA.

- *Safety factor*, AS 4509-2 merekomendasikan *safety factor* sebesar 10%. Dengan mempertimbangkan *safety factor*, maka dihitung kembali *inverter ½ h maximum rating* dan *inverter surge rating* yang diusulkan sebagai berikut.
- Rating max inverter ½ h diusulkan

$$\begin{aligned} &= (1 + \text{Safety factor}) \times \text{rating max inverter } \frac{1}{2} \text{ h} \\ &= (1 + 10\%) \times 371 \text{ VA} \\ &= 408 \text{ VA} \end{aligned}$$

- Rating surge diusulkan

$$\begin{aligned} &= (1 + \text{Safety factor}) \times \text{demand surge inverter} \\ &= (1 + 10\%) \times 2600 \text{ watt} \\ &= 2860 \text{ VA} \end{aligned}$$

6.3.5. Ukuran dan Spesifikasi Baterai

Baterai yang digunakan pada sistem ini harus mampu melayani beban selama waktu yang ditentukan (waktu otonomi). Baterai mendapat muatan listrik yang dihasilkan oleh panel surya melalui battery charger controller. Berikut adalah tahapan yang dilalui dalam menentukan ukuran baterai pada sistem ini.

- Energi beban desain, adalah 1,65 kWh.
- Beban Ah desain, adalah besarnya beban (dalam ampere-hour) yang harus dilayani oleh baterai, dihitung dengan:
- Beban Ah desain = Energi beban desain / tegangan nominal operasi $1650 \text{ Wh} / 48 \text{ V} = 34,4 \text{ Ah}$.
- Waktu otonomi, disimbolkan dengan Taut, adalah jumlah hari saat sistem melayani beban tanpa masukan energi dari modul surya dan tanpa melewati DoD maksimum baterai. Waktu otonomi, menurut AS 4509-2, ditentukan menurut keinginan user; makin lama waktu otonomi makin besar kapasitas baterai yang diperlukan, sehingga makin besar biaya investasi baterai. Sebaliknya makin pendek waktu otonomi, makin murah biaya baterai namun makin menurun kehandalan sistem. Pada penelitian ini waktu otonomi yang dipilih adalah 2 hari. Artinya, baterai dapat melayani beban selama dua hari walaupun intensitas cahaya matahari tidak cukup untuk dikonversi oleh panel surya menjadi energi listrik, misalnya pada musim hujan di mana langit mendung di siang hari.

Depth of discharge (DoD) maksimum, disimbolkan dengan DoDmax, adalah besarnya muatan yang ditarik (discharge) dari baterai yang terisi penuh pada kecepatan discharge yang dipilih. DoD dinyatakan dalam persentase dari kapasitas baterai. (Misalnya, penarikan 25 Ah dari baterai yang memiliki kapasitas 100 Ah menghasilkan discharge

25%). Pada penelitian ini DoDmax baterai yang dipilih adalah 0,7. Artinya, sistem ini mengizinkan baterai untuk dikosongkan (discharge) hingga menyisakan 30% muatan di dalam baterai. Jika kondisi ini dicapai, maka baterai tidak akan melayani beban sebelum diisi muatan kembali.

- Kecepatan discharge battery (*nominal battery discharge rate*), disimbolkan dengan Cn. Pada penelitian ini digunakan baterai C20.
- Temperatur rata-rata harian minimum, kapasitas yang tersedia dari baterai dipengaruhi oleh suhu elektrolit, umumnya menurun jika suhu turun. Pada penelitian ini temperatur rata-rata minimum yang diizinkan
- adalah 20°C, sesuai dengan temperature rata-rata di Riau (BPS Riau 2008).
- Faktor koreksi temperatur, perubahan temperatur di dalam sel baterai lebih lambat dibandingkan temperatur sekitar. Hal ini menyebabkan penurunan kapasitas baterai. Dengan temperature rata-rata minimum
- 20°C, AS 4509-2 memberikan penurunan 2%, maka faktor koreksi temperatur adalah 0,98.
- Kapasitas baterai dibutuhkan, adalah ukuran baterai yang digunakan dalam sistem ini, dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.
- Kapasitas baterai dibutuhkan = (Beban Ah desain x Waktu otonomi)/(Max. DoD x Faktor koreksi temperatur).
$$(34,4 \times 2) / (0,7 \times 0,98) = 100,3 \text{ Ah}$$
- Jumlah strings yang parallel, adalah jumlah pencabangan dari rangkaian baterai yang parallel satu sama lain. Untuk menentukan jumlah pencabangan rangkaian baterai, terlebih dahulu harus ditentukan spesifikasi baterai yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan baterai dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan Kerja : 12 Volt

- Kapasitas : 150 Ah
- Discharge rate : C20
- Jumlah string yang parallel = Kapasitas baterai dibutuhkan/ kapasitas satu buah baterai pada discharge rate
 $100,3 \text{ Ah} / 150 \text{ Ah} = 0,7 \text{ string} \approx 1 \text{ string}$
- Jumlah cells/block yang seri, adalah jumlah baterai yang terhubung seri pada setiap pencabangan, dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.
- Jumlah cells/block yang seri = tegangan nominal operasi/tegangan baterai
 $48\text{V} / 12 \text{ V} = 4$
- Kapasitas baterai pada rating discharge, adalah untuk mengetahui kapasitas baterai sesungguhnya yang dihasilkan setelah perancangan, dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

