TESIS – TF185471

STUDI PENYEDIAAN KEBUTUHAN LISTRIK UNTUK IRIGASI PERTANIAN DI WILAYAH LAMONGAN DENGAN MENGGUNAKAN PLTS

FITA FITRIA
NRP. 02311750020002

Dosen Pembimbing :
Dr. Ridho Hantoro, ST, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FITA FITRIA

NRP. 02311750020002

Tanggal Ujian : 14 Juli 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh :

Pembimbing:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T
   NIP. 19761223 200501 1 001

Penguji:

1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., PhD.
   NIP. 19771127 200212 1 002

2. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati., M.Kes
   NIP. 19571126 198403 2 002

Kepala Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknik Industri dan Rekayasa Sistem

Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 19711113 199512 1002

Halaman ini sengaja dikosongkan

Studi Penyediaan Kebutuan Listrik Untuk Irigasi Pertanian di Wilayah Lamongan dengan Menggunakan PLTS

Nama Mahasiswa	: Fita Fitria
NRP	: 02311750020002
Pembimbing	: Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

ABSTRAK

Konsumsi energi fosil di Indonesia semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yang tidak diimbangi dengan penemuan cadangan baru. Solusi yang efektif dalam mengatasi masalah tersebut adanya produksi energi yang bersih dan bebas polusi dan ketersediannya melimpah di alam, sumber daya energi tersebut adalah energi terbarukan. Teknologi sumber daya terbarukan energi surya dimanfaatkan untuk irigasi sawah adalah *photovoltaic* atau disebut juga Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Sistem pemompaan air dengan menggunakan PLTS didasarkan pada teknologi *Photovoltaic* yang mengubah sinar matahari menjadi listrik untuk memompa air. Perancangan PLTS menggunakan paket perangkat lunak yang disebut PVsyst versi 6.8.6. yang bertujuan untuk mengetahui sistem PLTS untuk kebutuhan listrik pertanian di wilayah Lamongan yang meliputi lokasi 3 kecamatan yaitu Kalitengah, Karanggeneng dan Pucuk dengan pengambilan data kebutuhan air irigasi sawah, kebutuhan bahan bakar untuk irigasi. Pengolahan data dalam analisis meliputi profil beban untuk mengetahui kebutuhan energi listrik wilayah Lamongan. Perhitungan dilakukan terhadap ukuran *photovoltaic* meliputi perhitungan ukuran baterai, *charge controller* dan inverter. Hasil yang didapatkan dari perancangan PVsyst di Kecamatan Kalitengah menggunakan modul Polikristalin 250 Wp sebanyak 88 modul, kapasitas baterai 160 Ah 12 V sebanyak 112 buah, arus charge controller 507 A dan kapasitas inverter 4.196,96 W. Di Karanggeneng menggunakan modul polikristalin 325 Wp sebanyak 138 modul, kapasitas baterai 160 Ah 12 V sebanyak 124 buah, Arus charge controller 1029 A dan kapasitas inverter 4.592,48 W. Di kecamatan Pucuk menggunakan modul polikristalin 325 Wp sebanyak 548 modul, kapasitas baterai 160 Ah 12 V sebanyak 484, arus

charge controller 4.083 A dan kapasitas inverter 18.101,42 W yang sudah di validasi dengan parameter probabilitas kehilangan beban yang bernilai nol yang kemudian dihitung biaya ekonomi dari perhitungan LCC (*Life cycle cost*) terendah kemudian dihitung biaya energi listrik COE (*Cost of energy*) yang layak untuk diajukan adalah di kecamatan Kalitengah biaya energi listrik yang layak untuk diajukan Rp. 1.055,20/ kWh, di kecamatan Karanggeneng biaya energi listrik yang layak untuk diajukan Rp. 1.351,46/kWh dan kecamatan Pucuk biaya energi listrik yang layak untuk diajukan Rp. 1.343,95/kWh. Nilai tersebut dibandingkan dengan harga listrik PLN subsidi Rp. 1.352 /kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh.

Kata Kunci: Energi Surya, *Photovoltaic*, Probabilitas kehilangan beban, PLTS, LCC dan COE

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDY OF ELECTRICAL PROVISION FOR AGRICULTURAL IRRIGATION IN LAMONGAN DISTRICT USING PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

By : Fita Fitria

Student Identity Number : 02311750020002

Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

ABSTRACT

Fossil energy consumption in Indonesia increases as the population increases. However, the need for energy is not balanced by the invention of new energy resources. An effective solution in overcoming this problem is the production of clean, pollution-free energy and abundant availability in nature, the energy resource is renewable energy. The technology of renewable solar energy resources utilized for irrigated rice and fields is photovoltaic or also called Photovoltaic Power Plant The water pumping system using Photovoltaic Power Plant is based on Photovoltaic technology that converts sunlight into electricity to pump water. The Photovoltaic Power Plant design uses software called PVsyst version 6.8.6. Photovoltaic Power Plant for agricultural electricity needs in the Lamongan district which contains the location of 3 districts namely Kalitengah, Karanggeneng, and Pucuk by taking data on the irrigation needs of rice and fields, fuel needs for irrigation. Data processing in the analysis includes cost profiles to determine the electrical energy needs of the Lamongan district. Calculations are made of the photovoltaic size. The results obtained from the design of PVsyst in Kalitengah sub-district using 250 Wp Polycrystalline modules as many as 88 modules, battery capacity is 160 Ah 12 V as many as 112 units, charge controller is 507 A and inverter capacity is 4.196,96 W. In Karanggeneng sub-district using 325 Wp polycrystalline modules as many as 138 modules, battery capacity is 160 Ah 12 V as many as 124 units, charge controller is 1.029 A and inverter capacity is 4.592,48 W. In Pucuk sub-district using 325 Wp polycrystalline modules as many as 548 modules, battery capacity is 160 Ah 12 V as many as 484 unit, charge controller is 4.083 A and capacity inverter is 18.101,42 W which has been validated with a zero loss of load probability parameter which is then calculated the economic cost of the lowest LCC (Life cycle cost) calculation then calculates the cost of COE (Cost of energy) that is eligible to be submitted is in Kalitengah sub-district the cost of electricity that is eligible to be submitted is Rp. 1.055,20/kWh, in the Karanggeneng sub-district the cost of electrical energy that is eligible to be submitted is Rp. 1.351,46/kWh and Pucuk sub-district the cost of electricity that is eligible to be submitted is Rp. 1.343,95/kWh. This value is compared with the price of PLN electricity subsidies for Rp. 1.352/kWh, and the price of Non-subsidized electricity Rp. 1.467,28/ kWh.

Keywords: Solar Energi, Photovoltaic, Probability loss of load, Photovoltaic Power Plant, LCC dan COE.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga dalam menyelesaikan penelitian dan laporan tesis dengan judul "Studi Penyediaan Kebutuan Listrik Untuk Irigasi Pertanian di Wilayah Lamongan dengan Menggunakan PLTS*".* Penelitian ini merupakan salah satu penelitian yang mengangkat tema mengenai pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik yang digunakan petani untuk irigasi saawah. Fokus utamanya adalah Perhitungan profil beban yang nantinya dibutuhkan untuk perncangan dengan menggunakan PLTS, Perhitungan ukuran komponen PLTS meliputi baterai, *charge controller*, inverter. Penelitian dan laporan tesis ini tidak dapat diselesaikan oleh penulis tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang memberikan bantuan secara moral maupun materi, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST., MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati., M.Kes selaku dosen penguji yang senantiasi memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian penelitian ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan laporan tesis ini.

Apabila terdapat kekurangan dalam penelitian dan laporan tesis ini, penulis memohon kritik dan saran demi penelitian yang lebih baik. Semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat dan ilmu bagi banyak orang.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....**Error! Bookmark not defined.**

ABSTRAK ii

ABSTRACT v

KATA PENGANTAR viii

DAFTAR ISI x

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR TABEL xvii

DAFTAR ISTILAH xviiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Manfaat Penelitian 5

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 6

2.1 Radiasi Matahari 6

2.1.1 Sudut Deklinasi 7

2.1.2 Definisi Sudut 8

2.2 Teknologi Sel Surya 10

2.2.1 Jenis-Jenis Sel Surya 12

2.3 Prinsip Kerja PLTS untuk Irigasi Sawah 14

2.3.1 Sistem Pompa PLTS digabungkan dengan Baterai 15

2.3.2 Sistem Pemompaan PLTS Berpasangan Langsung 16

2.4 Komponen PLTS 17

2.4.1 Modul Sel Surya 17

2.4.2 Inverter 19

2.4.3 Motor DC 20

2.4.4 Baterai 20

2.4.5 Pompa 21

2.4.6 *Charge Controller* 22
2.5 Spesifikasi Mesin Diesel yang digunakan 27
2.6 PVsyst 27
2.7 Analisis Ekonomi berdasarkan LCC (*Life cycle cost*) 28
2.8 Biaya Energi (*Cost of Energi*) 29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 30
3.1 Diagram Alir Penelitian 30
3.2 Studi Literatur 31
3.3 Profil Beban 31
3.4 Simulasi Perancangan PLTS menggunakan PVsyst 32
3.4.1 Konfigurasi Photovotaik Array 32
3.4.2 Konfigurasi Modul Surya 33
3.4.3 konfigurasi *Charge controller* 33
3.5 Analisis Ekonomi 33
BAB 4 ANALIS DATA DAN PEMBAHASAN 34
4.1 Analisis Lokasi Penelitian 34
4.1.1 Kecamatan Karanggeneng 34
4.1.2 Kecamatan Kalitengah 35
4.1.3 Kecamatan Pucuk 36
4.2 Analisis Kebutuhan Irigasi 37
4.2.1 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Kalitengah 38
4.2.2 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Karanggeneng 39
4.2.3 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Pucuk 40
4.3 Analisi Profil Beban 42
4.3.1 Profil Beban Kecamatan Kalitengah 42
4.3.2 Profil Beban Kecamatan Karanggeneng 44
4.3.3 Profil Beban Kecamatan Pucuk 46
4.4 Analisis Perhitungan *Photovoltaic* 48
4.5 Analisis Simulasi PVsyst 55
4.6 Analisis Konfigurasi Modul 60
4.6.1 Perancangan PLTS Kecamatan Kalitengah 61
4.6.2 Perancangan PLTS Kecamatan Karanggeneng 80

4.6.3 Perancangan PLTS Kecamatan Pucuk 99
4.7 Analisis konfigurasi Array 120
4.7.1 Konfigurasi Array di kecamatan Kalitengah 120
4.7.2 Konfigurasi Array di Kecamatan Karanggeneng 125
4.7.3 Konfigurasi Array di Kecamatan Pucuk 130
4.8 Analisis Konfigurasi *Charge Controler* 134
4.9 Analisis Biaya LCC (*Life Cycle Cost*) 144
4.10 Analisis Biaya Energi PLTS (Cost of Energy) 149
BAB 5 KESIMPULAN 153
DAFTAR PUSTAKA 155
Lampiran 1 161
Lampiran 2 168
Lampiran 3 169
Lampiran 4.A 170
Lampiran 4.B 171
Lampiran 5 172
Lampiran 6.A 177
Lampiran 6.B 182
Lampiran 7 187
Lampiran 8 202
Lampiran 9 203

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Distribusi spektrum matahari 7
Gambar 2.2 Radiasi global 7
Gambar 2.3 Sudut deklinasi 8
Gambar 2.4 Sudut ketinggian dan sudut azimut 9
Gambar 2.5 Prinsip konversi energi fotovoltaik dalam n-p-doped 11
Gambar 2.6 Bentuk sel monokristalin (a) Segi delapan dan (b) Bulat 13
Gambar 2.7 Diagram blok sistem irigasi dengan PLTS..... 15
Gambar 2.8 Diagram blok sistem irigasi PV dengan baterai 16
Gambar 2.9 Diagram blok sistem irigasi PV tanpa baterai 16
Gambar 2.10 Perakitan generator PV..... 17
Gambar 2.11 Karakteristik (kurva I-V) modul PV 18
Gambar 2.12 Kurva I-V pada berbagai tingkat radiasi 19
Gambar 2.13 Diagram blok dari pengaturan *charge controller*..... 23
Gambar 2.14 *Charge controller shunt* 23
Gambar 2.15 *Charge controller* seri 24
Gambar 2.16 Mesin diesel dongfeng 27
Gambar 2.17 Mesin diesel honda..... 27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... 30
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi PVsyst..... 32
Gambar 4.1 Sungai bengawan Solo 34
Gambar 4.2 (a) Penyedotan air dari bengawan Solo ,(b) penyaluran air, (c) Penyaluran aliran bengawasan Solo dialirkan dari desa ke desa. 35
Gambar 4.3 Pengairan sawah di kecamatan Karanggeneng 35
Gambar 4.4 Pengairan sawah di kecamatan Kalitengah 36
Gambar 4.5 Pengairan sawah di kecamatan Pucuk..... 36
Gambar 4.6 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi pembibitan dan penanaman di kecamatan Kalitengah 38
Gambar 4.7 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi selama pembibitan dan penanaman di kecamatan Karanggeneng 40
Gambar 4.8 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi selama pembibitan dan penanaman di kecamatan Pucuk 41

Gambar 4.9 Profil beban kecamatan Kalitengah..... 42
Gambar 4.10 Kebutuhan air kecamatan Kalitengah 43
Gambar 4.11 Profil beban di kecamatan Karanggeneng..... 44
Gambar 4.12 Kebutuhan air di kecamatan Karanggeneng..... 45
Gambar 4.13 Profil beban di kecamatan Pucuk 46
Gambar 4.14 Kebutuhan air di kecamatan Pucuk..... 47
Gambar 4.15 Radiasi matahari di wilayah Lamongan 56
Gambar 4.16 Penampakan sudut *tilt dan azimuth*..... 58
Gambar 4.17 Penampakan sizing baterai 59
Gambar 4.18 Penampakan sizing *photovoltaic*..... 60
Gambar 4.19 Grafik Pengaruh hari otonomi pada jumlah baterai, kapasitas PV, kelebihan listrik dan total NPC 62
Gambar 4.20 Produksi energi dengan modul monokristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1..... 64
Gambar 4.21 Produksi energi dengan modul polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1..... 65
Gambar 4.22 Produksi energi dengan monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1..... 67
Gambar 4. 23 Produksi energi modul polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1..... 68
Gambar 4.24 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan kalitengah skenario 2 70
Gambar 4.25 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2 71
Gambar 4.26 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2 72
Gambar 4.27 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2 73
Gambar 4.28 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3 75
Gambar 4.29 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3 76

Gambar 4.30 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3 78
Gambar 4.31 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3 79
Gambar 4.32 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1 81
Gambar 4.33 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1 82
Gambar 4.34 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1 84
Gambar 4.35 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1 85
Gambar 4.36 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2 87
Gambar 4.37 Produksi energy polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2 89
Gambar 4.38 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2 91
Gambar 4.39 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2 92
Gambar 4.40 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3 94
Gambar 4.41 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3 95
Gambar 4.42 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3 97
Gambar 4.43 Produksi energy polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3 98
Gambar 4.44 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1 101
Gambar 4.45 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1 102

Gambar 4.46 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1 104
Gambar 4.47 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1 105
Gambar 4.48 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2 107
Gambar 4.49 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2 109
Gambar 4.50 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2 111
Gambar 4.51 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2 112
Gambar 4.52 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3 114
Gambar 4.53 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3 115
Gambar 4.54 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3 117
Gambar 4.55 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3 119
Gambar 4.56 Efisiensi daya input dan output dalam pengontrol MPPT..... 135

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai kalor bahan bakar 31
Tabel 4. 1 Spesifikasi modul monkristalin dan polikristalin..... 50
Tabel 4. 2 Jumlah modul pada tiap-tiap rating..... 50
Tabel 4. 3 Jumlah modul string pararel..... 51
Tabel 4. 4 Kapasitas baterai 52
Tabel 4. 5 Total kapasitas baterai..... 53
Tabel 4.6 Sambungan pararel..... 53
Tabel 4. 7 Total banyak baterai..... 54
Tabel 4. 8 Kapasitas inverter..... 54
Tabel 4. 9 Kapasitas *charge contreller* 55
Tabel 4. 10 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 1 121
Tabel 4. 11 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 1 122
Tabel 4. 12 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 2 122
Tabel 4. 13 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 2 123
Tabel 4. 14 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 3 124
Tabel 4. 15 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 3 125
Tabel 4. 16 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 1..... 125
Tabel 4. 17 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 1 126
Tabel 4. 18 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 2..... 127
Tabel 4. 19 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 2 128

Tabel 4. 20 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 3 128
Tabel 4. 21 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 3 129
Tabel 4. 22 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 1 130
Tabel 4. 23 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 1... 131
Tabel 4. 24 Konfigurasi array dengan *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 2 131
Tabel 4. 25 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 2... 132
Tabel 4. 26 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 3 133
Tabel 4. 27 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 3... 133
Tabel 4. 28 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 1 136
Tabel 4. 29 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 1 137
Tabel 4. 30 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 1..... 138
Tabel 4. 31 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 2 139
Tabel 4. 32 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 2 140
Tabel 4. 33 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 2..... 141
Tabel 4. 34 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 3 142
Tabel 4. 35 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 3 143
Tabel 4. 36 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 3..... 144
Tabel 4. 37 Komponen sistem PLTS 145
Tabel 4. 38 Biaya LCC terendah skenario 1 146
Tabel 4. 39 Biaya LCC terendah skenario 2 147
Tabel 4. 40 Biaya LCC terendah skenario 3 148
Tabel 4. 41 Biaya energi PLTS skenario 1 150
Tabel 4. 42 Biaya energi PLTS skenario 2 151
Tabel 4. 43 Biaya energi PLTS skenario 3 152

DAFTAR ISTILAH

A	Ampere
AC	*Alternating Current*
Ah	Ampere hour
AM	*Air Mass*
AGM	Absortive Glass Mat
BBM	Bahan Bakar Minyak
COE	*Cost of Energy*
CRF	*Capital Recovery Factor*
DC	*Direct Current*
DOD	*Depth of Discharge*
Eavail	Energi yang tersedia dari matahari
Earray	Energi efektif yang diproduksi array PV
Euser	Energi yang di butuhkan pengguna
Eload	Energi permintaan beban
Imp	Arus pada titik kerja maksimum
Isc	*Short Circuit Current* (Arus hubungan singkat)
HP	*House Power*
HHV	*Heat Heating Value*
kWh	Kilo Watt hour
LCC	*Life Cycle Cost*
MJ	Mega Joule
MPW	*Present Worth of Maintenance*
MPPT	*Maximum Power Point Tracking*
Pmpp	Daya keluaran maksimum PV modul
PWM	*Pulse Width Modulation*

PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Pr LOL	*Probability Loss of Load*
PSH	*Peak Sun Hours*
PV	*Photovoltaic*
RUPTL	Rencana Usaha Penyedian Tenaga Listrik
SF	*Solar Fraction*
SOC	*State of Charge*
STC	*Standard Test Conditions*
V	Volt (tegangan terminal)
Vmp	Tegangan pada titik kerja maksimum
Voc	*Open Circuit Voltage* (Tegangan rangkaian terbuka)
VRLA	*Valve Regulated Lead Acid*
Wp	*Watt-Peak*
W	Watt
Wh	Watthour

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi fosil di Indonesia dalam bentuk minyak bumi, gas dan batu bara masih cukup tinggi. Tingginya konsumsi energi fosil tidak diimbangi dengan penemuan cadangan baru, Sementara permintaan energi fosil semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan yang terus berkembang. Sehingga dalam ketersediaanya energi fosil sangat terbatas. Merujuk pada data dari bauran energi RUPTL 2019-2020 bahwa penyediaaan BBM dari 4.0% menjadi 2.9% , Gas dari 21.2% menjadi 19.3%, sedangkan batu bara pada tahun 2020 mengalami kenaikan dan turun kembali 2023 sampai 2028. Selain ketersediaanya terbatas energi fosil juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan yaitu pemanasn global dan penguraian zat berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Solusi yang efektif dalam mengatasi masalah diatas adalah adanya Produksi energi yang bersih dan bebas polusi dan ketersediannya melimpah dialam, sumber daya energi tersebut adalah energi terbarukan (Pina, Fournier, & Corre, 2017). Beberapa sumber daya energi Terbarukan yang sangat melimpah di Indonesia seperti energi panas bumi, air, surya, dan angin.

Salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat di dunia termasuk di Indonesia adalah energi surya, karena Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun sehingga potensi pengembangan energi surya sangat besar (Muhammad, Utama, & Kristianto, 2014). Produksi energi surya saat ini semakin berkembang, tidak hanya sebagai penerangan listrik dalam kebutuhan sehari-hari namun energi surya dapat menjadi salah satu teknologi di sektor pertanian. Pertanian merupakan sektor yang memiliki peranan signifikan bagi perekonomian Indonesia. Sehingga dalam meningkatkan produktivitas hasil panen dibutuhkan pengairan atau irigasi yang tepat.

Irigasi pertanian sawah atau ladang perkebunan merupakan bagian paling penting bagi petani, terutama petani sawah karena padi merupakan jenis tumbuhan yang banyak membutuhkan air sehingga didapatkan hasil pertanian yang maksimal. Penggunaan bahan bakar fosil yang digunakan dalam generator diesel yang digunakan petani saat ini dapat menjadi masalah lingkungan seperti emisi gas buang pada mesin diesel. Zat yang terkandung dalam gas buang energi diesel adalah CO_x ,NO_x dan SO_x (Lawang et al., 2019) sangat berbahaya. Selain itu dalam penggunaan bahan bakar mesin diesel adalah perawatannya. Dalam penerapan irigasi pompa, pompa air digerakan oleh mesin penggerak diesel. Sistem penyaluran tenaga yang dihasilkan oleh mesin penggerak disalurkan melalui gear box. Peralatan dan komponen yang sering mengalami kerusakan pada mesin ini sangat bergantung pada pemeliharaan pompa dan mesin penggerak serta cara penyalurannya komponen dan peralatan yang sering mengalami kerusakan adalah ring, saluran bahan bakar dan selang hisap maupun selang dorong. Kerusakan ini disebabkan oleh cara pemeliharaan pompa dan mesin diesel yang kurang diperhatikan oleh petani. Selain perawatan masalah lainnya yaitu harga bahan bakar fosil yang fluktuatif .

Teknologi sumber daya terbarukan energi surya untuk irigasi sawah adalah photovoltaic atau disebut juga sistem pompa irigasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Sistem pemompaan air dengan menggunakan PLTS didasarkan pada teknologi PV yang mengubah sinar matahari menjadi listrik untuk memompa air. Panel PV terhubung ke motor (*Direct Current atau Alternating Current*) yang mengubah energi listrik yang dipasok oleh panel PV (*Photovoltaic*) menjadi energi mekanik yang diubah menjadi energi hidrolik oleh pompa (Chandel, Naik, & Chandel, 2015). Kemudahan menerapkan PLTS irigasi adalah tidak memerlukan operator untuk mengoperasikannya, hanya diperlukan pengecekan dan pengontrolan secara berkala.

PLTS dapat dikelompokkan menjadi sistem yang berdiri sendiri (*Stand-Alone*) dan sistem yang terhubung ke jaringan (*Grid-Connected*). Dalam sistem yang berdiri sendiri, hasil energi matahari disesuaikan dengan permintaan energi. Karena hasil energi matahari seringkali tidak sesuai dengan waktu dengan permintaan energi dari beban yang terhubung, sistem penyimpanan

tambahan (baterai) umumnya digunakan. Jika sistem PV didukung oleh sumber daya tambahan - misalnya, generator angin atau diesel - ini dikenal sebagai sistem hybrid fotovoltaik (The German Solar Energi Society, 2008).

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi PLTS adalah kualitas panel PV, kerja pengontrol, unit penyimpanan energi, pompa dan motor (Sharma, Sharma, & Tiwari, 2019). Menurut (Mehmood, Waqas, & Mahmood, 2015) Pemilihan jenis modul, radiasi matahari dan sudut azimuth merupakan fungsi dari efisiensi operasi pompa PV, disarankan memilih modul yang mempunyai efisiensi maksimum agar dapat mencakup area kolektor surya minimum .Studi yang dilakukan oleh (Sanjaya, et al., 2019) menggunakan panel PV type monokristaline kapasitas maksimal 52.14 kW dengan modul surya berjumlah 158 unit, inverter 33 kW dua unit, dan pompa Submersible SP 60-9 dua unit dapat mengairi sawah seluas seluas 300 m^2. Selanjutnya penelitian (Kyi, Maw, & Tun, 2016) melakukan studi tentang ukuran sistem PV dibuat sedemikian rupa sehingga mampu mengairi satu hektar plot Asparagus dengan kebutuhan air harian 25m^3 / hari di wilayah mandalay dengan kapasitas terpasang 55W dengan 9 buah panel surya dirancang untuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian Asparagus. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Zaouche, Rekioua, & Gaubert, 2017) sistem PLTS dengan menggunakan baterai adalah solusi untuk mengatasi radiasi sinar matahari dan kondisi beban variabel yang berfluktuasi, sedangkan menurut (Oyedokun, Achara, Muhammed, & O, 2017) pemompaan PV tanpa menggunakan baterai berbiaya rendah tetapi membutuhkan radiasi matahari yang cukup sedangkan menurut penelitian (Mansaray, 2017) Menghilangkan baterai dari sistem menghilangkan sekitar 1/3 dari biaya sistem dan sebagian besar biaya perawatan.

Oleh karena itu akan dilakukan studi perancangan simulai PLTS untuk pemanfaatan irigasi sawah di wilayah Lamongan yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Tidak hanya layak secara teknis namun diharapkan juga layak secara ekonomis dengan parameter LCC (*Life cycle cost*) tentang seluruh pembiayaan Perancangan PLTS untuk irigasi sawah yang nantinya bisa diterapkan oleh petani.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola kebutuhan energi untuk pertanian di wilayah Lamongan ?
2. Bagaimana sistem PLTS untuk kebutuhan pertanian di wilayah Lamongan?
3. Bagaimana analisis ekonomi sistem PLTS untuk kebutuhan pertanian di wilayah Lamongan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan diatas, tujuan penelitian dapat diketahui melalui poin-poin sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pola kebutuhan energi untuk pertanian yang ada di wilayah Lamongan.
2. Untuk mengetahui sistem PLTS untuk kebutuhan pertanian di wilayah Lamongan.
3. Untuk mengetahui analisis ekonomi sistem PLTS untuk kebutuhan pertanian di wilayah Lamongan

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang ada penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi pertanian yang menjadi studi adalah wilayah Lamongan.
2. Mesin irigasi pertanian menggunakan merk Dongfeng 8 Hp (*House power*) dan Honda 4,5 Hp (*House power*) yang sering digunakan petani.
3. Luas lahan pertanian sawah akan yang akan dilakukan klasifikasi dalam penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian

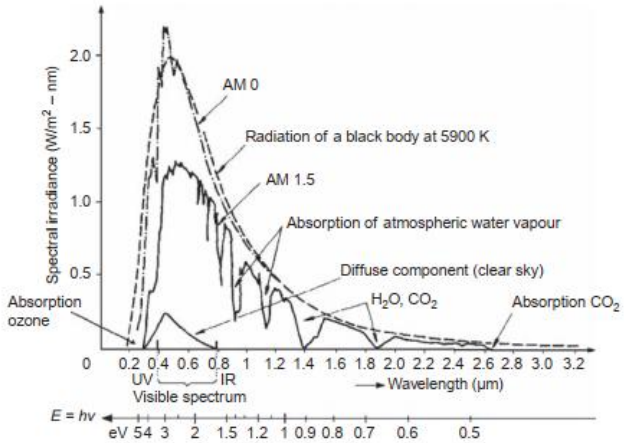
Penelitian studi penyediaan kebutuhan listrik untuk irigasi pertanian di wilayah Lamongan dengan PLTS salah satu pengembangan dari energi terbarukan yang memanfaatkan energi surya tanpa menyebabkan polusi bagi lingkungan.

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Radiasi Matahari

Energi Matahari sebelum mencapai atmosfer bumi diukur diatas atmosfer pada bidang yang tegak lurus dengan arah Matahari dengan tepat oleh NASA adalah 1.357 W/m^2 energi tersebut adalah konstanta matahari (Labouret & Villoz, 2010). Ketika sinar matahari memasuki atmosfer bumi, sebagian diserap, sebagian tersebar dan sebagian tidak terpengaruh oleh molekul-molekul di atmosfer dan diserap atau dipantulkan oleh benda-benda di permukaan tanah. Sinar matahari yang mencapai permukaan bumi tanpa hamburan disebut radiasi sinar langsung. Sinar matahari yang tersebar disebut radiasi difus, Semakin dekat matahari ke cakrawala, semakin besar ketebalan atmosfer yang harus dilalui sinar matahari, dan semakin besar efek difusi. Rasio antara ketebalan atmosfer yang dilintasi oleh radiasi langsung untuk mencapai Bumi dan ketebalan secara vertikal di atas lokasi disebut masa udara (Air Mass).

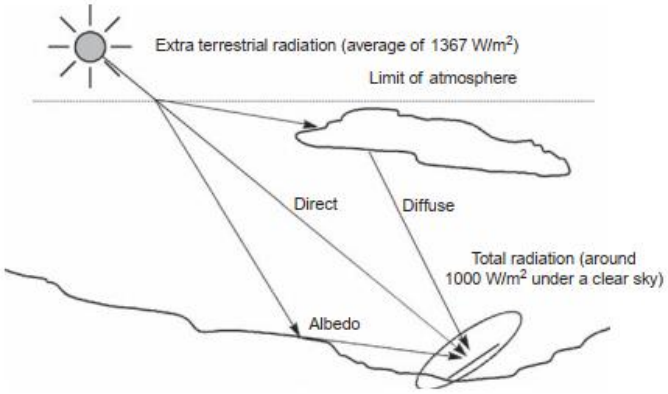
Radiasi matahari yang diamati setelah melewati kepadatan atmosfer yang sesuai dengan AM 1.5, setara dengan ketinggian matahari 41,8 di permukaan laut. Spektrum langit cerah, digambarkan sebagai AM 1.5, digunakan sebagai referensi untuk mengukur sel PV. Simulator yang digunakan untuk mengukur modul mencoba mereproduksinya seakurat mungkin.



Gambar 2. 1 Distribusi spektrum matahari

Gambar 2.1 menunjukkan spektrum matahari. Spektrum matahari adalah distribusi radiasi matahari sebagai fungsi dari panjang gelombang yang terdiri dari emisi dari Matahari dan total radiasi keluaran Matahari kira-kira setara dengan benda hitam pada 5.776 ° K. Radiasi matahari sangat cocok dengan emisi benda hitam di daerah yang terlihat dan inframerah pada suhu ini, tetapi menyimpang di wilayah UV. Energi radiasi dari Matahari terletak pada 47% inframerah wilayah (> 0,70 μm), 43% di wilayah yang terlihat (0,40-0,70 μm), dan sekitar 10% di wilayah UV (<0,40 μm)

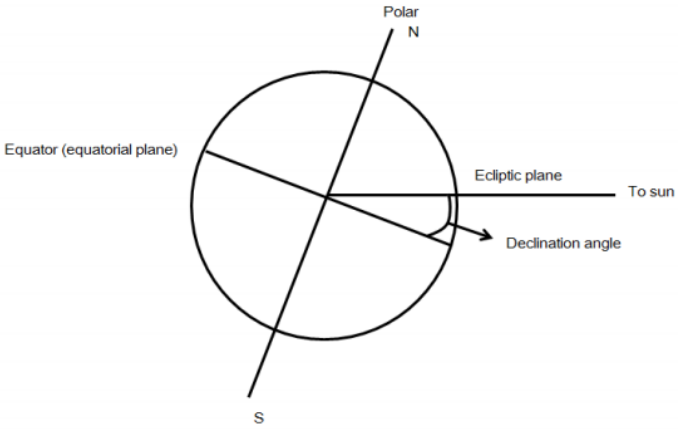
Sinar matahari yang dipantulkan dari tanah disebut radiasi albedo, dan jumlah ketiga komponen sinar matahari disebut radiasi global ditunjukka pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Radiasi global (Labouret & Villoz, 2010)

2.1.1 Sudut Deklinasi

Selain atmosfer yang mempengaruhi radiasi matahari, gerakan bumi berotasi pada porosnya disekitar matahari dan gerakan poros bumi itu sendiri. Pada saat bumi mengelilingi matahari ia membentuk dua bidang karena perbedaan orbitnya di sekitar matahari dan porosnya yang miring. Bidang yang terbentuk karena bumi mengelilingi matahari disebut bidang ekliptika dan bidang yang sejajar dengan ekuator disebut bidang ekuatorial. Oleh karena itu sudut antara bidang ekliptika dan bidang ekuator adalah sudut deklinasi.



Gambar 2. 3 Sudut deklinasi

Sudut deklinasi berubah secara berkala hingga satu tahun karena pergerakan bumi. Nilai deklinasi maksimum dan minimum terjadi pada titik balik matahari musim panas dan musim dingin, masing-masing dengan sudut 23,45 ° dan -23,45 °. Sudut deklinasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\delta = 23{,}45° \, sin\left[\frac{N + 284}{365} x360°\right] \qquad (2.\ 1\ )$$

Dimana,

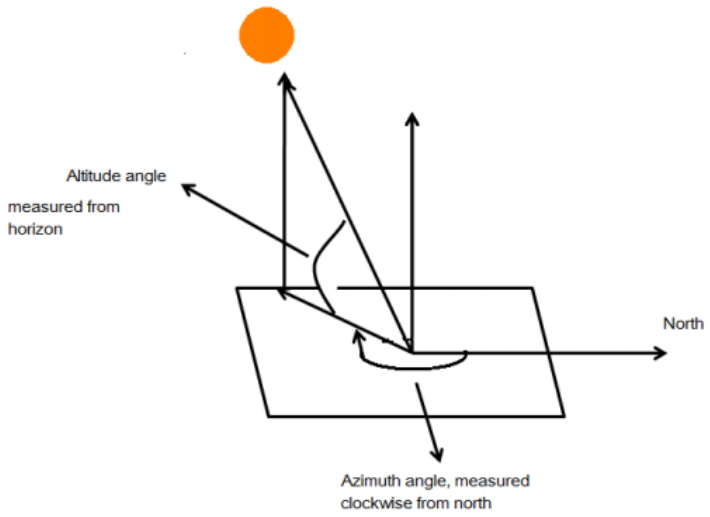
N adalah jumlah hari dari 1 (1 Januari) hingga 365 (31 Desember).

Pada equinox, deklinasi akan mendapatkan nilai nol.