Kapasitas baterai pada rating discharge
= kapasitas baterai pada discharge rate x Jumlah string yang parallel.
= 150 x 1
= 150 Ah

- Waktu otonomi dari baterai yang dipilih, adalah banyaknya hari yang dapat dilayani untuk mensuplai beban baterai tanpa suplai energi dari PLTS, setelah perancangan, dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

Waktu otonomi = (DoDMax x Kapasitas baterai pada rating discharge x Faktor koreksi temperature)/
Beban Ah desain
= $(0,7 \times 150 \times 0.98) / 34,4 = 3 \text{ hari}$

- DoD harian, adalah untuk mengetahui DoD sesungguhnya dari baterai setelah perancangan. Dihitung dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} \text{DoD harian} &= \text{Beban Ah desain} / \text{Kapasitas baterai pada} \\ &\quad \text{rating discharge} \\ &= 34,4 / 150 = 0.2 \end{aligned}$$

- Periode penyamaan, disimbolkan dengan T_{eq} , adalah interval waktu (dalam hari) yang disarankan perancang di mana generator mengisi baterai untuk menyamakan muatan baterai sesuai perancangan. Pada penelitian ini T_{eq} yang dipilih adalah 30 hari.
- Lamanya waktu penyamaan, disimbolkan dengan T_{eq-run} , adalah lamanya waktu (dalam jam) yang disarankan perancang yang diperlukan generator untuk menyamakan muatan baterai. Pada penelitian ini T_{eq-run} yang dipilih adalah 2 jam.

6.3.6. Penentuan Modul Surya dan Regulator

Langkah-langkah perancangan modul surya dan regulator diuraikan di bawah ini.

- Koefisien kelebihan beban yang disimbolkan dengan f_0 adalah sebuah angka yang dimasukkan ke dalam perancangan karena output sistem PLTS yang bervariasi sehingga ada kemungkinan beban lebih besar dari output yang dihasilkan. AS4509-2 menyarankan $f_0 = 1$.
- Efisiensi baterai yang disimbolkan η_{coul} adalah efisiensi energi baterai (atau efisiensi watt-jam). Efisiensi baterai, menurut AS4509-2 berkisar antara 90% hingga 95% untuk baterai lead acid. Pada penelitian ini diasumsikan efisiensi baterai adalah 90%.
- Tahap selanjutnya adalah pemilihan spesifikasi modul

surya yang digunakan, yaitu:

Produser	: BP Solar
Daya max., Pstc	: 50 Watt
Tegangan max.	: 17,5 V
Arus Short circuit, Isc	: 3,17 A
Arus modul pada 14 V pada suhu operasi, IT,V	: 3,2 A
Toleransi pabrik terhadap daya output	: 10 %
Derating factor karena debu, fdirt	: 95%.
Tegangan Open Circuit	: 21,8 V
Minimum bypass diode	: 9 A
Max series fuse	: 20 A

Beban Ah desain

$$\begin{aligned}\text{Beban Ah desain} &= \text{Energy beban desain} / \text{Tegangan} \\ &\quad \text{nominal sistem} \\ &= 1,65 \text{ kWh} / 48 \text{ V} = 34,37 \text{ Ah.}\end{aligned}$$

- Output array dibutuhkan

Output array dibutuhkan = Beban Ah desain / efisiensi baterai

$$= 34,37 \text{ Ah} / 0,9$$

$$= 38,2 \text{ Ah}$$

- Output muatan (Ah) per hari per modul

Output muatan (Ah) per hari per modul

$$= (1 - \text{Toleransi pabrik terhadap daya output}) \\ \times \text{Arus modul pada 14 V pada suhu operasi} \\ \times \text{Derating factor karena debu} \times \text{radiasi matahari}$$

$$= (1 - 0,1) \times 3,2 \times 0,95 \times 4,81$$

$$= 13,2 \text{ Ah}$$

- Jumlah string paralel dibutuhkan

Jumlah string paralel dibutuhkan

$$= (\text{output array dibutuhkan} \times \text{koefisien kelebihan beban}) / \\ \text{Output muatan(Ah) per hari per modul} \\ = (38,2 \times 1) / 13,2 \\ = 2,9$$

Jumlah string yang digunakan = 3

- Kontribusi PLTS untuk bulan desain

Kontribusi PLTS untuk bulan desain

$$= (\text{Jumlah string paralel yang digunakan} / \text{Jumlah string} \\ \text{paralel dibutuhkan}) \times 100 \\ = (3 / 2,9) \times 100 \\ = 103 \%$$

Jumlah modul seri per string

Jumlah modul seri per string

$$= \text{Tegangan nominal sistem} / \text{tegangan modul} \\ = 48 / 17,5 \\ = 2,7 \text{ di bulatkan menjadi } 3$$

- Jumlah modul total dalam array

Jumlah modul total dalam array

$$= \text{Jumlah string yang digunakan} \\ \times \text{Jumlah modul seri per string}$$

$$= 3 \times 3$$
$$= 9$$

- Rating arus regulator dibutuhkan

Rating arus regulator dibutuhkan
= Arus Short circuit modul
x Jumlah string yang digunakan x 1,25
= $3,17 \times 3 \times 1,25$
= 11,9 A, dibulatkan 12 A

4.3.5. Menentukan Ukuran BCR

Pada bagian ini akan dihitung ukuran dan spesifikasi BCR yang dibutuhkan. Langkah-langkah perancangan diuraikan di bawah ini.

- Rating kapasitas 10 h per baterai, $C_{10} = 135 \text{ Ah}$
- Rating kapasitas 10 h bank baterai
= Rating kapasitas 10 h per baterai
x jumlah string yang paralel
= $135 \times 3 = 405 \text{ Ah}$
- Rating kapasitas pengisian 10 h bank baterai
= Rating kapasitas 10 h bank baterai / 10
= $405 / 10$
= 40,5 A

Berdasarkan BCR yang ada di pasar, dalam penelitian ini digunakan BCR dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 18. Spesifikasi komponen sistem PATS direkomendasikan

NO	Komponen	Spesifikasi
1	Beban (pompa submersible)	Pompa AC; Daya: 260 watt Tegangan: 220 V Fasa: 1 Faktor daya: 0,7 Energy harian beban : 1,3 kWh Kebutuhan maksimum ½ jam: 371 VA Surge demand : 2.600 VA
2	Inverter	Efisiensi: 85% Rating max. inverter ½ h: 408 VA Rating Surge demand: 2.860 VA
3	Baterai	DoD: 70% Nominal battery discharge rate: C ₂₀ Tegangan Kerja tiap baterai : 12 Volt Kapasitas tiap baterai : 150 Ah Jumlah string yang parallel: 1 Jumlah cells/block yang seri: 4

		Waktu otonomi dibutuhkan: 2 hari
4	Modul Surya dan regulator	Produser: BP Solar Daya max., Pstc : 50 Watt Tegangan max : 17,5 V Arus Short circuit, Isc: 3,17A Arus modul pada 14 V pada suhu operasi, IT,V: 3,2A Toleransi pabrik terhadap daya output: 10 % Derating factor karena debu, fdirt : 95%. Tegangan Open Circuit: 21,8 V Minimum bypass diode: 9 A Max series fuse : 20 A Jumlah string yang digunakan = 3 Jumlah modul seri per string: 3 Jumlah modul total dalam array: 9 Rating arus regulator: 12 A
5	BCR	Arus pengisian maksimum: 45A Tegangan output: 13,8-14,8 Vdc (mengisi); 13,1-1422 Vdc (stand by) Efisiensi: 85% Faktor daya: 0,8

6.3.7. Menentukan Ukuran Kabel

Bedasarkan Tabel di atas, arus paling tinggi yang mengalir di dalam sistem adalah 12 A. Dengan demikian kabel harus mampu membawa arus tersebut secara aman.

Tabel berikut memperlihatkan kapasitas pengangkutan arus berbagai jenis diameter kabel. Terlihat bahwa kabel dengan luas penampang 2,5 mm² mampu membawa arus 13 A dan

oleh sebab itu pada sistem ini telah digunakan kabel dengan diameter 2,5 mm². Kabel yang digunakan memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI). Kabel yang digunakan dibungkus oleh lapisan isolator.

Tabel 19. Kapasitas pengangkutan arus berbagai jenis diameter kabel

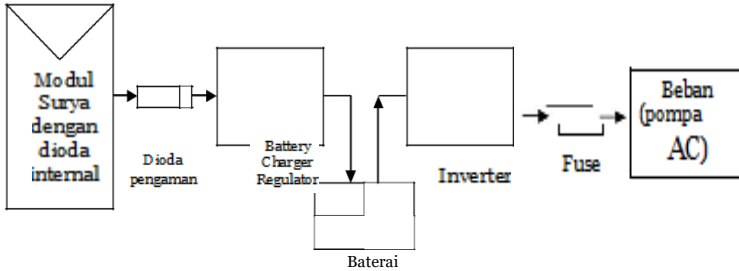
NO	Diameter kabel (mm ²)	Kapasitas pengangkutan arus (A)
1	1	7
2	1,5	9
3	2,5	13
4	4	17
5	6	22

6.3.8. Instalasi sistem

Sebelum melakukan instalasi sistem, maka terlebih dahulu perlu ditentukan konfigurasi sistem. Gambar berikut memperlihatkan konfigurasi sistem PATS yang digunakan di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.