2.1.2 Definisi Sudut

Pengetahuan yang tepat tentang matahari adalah penting untuk perhitungan nilai-nilai radiasi dan hasil dari sistem energi surya. Intensitas radiasi matahari bergantung pada sudut ketinggian matahari. Dimana sudut ketinggian (sudut elevasi) adalah sudut antara matahari dan cakrawala. Sudut tersebut bervariasi sepanjang hari yang sama dengan 0 ° saat matahari terbit dan mencapai nilai maksimum pada siang hari . Sudut azimuth adalah sudut

horizontal antara matahari dan arah referensi. Pada sistem energi matahari secara umum arah referensi adalah utara atau selatan.



Gambar 2. 4 Sudut ketinggian dan sudut azimut

Nilai sudut ketinggian tergantung pada garis lintang dan waktu tahun. Sudut ketinggian dapat ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\alpha = 90° + \varphi - \delta \qquad (2.\ 2\ )$$

Dimana :

φ adalah sudut lintang

α adalah ketinggian sudut

Orientasi panel surya merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan output daya listrik. Ada dua parameter yang mempengaruhi orientasi: sudut kemiringan array dan sudut azimuth array. Sudut kemiringan adalah sudut antara bidang panel dan permukaan horizontal. Sudut azimuth adalah sudut yang dibuat oleh garis bidang horizontal antara garis selatan dengan proyeksi garis normal bidang horizontal. Secara umum, sudut kemiringan array optimal jika sudut kemiringan sama dengan garis lintang, akan tetapi karena variasi iklim dan sudut deklinasi matahari menyebabkan sudut kemiringan tidak

dapat disesuaikan karena titik balik matahari musim panas, sudut kemiringan akan berkurang karena deklinasi mencapai nilai maksimum 23,5° sedangkan pada musim dingin titik balik matahari sudut kemiringan meningkat. Sudut azimuth optimal untuk belahan bumi utara adalah di selatan.

2.2 Teknologi Sel Surya

Fenomena fotolistrik merupakan perubahan energi matahari menjadi energi listrik. Karena sumber energi dari cahaya matahari maka sering disebut sel surya. Photovoltaic terdiri atas dua kata yaitu, *photo* yang berarti cahaya dan *voltaic* yang berarti listrik yang berarti bahwa menghasilkan listrik langsung dari sinar matahari**.** Seperti yang kita tahu bahwa, cahaya terdiri dari foton, 'partikel cahaya', masing-masing membawa energi yang bergantung pada panjang gelombang (atau warna). Foton-foton ini dapat menembus bahan-bahan tertentu dan bahkan melewatinya (Labouret & Villoz, 2010).

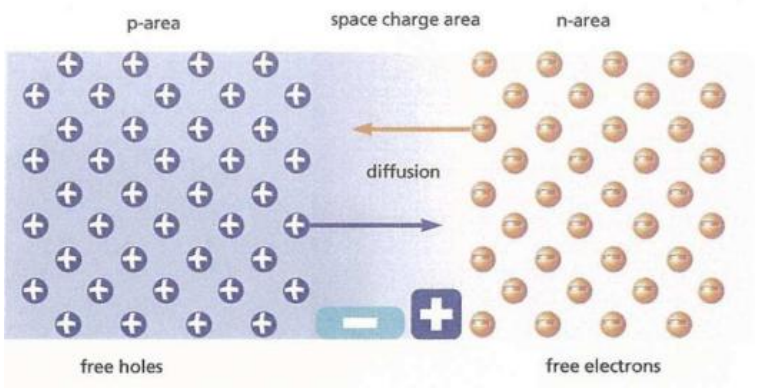
Sel PV terbuat dari bahan semikonduktor peka cahaya yang menggunakan foton untuk melepaskannya elektron untuk menggerakkan arus listrik (Sadan & Road, 2016). Semikonduktor memiliki kapasitas untuk menyerap cahaya dan untuk memberikan sebagian energi foton yang diserap kepada pembawa arus listrik – electron (muatan negatif) dan lubang (muatan positif). Jadi, sel surya hanyalah sebuah dioda semikonduktor yang telah dirancang dan dibangun dengan hati-hati untuk secara efisien menyerap dan mengubah energi cahaya dari matahari menjadi energi listrik (Luque & Hegedus, 2011).

Sel surya bekerja dengan menggunakan prinsip semikonduktor sambungan P-N, yaitu sambungan antara semikonduktor tipe-P dan tipe-N. semikonduktor tipe-N mempunyai kelebihan electron (muatan negatif) sedangkan tipe –P mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Adannya kelebihan electron dan hole tersebut dapat terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Contoh atom dopant, Semikonduktor tipe–P biasanya yaitu dengan menambahkan unsur boron (B), aluminum (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan

menambah jumlah hole. Sedangkan semikonduktor tipe-N dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor (P) atau arsen (As) ke dalam Si akan menambah elektron. Ditunjukka pada Gambar 2.5.

Setelah sambungan P-N terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor tipe-N menuju semikonduktor tipe-P, dan perpindahan hole dari semikonduktor tipe-P menuju semikonduktor tipe-N. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal. Elektron dari semikonduktor tipe-N bersatu dengan hole pada semikonduktor tipe-p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor tipe-P akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif.

Pada saat yang sama. hole dari semikonduktor tipe-P bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor tipe-N yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



Gambar 2. 5 Prinsip konversi energi fotovoltaik dalam doping P-N (Luque & Hegedus, 2011)

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah space charge. Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah space charge disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah space charge, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal *E* dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor tipe-P dan elektron ke semikonduktor tipe-N.

Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah space charge. Jika P-N-semikonduktor (sel surya) terpapar cahaya, foton diserap oleh elektron. Input energi ini memecah ikatan elektron. Elektron yang dilepaskan ditarik melalui medan listrik ke wilayah-N. Lubang-lubang yang terbentuk bermigrasi ke arah yang berlawanan, ke wilayah-P. Proses ini, secara keseluruhan, disebut efek fotovoltaik. Difusi pembawa muatan ke kontak listrik menyebabkan adanya tegangan di sel surya. Dalam keadaan tanpa beban, tegangan rangkaian terbuka Voc muncul di sel surya. Jika rangkaian listrik ditutup, arus mengalir.

2.2.1 Jenis-Jenis Sel Surya

Bahan yang paling banyak digunakan dalam PV surya adalah silikon, sejenis semikonduktor tipe IV. Ini tetravalen, artinya satu atom silikon dapat mengikat dengan empat atom lain dari jenis yang sama. Silikon surya berbentuk kristal atau amorf. Dalam keadaan amorf, digunakan sebagai film tipis dengan ketebalan sekitar 1 mm dan lebih tinggi. Semikonduktor lain yang digunakan adalah tipe III-V seperti gallium arsenide (jarang dan mahal) dan film tipis seperti CdTe (cadmium telluride) dan CIS (copper indium selenide). Sel silikon kristal biasanya dibuat dari wafer silikon. Wafer digergaji dari ingot silikon tunggal atau multi-kristal. Silikon multikristalin terdiri dari perolehan kristal yang besar.

a. Monokristalin

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat panas, untuk cuaca yang berawan atau teduh panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik, efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Monokristalin dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan dalam wadah kuarsa sekitar 1.420°C. Kristal biji dengan orientasi yang ditentukan dicelupkan ke dalam silikon meleleh dan perlahan ditarik

ke atas dari lelehan. Selama proses ini kristal tumbuh menjadi mono-kristal silinder dengan diameter hingga 30 cm dan beberapa meter panjangnya . Silinder mono-kristal ini dipotong untuk membentuk batang setengah bulat atau persegi, yang kemudian dipotong dengan gergaji kawat menjadi irisan (wafer) dengan ketebalan sekitar 0,3 mm setiap potongnya memiliki karakteristik yang identik dengan yang lain sehingga memiliki efisiensi sampai dengan 15 % - 18% (The German Solar Energi Society, 2008**).** Kelemahan dari modul monokristalin terletak pada susunan panel surya karena bentuk sel monokristalin yang segi enam, segi delapan dan bulat seperti pada gambar akan menyisahkan banyak ruangan yang kosong sehingga akan mengurangi kerapatan sel surya apabila di susun pada skala besar.

(a) (b)

Gambar 2. 6 Bentuk sel monokristalin (a) Segi delapan dan (b) Bulat (The German Solar Energi Society, 2008)

b. Polikristalin (*Poly-Crystalline*)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Bahan dari pembuatan polikristalin sama dengan monokristalin yaitu dengan Kristal silicon akan tetapi proses dan kemurnian Kristal silicon berbeda, kemurnian Kristal silicon pada polikristalin tidak setinggi monokristalin sehingga efisiensi polikristalin 12%-13%. polikristal sedikit lebih murah, tetapi memiliki efisiensi yang agak lebih rendah dibandingkan dengan kristal tunggal. 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 (The German Solar Energi Society, 2008).

c. Thin Film Photovoltaic

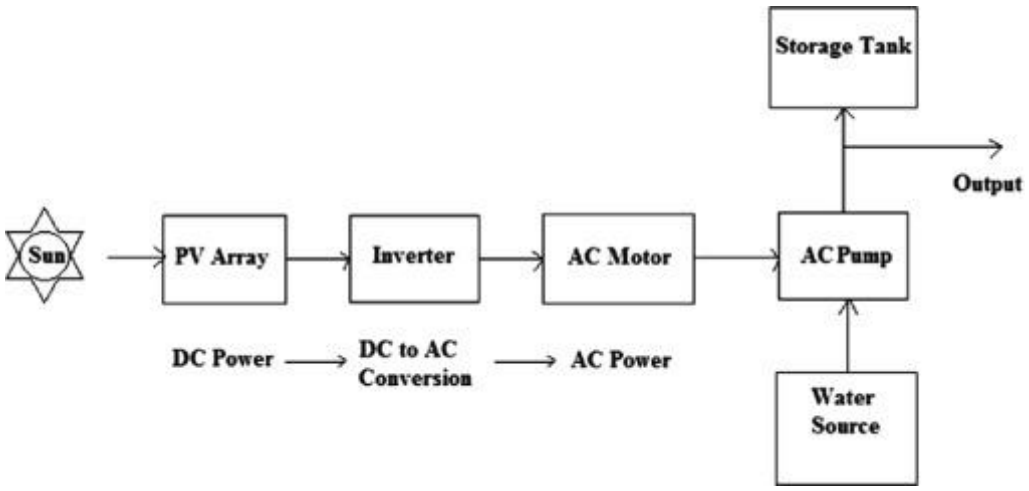
Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristalsilicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5%. Efisiensi yang lebih rendah dari modul film tipis pada dasarnya hanya berarti bahwa area yang lebih luas diperlukan untuk mencapai daya yang diinginkan. Efisiensi yang lebih rendah tidak mempengaruhi hasil energi spesifik per kilowatt modul film tipis (The German Solar Energi Society, 2008).

2.3 Prinsip Kerja PLTS untuk Irigasi Sawah

Teknologi PLTS bekerja pada sistem pemompaan air didasarkan pada konversi energi surya menjadi energi listrik oleh panel surya untuk pengoperasian pompa air ditunjukkan pada gambar 2.7. Panel PV terhubung ke motor Direct Current (DC) atau Alternating Current (AC) yang mengubah energi listrik yang diterima dari panel menjadi energi mekanik dan selanjutnya diubah menjadi energi hidrolik.

Pada umumnya PLTS irigasi air terdiri dari:

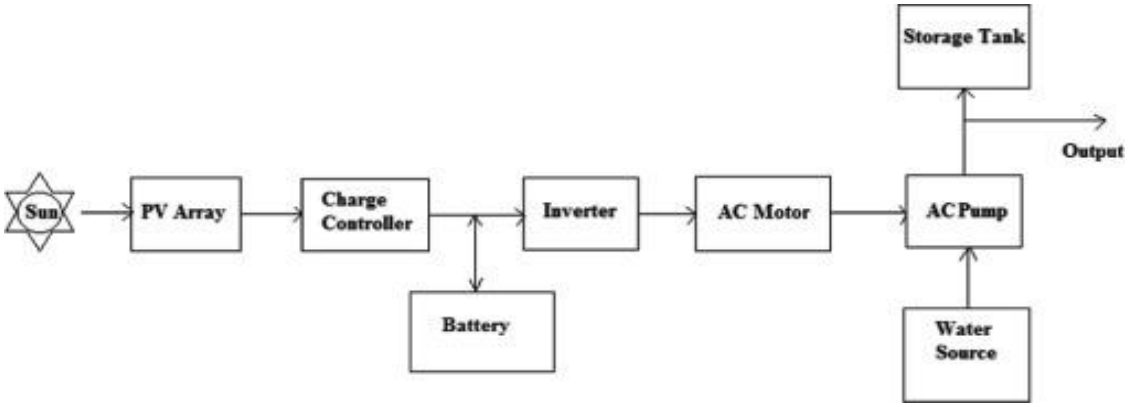
1. Modul PV yang dipasang pada struktur dengan pengaturan tetap atau pelacakan manual atau otomatis.
2. Sistem pemompaan (motor-pump), yang dapat dipasang di permukaan, tenggelam atau terapung.
3. Sistem pengkondisian daya, yang umumnya terdiri dari konverter DC-DC, inverter DC-AC, dan pengontrol pengisi daya
4. Sistem penyimpanan berupa baterai atau tanki air jika dibutuhkan



Gambar 2. 7 Diagram blok sistem irigasi dengan PLTS (Chandel et al., 2015)

2.3.1 Sistem Pompa PLTS digabungkan dengan Baterai

Sistem pompa air yang digabungkan dengan baterai terdiri dari panel *photovoltaic* (PV), charge controller , baterai, pengontrol pompa, tangki, dan pompa air DC Gambar 2.8. Pada siang hari panel PV menghasilkan arus listrik yang akan mengisi daya baterai, dan baterai menyuplai daya ke pompa setiap kali air diperlukan. Penggunaan baterai menyebarkan pompa dalam periode waktu yang lebih lama dengan memberikan tegangan operasi yang stabil ke motor DC pompa. Dengan demikian, selama malam hari dan periode cahaya rendah, sistem masih dapat memberikan sumber air yang konstan untuk irigasi sawah. Sistem pompa tenaga surya yang digabungkan dengan baterai seperti

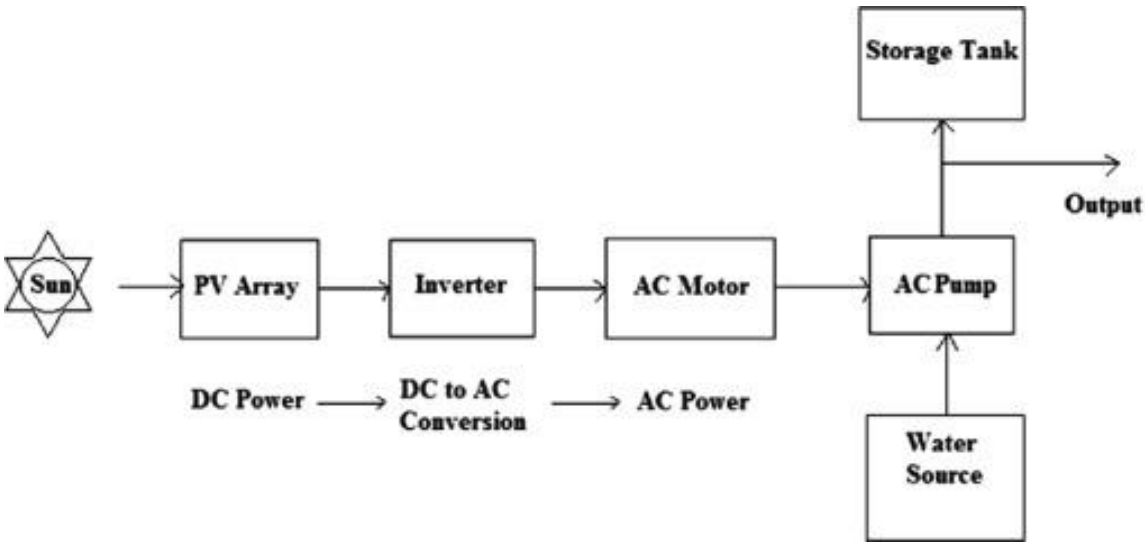


Gambar 2.8:

Gambar 2. 8 Diagram blok sistem irigasi PV dengan baterai (Chandel et al., 2015)

2.3.2 Sistem Pemompaan PLTS Berpasangan Langsung

Dalam sistem pemompaan berpasangan langsung, listrik dari modul PV dikirim langsung ke pompa, yang pada gilirannya memompa air melalui pipa ke tempat dibutuhkannya Gambar 2.9. Sistem ini dirancang untuk memompa air hanya pada siang hari. Jumlah air yang dipompa bergantung pada jumlah sinar matahari yang mengenai panel PV dan jenis pompa. Karena intensitas matahari dan sudut yang mengenai panel PV berubah sepanjang hari, jumlah air yang dipompa oleh sistem ini juga berubah sepanjang hari. Misalnya, selama periode sinar matahari optimal (pagi hingga sore hari) pompa beroperasi pada atau mendekati efisiensi 100 persen dengan aliran air maksimum. Namun, selama pagi dan sore hari, efisiensi pompa dapat turun sebanyak 25 persen atau lebih di bawah kondisi cahaya rendah ini. Selama hari berawan, efisiensi pompa akan semakin turun. Untuk mengimbangi laju aliran variabel ini, kecocokan yang baik antara pompa dan modul PV adalah diperlukan untuk mencapai operasi sistem yang efisien.

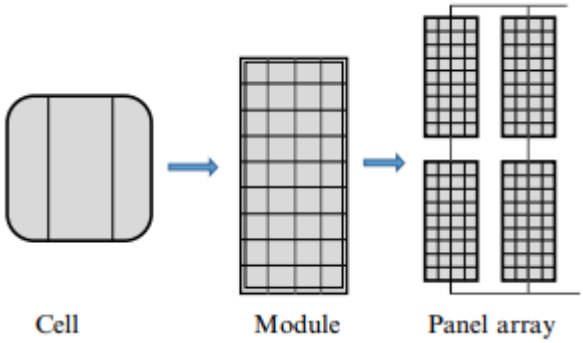


Gambar 2. 9 Diagram blok sistem irigasi PV tanpa baterai (Chandel et al., 2015)

2.4 Komponen PLTS

2.4.1 Modul Sel Surya

Sel PV menghasilkan tegangan dalam kisaran 0,5 sampai 0,6 DC, Tegangan output kecil dari sel PV tidak memadai untuk semua aplikasi komersial. Akibatnya, beberapa sel PV dihubungkan secara seri untuk meningkatkan tegangan atau dihubungkan secara paralel untuk meningkatkan arus. Susunan modul yang dirangkai dan dihubungkan secara seri disebut panel. Perakitan beberapa panel, yang dihubungkan secara seri disebut array dan beberapa array yang dihubungkan secara paralel, untuk menghasilkan daya disebut generator PV. seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.10.

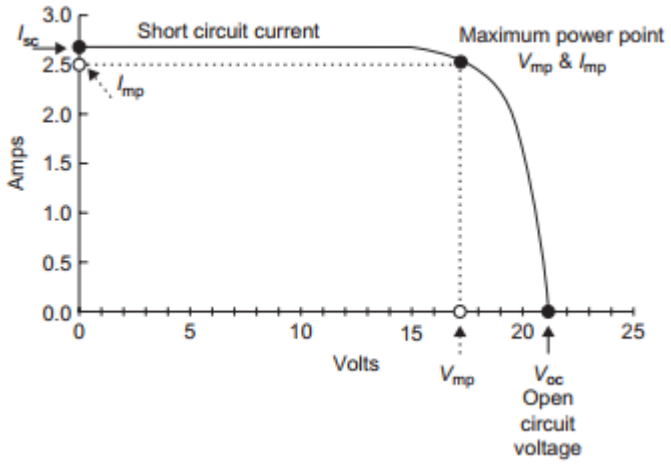


Gambar 2. 10 Perakitan generator PV (Ahmed F. Zobaa, 2011)

Sel-sel PV tidak persis sama, begitu juga perakitan modul dan perakitan array. Rangkaian ketidaksetaraan sel, modul, dan array ini menyebabkan kerugian yang tidak sesuai. kesalahan dalam susunan dan ketidakmerataan iradiasi dalam sel menyebabkan ketidaksamaan tegangan dan arus pada modul dan susunan, menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul. Faktor-faktor eksternal seperti suhu, dan permukaan sel yang tidak sempurna menyebabkan kerusakan sel. Oleh karena itu, sel-sel dienkapsulasi dalam bingkai logam yang biasanya dari aluminium dan substratum pendukung belakang dari kaca, logam, atau plastik.

Kemampuan konversi energi dapat dijelaskan oleh karakteristik tegangan-arus (I-V) yang merupakan profil dasar output listrik perangkat PV. Karakteristik I-V mewakili kombinasi dari semua arus dan tegangan yang

mungkin dari perangkat PV yang diberikan (sel, modul atau array) yang dapat dioperasikan pada kondisi radiasi matahari dan suhu sel tertentu. Plot kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.11. diekspresikan oleh arus dalam ampere pada sumbu y (vertikal).



Gambar 2. 11 Karakteristik (kurva I-V) modul PV (Qazi, 2017)

Kurva I-V dari perangkat PV didasarkan pada pengukuran dalam kondisi uji standar (STC), standar industri di mana perangkat surya diuji seperti yang diberikan di bawah ini:

a. Radiasi Matahari-1.000W / m^2

mengacu pada jumlah energi cahaya yang jatuh pada area tertentu pada waktu tertentu. Ini juga disebut puncak matahari atau satu matahari.

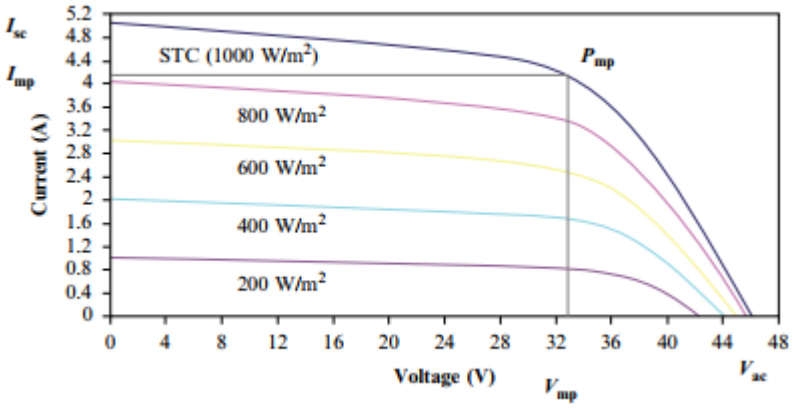
b. Suhu Sel 77 ° F (25 ° C).

adalah suhu sel itu sendiri dan bukan suhu lingkungan.

c. Massa Udara-1,5 (AM-1,5)

mengacu pada jumlah cahaya yang harus melewati atmosfer bumi sebelum menyentuh permukaan bumi. AM-1.5 diminimalkan pada siang hari ketika matahari berada di atas sistem PV dan meningkat ketika matahari berjalan lebih jauh dari titik referensi pada sudut tertentu.

Tegangan rangkaian terbuka (Voc) adalah tegangan potensial maksimum yang dicapai ketika tidak ada arus yang melewati sel. Output daya juga nol karena output nol . Dalam kasus sel PV, tegangan rangkaian terbuka sesuai dengan jumlah bias maju karena bias persimpangan sel surya karena cahaya yang dihasilkan saat ini. Arus hubung singkat (Isc) adalah arus maksimum perangkat PV dalam kondisi tanpa beban atau hubungan pendek dan tidak ada keluaran tegangan. Output daya juga nol karena tegangan nol pada output. Titik daya maksimum (Pmp) adalah titik operasi pada kurva I-V di mana produk arus dan tegangan berada pada daya maksimum. Arus daya maksimum (Imp) adalah arus operasi pada kurva I-V di mana daya keluaran maksimum. Tegangan daya maksimum (Vmp) adalah tegangan operasi pada kurva I-V di mana output daya maksimum.



Gambar 2. 12 Kurva I-V pada berbagai tingkat radiasi (Gharehpetian & Mousavi Agah, 2017)

Pada gambar 2.12 menunjukkan pengaruh radiasi matahari terhadap produksi energi listrik pada panel surya. Ketika radiasi matahari menurun arus yang dihasilkan oleh modul surya juga menurun. Sedangkan variasi tegangan tanpa beban sangat kecil.

2.4.2 Inverter

Inverter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. Inverter yang akan dipilih didasarkan pada kapasitas PV yang dipasang untuk mengubah semua daya DC yang dihasilkan menjadi

AC. Pengontrol pengisian daya baterai dalam sistem PV harus dipilih untuk mengisi daya baterai dengan aman dan menghilangkan risiko pengisian daya baterai yang berlebihan. Oleh karena itu, kapasitas inverter harus lebih tinggi setidaknya 20%-25% dari daya pengenal dan daya lonjakan yang dibutuhkan oleh beban AC (Nordin dan Rahman, 2019) (Pérez-Higueras et al., 2018).

2.4.3 Motor DC

Pompa air dapat digerakkan oleh motor DC atau AC. Sistem pompa dengan motor DC kekuranngannya terletak pada biaya perawatan karena sering mengganti brush. Sedangkan motor AC Motor induksi lebih kuat, membutuhkan perawatan jauh lebih sedikit dan tersedia dengan biaya lebih rendah daripada motor DC .

2.4.4 Baterai

Baterai atau akumulator adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik, baterai akan diperlukan dalam sistem PV untuk tujuan menyimpan energi yang dihasilkan oleh array PV di siang hari, dan untuk memasoknya ke beban listrik sesuai kebutuhan (pada malam hari dan periode cuaca berawan). Alasan lain baterai digunakan dalam sistem PV adalah untuk mengoperasikan array PV di dekat titik daya maksimumnya, untuk memberi daya pada muatan listrik supaya tegangan stabil, dan untuk memasok arus lonjakan ke beban listrik dan inverter. Dalam sistem PV, baterai timbal-asam paling umum digunakan karena tersedia dalam berbagai ukuran, biaya murah dan karakteristik kinerja bagus. Secara umum baterai penyimpanan listrik dibagi menjadi dua:

a. Baterai Primer

Dapat menyimpan dan menghantarkan energi listrik tetapi tidak dapat diisi ulang

b. Baterai Sekunder

Dapat menyimpan dan menghantarkan energi listrik dan dapat diisi ulang dengan melewatkan arus yang melewati dengan arah yang berlawanan dengan arus keluaran. Dalam sistem pv

menggunakan baterai sekunder. Ada dua jenis baterai sekunder: asam timbal, yang membutuhkan penambahan air secara berkala baterai terbuka (open Batteries) dan baterai yang disegel (*sealed*) atau yang diatur katup (*valve-regulated batteries* atauVRLA), elektrolit dipertahankan oleh gel natrium silikat atau diserap dalam pemisah serat gelas (tikar kaca penyerap, atau AGM). Sifat elektrolit ini memiliki dampak langsung pada harapan hidup baterai yang disegel. Elektrolit gel adalah yang paling tahan lama. Untuk alasan ini, jenis elektrolit ini sering lebih disukai untuk sistem PV yang berdiri sendiri untuk memperpanjang usia baterai, dan baterai *sealed* (atau sel gel), yang bebas perawatan. Parameter baterai meliputi : DOD (*Depth of discharge)*adalah jumlah muatan yang dikeluarkan atau dipakai dari baterai. DOD 80% artinya baterai melepaskan muatannya 80% dari 100% *rating*nya. Pada kondisi ini baterai tinggal memiliki muatan sekitar 20% yang disebut juga dengan SOC atau *stated of charge*. Semakin besar DOD suatu baterai semakin pendek umur baterai. Umur baterai berpengaruh langsung dengan DOD dalam setiap siklusnya. Satu kali siklus (*cycle)* melakukan proses lengkap yaitu proses pengeluaran (*discharge*) dan satu kali proses pengisian kembali (*charge*). Umur baterai biasanya dinyatakan dengan jumlah siklus baterai. Jika suatu baterai dinyatakan memiliki umur siklus 2.700 *cycle*, dan dioperasikan sebanyak 1 *cycle* perhari, maka umur baterai relatif 2.700/(1 x 365 hari) sama dengan 7,4 tahun.

2.4.5 Pompa

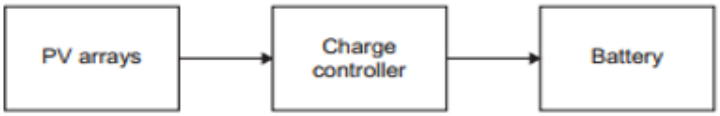
Pompa berfungsi sebagai alat mekanis untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi. Pompa air tenaga surya dapat dibagi menjadi tiga jenis sesuai dengan aplikasinya yaitu submersible, surfacez, and floating water pumps. Pompa submersible mengambil air dari sumur dalam, pompa surface mengambil air dari sumur dangkal, mata air, kolam, sungai atau tangki.

dan floating water pumps mengambil air dari waduk dengan kemampuan menyesuaikan ketinggian

2.4.6 *Charge Controller*

Charge controller yang terhubung antara generator PV dan baterai ditunjukkan pada Gambar 2.13. adalah komponen terpenting dalam sistem PV *Stand-Alone* dengan penyimpanan baterai. Tujuannya agar system baterai tetap terisi dan aman untuk waktu yang lama. Fungsi utama dari *Charge controller* adalah untuk mengisi daya baterai supaya tidak terjadi pengisian berlebih dan tidak terjadi kekurangan saat tidak ada radiasi matahari. Pada dasarnya, pengontrol pengisian daya digunakan untuk melindungi baterai yang harganya mahal dan untuk secara otomatis menghubungkan dan memutuskan sambungan listrik dari matahari terbenam ke sampai matahari terbit. Pengisian yang berlebihan sering terjadi selama musim panas ketika array fotovoltaik beroperasi di bawah kondisi cuaca yang baik atau sangat baik, menghasilkan energi yang melebihi permintaan beban listrik. Dengan tidak adanya *Charge controller*, arus dari array sebanding dengan jumlah radiasi matahari akan mengalir ke baterai. Dalam kasus baterai yang terisi penuh, pengisian yang tidak diatur akan menyebabkan tegangan baterai naik ke tingkat yang sangat tinggi, menghasilkan panas internal, elektrolit mulai hancur. Ini menghasilkan gelembung oksigen dan hidrogen, dalam proses yang diketahui sebagai pembuatan gas atau *gasification*, berakibat hilangnya air, oksidasi di elektroda positif, dan dalam kasus ekstrim, terjadi bahaya ledakan. Pengisian baterai yang berlebihan dapat mengurangi masa hidup baterai, kinerja baterai, dan dapat menimbulkan risiko keselamatan. *Charge controller* mencegah kelebihan daya baterai dengan membatasi arus mengalir dari array *photovoltaic* ke baterai saat baterai terisi penuh. Pengisian berlebih terjadi ketika radiasi matahari rendah dan penggunaan beban listrik berlebih yang menyebabkan energi yang tidak mencukupi dari susunan fotovoltaik untuk menjaga baterai terisi penuh. Dalam kasus baterai yang sangat kosong reaksi kimia dalam baterai berlangsung dekat dengan grid, melemahkan ikatan antara bahan aktif dan grid. Dalam kasus kelebihan baterai berulang kali, kehilangan masa pakai baterai dan hilangnya kapasitas terjadi. Perlindungan

overdischarge dilakukan dengan melepaskan beban sistem ketika baterai mencapai tegangan rendah. Dalam pengontrol muatan ini dicapai dengan memutarkan hubungan antara baterai dan beban listrik saat baterai mencapai titik setel pemutusan beban tegangan rendah yang telah disetel atau dapat disetel. Beban kembali dihubungkan kembali setelah baterai mencapai tingkat tertentu.

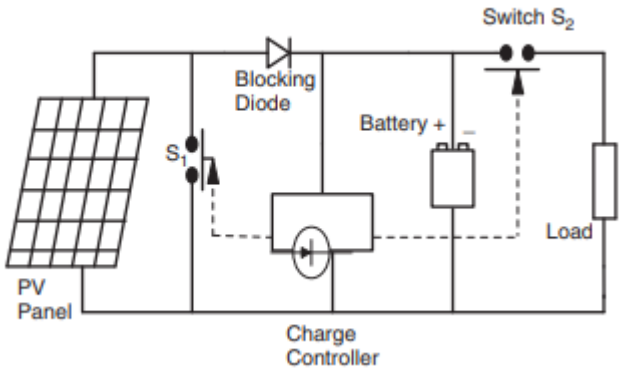


Gambar 2. 13 Diagram blok dari pengaturan *charge controller*

Ada empat tipe umum *charge controller*, dikategorikan oleh metode yang digunakan untuk mengatur muatan dari modul surya ke baterai (Salas, 2017):

a. *Charge Controller* Tipe *Shunt*

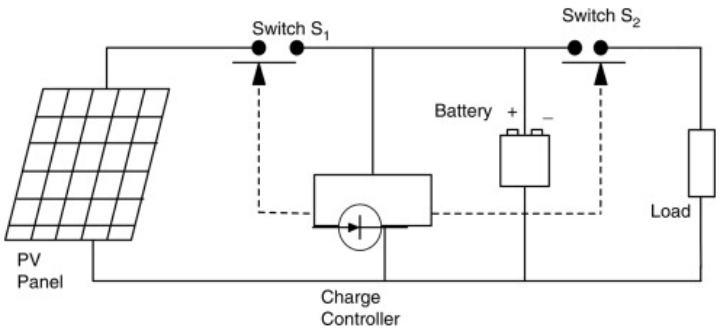
ketika baterai terisi penuh, generator PV dihubung pendek menggunakan sakelar elektronik (S1). Tidak seperti pengontrol seri, metode ini bekerja lebih efisien bahkan ketika baterai benar-benar habis karena sakelar hubung singkat tidak perlu diaktifkan sampai baterai benar-benar habis. Diode pemblokiran mencegah hubungan arus pendek baterai. Regulator *shunt* digunakan untuk aplikasi PV kecil (kurang dari 20 A).



Gambar 2. 14 *Charge controller shunt* (Rashid, 2011)

b. *Charge Controller* Tipe Seri

Sirkuit dasar untuk regulator seri diberikan pada gambar 2.15 Pada pengontrol pengisian daya seri, sakelar S1 memutus generator PV ketika tegangan baterai yang ditentukan tercapai. Ketika tegangan berkurang di bawah batas debit, beban diputuskan dari baterai untuk menghindari keluarnya muatan jauh ke dalam batas tersebut. Masalah utama yang terkait dengan jenis pengontrol seri adalah kerugian yang terkait dengan sakelar. Kehilangan daya ekstra ini berasal dari daya PV dan bisa sangat signifikan.