Prinsi kerja sistem adalah sebagai berikut: modul surya menerima radiasi matahari dan mengubah energi matahari menjadi listrik DC. Listrik DC tersebut dialirkan ke BCR melalui dioda pengaman. Fungsi dioda pengaman di sini adalah untuk arus mengalir dari baterai ke modul surya pada malam hari saat tegangan pada baterai lebih tinggi daripada tegangan pada modul surya. BCR kemudian mengisikan arus ke baterai. BCR juga akan memutuskan sambungan antara modul surya dengan baterai jika baterai telah terisi penuh. BCR juga akan memutuskan hubungan antara baterai jika kondisi DoD maksimum tercapai. Arus DC pada baterai selanjutnya dinaikkan tegangannya dan diubah menjadi arus AC oleh inverter. Output inverter adalah tegangan AC 220

Volt. Arus AC 220 V kemudian digunakan untuk menggerakkan pompa air. Fuse antara inverter dan pompa air dipasang untuk mengamankan inverter dari pembebanan berlebihan oleh pompa air



Gambar 87. Konfigurasi sistem PATS yang digunakan di Gedung Laboratorium Fakultas sains dan Teknologi UIN Suska Riau

1. Mempersiapkan modul surya.

Modul surya sejumlah 10 buah didapatkan melalui bantuan dari Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Kuantan Singingi. Usia operasi modul surya adalah tujuh tahun. Kondisi kelistrikan modul dalam keadaan baik, namun kondisi fisik yang kotor menyebabkan pengurangan radiasi matahari yang diterima. Oleh sebab itu, modul tersebut terlebih dahulu dibersihkan. Gambar berikut memperlihatkan mahasiswa membersihkan modul surya.



Gambar 88. Mahasiswa membersihkan modul surya

2. Mempersiapkan dudukan modul surya.

Modul surya harus dipasang secara kokoh untuk menghindari kerusakan akibat angin atau menghindari pergeseran posisi modul. Mempertahankan posisi modul adalah penting karena modul diposisikan sedemikian sehingga mendapatkan sinar matahari yang optimal sepanjang tahun. Gambar berikut memperlihatkan dudukan modul yang sedang dipersiapkan.



Gambar 89. Pembuatan dukungan modul surya

3. Mempersiapkan sumur bor.

Pompa air tenaga surya dimaksudkan untuk mengangkat air dari dalam tanah ke tangki air yang telah tersedi di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi. Karena diameter sumur yang ada saat ini tidak memungkinkan untuk memasukkan pompa air *submersible*, maka pada penelitian ini telah digali sebuah sumur bor dengan kedalaman 20 meter di belakang Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi. Permukaan air normal berada pada kedalaman 4 meter. Pompa air dicelupkan pada kedalaman 16 meter. Pengujian pembuangan air selama dua hari berturut-turut menggunakan pompa air konvensional tidak menimbulkan kekeringan air pada sumur bor yang baru digali. Hal ini membuktikan bahwa cadangan air tersedia secara cukup. Gambar berikut memperlihatkan proses persiapan sumur bor. Penggalian sumur bor menggunakan jasa penggali sumur profesional.



Gambar 90. Persiapan sumur bor

4. Mempersiapkan lokasi instalasi modul surya.

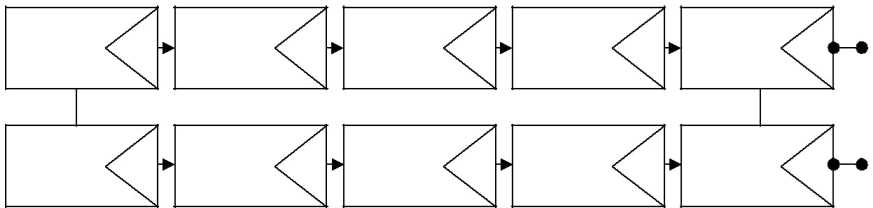
Modul surya harus dipasang pada lokasi yang dapat menerima sinar matahari sepanjang tahun. Karena lokasi instalasi telah ditetapkan di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi, maka dilakukan survei lokasi untuk menentukan titik instalasi modul surya sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 91. Survei lokasi instalasi modul surya di atap Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi

5. Instalasi modul surya.

Modul surya dipasang padaudukannya secara kokoh. Karena jumlah modul surya yang tersedia adalah 10 buah, maka sesuai perancangan, modul surya dipasang secara paralel di mana masing-masing rangkaian seri terdiri dari lima buah modul seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 92. Rangkaian Modul Surya

Proses pemasangan modul surya berdasarkan rangkaian di atas diperlihatkan pada gambar berikut. Pemasangan modul surya melibatkan mahasiswa.



Gambar 93. Pemasangan modul surya

6. Persiapan sistem kontrol.

Sistem kontrol PATS tersebut dirangkai secara kompak oleh OTH Jerman sebagai donatur sistem kontrol tersebut. Komponen yang digunakan sesuai perancangan adalah BCR, inverter, dan peralatan perlindungan sistem.

Kegiatan persiapan sistem kontrol melibatkan mahasiswa

sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut. Untuk keamanan, maka sistem kontrol dipasang di ruangan Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi ruangan Laboratorium Fisika Lantai 2.