Gambar 2. 15 *Charge controller* seri (Rashid, 2011)

c. *Charge Controller* PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pengontrol muatan PWM menggunakan elemen switching semikonduktor antara array PV dan baterai yang dinyalakan atau dimatikan oleh PWM pada frekuensi variabel yang ditentukan, dengan kata lain, ketika tegangan pengisian baterai mencapai setpoint regulasi, algoritma pengisian daya secara perlahan mengurangi arus pengisian untuk menghindari pemanasan dan penyerangan dengan gas beracun baterai, tetapi terus mengembalikan jumlah energi maksimum ke baterai dalam waktu singkat. Jenis pengisian ini sangat ideal untuk array PV di mana kelebihan energi diproduksi selama berhari-hari dan berminggu-minggu dan sangat sedikit dikonsumsi. Tidak seperti pengontrol ON/OFF, pengontrol PWM bekerja dengan mengurangi arus dari array

PV sesuai dengan kondisi baterai dan persyaratan pengisian daripada tiba-tiba memutus daya untuk meminimalkan pengisian baterai yang berlebihan. Ini dicapai dengan secara elektronik mengendalikan kecepatan elemen *switching* .Pengontrol PWM yang memecah arus array PV menjadi pulsa pada frekuensi konstan, dan memvariasikan lebar dan waktu pulsa untuk mengatur jumlah muatan yang mengalir ke baterai. Penggunaan pulsa dalam pengontrol muatan PWM juga baik untuk baterai karena mencampurkan pembersihan elektrolit pelat timah dan mencegah sulfasi. Pengontrol biaya PWM mempertahankan kapasitas baterai 90-95% dibandingkan 55-60% dari kondisi on / off yang diatur pada pengisian dan memiliki kemampuan untuk memulihkan kapasitas baterai yang hilang. Sel baterai, secara otomatis menyesuaikan penuaan baterai, meningkatkan penerimaan baterai dan mengatur sendiri penurunan tegangan dan efek suhu dalam sistem surya. Keuntungan terbesar dari pengontrol PWM adalah bahwa mereka telah ada selama bertahun-tahun, lebih murah, dan tersedia dalam berbagai ukuran yang lebih luas untuk aplikasi yang berbeda.

d. *Charge Controller* MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Dalam *Charge controller* PWM, jika pengontrol menerima lebih dari 18V dari panel PV dalam sistem 12V, tegangan berlebih biasanya terbuang dan tidak digunakan. Namun dalam hal MPPT, pengontrol akan menggunakan ekstra 18V DC dan mengubahnya menjadi arus yang lebih tinggi yang akan menghasilkan waktu pengisian lebih cepat untuk pengisian baterai. Ini menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, daya lebih tinggi, dan manajemen baterai secara keseluruhan lebih baik daripada pengontrol PWM. MPPT, tidak seperti PWM yang menggunakan algoritma switching, secara terus-menerus menyesuaikan beban pada perangkat PV dalam kondisi yang terus berubah untuk membuatnya beroperasi pada titik daya maksimumnya. MPPT memeriksa output dari array PV dan membandingkannya dengan tegangan baterai. Kemudian menghitung daya terbaik yang dapat

dihasilkan oleh array PV untuk mengisi daya baterai. Pengontrol muatan MPPT mengambil tegangan dan mengubahnya ke tegangan terbaik untuk mendapatkan arus maksimum baterai. Kekuatan MPPT bervariasi dan tergantung pada radiasi matahari, suhu sekitar, dan suhu sel surya. Dengan kata lain, pengontrol muatan MPPT memperhitungkan fakta bahwa array PV terkadang menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi karena kondisi cuaca, dan secara otomatis dapat mencocokkan tegangan yang dihasilkan dengan tegangan baterai untuk memaksimalkan efisiensi pengisian daya. Tegangan di mana array PV dapat menghasilkan daya maksimum disebut "maksimum Power Point". MPPT tidak hanya melakukan fungsi pengendali PV tetapi juga beroperasi sebagai konverter tegangan DC yang mengubah tegangan array PV menjadi tegangan yang diperlukan oleh baterai tanpa kehilangan. Konverter DC ini mengubah input DC dari array PV ke AC dan kemudian mengubahnya kembali ke DC yang cocok dengan tegangan baterai. Dalam konversi ini, konverter Buck digunakan untuk *step down voltage* dan converter Booster digunakan untuk *step-up voltage*. Jika tegangan baterai sama atau kurang dari 48V, adalah normal untuk memilih konverter Buck sedangkan untuk tegangan baterai lebih besar dari 48V, konverter Booster dipilih. MPPT, jika dibandingkan dengan PWM, memiliki efisiensi sistem yang lebih tinggi dan dapat digunakan untuk array PV yang lebih besar dengan daya output yang lebih tinggi. Sebagian besar MPTT menghasilkan efisiensi 93-97% dan juga mendapatkan keuntungan peningkatan daya 20–45% di Musim Dingin dan 10–15% di Musim Panas dibandingkan dengan pengontrol PWM. Sebagian besar pengontrol MPPT memiliki kapasitas untuk menangani hingga 80 amp. MPPT paling efektif dalam suhu rendah termasuk hari berawan atau berkabut dengan sinar matahari yang lemah, dapat menghasilkan lebih banyak arus dan mengisi baterai saat habis secara mendalam dengan tingkat pengisian yang lebih rendah. Pengontrol MPPT lebih kompleks dan jauh lebih mahal daripada pengontrol PWM.

2.5 Spesifikasi Mesin Diesel yang digunakan

a. Mesin Diesel Dongfeng R 180.

Memiliki spesifikasi tipe: mendatar dengan isi kapasitas mesin:402 cc, daya maksimum 8 Hp atau 2600 rpm dan berbahan bakar solar

Gambar 2. 16 Mesin diesel dongfeng

b. Mesin Diesel Honda 4,5 Hp

Mempunyai kapasitas pengalirn sebesar 1100 liter/menit dan memiliki daya maksimum sebesar 3,6 Kw atau 4,5 Hp

Gambar 2. 17 Mesin diesel honda

2.6 PVsyst

PVsyst merupakan paket software atau perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran, dan analisan data dari sistem PLTS secara lengkap. PVsyst dikembangkan oleh Universitas Geneva, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*Grid-Connected*), sistem berdiri sendiri (*Stand-Alone*) sistem pompa (pumping), dan jaringan arus searah untuk

transportasi publik (*DC-grid*). PVsyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS.

2.7 Analisis Ekonomi berdasarkan LCC (*Life cycle cost*)

Analisis ekonomi LCC digunakan untuk menentukan biaya yang diperlukan dalam memulai dan mengoperasikan sistem selama masa pakai. Biaya LCC dipilih dengan investasi serendah mungkin sehingga diketahui investasi dapat diterima atau tidak. Pembiayaan LCC meliputi jumlah biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaan dalam jangka waktu tertentu serta biaya penggantian komponen dalam saat ini. Perhitungan untuk LCC adalah sebagai berikut:

$$LCC = C + Mpw \qquad (2.3)$$

Dimana,

C adalah biaya investasi awal (biaya untuk pembelian semua komponen sistem, antara lain modul PV, baterai, *solar charge controller*, inverter)

Mpw adalah biaya jangka panjang untuk pemeliharaan, operasional dan penggantian komponen.

Besarnya nilai sekarang (*Present Value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (Mpw atau *present worth of maintenance*) PLTS selama umur proyek n tahun dengan tingkat diskonto i dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:.

$$P = C\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] \qquad (2.3)$$

Dimana,

n adalah umur proyek

i adalah tingkat diskonta mengacu pada suku bunga bank (2020)

2.8 Biaya Energi (*Cost of Energi*)

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS. Faktor pemulihan modal (*Capital recovery factor*) dihitung dengan rumus sebagai berikut (N. Kumar, 2015):

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \qquad (2.\ 4\ )$$

Dimana,

n adalah periode (umur) proyek

i adalah tingkat diskonta.

Biaya energi adalah dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{COE} = \frac{LCC\ X\ CRF}{AKWH} \qquad (2.\ 5\ )$$

Dimana,

COE adalah *Cost of energi* atau biaya energi (Rp./kWh)

LCC adalah Biaya siklus hidup (*Life cycel cost*)

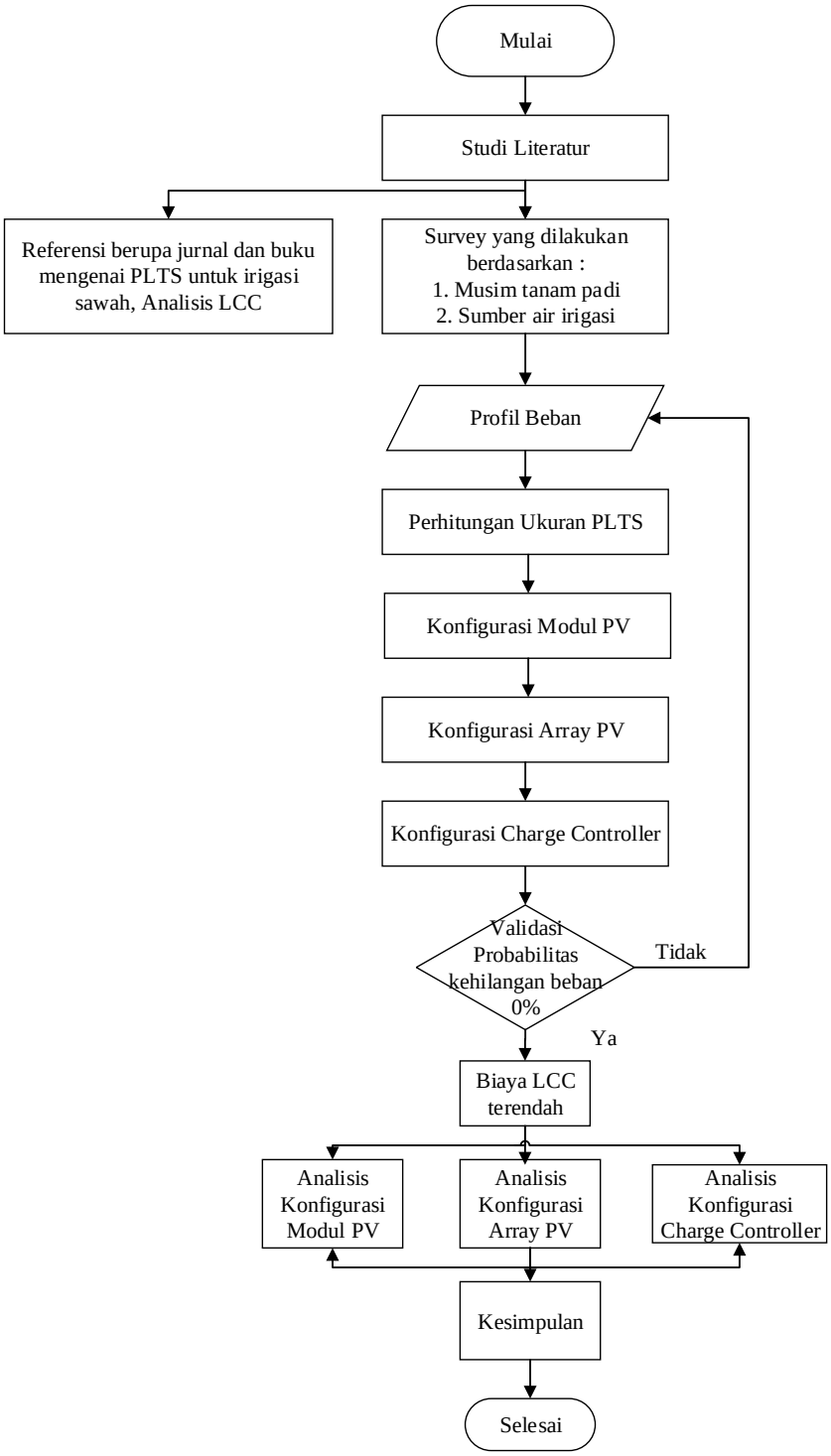
CRF adalah Faktor Pemulihan Modal, berdasarkan pada discount rate (i)

A KWH adalah Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

$$\text{A KWH} = \text{kWh harian x 365 [kWh]} \qquad (2.\ 6\ )$$

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur penelitian ini meliputi membaca referensi buku dan jurnal tentang perancangan photovoltaic untuk irigasi sawah dan metode LCC. Kegiatan yang dilakukan meliputi survey lokasi melalui wawancara kepada petani. Data yang diperoleh adalah kebutuhan air untuk irigasi sawah, bahan bakar untuk pemompaan, lama pemompaan, volume bahan bakar yang dibutuhkan selama penanaman padi, sumber air yang digunakan untuk pengairan dan bulan-bulan masa pertanian, sehingga diketahui pola pertanian berdasarkan musim tanam dan sumber air yang digunakan. Dari survey lokasi diperoleh 3 kecamatan wilayah Lamongan yang mewakili.

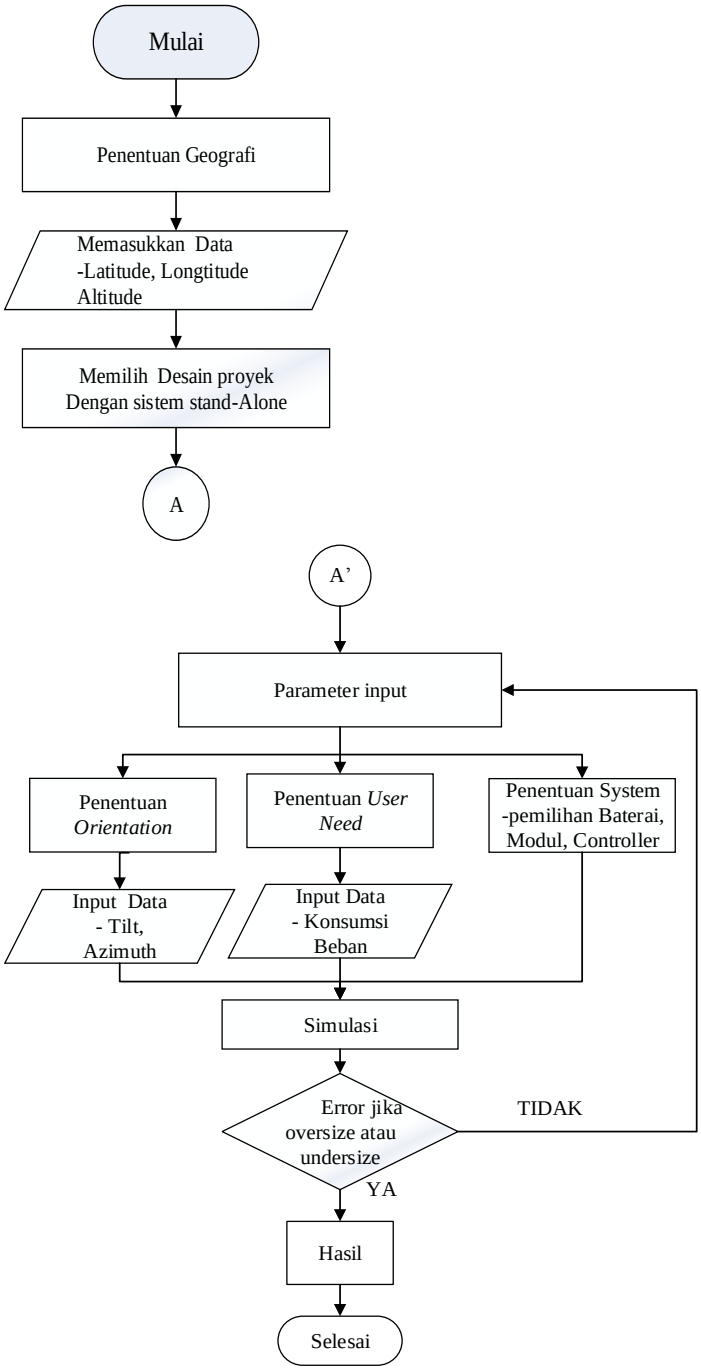
3.3 Profil Beban

Profil beban merupakan konsumsi daya yang digunakan untuk irigasi pertanian di wilayah Lamongan. Konsumsi selama 1 tahun akan menjadi acuan dalam melakukan perancangan PLTS di wilayah Lamongan. Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari sampai Maret, data yang diambil untuk menghitung konsumsi beban meliputi data kebutuhan bahan bakar, massa jenis solar, massa jenis bensin, nilai kalor bakar solar dan bensin seperti Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Nilai kalor bahan bakar (Santoso, 2010)

No	Bahan Bakar	Nilai Kalor (MJ/kg)
1	Minyak Tanah	43
2	Bensin	47,3
3	Aseton	29
4	Minyak Diesel	44,8

3.4 Simulasi Perancangan PLTS menggunakan PVsyst



Gambar 3. 2 Diagram alir simulasi PVsyst

3.4.1 Konfigurasi Photovotaik Array

Konfigurasi photovoltaik array dilakukan dengan simulasi PVsyst yaitu memvariasikan modul PV susunan secara seri-pararel.

3.4.2 Konfigurasi Modul Surya

Konfigurasi modul surya dilakukan dengan simulasi PVsyst yaitu memvariasikan modul monokristalin dan polikristalin.

3.4.3 konfigurasi *Charge controller*

Konfigurasi charge controller dengan memvariasikan tipe *charge controller* pada perancangan PLTS dengan simulasi PVsyst

3.5 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dalam penelitian ini menggunakan metode LCC dan COE, metode tersebut memperinci total biaya semua pengeluaran dari desain sistem hingga akhir masa pakainya dan memberikan biaya terperinci untuk setiap tahap pemasangan dan pengoperasian sistem. Biaya tersebut meliputi modal awal sistem pemompaan PV dengan menjumlahkan biaya komponen PV dan biaya tambahan. LCC (*Life cycle cost*) dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.3), (2.4) dan biaya energy PLTS atau COE (*Cost of energy*) persamaan (2.5), (2.6) dan (2.7)

BAB 4
ANALIS DATA DAN PEMBAHASAN

Analisa data dan pembahasan menjelaskan mengenai kebutuhan energi listrik untuk irigasi sawah di wilayah lamongan. Data hasil survey seperti kebutuhan air, kebutuhan bahan bakar, dan waktu pengoperasian pompa diesel untuk irigas sawah. Data tersebut digunakan untuk perhitungan profil beban, sehingga kebutuhan energi perkecamatan dapat diketahui yang akan menjadi inputan untuk mensimulasikan PVsyst untuk merancang kebutuhan energi listri di wilayah lamongan.

4.1 Analisis Lokasi Penelitian

Pada perencanaan PLTS untuk irigasi sawah ada tiga kecamatan yang akan menjadi studi kasus, wilayah lamongan dipilih karena sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Berikut adalah tiga kecamatan yang menjadi studi kasus di wilayah lamongan

4.1.1 Kecamatan Karanggeneng

Musim tanam di kecamatan Karanggeneng ada dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Penanaman di musim hujan dilakukan pada bulan Januari – Mei, sedangkan di musim kemarau pada bulan Juni sampai September. Pengairan sawah di musim hujan mendapatkan air dari sungai yang mengalir di sekitar persawahan dan tadah hujan. Jika pengairan sawah pada musim kemarau pengairan sawah diambil dari anak sungai bengawan solo yang dialirkan ke desa- desa melalui aliran sungai seperti Gambar 4.1 dan 4.2

Gambar 4. 1 Sungai bengawan Solo

(a)

(b)

(c)

Gambar 4. 2 (a) Penyedotan air dari bengawan Solo ,(b) penyaluran air, (c) Penyaluran aliran bengawasan Solo dialirkan dari desa ke desa.

Gambar 4. 3 Pengairan sawah di kecamatan Karanggeneng

Hasil survey lokasi penelitian di kecamatan Karanggeneng dapat dilihat pada Gambar 4.3 Pengairan sawah untuk tanam padi di kecamatan Karanggeneng menggunakan mesin diesel berbahan bakar solar. Satu jam pemompaan diesel mengkonsumsi 1 liter solar.

4.1.2 Kecamatan Kalitengah

Pengairan sawah di kecamatan Kalitengah berasal dari sungai disekitar persawahan. Musim penanaman padi hanya dilakukan satu kali yaitu di musim kemarau pada bulan Juni-September, karena pengairan di kecamatan Kalitengah mendapatkan pengairan di air sungai sebagai pengairan sawahnya.

Gambar 4. 4 Pengairan sawah di kecamatan Kalitengah

Hasil survey lokasi penelitian di kecamatan Kalitengah pada Gambar 4.4. air yang digunakan untuk irigasi sawah adalah dari air sungai sekitar sawah. Dibutuhkan satu liter solar untuk pemompaan selama satu jam.

4.1.3 Kecamatan Pucuk

Musim tanam di kecamatan Pucuk dilakukan sebanyak dua kali yaitu di musim penghujan dan kemarau. Di musim hujan dilakukan pada bulan Desember sampai Maret, sedangkan penanaman padi di musim kemarau dilakukan bulan April sampai Juli. Pengairan sawah di kecamatan ini adalah berasal dari sumur di dekat sawah dengan menggunakan pompa diesel. Berikut adalah gambar pengairan di kecamatan Pucuk.

Gambar 4. 5 Pengairan sawah di kecamatan Pucuk

Hasil survey lokasi penelitian di kecamatan Kalitengah pada gambar 4.5 Pompa diesel di kecamatan Pucuk menggunakan bahan bakar bensin, pengairan sawah saat musim hujan dilakukan sebanyak tiga kali yaitu di bulan Desember dua kali dan bulan Januari satu kali, karena selain air sumur pengairan tersebut dibantu dengan air tadah hujan. Sekali memompa dilakukan selama 8-10 jam (Jika luas lahan 1404 m^2). Jika pengairan sawah dilakukan pada musim kemarau dilakukan selama 5 kali dengan sekali pompa adalah 10 - 15 jam (Jika luas lahan 1404 m^2). Pengairan tersebut lebih lama karena tergantung pada banyaknya air yang ada di sumur, dan juga keadaan tanahnya yang sangat kering.

4.2 Analisis Kebutuhan Irigasi

kebutuhan irigasi adalah kebutuhan air selama musim pertanian, untuk mengetahui volume air melalui survey lokasi, peneliti melakukan eksperimen dengan cara mengisi penuh bak selama waktu tertentu, dalam penelitian ini diperoleh dalam 2 detik volume air 13,2 liter dengan menggunakan rumus:

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (4.7)$$

Dimana,

Q adalah debit (liter/detik)

V adalah volume air (liter)

t adalah waktu (detik)

Debit diperoleh 6,6 liter/detik dengan pompa merk dongfeng berdaya 8,5 Hp dengan bahan bakar solar. Banyak nya solar yang dihabiskan untuk kebutuhan pengairan dapat menjadi acuan dalam perhitungan beban dengan mengkonversi nilai kalor bakar (*Heat Heating Value*) yang digunakan mesin diesel untuk menggerakkan pompa adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai HHV (MJ/Kg) X } \rho\ (Bahan\ \ bakar) = \frac{\text{MJ}}{\text{liter}} \qquad \text{(4. 2a)}$$

Dimana,

HHV (*Heat Heating Value*) adalah Nilai kalor bakar (MJ/Kg)

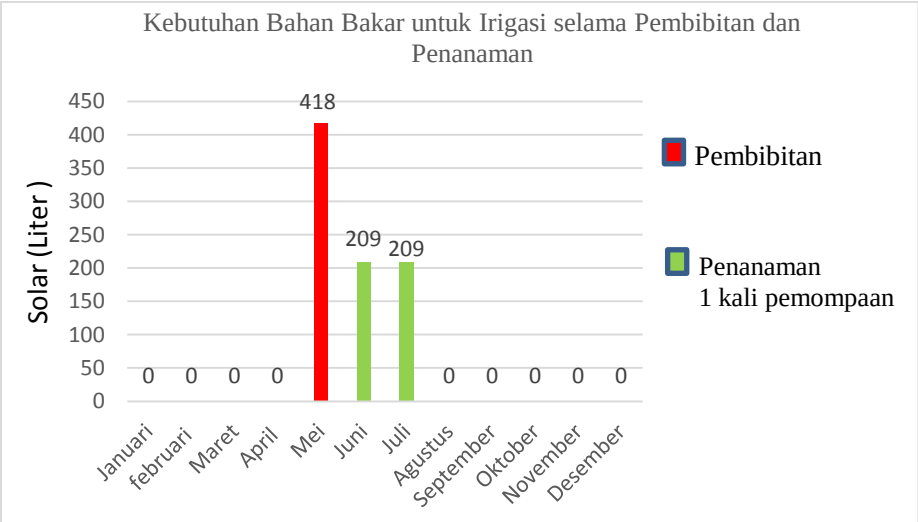
ρ adalah masa jenis (kg/m^3)

$$\frac{MJ}{l\ liter}\ x\ 0{,}28 = \frac{kWh}{liter} \qquad \text{(4. 2b)}$$

$$\frac{kWh}{liter} \text{ x konsumsi bahan bakar (liter) = kWh} \qquad \text{(4. 2c)}$$

4.2.1 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Kalitengah

Berdasarkan hasil survey dan wawancara yang dilakukan peneliti kecamatan Kalitengah melakukan penanaman padi dalam satu tahun hanya sekali yaitu di bulan Mei - Agustus dengan kebutuhan air irigasi sawah pada bulan Mei –Juli. Luas lahan yang menjadi studi penelitian ini adalah 9,4 ha dalam satu lokasi persawahan. Data kebutuhan irigasi berupa kebutuhan air, banyaknya bahan bakar yang digunakan di kecamatan Kalitengah untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2.



Gambar 4. 6 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi pembibitan dan penanaman di kecamatan Kalitengah

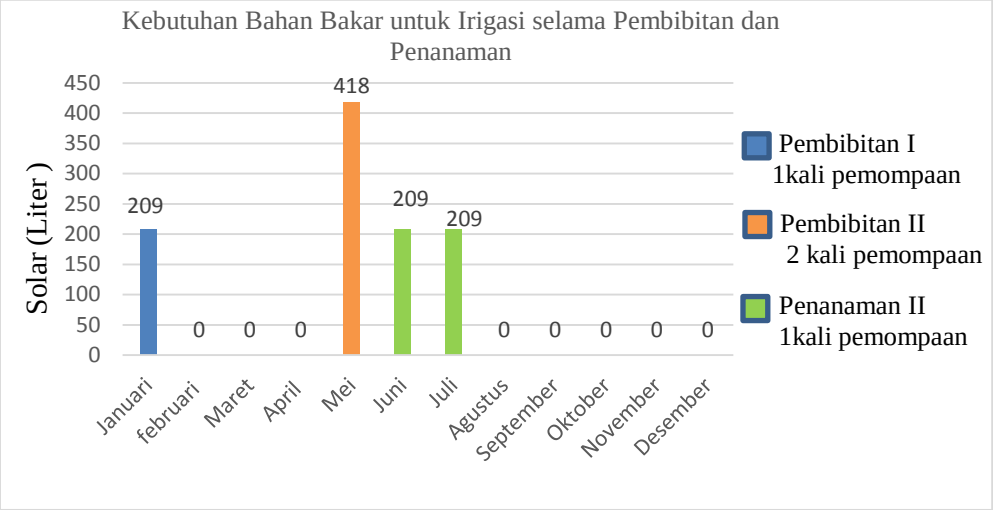
Pada waktu mengairi tanaman padi di sawah, pengairan harus diperhatikan dan disesuaikan dengan umur tanaman tersebut. Kedalaman air hendaknya diatur dengan cara sebagai berikut:

a. Tanaman Padi yang berumur 0-8 hari kedalaman air cukup 5 cm saja.
b. Tanaman yang berumur 8-45 hari kedalaman air dapat ditambah hingga 10-20 cm.
c. Tanaman padi yang sudah berbuah atau bulir padi sudah ada dan mulai menguning ke dalaman air dapat ditambah hingga 25 cm. Setelah itu dikurangi sedikit demi sedikit.
d. Tanaman padi sepuluh hari sebelum panen sawah dikeringkan sama sekali. Agar padi dapat masak atau menguning serempak.

Penanaman padi dimulai dari pembibitan yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, yaitu di kecamatan Kalitengah dimulai bulan Mei pada proses ini sawah membutuhkan irigasi pengairan sawah yang membutuhkan dua kali pemompaan mengkonsumsi 418 perbulan. Pengairan pertama dan kedua dari pembibitan selisih 10 hari dari pengairan pertama. Selanjutnya setelah 26 hari, dilakukan penanaman yang membutuhkan pengairan pada bulan Mei dan Juli yaitu satu kali pemompaan banyaknya solar yang dikonsumsi 209 liter perbulan. Kebutuhan irigasi ini meliputi kebutuhan bahan bakar untuk pengairan sawah dimana pengairan tersebut diambil dari air sungai dengan menggunkan diesel yang berbahan bakar solar. Satu jam pengairan membutuhkan satu liter solar.

4.2.2 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Karanggeneng

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan peneliti kecamatan Karanggeneng melakukan penanaman padi dalam satu tahun dua kali penanaman padi, pada panen yang pertama dilakukan pada bulan Januari-April dengan pengairan di bulan Januari karena dibulan februari-Maret mengandalkan kebutuhan air dari tadah hujan, sedangkan panen kedua Mei-Agustus. pengairan dilakukan pada bulan Mei-Juli dengan sumber air dari sungai secara detail hasil survey dan wawancara dapat di lihat pada Lampiran 3, 4A dan 4B. Untuk luas lahan yang menjadi studi penelitian ini adalah 10,1 ha.



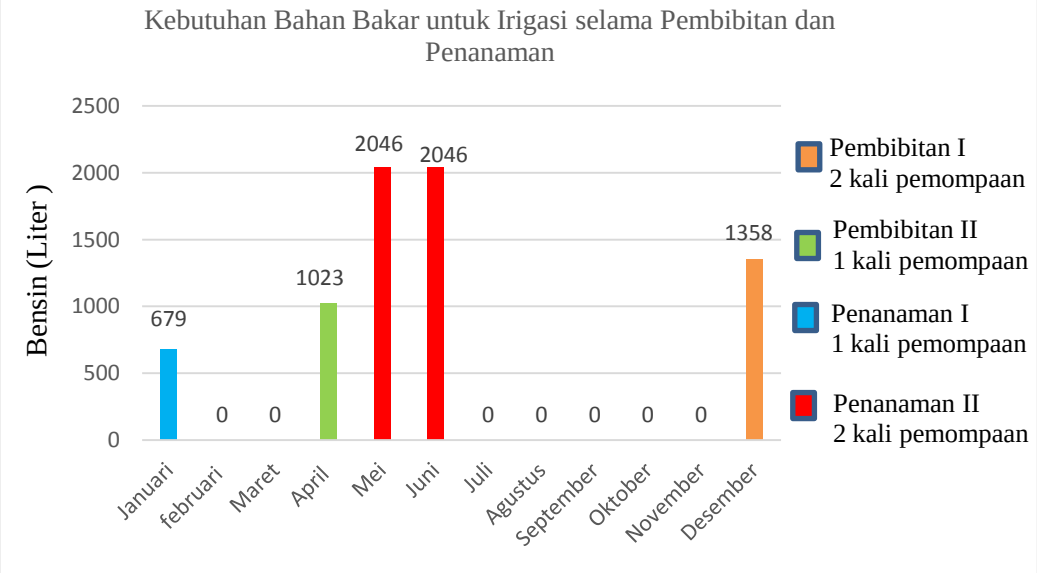
Gambar 4. 7 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi selama pembibitan dan penanaman di kecamatan Karanggeneng

Berdasarkan Gambar 4.7 Penanaman padi di kecamatan Karanggeneng dilakukan dua kali musim tanam, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Penanaman padi di musim hujan dimulai dari pembibitan I dilakukan pada bulan Januari yang membutuhkan pemompaan air untuk irigasi sawah satu kali pemompaan mengkonsumsi bahan bakar solar 209 liter karena pada pembibitan di musim hujan untuk pengairan di bulan Januari dibantu oleh tadah hujan, Selanjutnya setelah 26 hari padi siap ditanam dan dilakukan pengairan bulan Februari dan Maret, pengairan ini dibantu oleh tadah hujan (angka nol) sehingga tidak dilakukan pemompaan di musim tersebut. Pada pembibitan II padi di musim kemarau di lakukan pada bulan Mei sebanyak dua kali pemompaan mengkonsumsi bahan bakar solar 418 liter, selisih pengairan pertama dan kedua berjarak 10 hari, selanjutnya setelah 26 hari padi di ambil dan ditanam dengan jarak 1-2 cm untuk pengairan di saat musim kemarau (penanaman II) dilakukan satu kali pemompaan perbulan yaitu bulan Juni dan Juli sekali pemompaan mengkonsumsi 209 liter bahan bakar solar. Satu jam pengairan mengkonsumsi satu liter solar.

4.2.3 Kebutuhan Bahan Bakar untuk Irigasi di Kecamatan Pucuk

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan peneliti di kecamatan Pucuk melakukan penanaman padi dalam satu tahun dua kali penanaman padi,

penanaman padi yang pertama dilakukan pada bulan Desember-Maret dengan pengairan di bulan Desember, Januari karena dibulan februari-Maret mengandalkan kebutuhan air dari tadah hujan, sedangkan panen kedua April-Juli. pengairan dilakukan pada bulan April-Juni dengan sumber air dari sumur secara detail hasil survey dan wawancara pada Lampiran 5, 6A dan 6B. Untuk luas lahan yang menjadi studi penelitian ini adalah 10,2 ha.