Gambar 94. Persiapan sistem kontrol: BCR, inverter, dan peralatan proteksi

7. Persiapan baterai.

Empat buah baterai dirangkai secara seri sehingga menghasilkan tegangan 48 Volt DC. Baterai harus ditempatkan pada lokasi yang aman sehingga gas yang dikeluarkan baterai saat beroperasi tidak mengganggu kesehatan manusia yang menggunakan ruangan. Oleh sebab itu baterai dipasang pada balkon di lantai 2 Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi. Selain itu, karena berat masing-masing baterai adalah 20 kg, maka baterai harus dipasang padaudukan yang kokoh. Persiapan pemasangan baterai diperlihatkan pada gambar berikut. Persiapan baterai melibatkan mahasiswa.



Gambar 95. Pemasangan baterai

8. Penyambungan komponen

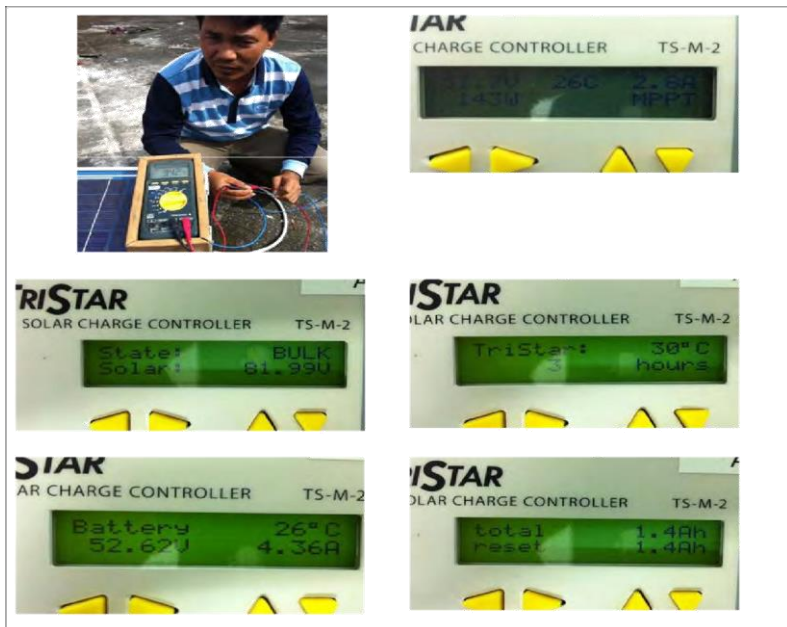
Setelah semua komponen sistem dipasang pada posisi masing-masing, maka langkah terakhir adalah penyambungan komponen-komponen sesuai perancangan dan konfigurasi sistem. Komponen disambung menggunakan kabel yang sudah dirancang sebelumnya. Penyambungan komponen juga mencakup pemasangan pipa air dari sumur bor ke tanki air di atas atap gedung. Gambar berikut memperlihatkan proses penyambungan komponen dengan melibatkan mahasiswa.



Gambar 96. Penyambungan komponen sistem

6.4. Monitoring dan analisis kinerja sistem

Setelah semua sistem disambungkan menurut perancangan dan konfigurasi sebelumnya, maka proses selanjutnya adalah melakukan monitoring dan analisis kinerja sistem. Monitoring dilakukan selama dua hari berturut-turut, dimulai jam 8.00 WIB saat sinar matahari mengenai modul surya dan diakhiri jam 17.00 WIB dengan interval pengukuran selama satu jam. Gambar berikut memperlihatkan proses monitoring kinerja sistem. Pengukuran parameter kelistrikan sistem dilakukan menggunakan multimeter digital, sedangkan monitoring operasi sistem dilakukan menggunakan alat ukur dan monitor yang terdapat pada BCR.



Gambar 97. Monitoring kinerja sistem

Parameter-parameter kelistrikan yang diamati dan nilai masing-masing diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 20. Hasil pengukuran dan monitoring kinerja sistem

No	Parameter	Teori	Aktual
1	Tegangan out solar array (Volt)	87,5	82
2	Tegangan out baterai (Volt)	48	52,4
3	MPPT(Amp.)	2,9	2,8
4	Daya solar array jam 9 pagi	110 W	143
5	Tegangan output inverter (volt)	220	160

Analisis kinerja sistem PATS di Gedung Laoratrium Fakultas Sains dan Teknologi dilakukan dengan mengamati parameter-parameter kelistrikan yang penting, yaitu tegangan output dari panel-panel surya, tegangan output dari baterai, arus MPPT daya yang dihasilkan oleh panel-panel surya dan tegangan output inverter.

Analisis dilakukan dengan membandingkan antara kondisi minimal yang diinginkan berdasarkan teori dan kondisi sebenarnya pada saat sistem beroperasi dalam kondisi nyata.

1. Tegangan out solar array (Volt)

Tegangan output dari panel-panel surya semestinya bernilai 87,5 Volt. Namun tegangan terukur pada saat sistem dioperasikan hanya 82 volt (94%).