Gambar 4. 8 Kebutuhan bahan bakar untuk irigasi selama pembibitan dan penanaman di kecamatan Pucuk

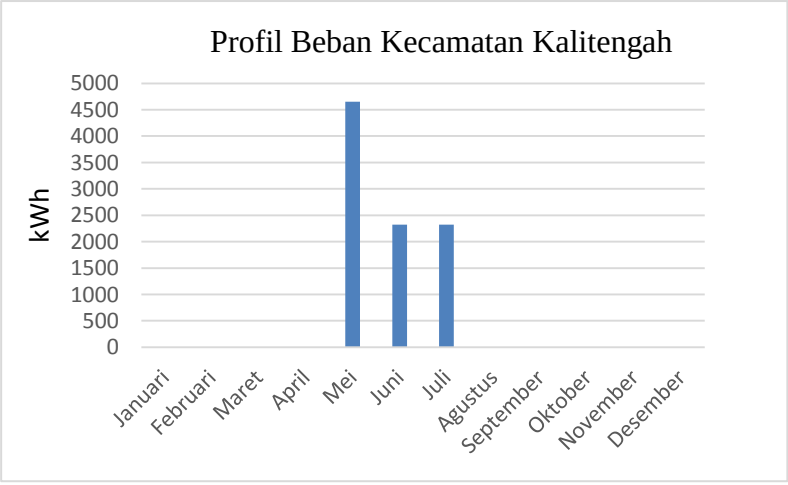
Berdasarkan Gambar 4.8 Penanaman padi di kecamatan Pucuk dilakukan dua kali musim tanam, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Penanaman padi di musim hujan dimulai dari pembibitan I yaitu pada bulan Desember yang membutuhkan pemompaan dua kali yang mengkonsumsi 1.358 liter bensin karena pada lahan di daerah Pucuk tanah sangat kering jauh dari sumber air sungai, Selanjutnya setelah 25 hari, dilakukan penanaman padi, pada bulan Januari sudah musim penghujan pengairan untuk kebutuhan irigasi dilakukan hanya satu kali mengkonsumsi 679 liter bensin dan di hari selanjutnya pengairan sawah dibantu oleh tadah hujan, sehingga pemompaan hanya dilakukan di bulan Januari dan hanya satu kali pemompaan. Pada pembibitan II padi di musim kemarau di lakukan pada bulan April sebanyak satu kali mengkonsumsi 1.023 liter bensin, selisih pengairan pertama dan kedua berjarak

10 hari, selanjutnya setelah 25 hari padi di ambil dan ditanam dengan jarak 1-2 cm, untuk penanaman II di musim kemarau pada bulan Mei dan Juni dilakukan dua kali pemompaan perbulannya sekali pemompaan mengkonsumsi bahan bakar 2.046 liter solar. Kebutuhan irigasi ini meliputi kebutuhan akan air untuk pengairan sawah dimana pengairan tersebut diambil dari air sungai dengan menggunkan diesel yang berbahan bakar bensin. Satu jam pengairan mengkonsumsi satu liter bensin.

4.3 Analisi Profil Beban

Analisis profil beban berkaitan dengan pengambilan data yang paling penting dan perhitungan yang tepat karena beban akan mempengaruhi setiap desain sistem dengan didasarkan pada ukuran beban. Jika perhitungan tidak akurat, desain sistem akan gagal dan dalam hal pembiayaan akan sangat tinggi. Sehingga penilaian beban adalah faktor penting dalam desain sistem. Berikut adalah profil beban pada masing-masing wilayah di lamongan dari hasil survey dan hasil perhitungan pada Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3 dengan menggunakan persamaan (4.2a), (4.2b), dan (4.2c) diperoleh profil beban di masing-masing kecamatan adalah sebagai berikut:

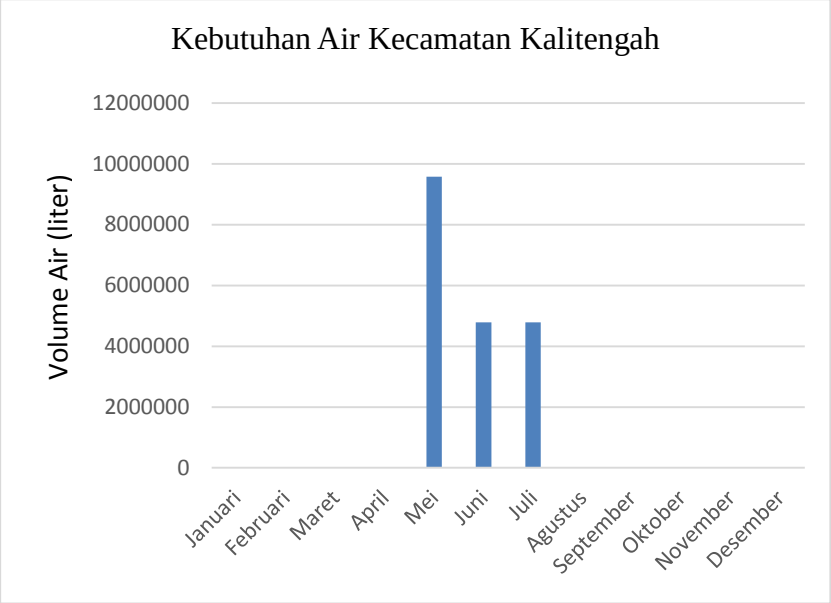
4.3.1 Profil Beban Kecamatan Kalitengah



Gambar 4. 9 Profil beban kecamatan Kalitengah

Gambar 4.9 merupakan profil beban di dapatkan dari perhitungan dengan mengkonversi nilai kalor bakar (*Heat Heating Value*) solar yang

digunakan mesin diesel untuk menggerakkan pompa dengan menggunakan persamaan (4.2a), (4.2b) dan (4.2c). Sehingga kebutuhan irigasi sawah untuk sekali pemompaan dengan luas lahan 9,4 ha sawah mengkonsumsi solar 191 liter (dilihat pada gambar 4.6) jika di konversi ke kebutuhan beban sebesar 2.324,47 kWh. Kalitengah di musim kemarau yaitu pada bulan Mei, Juni dan Juli. Kebutuhan irigasi sawah di bulan Mei konsumsi beban yang dibutuhkan 4.648,94 kWh untuk menghasilkan air sebanyak 9.579.220 liter, sedangkan di bulan Juni dan Juli konsumsi beban sebanyak 2.324,47 kWh menghasilkan air sebanyak 4.789.610 liter. Bulan Mei konsumsi pembebanan paling tinggi dikarenakan pada bulan tersebut pemompaan dilakukan sebanyak dua kali dengan satu kali pemompaan mengkonsumsi beban 2.324,47 kWh. Oleh karena itu kebutuhan beban untuk irigasi di kecamatan Kalitengah perbulan adalah 2.324,47 kWh untuk satu kali pemompaan.

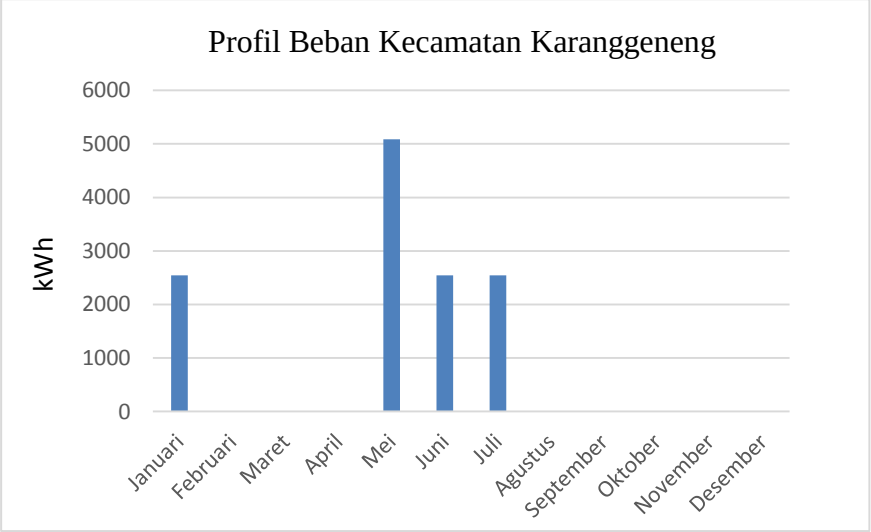


Gambar 4.10 Kebutuhan air kecamatan Kalitengah

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.10 adalah volume air yang dibutuhkan untuk irigasi selama masa pertanian untuk lebih detailnya dapat dilihat pada lampiran 1b. Volume air didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.1). Dari analisa perhitungan didapatkan bulan Mei membutuhkan pengairan sawah sebanyak 9.579.220 liter air karena pemompaan

dilakukan sebanyak 2 kali dengan 1 kali pemompaan sebanyak 4.789.610 liter dengan konsumsi bahan bakar solar 382 liter, sedangkan bulan Juni dan Juli membutuhkan 4.789.610 liter air mengkonsumsi solar yaitu 191 liter . Kebutuhan air di kecamatan Kalitengah untuk irigasi sawah dengan luas lahan 9,4 ha membutuhkan pengairan sebanyak 4.789.610 liter sekali pemompaan. Sehingga dalam 1 tahun membutuhkan air sebanyak 19.158.440 liter dengan mengkonsumsi bahan bakar solar sebanyak 764 liter.

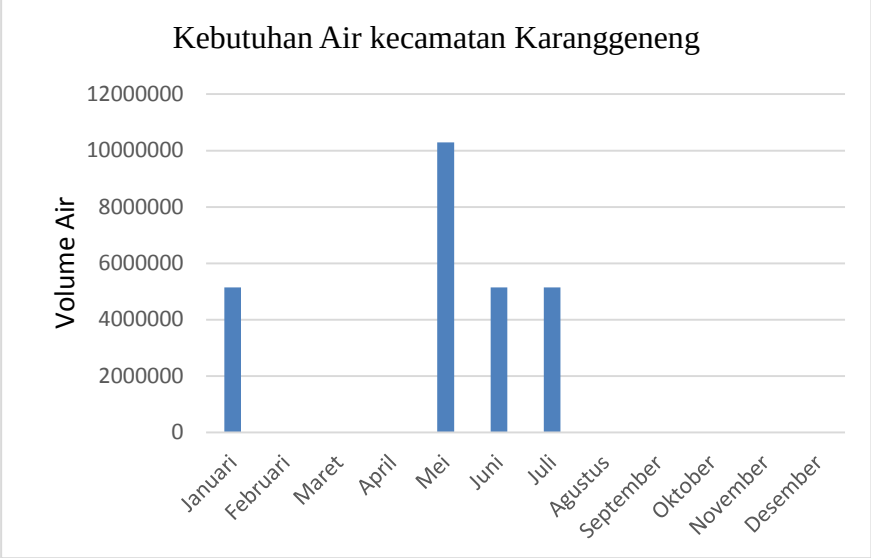
4.3.2 Profil Beban Kecamatan Karanggeneng



Gambar 4. 11 Profil beban di kecamatan Karanggeneng

Gambar 4.11 merupakan profil beban di dapatkan dari perhitungan persamaan (4.2a), (4.2b) dan (4.2c) mengkonversi nilai kalor bakar *(Heat Heating Value*) solar yang digunakan mesin diesel untuk menggerakkan pompa. Luas lahan 10,1 ha. Jika kebutuhan solar tersebut dikonversi ke kebutuhan beban pada masa pembibitan musim hujan kebutuhan beban 2.543,53 kWh, pembibitan musim kemarau 5.087,06 kWh, dan masa penanaman di musim kemarau 5.087,06 kWh. Di kecamatan Karanggeneng untuk kebutuhan irigasi sawah, Pada bulan Mei konsumsi beban adalah 5.087,06 kWh karena pada bulan tersebut dilakukan pemompaan dua kali yaitu sekali pemompaan membutuhkan konsumsi beban 2.543,53 kWh. Sedangkan pada bulan januari, juni dan juli membutuhkan konsumsi beban 2.543,53 kWh. Sehingga konsumsi beban yang

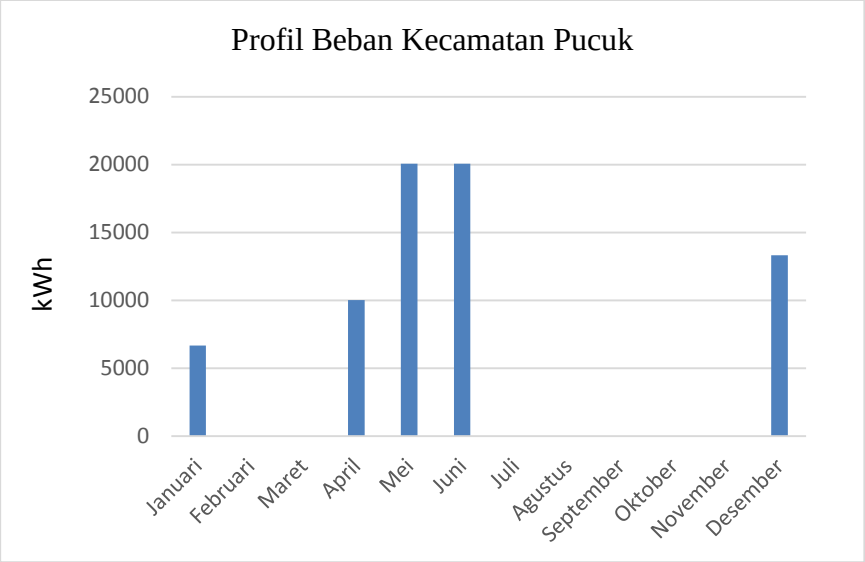
dibutuhkan untuk pemompaan di kecamatan Karanggeneng adalah 2.543,53 kWh. Pada masa pembibitan musim kemarau dan penanaman musim kemarau kebutuhan beban dua kali kebutuhan beban pembibitan musim hujan hal tersebut karena pada musim kemarau pemompaan dilakukan dua kali sehingga kebutuhan beban menjadi dua kali pada setiap bulannya. Oleh karena itu kebutuhan beban untuk irigasi di kecamatan Kalitengah perbulan adalah 2.543,53 kWh untuk satu kali pemompaan.



Gambar 4. 12 Kebutuhan air di kecamatan Karanggeneng

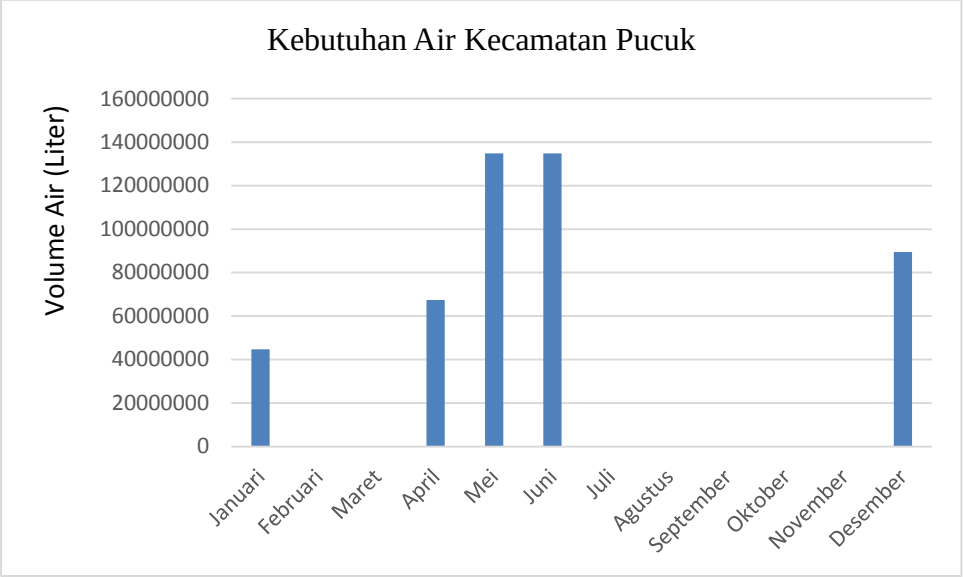
Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.12 adalah volume air yang dibutuhkan untuk irigasi selama masa pertanian. Volume air didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.1). Pada bulan Mei membutuhkan air sebanyak 10.292.832 liter untuk pengairan sawah karena pemompaan dilakukan sebanyak dua kali dengan satu kali pemompaan membutuhkan air sebanyak 5.146.416 liter konsumsi bahan bakar solar 418 liter, sedangkan bulan Januari, Juni dan Juli membutuhkan air sebanyak 5.146.416 liter dengan konsumsi solar perbulannya 209 liter. Kebutuhan air di kecamatan Kalitengah untuk irigasi sawah dengan luas 10,1 ha membutuhkan pengairan sebanyak 5.146.416 liter sekali pemompaan. Jika dalam satu tahun air yang dibutuhkan sebanyak 25.732.080 liter dan bahan bakar solar yang dikonsumsi selama 1 tahun adalah 1.045 liter

4.3.3 Profil Beban Kecamatan Pucuk



Gambar 4. 13 Profil beban di kecamatan Pucuk

Gambar 4.13 merupakan profil beban di dapatkan dari perhitungan persamaan (4.2a), (4.2b) dan (4.2c). sehingga kebutuhan akan listrik dapat dihitung dengan mengkonversi nilai kalor bakar (*Heat Heating Value*) solar yang digunakan mesin diesel untuk menggerakkan pompa. Luas lahan di kecamatan Pucuk 10,2 ha mengkonsumsi bahan bakar bensin 1.358 liter dua kali pemompaan pada pembibitan I, penanaman I mengkonsumsi bensin 679 liter satu kali pemompaan, pembibitan II mengkonsumsi bensin 1.023 liter satu kali pemompaan dan penanaman II mengkonsumsi bensin 4.902 liter dua kali pemompaan. Jika di konversi ke kebutuhan beban pada pembibitan I kebutuhan beban 13.308,4 kWh karena sekali pemompaan membutuhkan beban 6.654,2 kWh, kebutuhan beban penanaman I 6.654,2 kWh, kebutuhan beban pembibitan II membutuhkan 10.025,4 kWh, dan kebutuhan beban penanaman II 20.050,8 kWh karena sekali pemompaan membutuhkan kebutuhan beban 10.025,4 kWh. Oleh karena itu kebutuhan beban untuk irigasi di kecamatan Pucuk perbulan adalah 10.025,4 kWh untuk satu kali pemompaan.



Gambar 4. 14 Kebutuhan air di kecamatan Pucuk

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.14 adalah volume air yang dibutuhkan untuk irigasi selama masa pertanian. Volume air didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.1). Dari analisa perhitungan didapatkan Kebutuhan air di musim kemarau pada bulan Mei dan Juni membutuhkan pengairan sawah 13.4790.480 liter karena pemompaan dilakukan sebanyak dua kali dengan satu kali pemompaan 67.395.240 liter dengan konsumsi bahan bakar bensin 4.092 liter, sedangkan bulan April membutuhkan 67.395.240 liter air dengan konsumsi bahan bakar bensin 1.023 liter. Kebutuhan air di musim hujan dilakukan pada bulan Desember membutuhkan air sebanyak 89.465.040 liter karena sebanyak dua kali dengan satu kali pemompaan 44.7325.520 liter dapat mengkonsumsi bahan bakar bensin sebanyak 1.358 liter, sedangkan pada bulan Januari sebanyak 447.325.520 liter mengkonsusmsi bahan bakar bensin 679 liter. Kebutuhan air di kecamatan Pucuk untuk irigasi sawah dengan luas lahan 10,2 ha membutuhkan pengairan sebanyak 447.325.520 liter sekali pemompaan. Jika dalam 1 tahun kebutuhan air irigasi sawah kecamatan Pucuk adalah 471.173.760 liter dengan konsumsi bahan bakar bensin 7.152 liter

4.4 Analisis Perhitungan *Photovoltaic*

Langkah awal dalam penentuan ukuran sistem adalah menentukan jumlah energi yang akan dikonsumsi setiap hari. Konsumsi energi akan menentukan jumlah listrik yang harus diproduksi. Energi yang dikonsumsi atau beban listrik dapat dihitung dengan menjumlahkan total permintaan DC dan total permintaan AC yang dinyatakan dalam kilowatt per hari. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan ukuran PV yang mengacu pada buku (Qazi, 2017), (Machrafi, 2012), (Gharehpetian & Mousavi Agah, 2017) dan jurnal (Al-shetwi & Sujod, 2016) dan (Saleh, Supervisor, & Altawil, 2013).

1. Permintaan Beban harian

Beban yang dihasilkan dari perhitungan dan survey di lokasi penelitian yaitu di kecamatan Kalitengah 2.324,47 Kwh/bulan di konversi ke beban harian menjadi 77.482,33 Wh/hari, di kecamatan Karanggeneng 2.543,53 kWh/bulan di konversi ke beban harian menjadi 84.784,33 Wh/hari dan kecamatan Pucuk 10.025,4 kWh/bulan menjadi 334.180 Wh/hari.

Melipat gandakan total beban watt-jam per hari 1,3 perhitungan 30% untuk energi yang hilang dalam sistem, untuk mendapatkan total watt-jam per hari, yang harus disediakan oleh panel (A. Kumar & Dong-Shik, 2017). Faktor keamanan digunakan untuk memastikan bahwa regulator menangani arus maksimum yang dihasilkan oleh array yang bisa melebihi nilai yang ditetapkan. Setelah penambahan 1,3 didapatkan hasil permintaan beban harian pada masing-masing kecamatan Kalitengah, Karanggeneng dan Pucuk yaitu 10.0727,03 Wh/hari, 110.219,63 Wh/hari dan 434.434 Wh/hari.

2. Ukuran Modul PV

Ukuran modul PV yang berbeda akan menghasilkan jumlah daya yang berbeda pula. *Watt- peak* (Wp) yang dihasilkan tergantung pada ukuran modul PV dan iklim lokasi . Kita harus mempertimbangkan “panel” yaitu , faktor generasi panel. Panel *Generation Factor* adalah elemen dalam mendesain modul PV surya yang memberikan setiap kapasitas Wp dalam panel untuk mendapatkan rata-rata Wh/hari dan berbeda di setiap lokasi, untuk wilayah

lamongan mempertimbangkan 5,05 kWh / m^2. Nilai tersebut didapatkan dari data meteonom simulasi PVsyst data radiasi global. Sehingga untuk menghitung faktor generasi panel digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Faktor generasi panel} = \frac{puncak\ jam\ matahari\ harian\ (Peak\ Sun\ Hours)}{radiasi\ untuk\ panel\ PV\ dalam\ STC} \quad (4.3)$$

$$= \frac{5{,}05X1000\ Wh/m^2}{1000\ Wh/m^2} = 5{,}05$$

Namun dalam skenario keadaan yang sebenarnya, kondisi akan jauh dari ideal dan kita harus memperhitungkan factor koreksi, dalam sistem *stand-alone* harus dilakukan untuk menghasilkan energi listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan beban setiap hari sepanjang tahun. Oleh karena itu harus memperhitungkan factor koreksi. Faktor koreksi 0,72 didasarkan pada asumsi berikut :

a) kerugian akibat sinar matahari yang tidak mengenai panel PV (karena bahan kaca dengan peningkatan pantulan pada sudut insiden yang lebih rendah) = 95%
b) Efisiensi inverter=96%
c) Kabel dc dan ac =0,80 dan 0,90
d) Tingkat kekotoran modul=0,95
e) Tingkat mismatch =0,98
f) Faktor suhu modul=0,88
g) Tingkat ketersedian sistem =0,99

$$\textit{Sizing}\ \text{PV} = \frac{Total\frac{beban}{hari}x\ 1{,}3}{faktor\ generasi\ panel\ x\ faktor\ koreksi} \quad (4.4)$$

Berdasarkan perhitungan *sizing* PV dengan menggunakan persamaan (4.4) diperoleh hasil *sizing* PV pada masing–masing kecamatan Kalitengah, Karanggeneng dan Pucuk yaitu 27.701,51 (Wp/day), 30.313,43 (Wp/day) dan 119.481,29 (Wp/day). Studi kasus dalam penelitian ini menggunakan modul monokristalin 325 Wp, 250 Wp dan modul polikristalin 325 Wp , 250 Wp. Modul PV monokristalin dan modul polikristalin yang diproduksi oleh SunTech Company dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Spesifikasi modul monkristalin dan polikristalin

Jenis Modul	Rating modul (Wp)	Isc (A)	Voc (V)	Imp (A)	Vmp (V)	Pmpp (W)
Monokristalin	325	9,28	45,80	8,77	37,10	325,40
Polikristalin	325	9,26	45,90	8,72	37,30	325,30
Monokristalin	250	8,63	37,40	8,15	30,70	250,20
Polikristalin	250	8,63	37,40	8,15	30,70	250,20

Berikut adalah jumlah modul PV setelah dibagi dengan rating modul PV masing-masing wilayah di lamongan.

$$\text{Jumlah modul} = \frac{Sizing\ PV\ (\frac{Wp}{day})}{Rating\ Modul} \quad (4.5)$$

Dimana,

Sizing PV adalah ukuran PV (Wp/hari)

Rating Modul adalah daya puncak keluaran modul (*watt-peak*)

Tabel 4. 2 Jumlah modul pada tiap-tiap rating

Rating Modul	Kalitengah	Karanggeneng	Pucuk
325 Wp	86	94	368
250 Wp	111	122	478

$$\text{Jumlah modul seri} = \frac{Nominal\ voltage}{tegangan\ maximum\ power\ point} \quad (4.6)$$

Dimana,

Nominal voltage adalah tegangan nominal

Tegangan mpp adalah tegangan dari spesifikasi modul

Tegangan nominal dipilih berdasarkan, untuk sistem kecil (< 300Watt) 12VDC, sistem medium (<1.000 Watt) 24 VDC, sistem yang lebih besar (< 3.000 Watt) 48 VDC dapat digunakan. Pada studi ini memilih 48 VDC sebagai tegangan nominal, berdasarkan persamaan (4.6) dapat dihitung jumlah modul

seri untuk masing-masing kecamatan Kalitengah, Karanggeneng dan Pucuk diperoleh hasil 2 jumlah modul seri.

Jumlah *string* pararel dari array fotovoltaik dapat diperoleh sesuai dengan hubungan berikut :

$$\text{Jumlah } string \text{ pararel} = \frac{total\ modul\ PV}{jumlah\ modul\ \ seri} \quad (4.7)$$

Tabel 4. 3 Jumlah modul string pararel

Rating Modul	Kalitengah	Karanggeneng	Pucuk
325 Wp	43	47	184
250 Wp	56	61	239

3. Perhitungan Baterai

Jumlah baterai ditentukan dengan mengetahui berapa banyak energi yang dapat disimpan dan membandingkannya dengan total beban harian dan daya tambahan yang dibutuhkan dalam berbagai kerugian dan cadangan yang dibutuhkan dalam kerugian tak terduga yang mungkin terjadi dalam sistem PV. Ukuran baterai dalam sistem *Stand-Alone* lebih kritis dan harus lebih akurat daripada sistem *Grid-Connected*. Ada dua pertimbangan penting dalam menghitung jumlah baterai yang dibutuhkan dalam sistem PV *Stand-Alone*. Kriteria pertama adalah berhubungan dengan jumlah penyimpanan yang disediakan oleh baterai adalah "Hari otonomi." Kriteria ini berkaitan dengan jumlah hari ketika baterai dapat memberikan daya ke sistem tanpa menerima input dari panel surya atau ketika ada sedikit atau tidak ada matahari untuk mengisi ulang baterai. Ini adalah kompromi antara waktu generator akan berjalan tanpa matahari dan biaya tambahan dari baterai. Dalam kasus lebih banyak hari otonomi menyebabkan jumlah baterai lebih banyak yang akan menyebabkan penambahan biaya lebih mahal.

Pertimbangan kedua dari ukuran baterai adalah kedalaman maksimum debit baterai yang diizinkan (DOD) yang didefinisikan sebagai berapa banyak kapasitas pengenal baterai telah digunakan atau persentase energi yang digunakan dari baterai. Berikut adalah perhitungan kapasitas baterai :

Kapasitas baterai (Ah) =

$$\frac{Total\ Wh\ per day \times Days\ of\ Autonomy}{Battery\ loss\ factor \times Depth\ of\ Discharge \times Nominal\ battery\ voltage} \quad (4.8)$$

Dimana,

Total Wh per day adalah Total permintaan beban Wh/hari

Days of Autonomy adalah Hari otonomi (cadangan baterai jika tidak ada matahari)

Battery loss factor adalah faktor kerugia baterai (0,9)

DOD (*depth of discharge*) adalah kedalaman kapasitas yang dapat diambil dari baterai (0,8)

Nominal battery voltage adalah tegangan nominal baterai

Tabel 4. 4 Kapasitas baterai

KECAMATAN	Kapasitas Baterai (Ah)		
	Skenario 1	**Skenario 2**	**Skenario 3**
KALITENGAH	4.483,7	26.902,4	35.869,6
KARANGGENENG	19.626,0	7.359,8	39.252,0
PUCUK	77.356,4	116,034,8	154.712,8

Keterangan:

Skenario 1 adalah menggunakan *days of autonomy* 2 hari

Skenario 2 adalah menggunakan *days of autonomy* 3 hari

Skenario 3 adalah menggunakan *days of autonomy* 4 hari

Baterai yang dipilih dalam penelitian ini adalah tipe sealed gel 12V 160Ah Jumlah seri = $\frac{Nominal\ battery\ voltage}{Battery\ voltage} = \frac{48\ V}{12\ V} = 4$ (4.9)

Dimana,

Nominal battery voltage adalah tegangan nominal baterai

Battery voltage adalah tegangan baterai

Total kapasitas baterai = Jumlah seri x kapasitas baterai (Ah) (4.10)

Tabel 4. 5 Total kapasitas baterai

KECAMATAN	Total Kapasitas Baterai (Ah)		
	Skenario 1	**Skenario 2**	**Skenario 3**
KALITENGAH	17.934,8	26.902,4	35.869,6
KARANGGENENG	19.626,0	29.439,2	39.252,0
PUCUK	77.356,4	116.034,8	154.712,8

Number of strings in parallel adalah jumlah percabangan baterai yang dihubungkan secara paralel. Untuk menentukan jumlah percabangan baterai yang dihubungkan secara paralel perlu diketahui spesifikasi baterai yang akan digunakan. Baterai yang digunakan dalam penelitian ini 12V 160 Ah tipe Sealed gel. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah sambungan pararel:

$$\text{Jumlah (}\textit{string pararel}\text{)} = \frac{\text{kapasitas baterai (Ah)}}{\text{rating kapasitas baterai (Ah)}} \qquad (4.11)$$

Dimana,

String pararel adalah sambungan pararel

Rating kapasitas baterai adalah kapasitas baterai dari spesifikasi baterai yaitu 160 Ah

Tabel 4.6 Sambungan pararel

KECAMATAN	Sambungan Pararel		
	Skenario 1	**Skenario 2**	**Skenario 3**
KALITENGAH	28	42	56
KARANGGENENG	31	46	61
PUCUK	121	181	241

Dari persamaan (4.11) didapatkan jumlah sambungan pararel, sehingga total kapasitas baterai sebagai berikut:

Total banyaknya baterai = Jumlah seri x Jumlah pararel (4.12)

Tabel 4. 7 Total banyak baterai

KECAMATAN	Total Banyak Baterai		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
KALITENGAH	112	168	224
KARANGGENENG	124	184	244
PUCUK	484	724	964

4. Perhitungan Inverter

Inverter dalam sistem PV *Stand-Alone* diperlukan untuk memberi daya pada beban AC yang terdiri dari peralatan yang berbeda. Untuk mengukur inverter, peringkat input tidak boleh lebih rendah dari total daya yang dibutuhkan oleh beban AC dan harus memiliki tegangan nominal yang sama dengan baterai. Inverter harus memiliki kapasitas ekstra untuk memulai lonjakan yang bisa dua hingga tiga kali lebih tinggi dari beban kontinu. Untuk menangani beban AC, ukuran inverter harus diperbesar 25-30% dari total beban AC.

Tabel 4. 8 Kapasitas inverter

	Kalitengah	Karanggeneng	Pucuk
Total daya (Watt)	3.228,43	3.532,68	13.924,17
Kapasitas inverter (Watt) setelah penambahan 1,3	4.196,95	4.592,48	18.101,42
Merk inverter	EP30-Pro	EP30-Pro	EP30-Pro
Rating dari EP30-Pro	5.000 Watt	5.000 Watt	5.000 Watt
Total inverter	0,84	0,92	3,62

Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa daya puncak harian untuk kecamatan Kalitengah 3.228,43 watt, Karanggeneng 3.532,68 watt, dan Pucuk 13.924,17 watt selanjutnya dapat ditentukan spesifikasi inverter harus diatas daya puncak tersebut dengan ketentuan rating inverter yang digunakan dalam memenuhi daya ke beban dari sistem PLTS yaitu adanya penambahan 30% dari kapasitas yang dibutuhkan sehingga untuk kecamatan Kalitengah 4.196,95 watt , Karanggeneng 4.592,48 watt, dan Pucuk 18.101,42 watt. Inverter yang dipilih merk EP30-Pro 5.000 Watt.

5. Perhitungan *Charge Controller*

Pengontrol pengisian daya surya harus sesuai dengan tegangan array PV dan baterai. Pengontrol muatan solar harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani arus dari array PV. Menurut praktik standar, ukuran pengontrol muatan surya adalah untuk mengambil arus hubung singkat (Isc) dan jumlah pararel dari array PV (Np) dan mengalikannya dengan 1,3 (Qazi, 2017). Kapasitas pengisian charge controller dinyatakan dengan ampere dan dihitung dari persamaan :

$$Np \times Isc \times 1{,}3 \qquad (4.13)$$

Dimana,

Np adalah jumlah modul pararel

Isc adalah *short circuit current* (arus hubungan singkat)

Tabel 4. 9 Kapasitas *charge contreller*

Kecamatan	**Np**	**Isc**	**1,3**	**Modul**	**Arus SCC (A)**
Kalitengah	43	9,28	1,3	325	518,752
Karanggeneng	47	9,28	1,3	325	567,008
Pucuk	184	9,28	1,3	325	2.219,780
Kecamatan	**Np**	**Isc**	**1,3**	**Modul**	**Arus SCC (A)**
Kalitengah	56	8,63	1,3	250	628,264
Karanggeneng	61	8,63	1,3	250	684,359
Pucuk	239	8,63	1,3	250	2.681,340

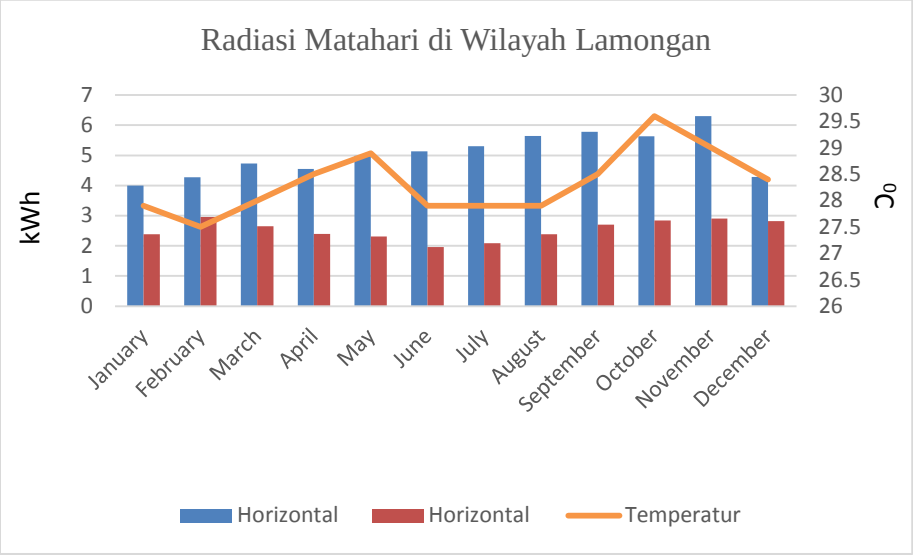
Dalam penelitian ini, charge controller arus maksimum (Iscc) DC-DC adalah 20 A dan charge controller arus maksimum (Iscc) MPPT adalah 60 A dipilih dengan tegangan sistem 48 V.