Perbedaan tegangan sebesar 6% tersebut tidak signifikan dan dapat diterima. Di antara alasan yang menyebabkan tegangan aktual lebih kecil daripada tegangan teoritis adalah sebagai berikut:

- Modul surya yang digunakan bukan modul baru dan sudah berusia tujuh tahun, sehingga produksi tegangan telah mengalami penurunan,

- Pada saat diambil dari lapangan di Kabupaten Kuantan Singingi, kondisi modul tidak terawat sehingga kaca penutup modul dalam keadaan berdebu. Walaupun telah dibersihkan kembali, kemungkinan kejernihan kaca penutup modul tidak sama dengan semula, sehingga terjadi penurunan intensitas matahari yang melewati modul surya,

2. Tegangan out baterai (Volt)

Tegangan output baterai mestinya hanya 48 volt, karena terdiri dari empat buah baterai dengan tegangan masing-masing 12 volt disambungkan secara seri. Namun hasil pengukuran pada saat dioperasikan menunjukkan tegangan output baterai sebesar 52,4 volt (109%). Di antara penyebab tegangan aktual lebih besar 9% dibanding tegangan teoritis adalah karena nilai tegangan masing-masing baterai bukan tepat 12 volt, namun terdapat variasi tegangan.

3. Arus MPPT(Amp.)

Besarnya arus MPPT teori dan arus MPPT aktual hampir sama, berturut-turut 2,9 A dan 2,8 A. Tidak ada persoalan pada perbedaan yang kecil tersebut.

4. Daya solar array

Daya listrik yang dihasilkan oleh panel-panel surya ditentukan oleh besarnya intensitas sinar matahari yang mengenai permukaan modul surya dan efisiensi internal modul surya. Oleh sebab itu perhitungan secara akurat tidak dimungkinkan. Berdasarkan perhitungan, pada jam 9:00 WIB dan kondisi langit cerah, modul surya menghasilkan tegangan sebesar 110 W.

Namun demikian, pengukuran menunjukkan angka 143 watt sebagai daya output pada saat tersebut. Dengan demikian

kondisi aktual lebih baik daripada kondisi yang diperkirakan karena sistem PATS menghasilkan energi yang lebih besar.

5. Tegangan output inverter

Satu-satunya persoalan teknis yang dialami pada saat sistem dioperasikan adalah tegangan output inverter yang tidak sesuai dengan perkiraan.

Berdasarkan perkiraan, tegangan output inverter mestinya 220 volt, namun kondisi aktual hanya menghasilkan tegangan output sebesar 160 volt. Karena output inverter langsung digunakan untuk menggerakkan pompa air, maka kondisi tersebut sangat mempengaruhi laju putaran pompa air. Pengurangan laju putaran pompa air menyebabkan berkurangnya volume air yang dipompa dibandingkan dengan volume yang diinginkan.

Hingga saat laporan ini ditulis, belum ditemukan solusi dari persoalan tersebut. Namun demikian, peneliti memiliki keyakinan bahwa persoalan tersebut disebabkan oleh kesalahan pemilihan inverter yang dilakukan oleh pihak OTH Jerman. Inverter yang digunakan seharusnya inverter yang menghasilkan tegangan output 220 volt, namun kemungkinan inverter yang dipasang menghasilkan tegangan output 160 volt sampai 180 volt. Perkiraan ini mestinya dapat dikonfirmasi dengan membaca lembar spesifikasi inverter yang digunakan. Namun hal tersebut tidak ditemukan pada lembar spesifikasi inverter. Saat ini, peneliti masih menunggu informasi dari pabrik inverter melalui pihak OTH Jerman.

7.1. Kesimpulan

Estimasi kebutuhan air di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau telah dilakukan. Informasi tersebut telah digunakan untuk merancang sebuah sistem pompa air tenaga surya (PATS) dengan memperhitungkan kapasitas modul surya, *battery charger controller* (BCR), baterai, inverter, dan kawat penghubung, untuk menggerakkan pompa air submersible 260 watt ac.

Berdasarkan perancangan, sistem PATS tersebut mestinya terdiri dari 9 buah modul surya dengan daya masing-masing 50 Wp, inverter 408 VA (surge 2860 VA), 4 baterai 12 volt dengan kapasitas masing-masing 150 Ah, dan regulator dengan arus layanan 12 A, dan kawat dengan kapasitas hantaran arus 12 A. Sistem yang dibangun memiliki spesifikasi yang lebih tinggi dari perancangan, yang terdiri dari 10 buah modul surya dengan daya masing-masing 50 Wp, inverter 1200 VA (surge 4000 VA), 4 baterai 12 volt dengan kapasitas masing-masing 150 Ah, regulator dengan arus layanan 30 A dan kawat dengan kapasitas hantaran arus 13 A.

Semua komponen sistem telah beroperasi dengan baik, kecuali inverter yang hanya menghasilkan tegangan output 160 volt, lebih kecil dari tegangan yang diinginkan sebesar 220 volt, sehingga putaran pompa air menjadi lebih lambat dan volume air yang dihasilkan lebih sedikit. Kesalahan tersebut diperkirakan karena pihak yang merancang inverter melakukan kesalahan dalam memilih inverter yang digunakan.

Sistem PATS tersebut diharapkan bisa digunakan sebagai media belajar oleh mahasiswa UIN Suska Riau secara khusus dan masyarakat umum lainnya.

Selain itu, keberadaan sistem PATS tersebut diharapkan meningkatkan keyakinan pembuat kebijakan di Provinsi Riau untuk memanfaatkan sumber energi matahari sebagai sumber energi terbarukan yang diberikan secara cuma-cuma oleh Allah SWT. kepada umat manusia, khususnya masyarakat Riau yang beriklim tropis dan mendapat sinar matahari dalam kapasitas besar sepanjang tahun.

7.2. Rekomendasi

Sistem PATS yang dibangun di Gedung Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau akan dioperasikan dalam jangka waktu yang panjang. Diperkirakan usia modul surya dan komponen kontrol bertahan hingga 13 tahun ke depan, sedangkan usia baterai diperkirakan bertahan hingga 5 tahun ke depan. Dalam masa operasinya akan terjadi penurunan kinerja secara perlahan. Oleh sebab itu, peneliti merekomendasikan untuk pemasangan data logger pada sistem PATS tersebut yang bertugas mengumpulkan informasi kelistrikan secara otomatis dalam jangka waktu yang panjang. Informasi tersebut akan berguna untuk mengamati kinerja sistem energi surya dalam kondisi iklim Pekanbaru dan mungkin akan menjadi penelitian pertama dalam hal pengamatan kinerja sistem energi surya di kawasan khatulistiwa di Indonesia.

Penelitian yang lebih mendalam dapat dilakukan dengan menambahkan alat ukur energi surya dan alat ukur temperatur yang membandingkan temperatur ambien dan temperatur modul surya. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengamati efek temperatur modul pada kinerja sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhlus.S, 2005, Pengaruh Hubungan Seri-Paralel pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik, Surabaya
- Amrouche, S. Ould., D. Rekioua, A. Hamidat. 2010. Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO₂ emissions mitigation potential. *Applied Energy Journal* 87: 3451–3459.
- Andreas dkk. 2000. Angin Untuk Destilasi Laut. Universitas Gajah Mada. [http://www.scribd.com/doc/18038140/Panduan-Air Bersih](http://www.scribd.com/doc/18038140/Panduan-Air-Bersih). (diakses 13 April 2012)
- Archiexpo. n.d. Solar Water Pump. <http://www.archiexpo.com/prod/tenesol/solar-water-heaters-with-heat-pump-56206-550623.html> (diakses 27 Januari 2013).
- Belgacem, B. Ghanem. 2012. Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia. *Energy for Sustainable Development Journal* 16:415–420.
- Benghanem, M., K.O. Daffallah, A.A. Joraid, S.N. Alamri, dan A. Jaber. 2013. Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management Journal* 65: 50-56.
- BPS Riau. 2004. Iklim dan Curah Hujan. <http://riau.bps.go.id/publikasi-online/riau-dalam-angka/bab-2-keadaan-iklim.html> (diakses 18 Agustus 2010).

Buysolarpane. n.d. 20A Solar Charge Controller Solar System Protection

Regulator 12V/24V Max480W SI02A-20A.
<http://buysolarpanel.freevar.com/20a-solar-charge-controller-solar-system-protection-regulator-12v24v-max480w-sl02a-20a> (diakses 27 Januari 2013).

Chaplin, Martin. 2012. Water Structure and Science. London: London South Bank University.
<http://www.lsbu.ac.uk/water/life.html> (diakses 27 Januari 2013).

CiputraNews. 2013. Riau Wacanakan Bangun 18 Sumber Air Bersih. <http://www.ciputranews.com/ibu-kota-daerah/riau-wacanakan-bangun-18-sumber-air-bersih> (diakses 27 Januari 2013).

Dirgantara. M, dkk, 2012, Simulasi Sel Surya Model Dioda dengan Hambatan Seri dan Hambatan Shunt Berdasarkan Variasi Intensitas Radiasi,

Temperatur, dan Susunan Modul, Prosiding Seminar Nasional Sains IV; Bogor.

Firstbtob. n.d. Sealed Rechargeable Lead-Acid Battery. <http://www.firstbtob.com/products/122863/SealedRechargeable-Lead-Acid-Battery.html> (diakses 27 Januari 2013).

Helio Power System. 2011. How the Output of a Solar System Is Calculated. <http://www.hpssolar.com/2011/03/17/how-the-output-of-a-solar-system-is-calculated/> (diakses 17 April 2012)

<http://energy.gov/eere/renewables/solar>, diakses 13 januari 2015

<http://pag.bgl.esdm.go.id/siat/?q=content/tata-cara-pengelolaan-air-tanah>.

<http://sun-nrg.org>, diakses 13 januari 2015

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&sqi>

[=2&ved=0CCsQFjAC&url=http%3A%2F%2Fmarno.lecture.ub.ac.id%2Ffiles%2F2013%2F11%2FSIMPANAN-AIR-HUJAN-DALAM-TANAH.docx](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&sqi=2&ved=0CCsQFjAC&url=http%3A%2F%2Fmarno.lecture.ub.ac.id%2Ffiles%2F2013%2F11%2FSIMPANAN-AIR-HUJAN-DALAM-TANAH.docx) (diakses tanggal 16 Desember 2014).

<http://www.panelsurya.com/index.php/id/home/kabel-instalasi-panel-surya>.