4.5 Analisis Simulasi PVsyst

Untuk mendapatkan desain yang tepat, dalam penelitian ini akan memvariasikan teknologi sel surya, tetapi komponen lain dari sistem tetap tidak berubah. Sistem, artinya koneksi ke jaringan energi lokal tidak diperlukan.

Sebagian besar jenis sistem ini membutuhkan sarana untuk penyimpanan energi, oleh karena itu sistem kami akan menggunakan baterai surya. Aplikasi PV harus berdimensi untuk mengisi penuh baterai ketika terpapar intensitas maksimum untuk aplikasi yang diberikan. Untuk menghindari kemungkinan kerusakan sistem karena fluktuasi radiasi matahari atau kelebihan baterai, sistem akan dilengkapi dengan charge controller .

Simulasi PVsyst dilakukan dengan menentukan lokasi yang akan dipasang PLTS, penelitian ini berlokasi di lamongan terletak di 7° 7' 7.4496" S dan 112° 24' 59.5800" E dengan ketinggian diatas permukaan laut 8 m selanjutnya memilih sumber data meteorolgi meteonorm v7.2 output yang dihasilkan seperti gambar menjelaskan cuaca bulanan yang terdiri dari radiasi horizontal global (W /m^2), radiasi horizontal difus (W /m^2) dan suhu sekitar (° C).



Gambar 4. 15 Radiasi matahari di wilayah Lamongan

Akibat dari bumi mengelilingi matahari dan berputar pada porosnya di setiap belahan bagian dari bumi mengalami perbedaan musim karena Indonesia berada di garis khatulistiwa Indonesia mempunyai dua musim yaitu musim hujan dan musim panas.

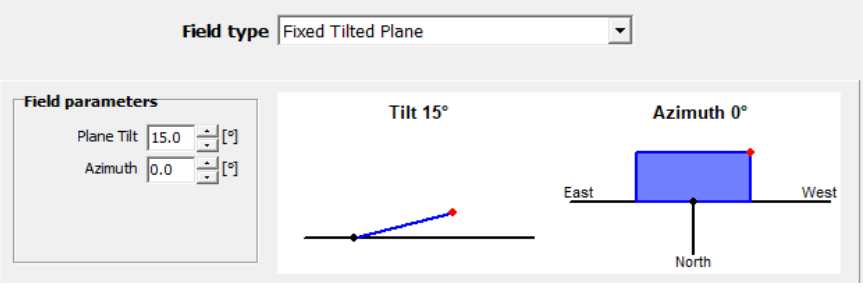
Gambar 4.15 merupakan hasil simulasi PVsyst data radiasi matahari dari database Meteonorm untuk lokasi di lamongan. Iradiasi global matahari tertinggi pada bulan Juni sampai November terjadi kenaikan karena bulan

tersebut sudah memasuki musim kemarau di Lamongan kemudian iradiasi global matahari turun di bulan Desember sampai Mei karena di bulan tersebut sudah memasuki musim hujan di Lamongan.

Iradiasi difus harian matahari tidak setinggi nilai iradiasi global karena radiasi difus terjadi ketika radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi setelah disebarkan oleh molekul dan partikel dalam atmosfer. Jumlah radiasi difus diterima untuk lokasi tertentu permukaan bumi terutama tergantung pada ketinggian matahari, kekeruhan di atmosfe. Nilai rata-rata iradiasi global harian sebesar 5,05 kWh/m^2/hari, nilai ini dapat diartikan sebagai PSH (peak sun hours) atau lama jam ekuivalen matahari bersinar dengan radiasi puncaknya sebesar 5,05 jam per hari dengan daya sebesar 1 kW/m^2. dengan nilai maksimum 6,30 kWh /m^2 (November) dan minimum 4,00 kWh/m^2 (Januari). Di daerah tropis terdapat sedikit variasi suhu rata-rata harian sepanjang tahun (garis berwarna orange) suhu maksimum diamati pada bulan Oktober yaitu 29,5^{0}C pada musim panas dibandingkan dengan musim hujan pada bulan februari 27,5^{0}C. Semua data cuaca yang dikumpulkan menentukan jumlah energi matahari mencapai kolektor PV dalam menghasilkan energi listrik.

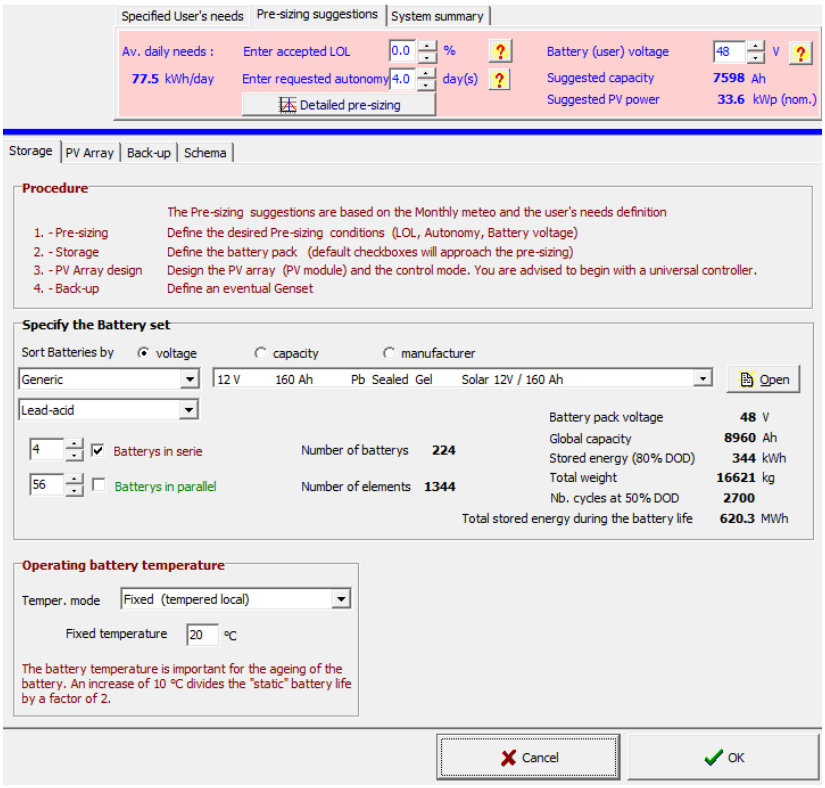
Tahapan desain proyek pemilihan sistem *Stand-Alone* karena proyek ini tidak terhubung oleh jarigan listrik yang lain. Parameter masukkan data seperti *orientation* meliputi sudut tilt dan sudut *azimuth*, Orientasi modul surya fotovoltaik (PV) (sudut azimuth) dan sudut kemiringan secara signifikan mempengaruhi output energi pembangkit listrik PV. Secara umum, sudut azimuth optimal untuk instalasi PV adalah 0°. Namun, sudut kemiringan yang optimal tergantung pada parameter, seperti, garis lintang dari lokasi geografis di mana panel PV harus dipasang (Tim Umoette, 2016). Untuk kinerja terbaik sepanjang tahun, array PV fixed biasanya harus dipasang ke utara (± 10°) di belahan bumi selatan dan selatan (± 10°) di belahan bumi utara pada kemiringan sama dengan sudut garis lintang atau pada sudut yang akan menghasilkan kinerja rata-rata tahunan terbaik dengan mempertimbangkan: musiman, naungan dan faktor lingkungan. Di daerah tropis ini dapat bervariasi karena matahari berada di keduanya utara dan selatan pada waktu yang berbeda sepanjang tahun. Antara

lintang 10° selatan dan 10° utara array harus dimiringkan minimal 10 derajat. Penelitian yang dilakukan oleh (Handoyo, Ichsani, & Prabowo, 2013) untuk kolektor yang dipasang di Surabaya - Indonesia, sudut kemiringan optimal selama 12 Maret - 30 September bervariasi antara 0 - 40^{o} (menghadap ke Utara) dan selama 1 Oktober - 11 Maret antara 0 - 30^{o} (menghadap ke Selatan). Pada studi ini sudut kemiringan panel (*Plane Tilt*) dipilih 15^{o} ditunjukkan pada Gambar 4.16 karena menghasilkan kinerja rata-rata tahunan terbaik.



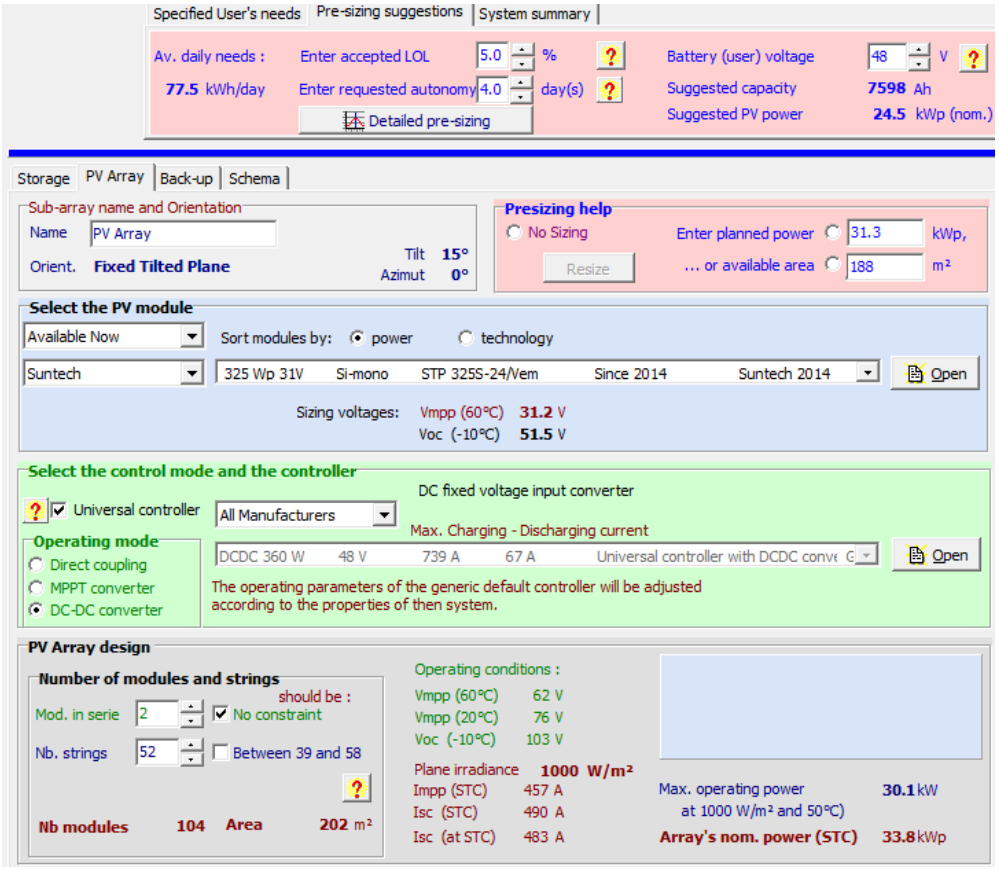
Gambar 4. 16 Penampakan *sudut tilt dan azimuth*

Parameter input selanjutnya adalah input kebutuhan penggunna dalam penelitian ini ad dipilih, PVsyst menyediakan tegangan terminal DC, peringkat Ah, PVsyst juga menentukan Jumlah baterai secara seri dan parallel. Baterai yang di pilih jenis lead-acid sealed gel 12V 160 Ah dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Penampakan sizing baterai

Berdasarkan gambar rata-rata kebutuhan sehari-hari 77,5 kWh/hari, pemilihan LOL 0% untuk penggunaan yang tidak pernah tanpa akses ke listrik (Solheim, 2013) untuk pemilihan *days of autonomy* adalah 2 samapi 4 hari didasarkan pada perhitungan analitik terhadap analisis ekonomi. Selanjutnya pemilihan jenis modul yang sudah disediakan di dictori PVsyst. PVsyst memiliki daftar modul PV yang dapat dipilih oleh perancang. Ketika modul PV dipilih, PVsyst menyediakan tegangan terminal dc, peringkat Wp, nama pabrikan. PVsyst juga menentukan Jumlah modul PV secara seri dan paralel, dalam penelitian ini menggunakan modul tipe monokristalin dan polikristalin dengan rating 325 Wp dan 250 Wp, selain modul terdapat pemilihan jenis solar charge controller. *Charger controler* yang dapat dipilih oleh perancang dan juga menyediakan regulator default dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Penampakan sizing *photovoltaic*

Setelah semua tahap terpenuhi kemudan simulasi dijalankan dengan hasil ketersediaan energ

4.6 Analisis Konfigurasi Modul

Parameter pemilihan setiap komponen sangat penting untuk memenuhi konfigurasi sistem. Semua komponen dipilih berdasarkan kebutuhan energi dari permintaan beban. Dalam desain sistem PV, terutama dalam sistem stand-alone, salah satu aspek terpenting untuk memastikan keamanan sistem daya dengan menganalisis ketersediaan pasokan daya. Energi yang dihasilkan yang tidak sesuai dengan permintaan beban karena produksi energi matahari di satu lokasi tidak konstan tergantung oleh cuaca. Sistem tenaga yang andal adalah sistem pembangkit yang memiliki daya yang cukup untuk memenuhi permintaan beban dalam suatu periode. Ada banyak metode untuk menentukan keandalan sistem PV. Metode yang paling populer untuk mengekspresikan keandalan sistem adalah kehilangan probabilitas beban (LOLP). Loss of load probability dalam system PVsyst menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak

dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. sistem PV yang andal didefinisikan sebagai sistem yang mampu menghasilkan daya yang cukup (Euser) untuk memenuhi beban yang diminta (Eload) dalam rentang waktu.

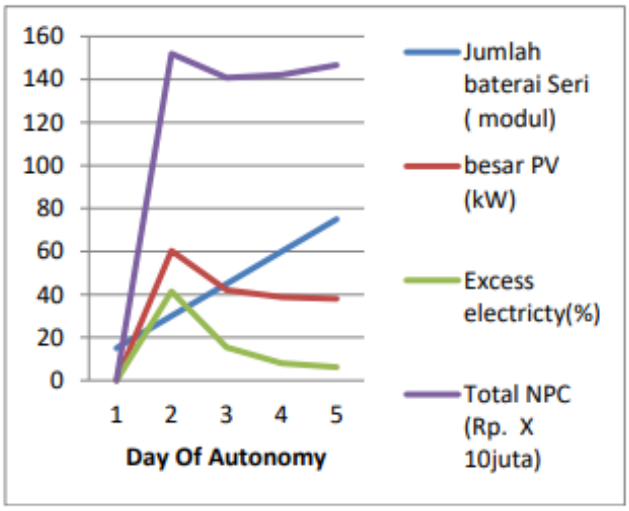
Parameter lainya dalam PVsyst untuk menentukan dan memvalidasi ukuran komponen instalasi seperti fraksi matahari (SF) menunjukkan seberapa baik sistem berfungsi dalam memenuhi permintaan pengguna, yang menentukan apakah permukaan panel mampu memasok beban dengan energi yang dibutuhkan. Selain itu, PVsyst melakukan evaluasi yang lebih rinci dari ukuran instalasi: kerugian sistem, energi yang tidak digunakan dan energi yang dipasok ke pengguna (Yahyaoui, Tina, Chaabene, & Tadeo, 2015).

Simulasi PVsyst dengan memvariasikan tipe modul surya meliputi modul monokristalin dan polikristalin, pemilihan modul didasarkan pada efisiensi yang terbaik menurut (Ahmed F. Zobaa, 2011) modul yang dibuat dengan baik memiliki umur yang terbukti panjang dan juga kebutuhan penggunnna karena dengan efisiensi yang lebih tinggi akan memiliki rasio watt ke area yang lebih tinggi. Semakin tinggi efisiensinya, semakin kecil area (mis. Lebih sedikit modul) yang dibutuhkan untuk mencapai output daya array yang sama. Biaya pemasangan akan lebih sedikit dengan modul yang lebih efisien (Ogunmodimu & Okoroigwe, 2018)(Carolyn, 2009). Berikut adalah perancangan PV dengan konfigurasi modul di masing-masing wilayah Lamongan .

4.6.1 Perancangan PLTS Kecamatan Kalitengah

Tujuan dari perancanagan PLTS adalah untuk mengetahui sistem PLTS yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi di kecamatan Kalitengah yang akan digunakan sebagai irigasi sawah. Sistem PLTS yang terdiri dari baterai, modul surya, inverter dan charge controller. Pada dasarnya untuk perancangan PV yang terpenting adalah kebutuhan baterai dan kapasitas modul PV karena pemenuhan permintaan beban ditentukan oleh jumlah radiasi yang diterima

modul dan penyimpanan energi untuk pemenuhan permintaan jika kondisi cuaca buruk atau dipakai dalam jangka panjang yaitu pagi sampai malam hari. Kebutuhan banyak nya baterai dan modul akan mempengaruhi biaya investasi perancangan PV, karena pemasangan PV diharapkan layak secara teknis dan ekonomis. Menurut (Romana, Setiawan, & Joyonegoro, 2018) *day of autonomy* mempengaruhi jumlah baterai dan kapasitas panel PV, berikut adalah hasil perhitungan.



Gambar 4. 19 Grafik Pengaruh hari otonomi pada jumlah baterai, kapasitas PV, kelebihan listrik dan total NPC (Romana et al., 2018)

Berdasarkan Gambar 4.19 pengaruh durasi hari otonomi yang ditentukan terhadap empat parameter yaitu hari otonomi dengan baterai berbanding lurus, dimana semakin lama hari otonomi (sumbu x) ditentukan maka kapasitas baterai yang akan digunakan menjadi lebih besar (garis berwarna biru-sumbu y). Semakin banyak baterai yang digunakan maka kebutuhan energi listrik oleh beban masih dapat dilayani selama hari otonomi yang bertujuan untuk menjaga sistem tetap berjalan dengan hanya memanfaatkan energi listrik dalam pasokan baterai. Dapat dilihat pada Gambar 4.19 jika hari otonomi 1 hari, hanya parameter baterai yang memiliki nilai ini karena simulasi tidak dapat berjalan karena kurangnya kapasitas sehingga walaupun PV yang digunakan lebih besar, masih belum dapat memenuhi permintaan energi listrik oleh beban, ini adalah jumlah yang dihasilkan dari baterai yang digunakan tidak dapat

memasok beban selama hari otonomi. Sementara hubungan antara hari otonomi dengan kapasitas PV(garis berwarna merah-sumbu Y) berbanding terbalik, ini karena jumlah baterai yang digunakan selama hari otonomi. Jika jumlah baterai yang dibutuhkan kecil maka kapasitas PV yang digunakan harus besar sehingga sistem dapat berjalan dengan baik, tetapi dengan peningkatan kapasitas PV yang digunakan akan mempengaruhi kelebihan daya di sistem akan menjadi lebih besar. Begitu juga sebaliknya jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil. Dengan demikian hari otonomi yang ditentukan juga mempengaruhi nilai kelebihan listrik (garis berwarna hijau-sumbu y) yang dihasilkan dalam sistem PV *Stand-Alone* karena kapasitas PV yang digunakan. Berbeda dengan pengaruh hari otonomi terhadap total NPC (garis berwarna ungu-sumbu y). ketika memilih hari otonomi 3 hari, jumlah baterai juga meningkat, dimana semakin lama hari otonomi ditentukan maka kapasitas baterai yang akan digunakan menjadi lebih besar. Jika jumlah baterai yang dibutuhkan kecil maka kapasitas PV yang digunakan harus besar sehingga sistem dapat berjalan dengan baik, tetapi dengan peningkatan kapasitas PV yang digunakan akan mempengaruhi kelebihan daya di sistem akan menjadi lebih besar. Berbeda dengan pengaruh hari otonomi terhadap total NPC (biaya pemasangan suatu proyek), perubahan total NPC awalnya tinggi pada hari otonomi yang ditentukan adalah 2 hari tetapi ketika hari otonomi yang menentukan nilai total 3 hari NPC menjadi turun, dan kemudian naik lagi ketika nilai hari otonomi ditentukan lebih dari 3 hari. Menurut (Kaldellis, Zafirakis, & Kondili, 2010) ukuran komponen instalasi PV dipengaruhi oleh hari otonomi dan biaya instalasi sehingga perlu untuk mendesain ukuran komponen seperti panel surya dan kapasitas baterai .

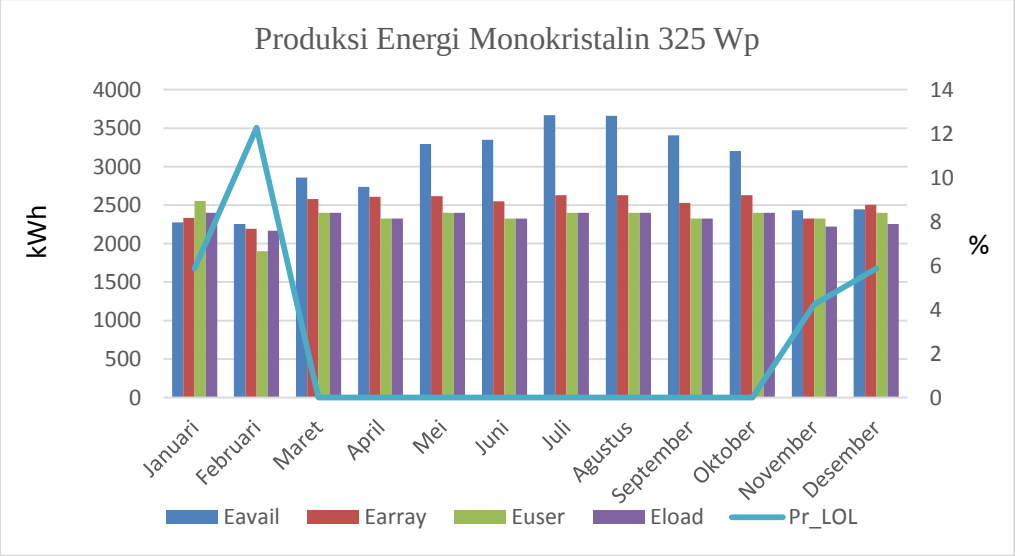
Berikut adalah hasil simulasi PVsyst dengan skenario 1 menggunakan *day of autonomy* 2 hari, skenario 2 *day of autonomy* menggunakan 3 hari dan skenario 3 *day of autonomy* menggunakan 4 hari.

I. Skenario 1

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin 325 dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 86 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 43 pararel dan kapasitas baterai 17.934,80 Ah dengan susunan 4 seri 28 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

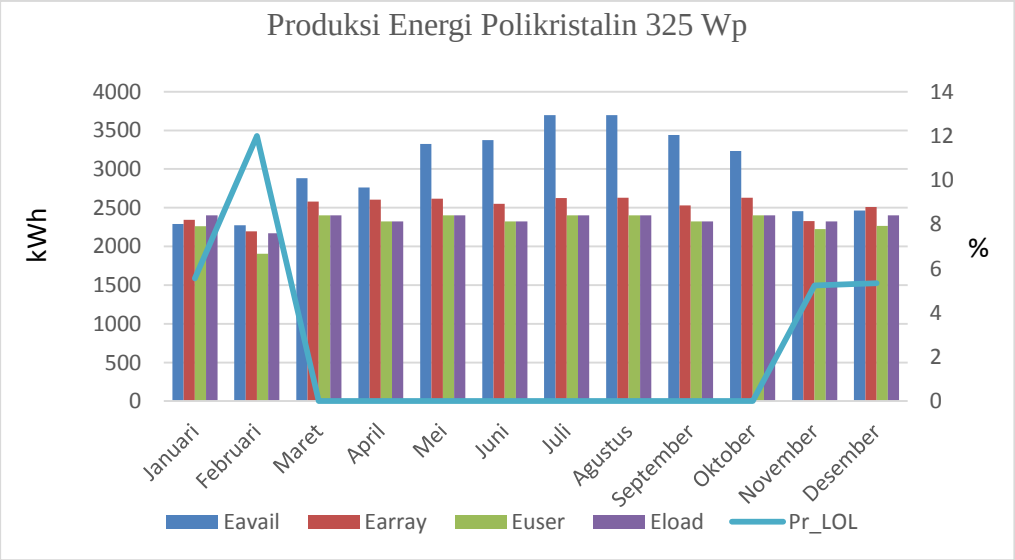
Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:



Gambar 4. 20 Produksi energi dengan modul monokristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.20 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang

menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.590 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.116 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik dan (Manoj, Prasad, Mathew, Jayakumar, & Kumar, 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



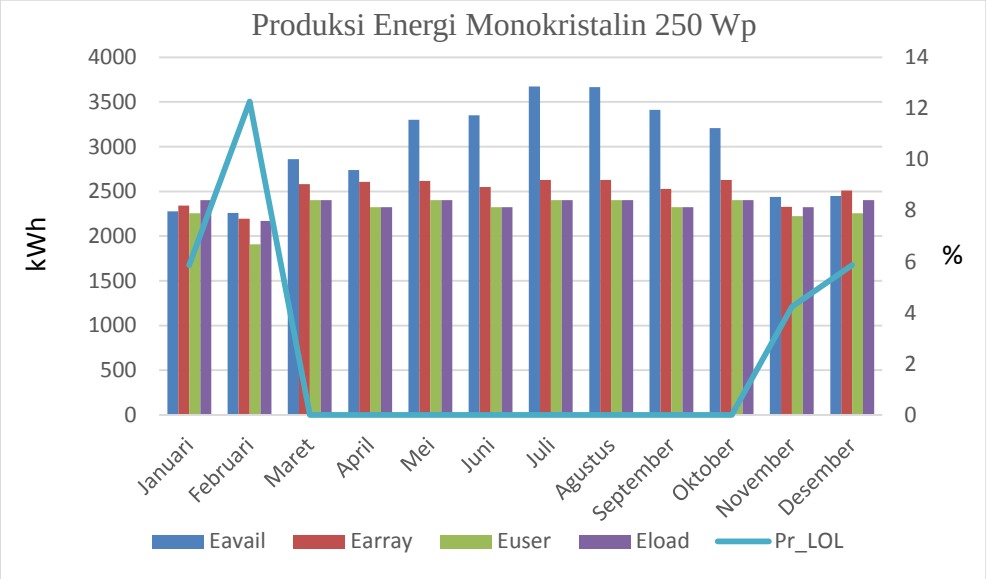
Gambar 4. 21 Produksi energi dengan modul polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.21 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut

disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.890 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.139 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

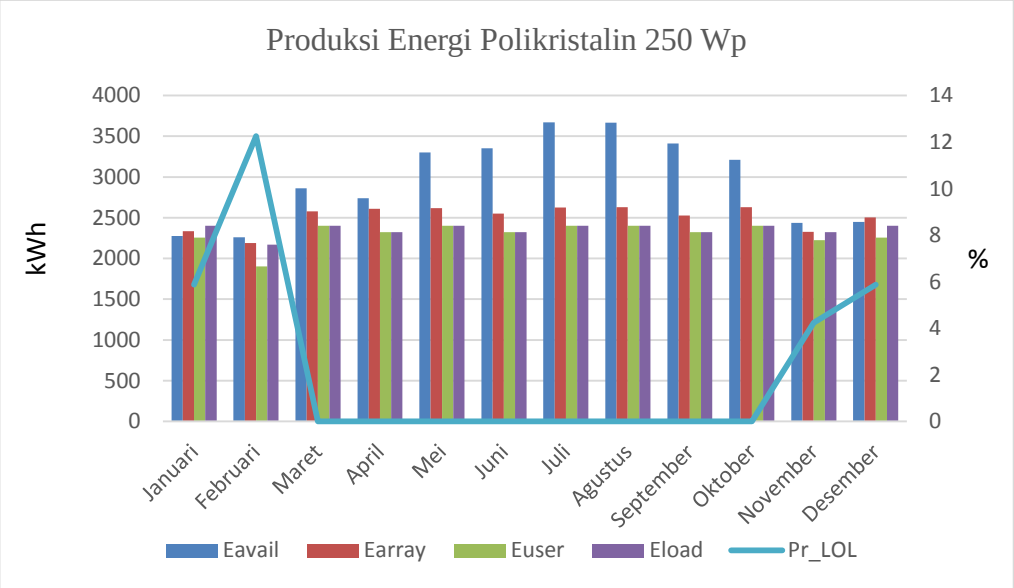
Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 112 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 56 pararel dan kapasitas baterai 17.934,80 Ah dengan susunan 4 seri 28 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11). Dari hasil perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:



Gambar 4. 22 Produksi energi dengan monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.22 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.627 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.139 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 2 hari

otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



Gambar 4. 23 Produksi energi modul polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.23 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.627 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.119 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli.

Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.

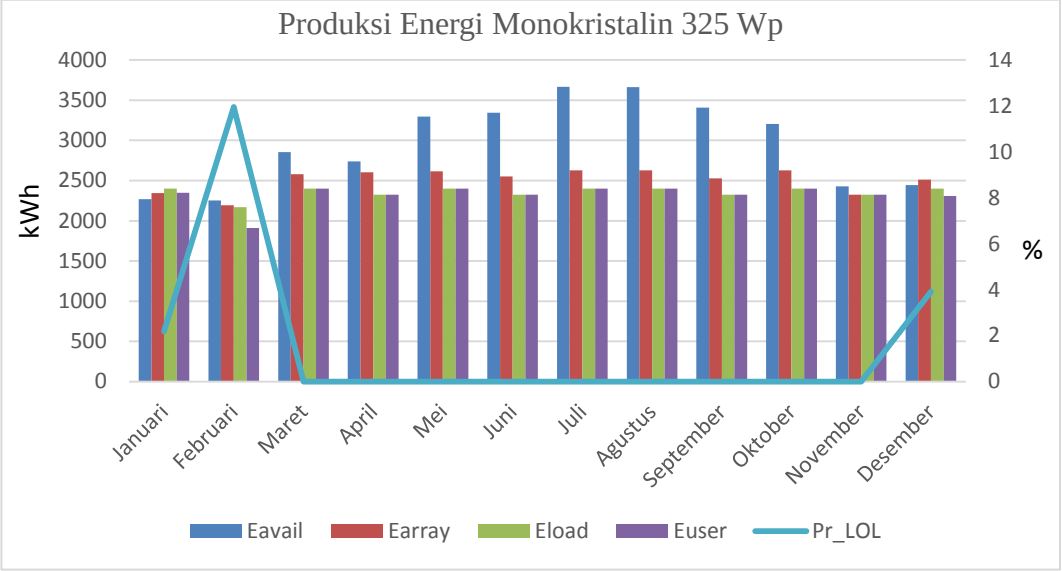
II. Skenario 2

Pada skenario 2 ini jumlah baterai lebih banyak dari skenario 1 karena *days of autonomy* menggunakan 3 hari dari perhitungan kapasitas baterai dengan menambahkan *days of autonomy* kapasitas juga meningkat jumlahnya.

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin 325 dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

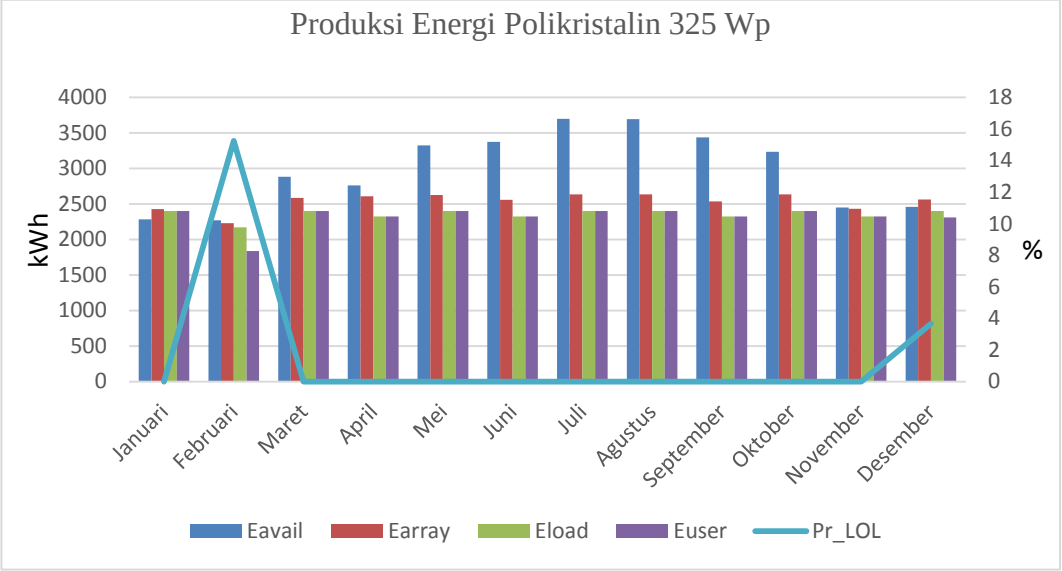
Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 86 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 43 pararel dan kapasitas baterai 26.902,40 Ah dengan susunan 4 seri 42 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:



Gambar 4. 24 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan kalitengah skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.24 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.568 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.479 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



Gambar 4. 25 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2

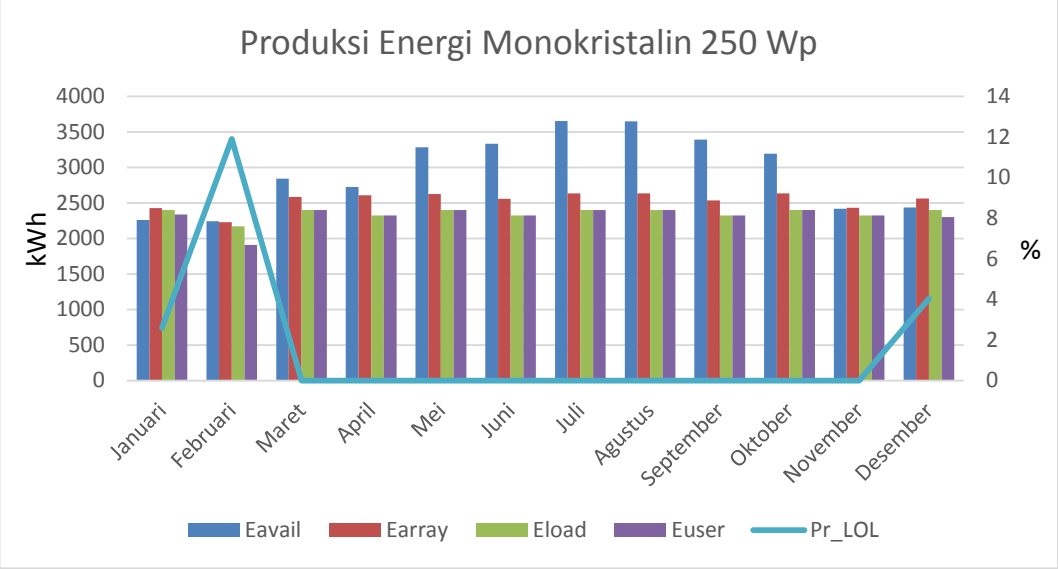
Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.25 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.870 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.474 kWh Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin 250 dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 112 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 56 pararel dan kapasitas baterai 26.902,40 Ah dengan susunan 4 seri 42 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

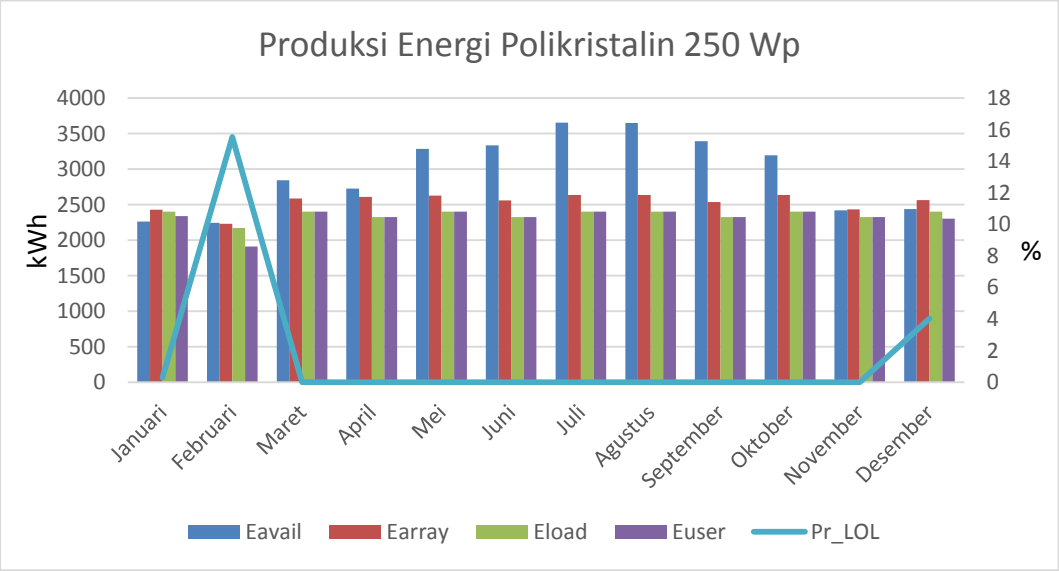
.



Gambar 4. 26 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.26 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut

disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.432 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.462 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



Gambar 4. 27 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.27 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut

disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.607 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.450 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.

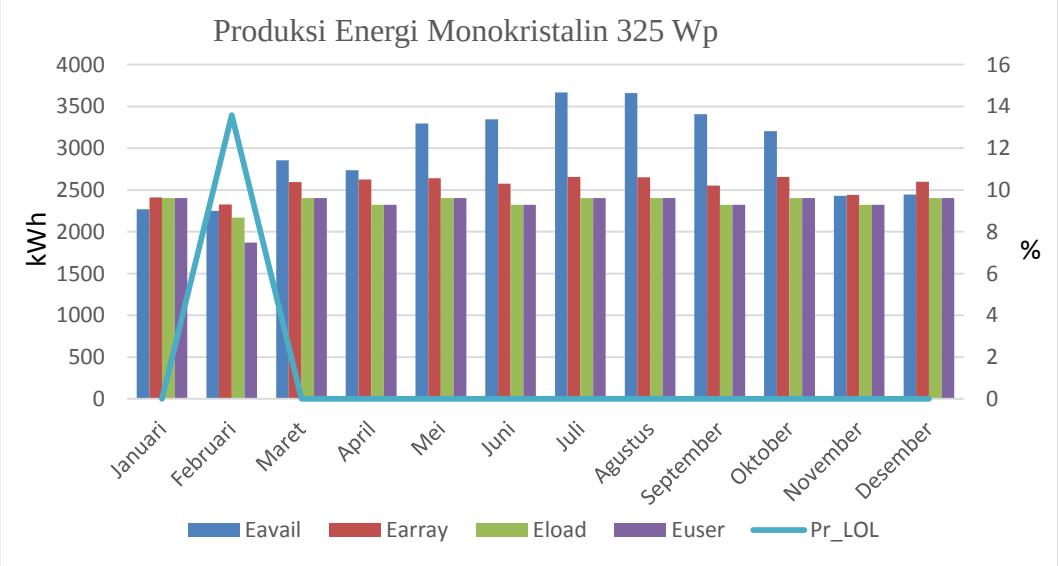
III. Skenario 3

Pada skenario 3 ini jumlah baterai lebih banyak dari skenario 1 dan skenario 2 karena *days of autonomy* menggunakan 4 hari dari perhitungan kapasitas baterai dengan menambahkan *days of autonomy* kapasitas juga meningkat jumlahnya.

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin 325 dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 86 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 43 pararel dan kapasitas baterai 35.869,60 Ah dengan susunan 4 seri 56 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

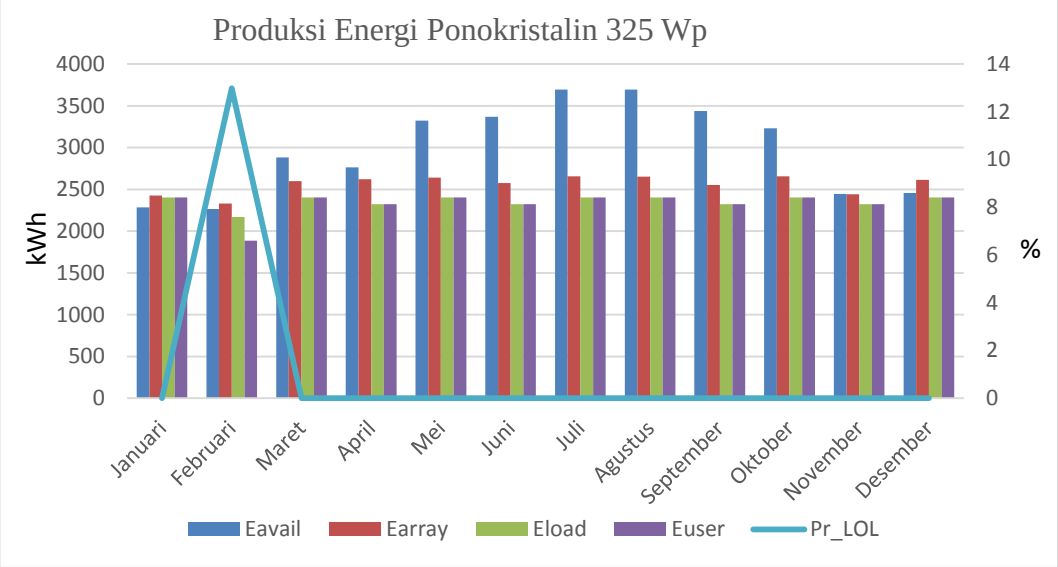
Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:



Gambar 4. 28 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.28 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.568 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.726 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk

memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan*charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



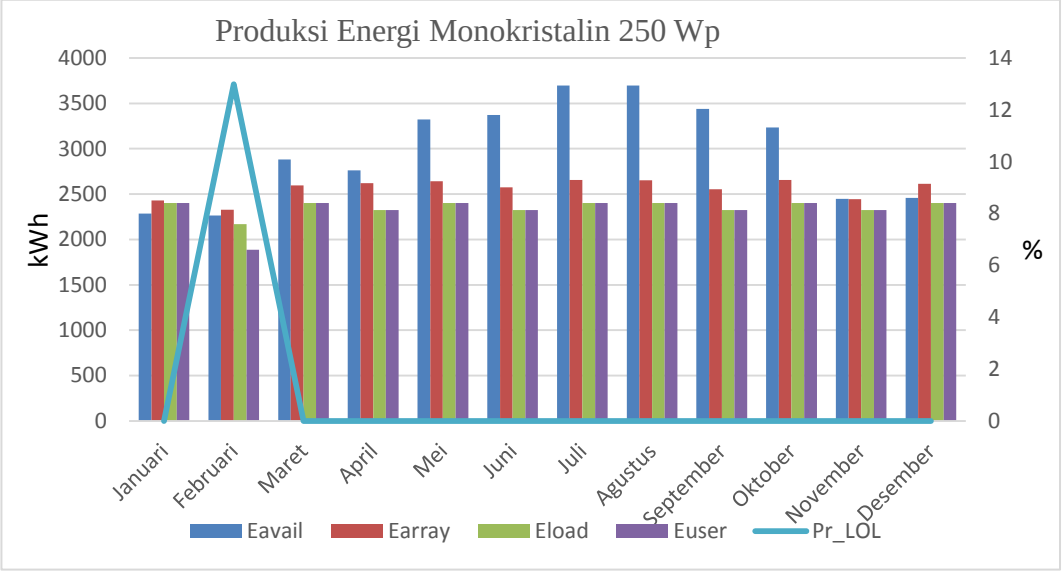
Gambar 4. 29 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.29 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.853 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.765 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan

(Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.

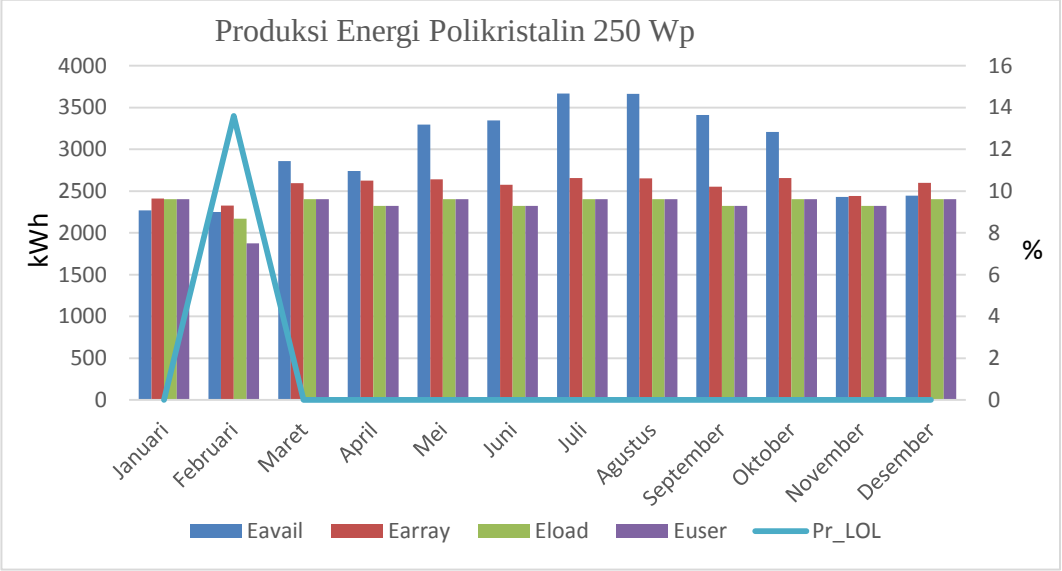
B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin 250 dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.324,37 kWh/bulan di kecamatan Kalitengah membutuhkan ukuran PV sebesar 27.701,51 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 112 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 56 pararel dan kapasitas baterai 35.869,60 Ah dengan susunan 4 seri 56 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11). Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:



Gambar 4. 30 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.30 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.853 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.765 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah.



Gambar 4. 31 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Kalitengah skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.31 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 35.853 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.765 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Mei, Juni dan Juli nilai Pr_LOL sama dengan 0 (nol) yang menunjukkan permintaan beban dapat terpenuhi. Pemenuhan beban hanya dibutuhkan pada bulan Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Kalitengah adalah pada bulan Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Kalitengah

4.6.2 Perancangan PLTS Kecamatan Karanggeneng

Tujuan dari perancanagan PLTS adalah untuk mengetahui sistem PLTS yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi di kecamatan Kalitengah yang akan digunakan sebagai irigasi sawah. Sistem PLTS yang terdiri dari baterai, modul surya, inverter dan charge controller. Pada dasarnya untuk perancangan PV yang terpenting adalah kebutuhan baterai dan kapasitas modul PV karena pemenuhan permintaan beban ditentukan oleh jumlah radiasi yang diterima modul dan penyimpanan energi untuk pemenuhan permintaan jika kondisi cuaca buruk atau dipakai dalam jangka panjang yaitu pagi sampai malam hari. Akan tetapi jumlah kapasitas baterai ditentukan oleh banyaknya *days of autonomy*.

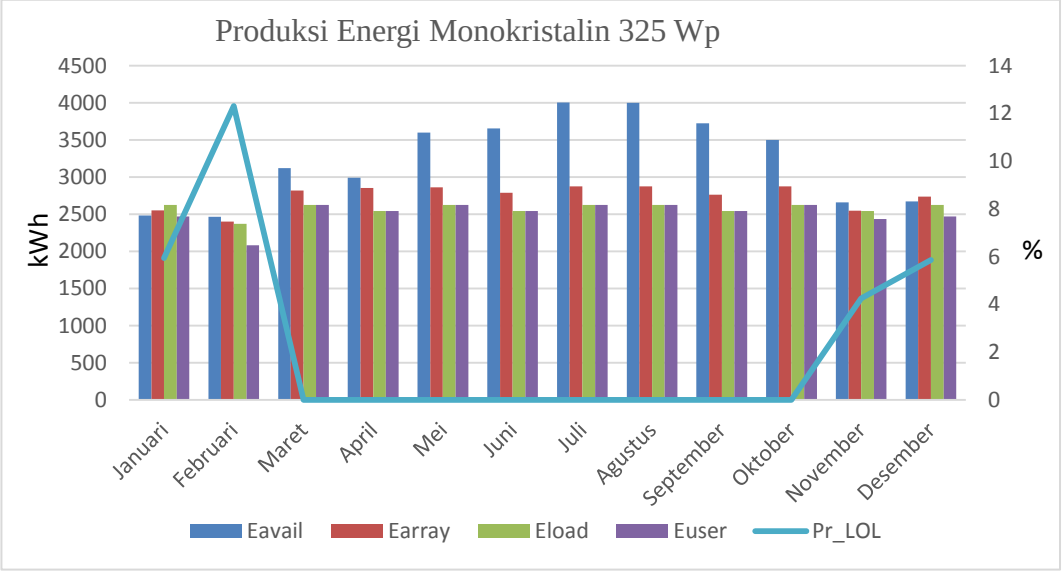
Berikut adalah hasil simulasi PVsyst dengan skenario 1 menggunakan day of autonomy 2 hari, skenario 2 day of autonomy menggunakan 3 hari dan skenario 3 day of autonomy menggunakan 4 hari.

I. Skenario 1

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 94 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 47 pararel dan kapasitas baterai 19.626 Ah dengan susunan 4 seri 31 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi Solfac (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

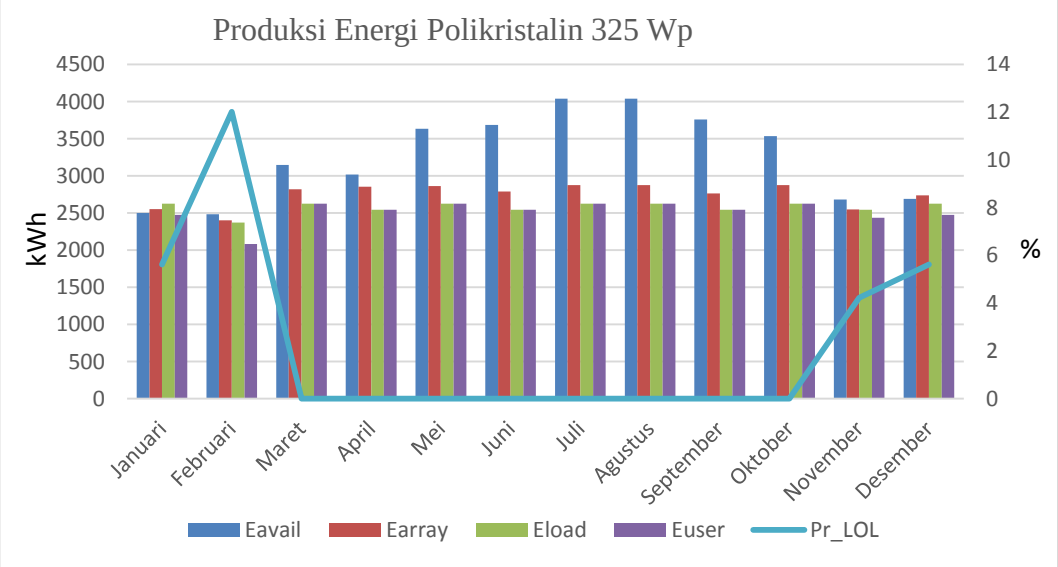


Gambar 4. 32 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.32 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.892 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 32.966 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 5,95 %; 12,31%; 4,25% dan 5,87% yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari

selama 2 hari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu, Fara, Sterian, Craciunescu, & Fara, 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul Monokristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 33 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.33 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi.

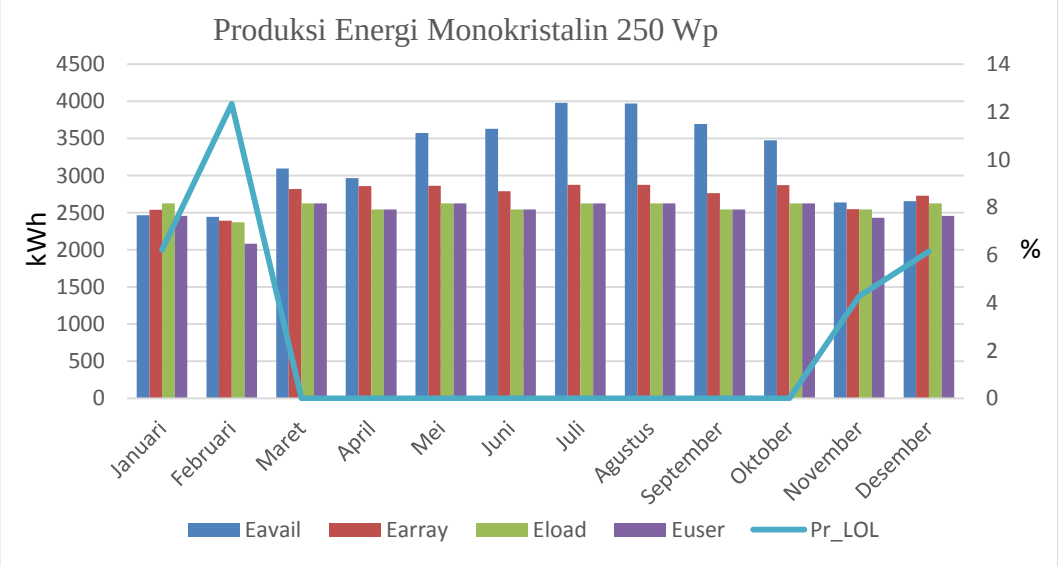
(E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 39.220 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 32.993 kWh Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 5,62%; 12,02%; 4,23% % dan 5,62% yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul Monokristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 122 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 61 pararel dan kapasitas baterai 19.626 Ah dengan susunan 4 seri 31 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi Solfac (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

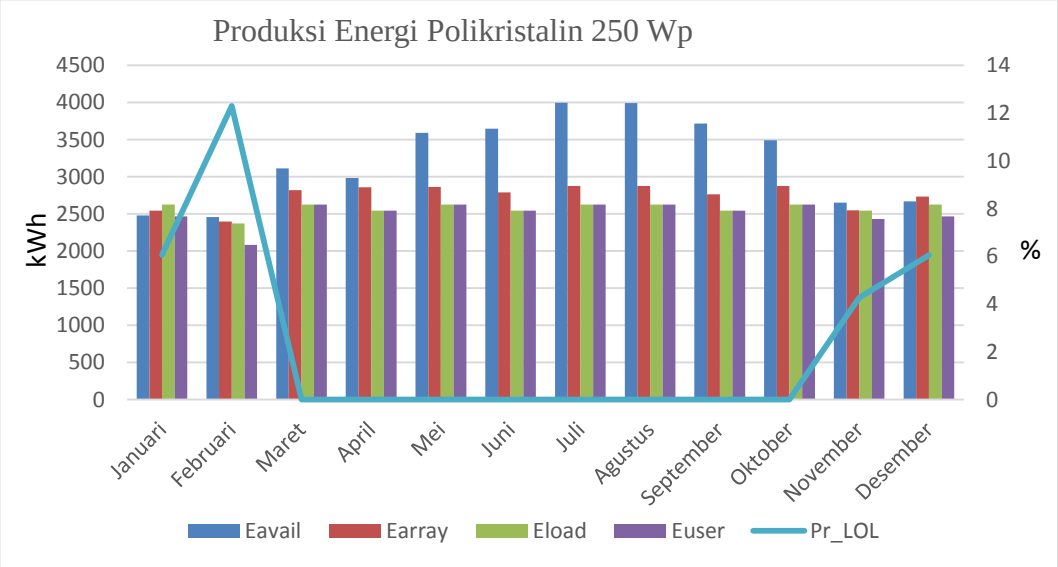


Gambar 4. 34 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.34 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.604 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 32.935 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 6,22%; 12,34%; 4,28% % dan 6,16 % yang

menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul Monokristalin 250 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 35 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.35 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang

menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.794 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 32.953 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 6,07%; 12,3%; 4,27% % dan 6,05% yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul Polikristalin 250 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

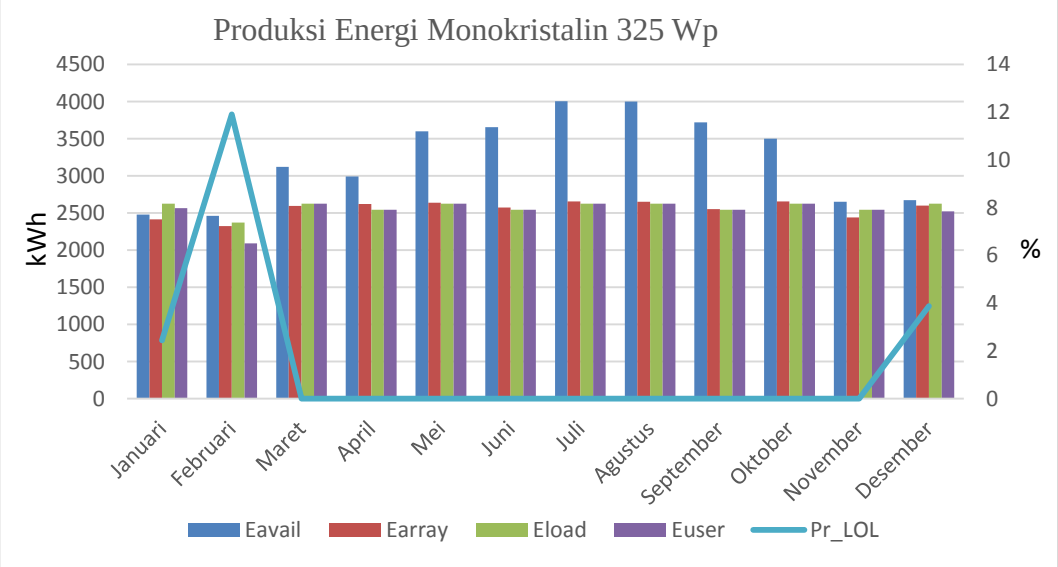
II. Skenario 2

Pada skenario 2 kapasitas baterai lebih banyak dari skenario 1 karena *days of autonomy* 3 hari yang akan mempengaruhi banyaknya kapasitas baterai.

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan Charge Controller DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 94 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 47 pararel dan kapasitas baterai 29.439,2 Ah dengan susunan 4 seri 46 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi Solfac (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

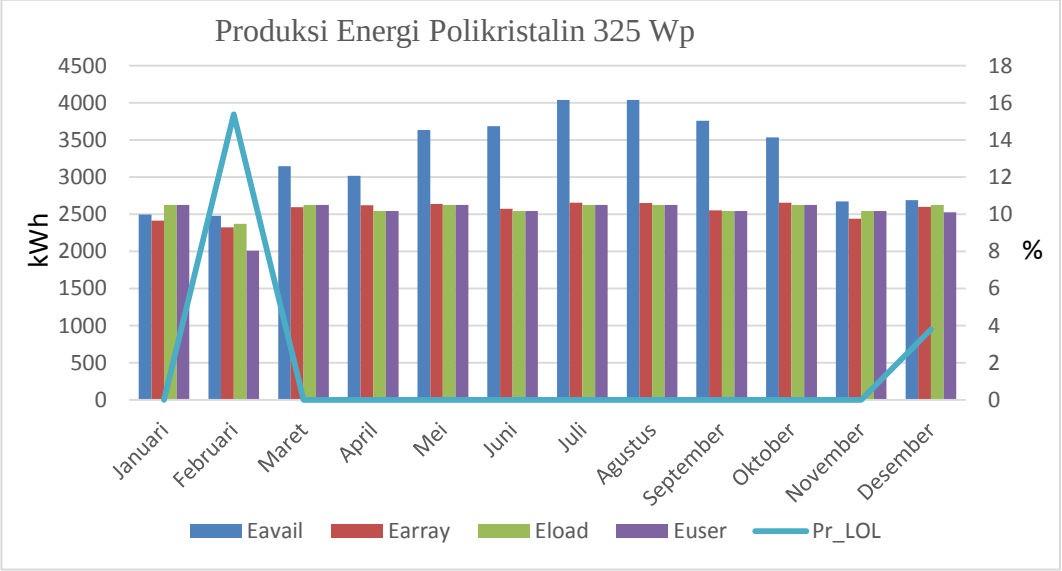


Gambar 4. 36 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.36 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi.

(E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.869 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.730 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 2,44%; 11,91% dan 3,88 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 37 Produksi energy polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.37 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 39.199 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 30.730 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 15,39 % dan 3,8 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi

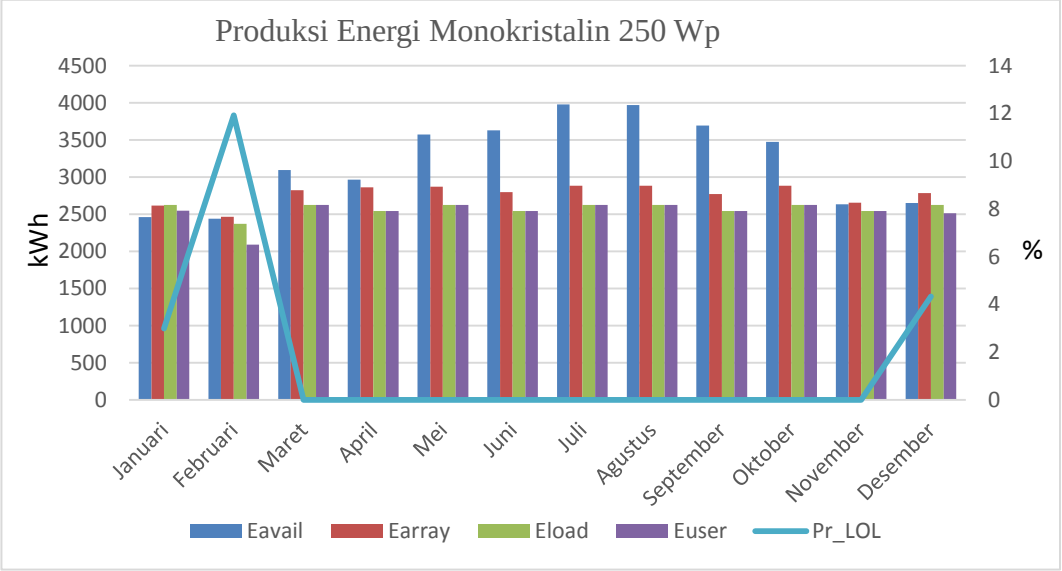
oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan Charge Controller DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 122 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 61 pararel dan kapasitas baterai 29.439,20 Ah dengan susunan 4 seri 46 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi Solfac (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

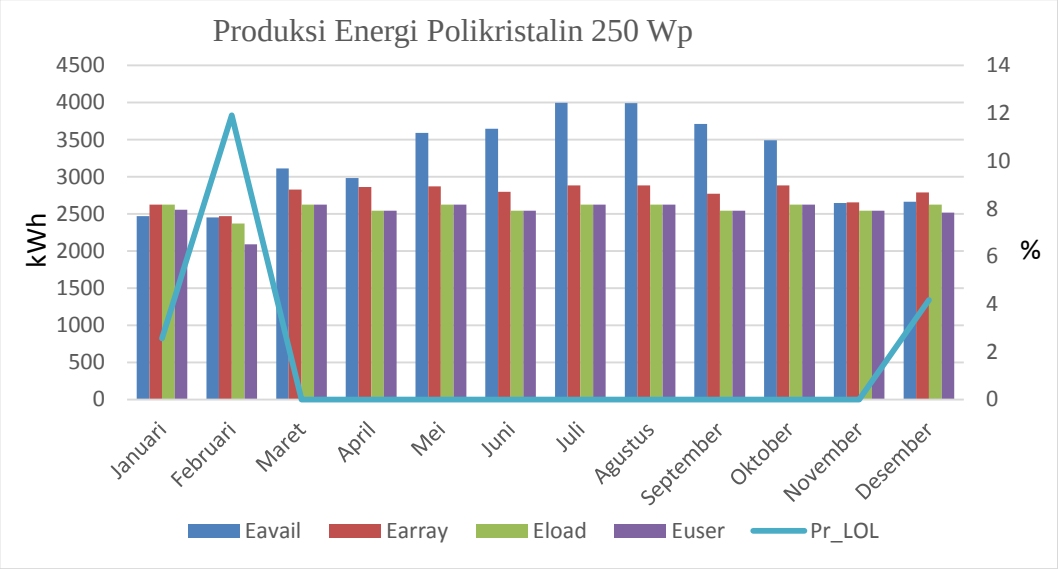


Gambar 4. 38 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.38 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.869 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.318 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 2,99%; 11,92% dan 4,33 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal

ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 39 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.39 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.871 kWh, sedangkan

energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.338 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 2,56%; 11,91% dan 4,18 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

III. Skenario 3

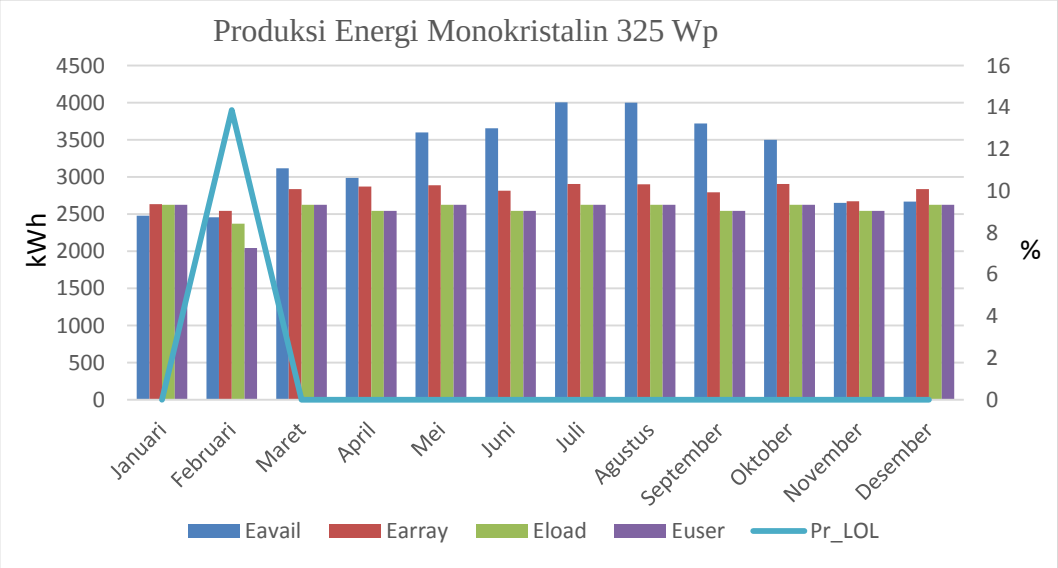
Pada skenario 3 kapasitas baterai lebih banyak dari skenario 1 dan skenario 2 karena *days of autonomy* 4 hari yang akan mempengaruhi banyaknya kapasitas baterai.