Hutauruk, T.S, 1991, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan

Peralatan, edisi ke-2, Penerbit Erlangga, Jakarta.

IEC (International Electrotechnique Comission). 2011. IEC 62253:2011

Photovoltaic pumping systems. Design qualification and performance measurements.

Iswanto, Adi 2008. Prinsip Kerja Sel Surya P-N. 102 Fisikawan Muda ITB <http://102fm-itb.org/2008/06/22/prinsip-kerja-sel-surya-sambungan-p-n/> (diakses, 13 April 2012).

Kumara, Nyoman S. 2010. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala

Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya Di Indonesia. Universitas Udayana [http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/satya_11_\(2\).pdf](http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/satya_11_(2).pdf) (diakses

17 April 2012)

Kusuma, Yuriadi n.d. Sistem Mekanikal Gedung. Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB. http://pksm.mercubuana.ac.id/new/elearning/files_modul/13039-14-676327906601.doc (diakses 17 April 2012)

Loque, A. dan S. Hegedus. 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Maupoux, Michel. 2010. Solar (Photovoltaic) Water pumping. Green

Empowerment.http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/cd3wd/Practact/solar_photovoltaic_waterpumping.pdf (diakses 17 April 2012).

Mintorogo, Dany Santoso. n.d. Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic

Cells) Pada Perumahan dan Bangunan Komersial. Universitas Kristern

Petra.<http://www.scribd.com/doc/76662612/ARS00280209> (diakses 17 April 2012)

Murdoch University. 2013. Solar Powered Water Pumping.<http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Applic/Solarpump/index.html> (diakses 27 Januari 2013).

Naibaho, 1994, Teknik Tenaga Listrik Tenaga Surya, Malang, PPPGT VEDC

Nurhayati. n.d. Proyeksi Kebutuhan Air Untuk Kawasan Perkotaan.<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s>

&source=web&cd=15&cad=rja&uact=8&ved=0CD0QFjAEOA
o&url=http%3A%2F%2Flib.u
i.ac.id%2Ffile%3Ffile%3Ddigital%2F120122-T%252025447-
strategi%2520optimasi-literatur.pdf&

Odeh, I., Y.G. Yohanis, B. Norton. 2006. Economic viability of photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy Journal* 80:850–860.

Pabla,AS, 1981, Sistem Distribusi Tenaga Listrik, edisi ke-1, Penerbit

Erlangga. Jakarta.

Pijpaert, K,1999, Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi, Elektro Indonesia No.24 Tahun V, Januari 1999.

PNPM Mandiri Pedesaan. 2008. Pengadaan Air Bersih.

<http://www.scribd.com/doc/18038140/Panduan-Air-Bersih> (diakses 13

April 2012)

PPPTK,2008, Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, Bandung

Rensselaer Polytechnic Institute. 2006.

<http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/lightingAnswers/p>
hotovoltai

[c/14-photovoltaic-tilt-angle.asp](http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/lightingAnswers/p/c/14-photovoltaic-tilt-angle.asp) (diakses 17 April 2012).

Rif'an. M., dkk, 2012, Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jurnal EECCIS Vol.

6, No. 1, Universitas Brawijaya, Malang.

Salim, Nasrullah dkk. n.d. Panduan Teknik Listrik Tenaga Surya. Perkumpulan Ekonomi Indonesia Jerman.

<http://www.scribd.com/doc/60826568/2/Pemasangan-Modul-Surya#page=6> (diakses 17 April 2012).

Scherer, Thomas F. 1993. Extension Agricultural Engineer. North Dakota State University. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/irrigate/ae1057w.htm> (diakses 17 April 2012)

SMSE – NASA. n.d. Surface Meteorology and Solar Energy. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> (diakses 17 April 2012)

SolarTech. n.d. 3,700W Solar Water Pumping Inverter. [http://solartech.manufacturer.globalsources.com/si/6008829593899/pdtl/Solar-power/1045412504/3-700W-Solar-Water-Pumping-](http://solartech.manufacturer.globalsources.com/si/6008829593899/pdtl/Solar-power/1045412504/3-700W-Solar-Water-Pumping-Inverter.htm)

[Inverter.htm](http://solartech.manufacturer.globalsources.com/si/6008829593899/pdtl/Solar-power/1045412504/3-700W-Solar-Water-Pumping-Inverter.htm) (diakses 27 Januari 2013). Stoner, Ellen D. 1998. History of the Theory of Light. National Federation of

Opticianry Shools www.nfos.org/degree/module_02a.html (diakses, 15 Februari 2012)

Tadjuddin, 1998, Elektroda Batang Mereduksi Nilai Tahanan Pentanahan,

Elektro Indonesia, Edisi ke lima belas, November 1998.

Triandini. A, dkk, 2013, Perancangan Battery Control Unit (BCU) Dengan Menggunakan Topologi Cuk Converter Pada Instalasi Tenaga Surya,

Universitas Brawijaya.Wijaya, Mochtar, 2001, Dasar-Dasar Mesin Listrik, Penerbit Djambatan,Jakarta

Zuhal, 1993. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : PT.Gramedia Pustaka Utama.