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 94 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan

array adalah 2 seri dan 47 pararel dan kapasitas baterai 39.252,00 Ah dengan susunan 4 seri 61 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi SF (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

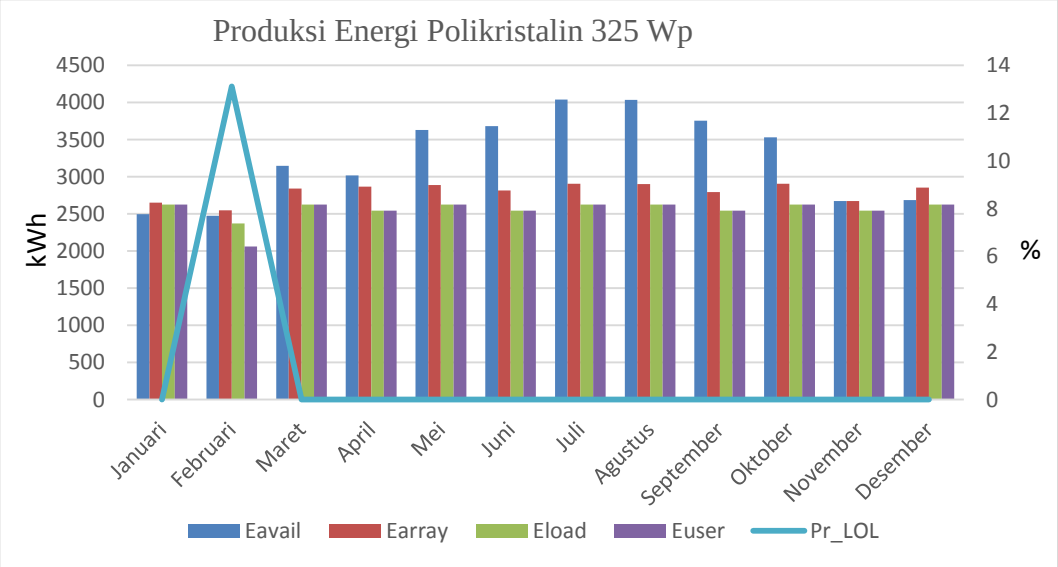


Gambar 4. 40 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.40 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.853 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.615 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan

(Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneg adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 41 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.41 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang

menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 39.180 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.659 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

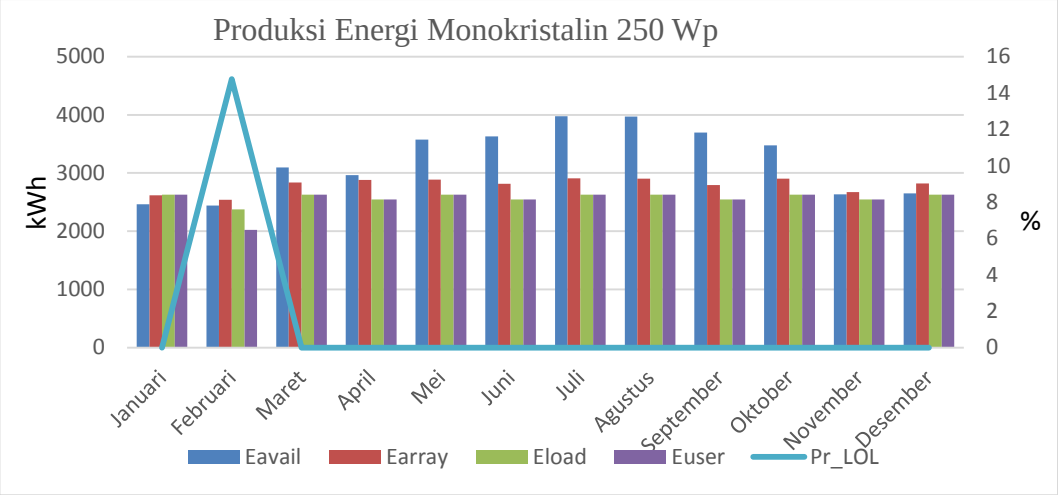
Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan Charge Controller DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 2.543,53 kWh/bulan di kecamatan Karanggeneng membutuhkan ukuran PV sebesar 30.313,43 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 112 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 61 pararel dan kapasitas baterai 39.252,00 Ah dengan

susunan 4 seri 61 pararel didapatkan dari perhitungan dari persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan tersebut kemudia divalidasi menggunakan nilai Pr LOL, nilai tersebut diberikan sebagai fungsi Solfac (Solar fraction) yang merupakan rasio beban terhadap energi yang dipasok ke pengguna. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

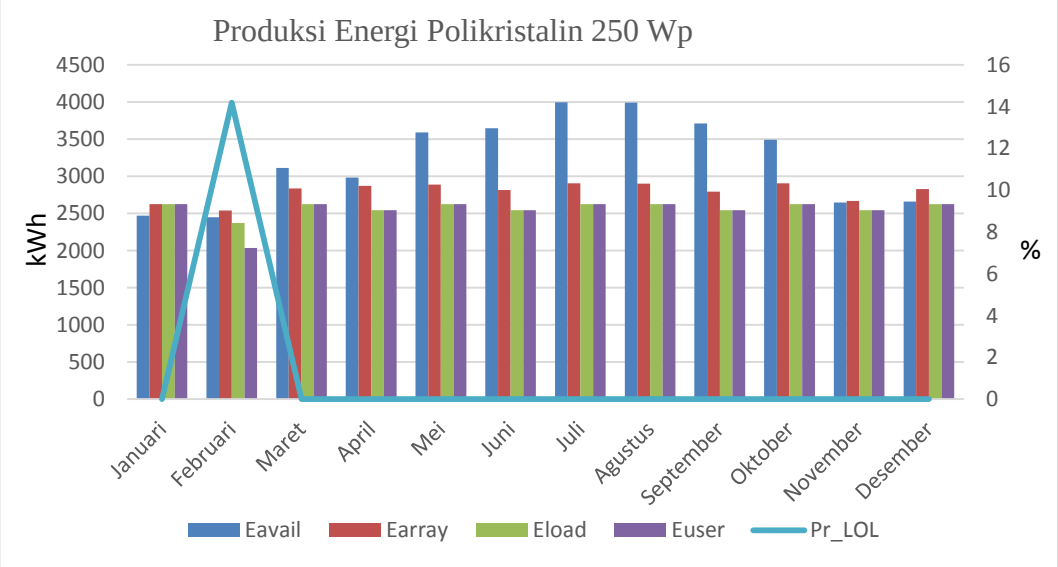


Gambar 4. 42 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.42 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.853 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.571 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, April, Mei dan Juni dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat

terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.



Gambar 4. 43 Produksi energy polikristalin 250 Wp di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.43 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi

global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.755 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.596 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Karanggeneng dibutuhkan pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli karena kebutuhan irigasi di kecamatan Karanggeneng adalah pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Karanggeneng.

4.6.3 Perancangan PLTS Kecamatan Pucuk

Tujuan dari perancanagan PLTS adalah untuk mengetahui sistem PLTS yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi di kecamatan Pucuk yang akan digunakan sebagai irigasi sawah. Sistem PLTS yang terdiri dari baterai, modul surya, inverter dan charge controller. Pada dasarnya untuk perancangan PV yang terpenting adalah kebutuhan baterai dan kapasitas modul PV karena pemenuhan permintaan beban ditentukan oleh jumlah radiasi yang diterima modul dan penyimpanan energi untuk pemenuhan permintaan jika kondisi cuaca buruk atau

dipakai dalam jangka panjang yaitu pagi sampai malam hari. Akan tetapi jumlah kapasitas baterai ditentukan oleh banyaknya *days of autonomy*.

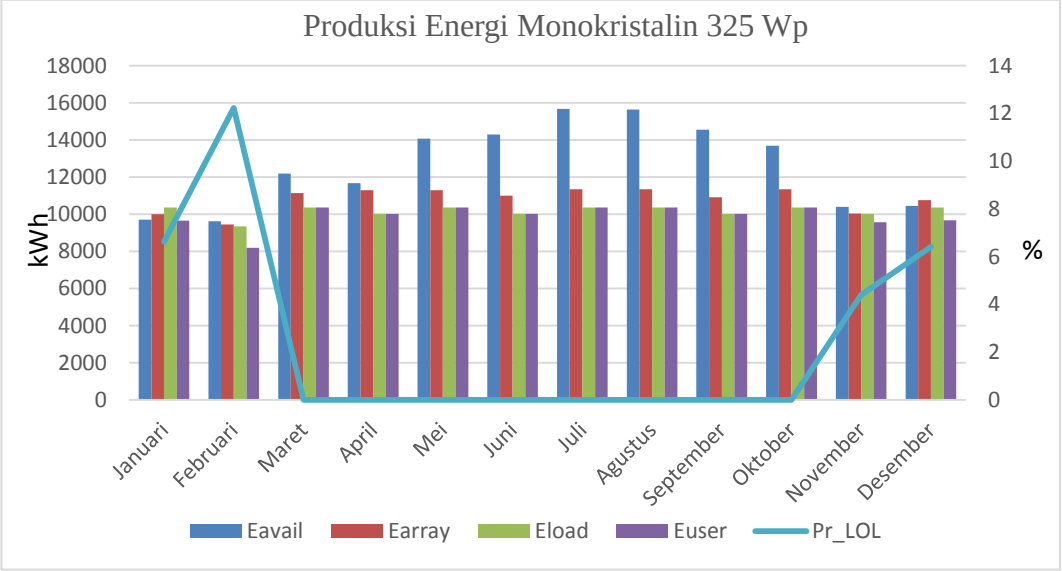
Berikut adalah hasil simulasi PVsyst dengan skenario 1 menggunakan *days of autonomy* 2 hari, skenario 2 *days of autonomy* menggunakan 3 hari dan skenario 3 *days of autonomy* menggunakan 4 hari.

I. Skenario 1

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 368 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 184 pararel dan kapasitas baterai 77.356,4 Ah dengan susunan 4 seri 121 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

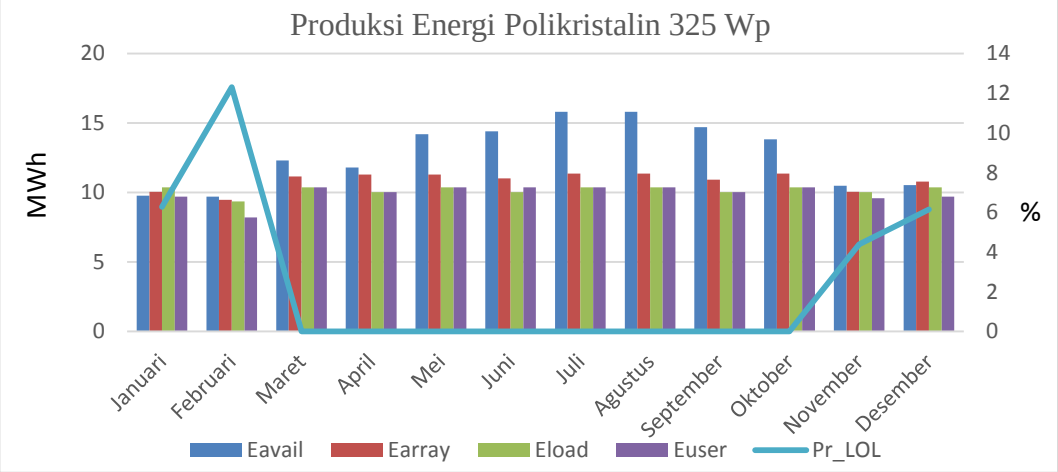


Gambar 4. 44 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.44 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 152.021 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 129.949 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 6,63 %; 12,23%; 4,4% dan 6,41 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari

tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 45 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.45 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 153,31 MWh, sedangkan

energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 130,05 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 6,28 %; 12,31%; 4,39% dan 6,41 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

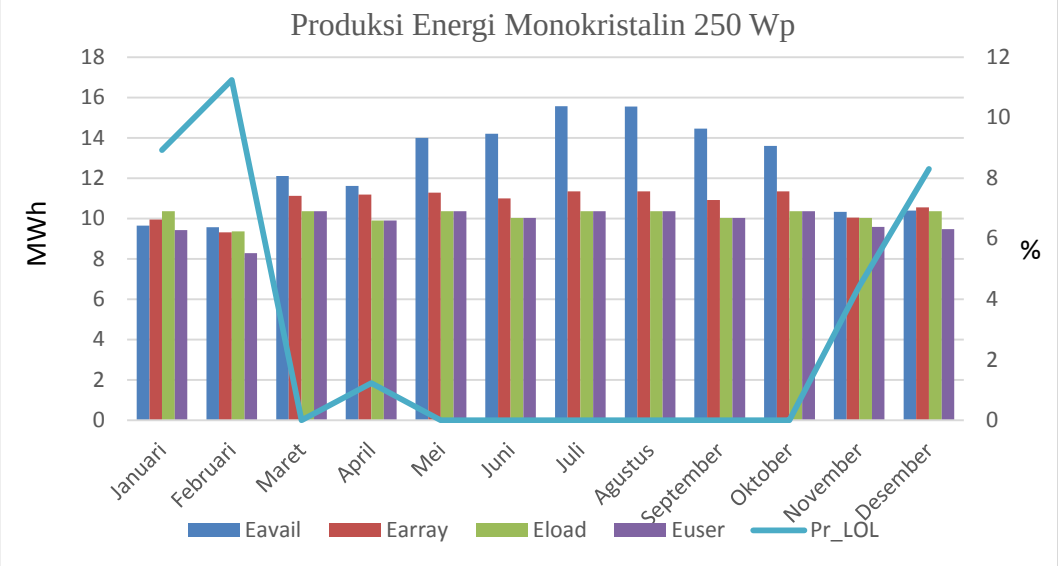
Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 478 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 239 pararel dan kapasitas baterai 77.356,4 Ah dengan susunan

4 seri 121 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

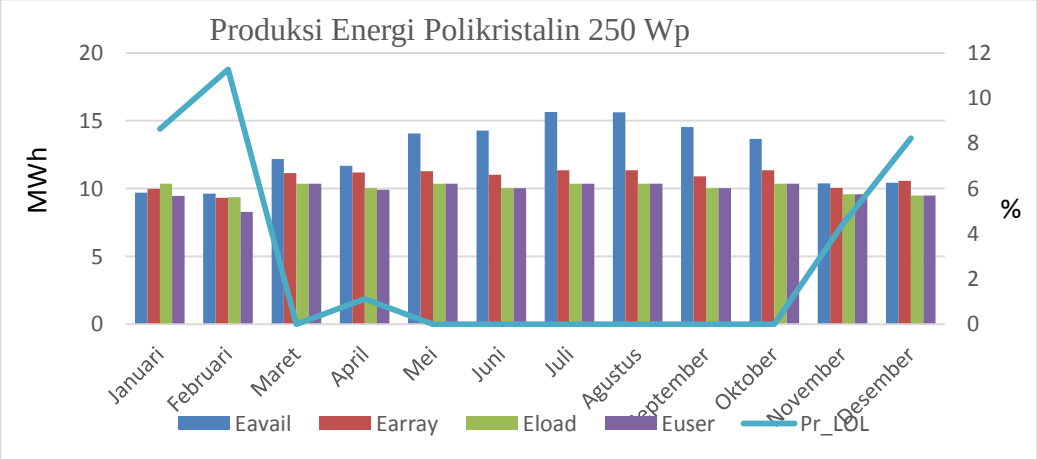


Gambar 4. 46 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.46 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 151,05 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 129,42 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul,

ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, April, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 8,93 %; 11,25%; 1,23%; 4,42% dan 8,3 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, April, November dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 47 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 1

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.47 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 151,79 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 129,52 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari, April, November dan Desember dengan nilai Pr_LOL 8,64 %; 11,27%; 1,11%; 4,4% dan 6,41 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari, November, April dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 2 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

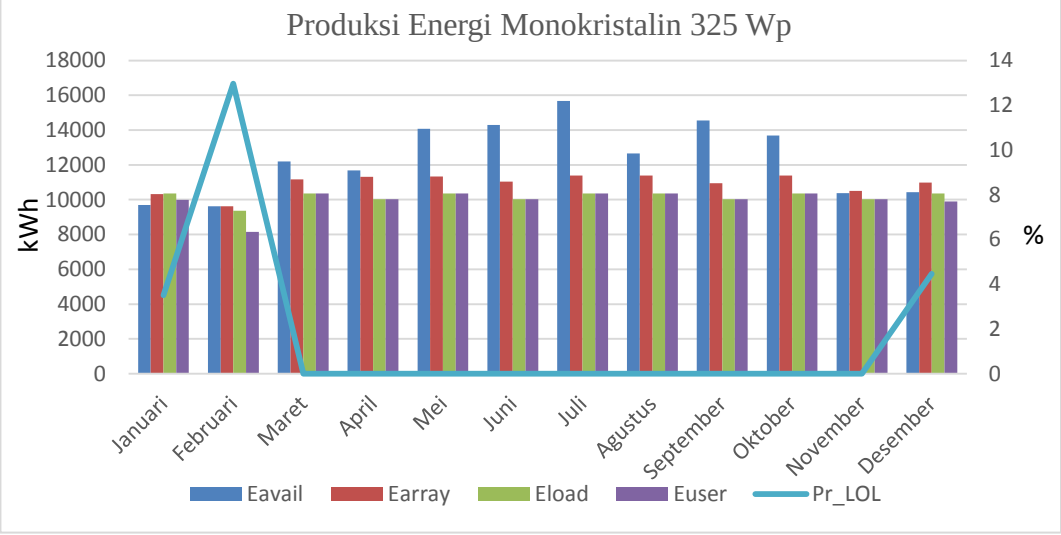
Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 2 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

II. Skenario 2

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 368 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 184 pararel dan kapasitas baterai 116.034,8 Ah dengan susunan 4 seri 181 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

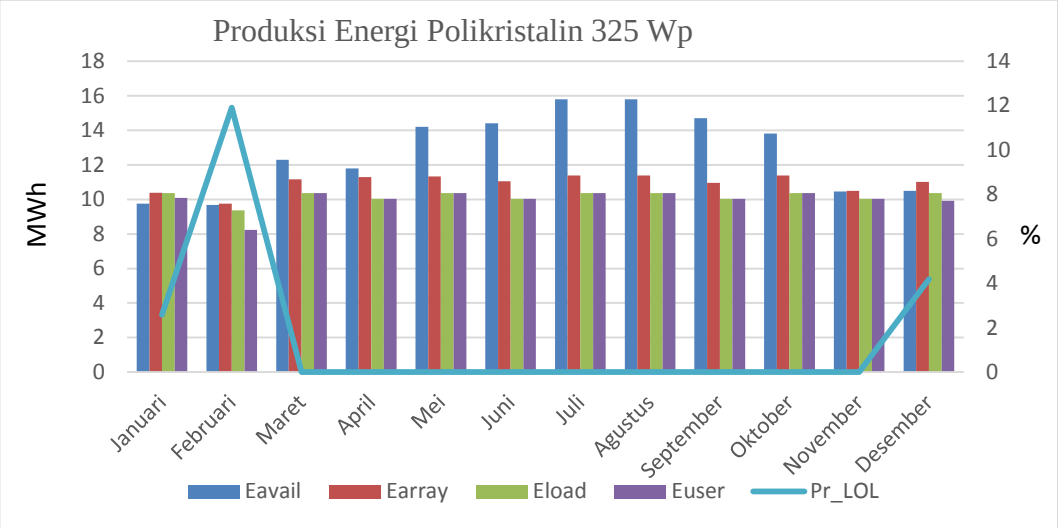


Gambar 4. 48 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.48 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut

disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 151.935 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 131.371 kWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 3,5 %; 12,96% dan 4,46 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 49 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.49 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 153,21 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 131,6 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 2,59 %; 11,21% dan 4,18 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban.

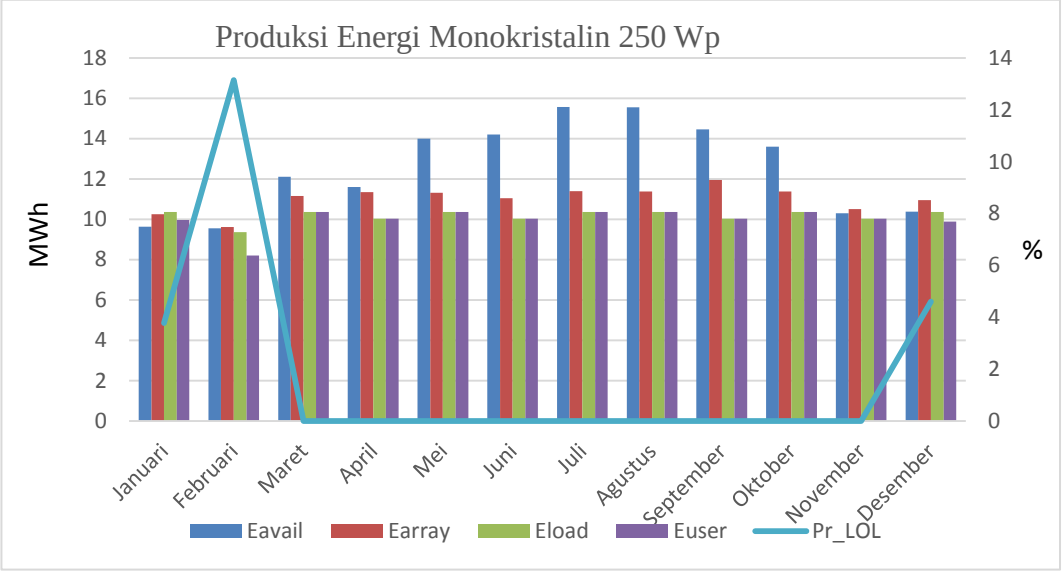
Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 478 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 239 pararel. Kapasitas baterai 116.034,8 Ah dengan susunan 4 seri 181 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

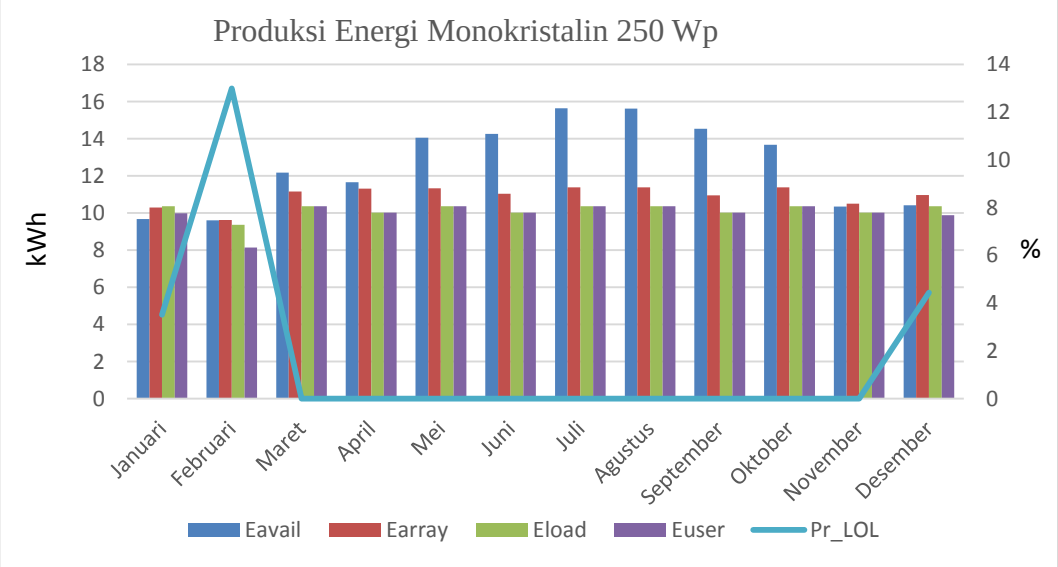


Gambar 4. 50 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.50 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 150,93 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 131,26 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 3,78 %; 13,15% dan 4,6 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal

ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 51 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 2

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.51 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi.

(E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 153,21 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 131,6 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV tidak cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan nilai Pr_LOL 3,51 %; 13% dan 4,44 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut tidak dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) tidak dapat memenuhi permintaan beban (Eload) pada bulan Januari, Februari dan Desember. Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 3 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari tidak dapat mencukupi kebutuhan beban. Hal ini dapat diatasi oleh penambahan modul (Diaconu et al., 2017). Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juni. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 3 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC tidak dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

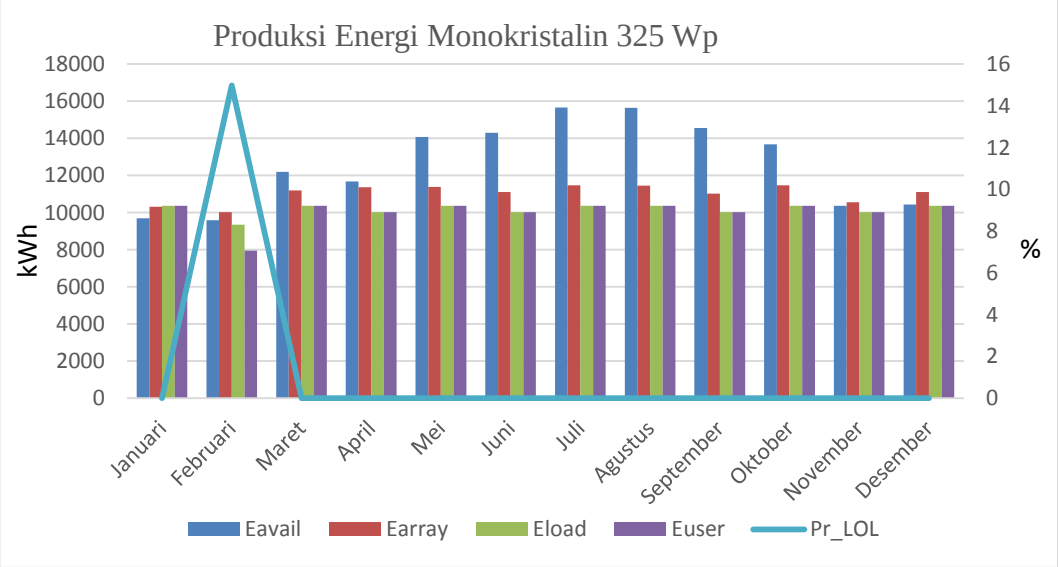
III. Skenario 3

A. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 325 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 325 Wp dibutuhkan banyaknya modul 368 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array

adalah 2 seri dan 184 pararel dan kapasitas baterai 154.712,8 Ah dengan susunan 4 seri 241 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

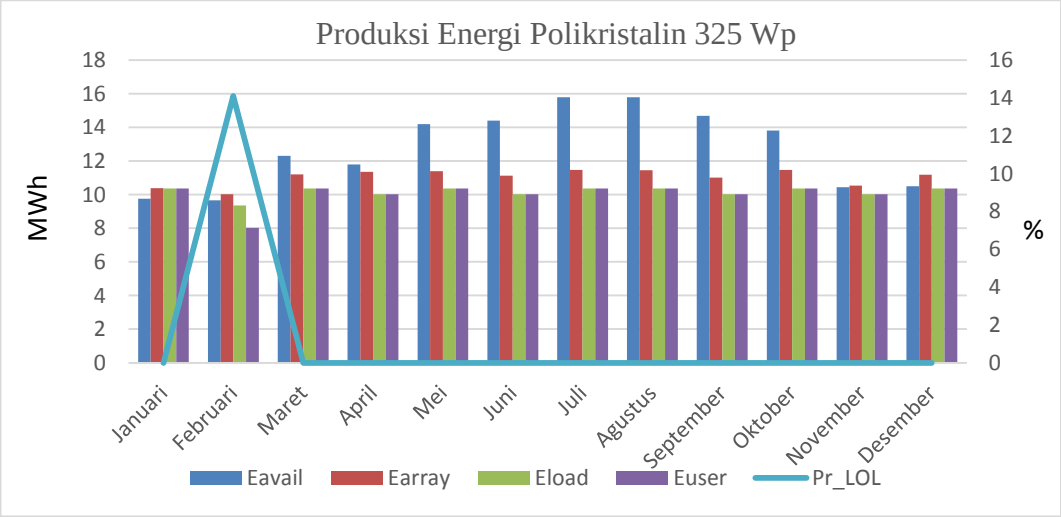


Gambar 4. 52 Produksi energi monokristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.52 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 38.755 kWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 33.596 kWh. Penurunan

energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 53 Produksi energi polikristalin 325 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3

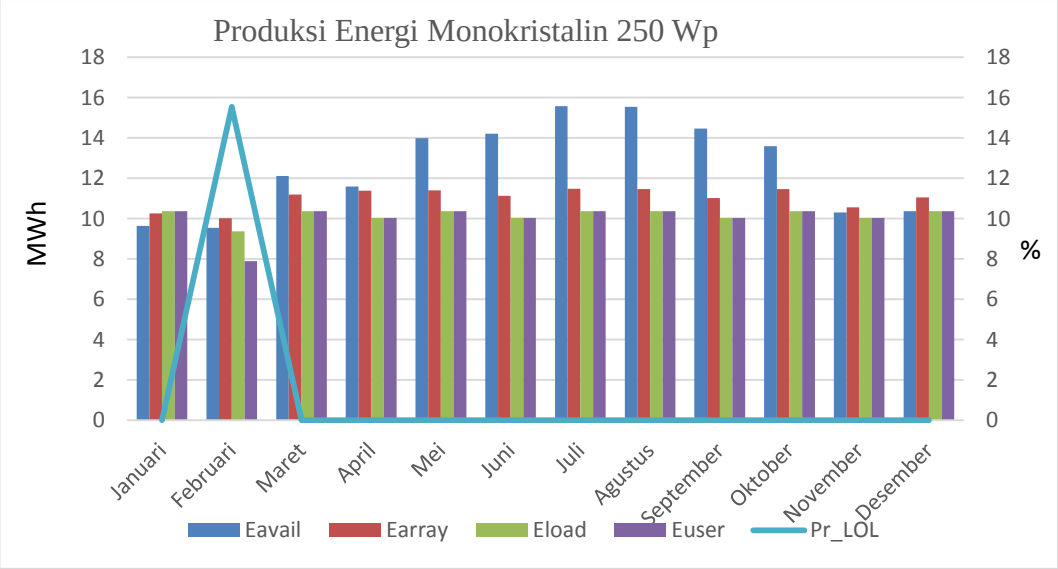
Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.53 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 153,15 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 132,64 MWh Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 325 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

B. Hasil Simulasi Modul Monokristalin dan Polikristalin 250 Wp dengan *Charge Controller* DC-DC

Perancangan PLTS dengan kebutuhan beban 10.025,4 kWh/bulan di kecamatan Pucuk membutuhkan ukuran PV sebesar 119.481,2 Wp/hari dengan menggunakan keluaran daya puncak sebesar 250 Wp dibutuhkan banyaknya modul 478 dengan menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7) susunan array adalah 2 seri dan 239 pararel dan kapasitas baterai 154.712,8 Ah dengan susunan 4 seri 241 pararel didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.8), (4.9), (4.10) dan (4,11).

Dari perhitungan analitik dari sizing PV kemudian divalidasi oleh simulasi PVsyst menggunakan nilai Pr LOL menggambarkan (Pr LOL) seberapa sering suatu sistem tidak dapat memenuhi permintaan beban atau persentase muatan rata-rata yang tidak terpenuhi oleh sistem. jika probabilitasnya 0, maka beban akan selalu terpenuhi, sedangkan jika probabilitasnya 1 maka beban tidak akan pernah terpenuhi. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst:

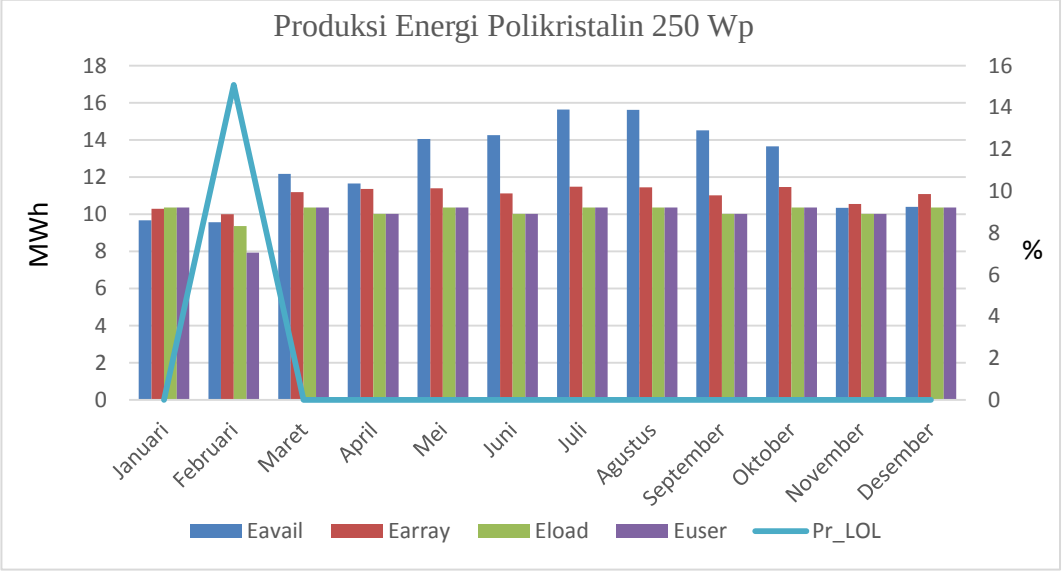


Gambar 4. 54 Produksi energi monokristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3

Hasil yang didapatkan pada Gambar 4.54 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut

disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 150,87 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 132,24 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh *days of autonomy* 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul monokristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan*charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.



Gambar 4. 55 Produksi energi polikristalin 250 Wp di kecamatan Pucuk skenario 3

Hasil yang didapatkan pada gambar 4.55 (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia pada bulan November sampai dengan bulan April rendah hal tersebut disebabkan pada bulan tersebut wilayah ini terjadi musim hujan yang menghasilkan radiasi matahari rata-rata yang lebih rendah sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih sedikit. Pada bulan Mei sampai Oktober radiasi global lebih tinggi dapat dipahami bahwa selama periode ini wilayah lamongan terjadi musim kemarau sehingga radiasi matahari yang tersedia lebih tinggi. (E_{VAIL}) energi matahari yang tersedia sepanjang tahun 151,61 MWh, sedangkan energi efektif dari array PV (Earray) dapat diproduksi 132,44 MWh. Penurunan energi terjadi karena beberapa kerugian seperti kehilangan kualitas modul, ketidakcocokan, degradasi dan kehilangan kabel ohmik (Irwan et al., 2015) dan (Manoj et al., 2019). Namun energi yang dihasilkan oleh array PV cukup untuk memenuhi persyaratan beban pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember dengan nilai Pr_LOL 0 % yang menunjukkan permintaan beban di bulan tersebut dapat terpenuhi dengan kata lain energi yang disalurkan ke pengguna (Euser) dapat memenuhi permintaan beban (Eload). Hal ini disebabkan oleh day of autonomy 4 hari yang artinya bahwa jumlah hari sistem akan memasok daya dari baterai tanpa input energi matahari dapat mencukupi kebutuhan beban. Dari perhitungan yang dilakukan oleh (Romana et al., 2018) yang menyimpulkan

bahwa jika jumlah baterai yang digunakan banyak maka kapasitas PV yang digunakan bisa lebih kecil, sehingga nilai kelebihan listrik dalam sistem akan lebih kecil.

Pemenuhan beban di kecamatan Pucuk dibutuhkan pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember karena kebutuhan irigasi di kecamatan Pucuk adalah pada bulan Januari, April, Mei, Juni dan Desember. Dari hasil simulasi PVsyst dengan modul polikristalin 250 Wp dengan 4 hari otonomi dengan *charge controller* DC-DC dapat memenuhi Permintaan beban di kecamatan Pucuk.

4.7 Analisis konfigurasi Array

Konfigurasi Array adalah rangkaian modul yang di susun secara seri dan pararel. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan keluaran modul PV, maka modul PV disusun secara seri sedangkan untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih besar dari arus keluaran modul PV , maka modul PV harus di susun secara -pararel. Oleh karena itu tujuan dari konfigurasi seri-pararel adalah untuk mendapatkan daya keluaran yang lebih besar dari daya keluran modul PV dengan tegangan konstan. Dalam desain sistem PV untuk memperkirakan konfigurasi pembangkit PV yang optimal didasarkan pada penentuan probabilitas kehilangan-beban. Berikut adalah hasil simulasi PVsyst untuk mendapatkan konfigurasi yang optimal di wilayah Lamongan.

4.7.1 Konfigurasi Array di kecamatan Kalitengah

Konfigurasi array PV penting untuk dilakukan karena konfigurasi yang di susun seri- pararel mempengaruhi hasil daya output panel surya. Pemasangan PV secara seri akan merugikan daya yang dihasilkan karena faktor shading mempengaruhi kinerja sel surya. Menurut eksperimen yang sudah dilakukan oleh (Vengatesh & Rajan, 2016) jika panel dikonfigurasi secara seri dapat meningkatkan presentase kehilangan daya yang disebabkan oleh shading, sehingga mempengaruhi kinerja sistem sedangkan jika konfigurasi secara pararel memberikan kinerja yang lebih baik dalam kondisi shading. Karena shading yang mengenai salah satu modul tidak akan menyebar ke modul lain, sehingga

menghasilkan daya yang hilang lebih sedikit daripada konfigurasi lainnya. Untuk konfigurasi seri-pararel jumlah modul seri harus lebih rendah dari jumlah pararel. Berikut adalah hasil konfigurasi array dengan menggunakan simulasi PVsyst :

I. Skenario 1

A. Simulasi Konfigurasi Array *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 10 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	DC-DC	2x43	112
Monokristalin 325	DC-DC	2x35	112
Polikristalin 325	DC-DC	2x 43	112
Polikristalin 325	DC-DC	2x 35	112
Monokristalin 250	DC-DC	2x 56	112
Monokristalin 250	DC-DC	2x 45	112
Polikristalin 250	DC-DC	2x56	112
Polikristalin 250	DC-DC	2x45	112

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.10 pada skenario 1 yaitu menggunakan *days of autonomy* 2 hari dengan jumlah baterai 112 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 43 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 56 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli. Dengan parameter *probabilitas loss of load* 0% dari simulasi PVsyst dapat dijadikan acuan pemenuhan kebutuhan hanya di bulan Mei, Juni dan Juli sehingga didapatkan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 45 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 11 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	MPPT	2x34	112
Polikristalin 325	MPPT	2x34	112
Monokristalin 250	MPPT	2x 44	112
Polikristalin 250	MPPT	2x 44	112

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.11 pada skenario 1 yaitu menggunakan *days of autonomy* 2 hari dengan jumlah baterai 112 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 44 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli.

II. Skenario 2

A. Simulasi Konfigurasi Array *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 12 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	DC-DC	2x43	168
Monokristalin 325	DC-DC	2x34	168
Polikristalin 325	DC-DC	2x 43	168
Polikristalin 325	DC-DC	2x 34	168
Monokristalin 250	DC-DC	2x 56	168
Monokristalin 250	DC-DC	2x 44	168
Polikristalin 250	DC-DC	2x56	168
Polikristalin 250	DC-DC	2x44	168

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.12 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 168 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 43 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 56 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli. Dengan parameter *probabilitas loss of load* 0% dari simulasi PVsyst dapat dijadikan acuan pemenuhan kebutuhan hanya di bulan Mei, Juni dan Juli sehingga didapatkan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 45 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 13 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	MPPT	2x34	168
Polikristalin 325	MPPT	2x34	168
Monokristalin 250	MPPT	2x 44	168
Polikristalin 250	MPPT	2x 44	168

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.13 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 168 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 44 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli.

III. Skenario 3

A. Simulasi Konfigurasi Array *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 14 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Kalitengah skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	DC-DC	2x43	224
Monokristalin 325	DC-DC	2x34	224
Polikristalin 325	DC-DC	2x 43	224
Polikristalin 325	DC-DC	2x 34	224
Monokristalin 250	DC-DC	2x 56	224
Monokristalin 250	DC-DC	2x 44	224
Polikristalin 250	DC-DC	2x56	224
Polikristalin 250	DC-DC	2x44	224

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.14 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 224 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 43 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 56 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli. Dengan parameter *probabilitas loss of load* 0% dari simulasi PVsyst dapat dijadikan acuan pemenuhan kebutuhan hanya di bulan Mei, Juni dan Juli sehingga didapatkan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 45 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 15 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Kalitengah skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai
Monokristalin 325	MPPT	2x34	224
Polikristalin 325	MPPT	2x34	224
Monokristalin 250	MPPT	2x 44	224
Polikristalin 250	MPPT	2x 44	224

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Kalitengah dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.15 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 168 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 34 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 44 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Mei, Juni dan Juli.

4.7.2 Konfigurasi Array di Kecamatan Karanggeneng

I. Skenario 1

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 16 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x47	124	Tidak terpenuhi
Monokristalin 325	DC-DC	2x73	124	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 47	124	Tidak terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 72	124	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 61	124	Tidak terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 95	124	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x61	124	Tidak terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x94	124	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.16 pada skenario 1 yaitu menggunakan *days of autonomy* 2 hari dengan jumlah baterai 124 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 47 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 61 pararel tidak dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli hal ini disebabkan karena kapasitas baterai dengan *days of autonomy* 2 hari tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian. Hal tersebut dapat diatasi dengan menambahkan jumlah modul PV dapat dilihat pada Tabel 4.16 konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 73 sambungan pararel dan polikristalin 325 di susun 2 seri 72 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 95 sambungan pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 94 sambungan pararel dapat memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian di kecamatan Karanggeneng yaitu pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 17 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x69	124	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x69	124	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x 90	124	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x 90	124	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.17 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 124 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 69 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 90 pararel

dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

II. Skenario 2

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 18 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x47	184	Tidak terpenuhi
Monokristalin 325	DC-DC	2x48	184	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 47	184	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 47	184	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 61	184	Tidak terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 62	184	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x61	184	Tidak terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x62	184	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.18 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 184 dan konfigurasi modul monokristalin di susun 2 seri 47 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 61 pararel tidak dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli sedangkan modul polikristalin 325 di susun 2 seri 47 pararel dapat terpenuhi hal ini disebabkan karena efisiensi modul polikristalin pada suhu rendah kinerja modul lebih baik. Studi yang dilakukan oleh (K. Attari, A. El yaakoubi, Z. Leemrani, 2017) dengan menggunakan *Watt-peak* yang sama effisiensi array yang dihasilkan modul polikristalin lebih baik dari monokristalin.

Kebutuhan beban tidak terpenuhi disebabkan karena kapasitas baterai dengan *days of autonomy* 3 hari tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian. Hal tersebut dapat diatasi dengan menambahkan jumlah modul PV dapat dilihat pada Tabel 4.18 konfigurasi modul monokristalin 325

Wp di susun 2 seri 48 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 62 sambungan pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 62 sambungan pararel dapat memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian di kecamatan Karanggeneng yaitu pada bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 19 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x46	184	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x45	184	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x60	184	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x60	184	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.19 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 184 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 69 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 90 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

III. Skenario 3

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 20 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x47	244	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x47	244	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x61	244	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x61	244	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.20 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 224 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 47 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 61 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 21 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x45	224	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x45	224	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x58	224	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x58	224	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.21 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 224 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 45 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 58 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Januari, Mei, Juni dan Juli.

4.7.3 Konfigurasi Array di Kecamatan Pucuk

I. Skenario 1

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 22 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x184	484	Tidak terpenuhi
Monokristalin 325	DC-DC	2x289	484	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 184	484	Tidak Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 288	484	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 239	484	Tidak terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 376	484	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x239	484	Tidak terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x374	484	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Pucuk dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.22 pada skenario 1 yaitu menggunakan *days of autonomy* 2 hari dengan jumlah baterai 484 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 184 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 239 pararel tidak dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli hal ini disebabkan karena kapasitas baterai dengan *days of autonomy* 2 hari tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian. Hal tersebut dapat diatasi dengan menambahkan jumlah modul PV dapat dilihat pada Tabel 4.22 konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 289 sambungan pararel dan polikristalin 325 di susun 2 seri 288 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 376 sambungan pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 374 sambungan pararel dapat memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian di kecamatan Pucuk yaitu pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 23 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x275	484	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x274	484	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x357	484	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x356	484	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Pucuk dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.23 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 484 dan konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 275 sambungan pararel dan polikristalin 325 di susun 2 seri 274 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 357 pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 356 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli.

II. Skenario 2

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 24 Konfigurasi array dengan *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x184	724	Tidak terpenuhi
Monokristalin 325	DC-DC	2x189	724	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 184	724	Tidak Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x 189	724	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 239	724	Tidak terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x 247	724	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x239	724	Tidak terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x247	724	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Pucuk dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.24 pada skenario 2 yaitu menggunakan *days of autonomy* 3 hari dengan jumlah baterai 724 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 184 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 239 pararel tidak dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli hal ini disebabkan karena kapasitas baterai dengan *days of autonomy* 3 hari tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian. Hal tersebut dapat diatasi dengan menambahkan jumlah modul PV dapat dilihat pada Tabel 4.24 konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 184 sambungan pararel dan polikristalin 325 di susun 2 seri 184 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 247 sambungan pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 247 sambungan pararel dapat memenuhi kebutuhan beban selama masa pertanian di kecamatan Pucuk yaitu pada bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli.

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 25 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x182	724	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x182	724	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x236	724	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x236	724	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.25 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 724 dan konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 182 sambungan pararel dan polikristalin 325 di susun 2 seri 182 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 236 pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 236 pararel

dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli**.**

III. Skenario 3

A. Simulasi Konfigurasi Array dengan *Charge Controller* DC-DC

Tabel 4. 26 Konfigurasi array *charge controller* DC-DC di kecamatan Pucuk skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	DC-DC	2x184	964	Terpenuhi
Polikristalin 325	DC-DC	2x184	964	Terpenuhi
Monokristalin 250	DC-DC	2x239	964	Terpenuhi
Polikristalin 250	DC-DC	2x239	964	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan *charge controller* DC-DC dari perhitungan analitik dapat dilihat pada Tabel 4.26 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 964 dan konfigurasi modul monokristalin dan polikristalin 325 di susun 2 seri 184 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 239 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli**.**

B. Simulasi Konfigurasi Array dengan MPPT

Tabel 4. 27 Konfigurasi array dengan MPPT di kecamatan Pucuk skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Keterangan
Monokristalin 325	MPPT	2x174	964	Terpenuhi
Polikristalin 325	MPPT	2x174	964	Terpenuhi
Monokristalin 250	MPPT	2x226	964	Terpenuhi
Polikristalin 250	MPPT	2x226	964	Terpenuhi

Hasil simulasi PVsyst konfigurasi array di kecamatan Karanggeneng dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.27 pada skenario 3 yaitu menggunakan *days of autonomy* 4 hari dengan jumlah baterai 964 dan konfigurasi modul monokristalin 325 Wp di susun 2 seri 174 sambungan pararel dan polikristalin

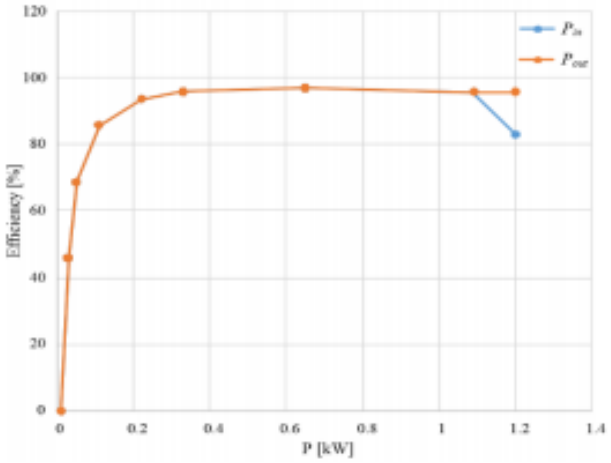
325 di susun 2 seri 174 sambungan pararel, konfigurasi monokristalin 250 Wp di susun 2 seri 226 pararel dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 226 pararel dapat memenuhi kebutuhan irigasi sawah selama masa pertanian yaitu di bulan Desember, Januari, April, Mei dan Juli**.**

4.8 Analisis Konfigurasi *Charge Controler*

Fungsi utama dari *charge controller* dalam sistem *Stand-Alone* adalah untuk melindungi baterai agar pada pengisian daya baterai supaya tidak terjadi pengisian berlebih dan tidak terjadi kekurangan saat tidak ada radiasi matahari. Oleh karena itu tegangan dan arus dari panel PV surya ke baterai dikendalikan dan diatur oleh charge controler tenaga surya sehingga dapat memperpanjang umur baterai. Pada Studi ini akan memvariasikan charge controller meliputi DC-DC converter dan MPPT .

DC-DC converter meruapakan rangkaian pengendali muatan bekerja dengan mengubah level tegangan dan level arus keluaran DC. Pada sebuah DC-DC Converter dengan tegangan input yang ditentukan, besar tegangan output dikendalikan dengan pengendalian dilakukan dengan memberikan sinyal atau tegangan yang mengatur waktu ON dan waktu OFF switch. Sinyal tegangan yang berfungsi untuk mengatur switch biasanya menggunakan PWM (Pulse Width Modulation). Sedangkan MPPT adalah Pengontrol muatan MPPT mengambil tegangan dan mengubahnya ke tegangan terbaik untuk mendapatkan arus maksimum baterai. Kekuatan MPPT bervariasi dan tergantung pada radiasi matahari, suhu sekitar, dan suhu sel surya. Dengan kata lain, pengontrol muatan MPPT memperhitungkan fakta bahwa array PV terkadang menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi karena kondisi cuaca, dan secara otomatis dapat mencocokkan tegangan yang dihasilkan dengan tegangan baterai untuk memaksimalkan efisiensi pengisian daya. Sehingga dari hasil konfigurasi array pada pembahasan 4.7 yang mendapatkan hasil modul monokristalin dan polikristalin menggunakan MPPT memberikan hasil optimal dengan jumlah modul lebih sedikit dari converter DC-DC. Hal tersebut karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan

perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam (Mehdipour & Mohammadi, 2019). Gambar 4.56 menunjukkan efisiensi daya input dan output dalam pengontrol dengan MPPT converter. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.56 dengan meningkatkan daya, efisiensi daya input, *Pin*, berubah, sementara efisiensi daya input, *Pout* sehingga dalam simulasi konfigurasi array dengan menggunakan MPPT dapat menghasilkan modul lebih sedikit dari converter DC-DC hal tersebut akan mempengaruhi dalam hal pembiayaan.



Gambar 4. 56 Efisiensi daya input dan output dalam pengontrol MPPT (Mehdipour & Mohammadi, 2019)

Charge controller harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani arus dari array PV, dari simulasi PVsyst arus charge controller dari konfigurasi array yang dapat memenuhi permintaan beban adalah sebagai berikut:

I. Skenario 1

A. Kecamatan Kalitengah

Tabel 4. 28 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x35	112	522
Polikristalin 325	DC-DC	2x35	112	522
Monokristalin 250	DC-DC	2x45	112	516
Polikristalin 250	DC-DC	2x45	112	516
Monokristalin 325	MPPT	2x34	112	507
Polikristalin 325	MPPT	2x34	112	507
Monokristalin 250	MPPT	2x44	112	505
Polikristalin 250	MPPT	2x44	112	505

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.28 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 35 pararel arus DC-DC adalah 522 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250Wp di susun 2 seri dan 45 pararel arus DC-DC adalah 516 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 34 pararel arus MPPT adalah 507 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 44 pararel arus DC-DC adalah 505 A.

B. Kecamatan Karanggeneng

Tabel 4. 29 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x73	124	1.089
Polikristalin 325	DC-DC	2x72	124	1.073
Monokristalin 250	DC-DC	2x95	124	1.089
Polikristalin 250	DC-DC	2x94	124	1.078
Monokristalin 325	MPPT	2x69	124	1.029
Polikristalin 325	MPPT	2x69	124	1.029
Monokristalin 250	MPPT	2x90	124	1.032
Polikristalin 250	MPPT	2x90	124	1.032

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.29 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 73 pararel arus dan 2 seri 72 pararel arus DC-DC adalah 1.089 A dan 1.073A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250Wp di susun 2 seri dan 45 pararel arus DC-DC adalah 516 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 69 pararel arus MPPT adalah 1.029 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 90 pararel arus DC-DC adalah 1.032 A.

C. Kecamatan Pucuk

Tabel 4. 30 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 1

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x289	484	4.310
Polikristalin 325	DC-DC	2x288	484	4.293
Monokristalin 250	DC-DC	2x376	484	4.312
Polikristalin 250	DC-DC	2x374	484	4.289
Monokristalin 325	MPPT	2x275	484	4.101
Polikristalin 325	MPPT	2x274	484	4.085
Monokristalin 250	MPPT	2x357	484	4.094
Polikristalin 250	MPPT	2x356	484	4.083

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.30 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 289 pararel dan 2 seri 288 pararel arus DC-DC adalah 4.310 A dan 4.289 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 45 pararel arus DC-DC adalah 516 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 275 pararel dan 2 seri 274 pararel arus MPPT adalah 4.101 A dan 4.085 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri 357 pararel dan 2 seri 356 pararel arus DC-DC adalah 4.094 A dan 4.083 A.

II. Skenario 2

A. Kecamatan Kalitengah

Tabel 4. 31 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x35	168	522
Polikristalin 325	DC-DC	2x35	168	522
Monokristalin 250	DC-DC	2x45	168	516
Polikristalin 250	DC-DC	2x45	168	516
Monokristalin 325	MPPT	2x34	168	507
Polikristalin 325	MPPT	2x34	168	507
Monokristalin 250	MPPT	2x44	168	505
Polikristalin 250	MPPT	2x44	168	505

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.31 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 35 pararel arus DC-DC adalah 522 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 45 pararel arus DC-DC adalah 516 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 34 pararel arus MPPT adalah 507 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 44 pararel arus DC-DC adalah 505 A.

B. Kecamatan Karanggeneng

Tabel 4. 32 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x35	168	522
Polikristalin 325	DC-DC	2x35	168	522
Monokristalin 250	DC-DC	2x45	168	516
Polikristalin 250	DC-DC	2x45	168	516
Monokristalin 325	MPPT	2x34	168	507
Polikristalin 325	MPPT	2x34	168	507
Monokristalin 250	MPPT	2x44	168	505
Polikristalin 250	MPPT	2x44	168	505

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.32 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 48 pararel dan 2 seri 47 pararel arus DC-DC adalah 716 A dan 701 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 62 pararel arus DC-DC adalah 711 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 46 pararel dan 2 seri 45 pararel arus MPPT adalah 686 A dan 671 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 60 pararel arus DC-DC adalah 688 A.

C. Kecamatan Pucuk

Tabel 4. 33 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 2

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x189	724	2.818
Polikristalin 325	DC-DC	2x189	724	2.818
Monokristalin 250	DC-DC	2x247	724	2.833
Polikristalin 250	DC-DC	2x247	724	2.833
Monokristalin 325	MPPT	2x182	724	2.714
Polikristalin 325	MPPT	2x182	724	2.714
Monokristalin 250	MPPT	2x236	724	2.706
Polikristalin 250	MPPT	2x236	724	2.706

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.33 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 189 pararel arus DC-DC adalah 2.818 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 247 pararel arus DC-DC adalah 2.883 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 182 pararel arus MPPT adalah 2.714 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 236 pararel arus DC-DC adalah 2.706 A.

III. Skenario 3

A. Kecamatan Kalitengah

Tabel 4. 34 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Kalitengah skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x35	224	522
Polikristalin 325	DC-DC	2x35	224	522
Monokristalin 250	DC-DC	2x45	224	516
Polikristalin 250	DC-DC	2x45	224	516
Monokristalin 325	MPPT	2x34	224	507
Polikristalin 325	MPPT	2x34	224	507
Monokristalin 250	MPPT	2x44	224	505
Polikristalin 250	MPPT	2x44	224	505

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.34 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 35 pararel arus DC-DC adalah 522 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 45 pararel arus DC-DC adalah 516. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 34 pararel arus MPPT adalah 507 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 44 pararel arus DC-DC adalah 505 A.

B. Kecamatan Karanggeneng

Tabel 4. 35 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Karanggeneng skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x47	244	701
Polikristalin 325	DC-DC	2x47	244	701
Monokristalin 250	DC-DC	2x61	244	700
Polikristalin 250	DC-DC	2x61	244	700
Monokristalin 325	MPPT	2x45	244	671
Polikristalin 325	MPPT	2x45	244	671
Monokristalin 250	MPPT	2x58	244	665
Polikristalin 250	MPPT	2x58	244	665

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.35 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 47 pararel arus DC-DC adalah 701 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 61 pararel arus DC-DC adalah 700 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 45 pararel arus MPPT adalah 671 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250 Wp di susun 2 seri dan 58 pararel arus DC-DC adalah 655 A.

C. Kecamatan Pucuk

Tabel 4. 36 Konfigurasi *charge controller* di kecamatan Pucuk skenario 3

Modul	Charge Controller	Konfigurasi	Jumlah Baterai	Arus (ampere)
Monokristalin 325	DC-DC	2x184	964	2.743
Polikristalin 325	DC-DC	2x184	964	2.743
Monokristalin 250	DC-DC	2x239	964	2.741
Polikristalin 250	DC-DC	2x239	964	2.741
Monokristalin 325	MPPT	2x174	964	2.595
Polikristalin 325	MPPT	2x174	964	2.595
Monokristalin 250	MPPT	2x226	964	2.592
Polikristalin 250	MPPT	2x226	964	2.592

Hasil perancangan sistem PLTS di kecamatan Kalitengah dengan simulasi PVsyst konfigurasi *charge controller* DC-DC dan MPPT dapat dilihat pada Tabel 4.36 diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp di susun 2 seri 184 pararel arus DC-DC adalah 2.743 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250Wp di susun 2 seri dan 239 pararel arus DC-DC adalah 2.741 A. Hasil konfigurasi MPPT jumlah modul lebih sedikit dari DC-DC hal tersebut disebabkan karena MPPT akan menyesuaikan parameternya dengan sistem agar selalu kompatibel dengan perilaku normal tanpa kehilangan kontrol selama simulasi per jam. Diperoleh modul monokristalin dan polikristalin 325 Wp disusun 2 seri dan 174 pararel arus MPPT adalah 2.595 A sedangkan monokristalin dan polikristalin 250Wp di susun 2 seri dan 226 pararel arus DC-DC adalah 2.592 A.

4.9 Analisis Biaya LCC (*Life Cycle Cost*)

Analisis yang paling sesuai untuk keekonomian sistem energi terbarukan adalah analisis LCC. LCC *(life cycle cost)* adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, seumur hidupnya. LCC terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian yang dinyatakan sebagai nilai sekarang. Modal awal pada sistem PV adalah

1) Investasi awal

Biaya investasi awal untuk PLTS wilayah di lamongan meliputi biaya untuk komponen sistem PLTS (biaya untuk pembelian modul PV, baterai, solar charge controller, inverter) serta biaya pemeliharaan dan operasional. Tabel 4.37 menunjukkan besarnya biaya investasi awal yang akan dikeluarkan.

Tabel 4. 37 Komponen sistem PLTS

Komponen	**Harga**
PV modul Monokristalin	Rp.4.280,07/Wp
PV modul Polikristalin	Rp. 3.861,37/Wp
Baterai	Rp.2.093.377,5/160 Ah
Charge controller DC-DC	Rp. 2.230.769,23/20 A
Inverter	Rp.9.850.000/5000 watt
MPPT	Rp. 3.500.000/60 A
Pemeliharaan dan operasional	1% dari biaya Panel PV

2) Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional pertahun untuk PLTS dihitung sebesar 1% sampai 2 % dari total biaya investasi awal. Besar persentase tersebut mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan serta pemeriksaan peralatan komponen. Biaya pemeliharaan dan operasional (M) pada penelitian ini ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Hal itu karena Indonesia hanya memiliki 2 musim, yaitu musim hujan dan kemarau, dibandingkan negara lain yang memiliki 4 musim, sehingga biaya pemeliharaan dan operasionalnya lebih besar. Besarnya biaya tersebut per tahun adalah:

M= 0,01 x Total biaya Investasi

3) Menghitung Biaya Siklus Hidup PLTS (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup (LCC) pada sistem PLTS ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (C), biaya jangka panjang untuk pemeliharaan, operasional dan penggantian komponen (Mpw). PLTS yang akan dibangun pada penelitian ini, diasumsikan dapat beroperasi selama 25 tahun. Penentuan umur proyek ini mengacu kepada jaminan yang diberikan oleh produsen panel surya. Besarnya tingkat diskonto (i)

yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini adalah sebesar 5,25%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu pada tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia pada tahun 2020 yaitu rata-rata sebesar 5,25 % (BI, 2020). Besarnya nilai sekarang (*Present Value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (Mpw atau *present worth of maintenance*) PLTS selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 5,25 %, dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut:.

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$

Mpw (5,25 % 25)

Setelah memperoleh besar biaya pemeliharaan dan operasional (Mpw), maka *Life cycle cost* (LCC) untuk PLTS yang akan dikembangkan selama umur proyek 25 tahun adalah sebagai berikut.

LCC = C + Mpw

Berikut adalah Perhitungan Pembiayaan LCC terendah dengan perinciaan biaya di Lampiran 1 :

I. Skenario 1

Tabel 4. 38 Biaya LCC terendah skenario 1

Wilayah Lamongan	Type Modul	Charge Controller	Jumlah Modul	Jumlah Baterai	Biaya LCC terendah
Kecamatan Kalitengah	Polikristalin 250 Wp	MPPT	88	112	Rp. 410.182.324
Kecamatan Karanggeneng	Polikristalin 325 Wp	MPPT	138	124	Rp. 574.879.996
Kecamatan Pucuk	Polikristalin 325 Wp	MPPT	548	484	Rp2.253.311.952

Hasil perhitungan pembiayaan LCC terendah untuk irigasi pertanian di wilayah lamongan skenario 1 menggunakan *days of autonomy* 2 hari dapat dilihat pada Tabel 4.38 diperoleh hasil di kecamatan Kalitengah dengan kebutuhan energi untuk irigasi 2.324,47 kWh dengan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 410.182.324 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp

sebanyak 88 modul dengan luas area panel surya 143 m^2 sedangkan luas area kalitengah untuk persawahan 9,4 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 112 buah. Di kecamatan Karanggeneng dengan kebutuhan energi untuk irigasi 2.543,53 kWh dengan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 574.879.996 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 325 Wp sebanyak 138 modul dengan luas area panel surya 268 m^2 sedangkan luas area karanggeneng untuk persawahan adalah 10,1 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 124 dan di kecamatan Pucuk dengan kebutuhan energi untuk irigasi 10.025,4 kWh dengan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp 2.253.311.952 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 325 Wp sebanyak 548 modul dengan luas area panel surya 1.063 m^2 sedangkan luas area Pucuk untuk persawahan 10,2 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 484.

II. Skenario 2

Tabel 4. 39 Biaya LCC terendah skenario 2

Wilayah Lamongan	Type Modul	Charge Controller	Jumlah Modul	Jumlah Baterai	Biaya LCC terendah
Kecamatan Kalitengah	Polikristalin 250 Wp	MPPT	88	168	Rp. 543.471.856
Kecamatan Karanggeneng	Polikristalin 325 Wp	MPPT	90	184	Rp.625.323.317
Kecamatan Pucuk	Polikristalin 250 Wp	MPPT	472	724	Rp. 2.469.162.605

Hasil perhitungan pembiayaan LCC terendah skenario 2 menggunakan *days of autonomy* 3 hari dapat dilihat pada Tabel 4.39 diperoleh hasil di kecamatan Kalitengah dengan kebutuhan energi untuk irigasi 2.324,47 kWh dan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp.543.471.856 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp sebanyak 88 modul dengan luas area panel surya 143 m^2 sedangkan luas area kalitengah untuk persawahan 9,4 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 168. Di kecamatan Karanggeneng dengan kebutuhan

energi untuk irigasi 2.543,53 kWh dengan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp.625.323.317 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 325 Wp sebanyak 90 modul dengan luas area panel surya 175 m^2 sedangkan luas area Karanggeneng untuk persawahan 10,1 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 184 dan di kecamatan Pucuk dengan kebutuhan energi untuk irigasi 10.025,4 kWh dengan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 2.469.162.605 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp sebanyak 472 modul dengan luas area panel surya 768 m^2 sedangkan luas area Pucuk untuk persawahan 10,2 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 724 .

III. Skenario 3

Tabel 4. 40 Biaya LCC terendah skenario 3

Wilayah Lamongan	Type Modul	Charge Controller	Jumlah Modul	Jumlah Baterai	Biaya LCC terendah
Kecamatan Kalitengah	Polikristalin 250 Wp	MPPT	88	224	Rp. 676.761.388
Kecamatan Karanggeneng	Polikristalin 250 Wp	MPPT	116	244	Rp. 767.035.936
Kecamatan Pucuk	Polikristalin 250 Wp	MPPT	452	964	Rp. 3.010.492.569

Hasil perhitungan pembiayaan LCC terendah skenario 2 menggunakan *days of autonomy* 3 hari dapat dilihat pada Tabel 4.40 diperoleh hasil di kecamatan Kalitengah dengan kebutuhan energi untuk irigasi 2.324,47 kWh dan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 676.761.388 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp sebanyak 88 modul dengan luas area panel surya 143 m^2 sedangkan luas area kalitengah untuk persawahan 9,4 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 224. Di kecamatan Karanggeneng dengan kebutuhan energi untuk irigasi 2543,53 kWh dan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 767.035.936 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp sebanyak 116 modul dengan luas area panel surya 189 m^2 sedangkan luas area Karanggeneng

untuk persawahan 10,1 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 244 dan di kecamatan Pucuk dengan kebutuhan energi untuk irigasi 10.025,4 kWh dan umur proyek 25 tahun biaya LCC terendah adalah Rp. 3.010.492.569 komponen sistem PV untuk menghasilkan kebutuhan energi tersebut terdiri atas modul polikristalin 250 Wp sebanyak 452 modul dengan luas area panel surya 735 m^2 sedangkan luas area Pucuk untuk persawahan 10,2 ha, charge controller MPPT dan jumlah baterai 964.

4.10 Analisis Biaya Energi PLTS (Cost of Energy)

Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, di hitung menggunakan persamaan (2.5)sebagai berikut :

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$

Estimasi kebutuhan energi listrik kWh per hari, sehingga pemakaian energi tahunan PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut (Sakiliba, Hassan, Wu, Sanneh, & Ademi, 2015) :

$$\text{A KWH} = \text{kWh harian x 365 [kWh]}$$

Besar biaya energi (COE) untuk PLTS dengan persamaan (2.6) sebagai berikut :

$$\text{COE} = \frac{LCC\ X\ CRF}{A\ KWH}$$

Berikut adalah besar biaya energi (COE) untuk PLTS di wilayah Lamongan rincian perhitungan dapat dilihat di Lampiran 2:

I. Skenario 1

Tabel 4. 41 Biaya energi PLTS skenario 1

Wilayah Lamongan	**LCC**	**CRF**	**AKWH (kWh)**	**COE**
Kecamatan Kalitengah	Rp 410.182.324	0,07275	28.279,83	Rp.1.055,20 /kWh
Kecamatan Karanggeneng	Rp. 574.879.996	0,07275	30.946,28	Rp. 1.35,46 /kWh
Kecamatan Pucuk	Rp2.253.311.952	0,07275	121.975,7	Rp.1.343,95 /kWh

Perhitungan biaya energi listrik skenario-1 dapat dilihat pada Tabel 4.41 menggunakan *days of autonomy* 2 hari, didapatkan hasil bahwa penambahan nilai COE biaya energi listriknya di kecamatan Kalitengah Rp. 1.055,20 /kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. biaya energi listrik Rp. 1.055,20 /kWh dibawah harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352 /kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28 /kWh sehingga layak untuk diajukan. Biaya energi listriknya di kecamatan Karanggeneng Rp. 1.351,46 /kWh Harga tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Biaya energi listrik Rp. 1.351,46 /kWh mendekati harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352 /kWh dan dibawah harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh sehingga layak untuk diajukan. Sedangkan di kecamatan Pucuk Biaya energi listriknya Rp. 1.343,95 /kWh biaya tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Biaya energi listriknya Rp. 1.343,95 /kWh dibawah harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352 /kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28 /kWh sehingga layak untuk diajukan.

II. Skenario 2

Tabel 4. 42 Biaya energi PLTS skenario 2

Wilayah Lamongan	LCC	CRF	A KWH (kWh)	COE
Kecamatan Kalitengah	Rp.543.471.856	0,07275	28.279,83	Rp.1.398,09/kWh
Kecamatan Karanggeneng	Rp.625.323.317	0,07275	30.946,28	Rp.1.470,04/ kWh
Kecamatan Pucuk	Rp.2.469.162.605	0,07275	121.975,7	Rp.1.472,69/ kWh

Perhitungan biaya energi listrik skenario-2 menggunakan *days of autonomy* 3 hari, didapatkan hasil bahwa penambahan nilai COE biaya energi listriknya di kecamatan Kalitengah Rp. 1.398,09/kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga Rp. 1.398,09/kWh ini di atas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1352/kWh dan jika di bandingkan dengan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh sehingga layak untuk diajukan. Biaya energi listriknya di kecamatan Karanggeneng Rp. 1.470,04/kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga Rp. 1.470,04/kWh ini di atas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352 /kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28 /kWh sehingga tidak layak untuk diajukan. Sedangkan di kecamatan Pucuk Biaya energi listriknya Rp. 1.472,69 /kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga ini diatas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352 /kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28 /kWh sehingga tidak layak untuk diajukan.

III. Skenario 3

Tabel 4. 43 Biaya energi PLTS skenario 3

Wilayah Lamongan	LCC	CRF	A KWH (kWh)	COE
Kecamatan Kalitengah	Rp. 676.761.388	0,07275	28.279,83	Rp. 1.740,97/ kWh
Kecamatan Karanggeneng	Rp. 767.035.936	0,07275	30.946,28	Rp. 1.803,18/ kWh
Kecamatan Pucuk	Rp. 3.010.492.569	0,07275	121.975,7	Rp. 1.795,54/ kWh

Perhitungan biaya energi listrik skenario-3 menggunakan *days of autonomy* 4 hari, didapatkan hasil bahwa penambahan nilai COE biaya energi listriknya di kecamatan Kalitengah Rp.1.398,09/kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga Rp. 1.398,09/kWh ini di atas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352/kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28 /kWh sehingga tidak layak untuk diajukan. Biaya energi listriknya di kecamatan Karanggeneng Rp. 1.803,18/kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga Rp. 1.803,18/kWh ini di atas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352/kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh sehingga tidak layak untuk diajukan. Sedangkan di kecamatan Pucuk Biaya energi listriknya Rp. 1.795,54/kWh biaya energi tersebut diperkirakan akan berkurang di masa depan, jika biaya awal modul PV menurun. Harga Rp. 1.795,54 /kWh ini diatas harga listrik PLN untuk subsidi Rp. 1.352/kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh sehingga tidak layak untuk diajukan.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Pola kebutuhan energi listrik di kecamatan Kalitengah untuk irigasi sawah adalah 2.324,47 kWh untuk satu kali pemompaan dan pola kebutuhan listrik di kecamatan Karanggeneng untuk irigasi sawah dibutuhkan energi sebesar 2.543,53 kWh untuk satu kali pemompaan sedangkan pola kebutuhan listrik di kecamatan Pucuk untuk irigasi sawah adalah sebesar 10.025,40 kWh satu kali pemompaan.
2. Sistem PLTS untuk kebutuhan pertanian diperoleh dari hasil simulasi PVsyst skenario-1 dengan *days of autonomy* 2 hari memberikan perancangan yang dapat dilakukan dari hasil perhitungan ekonomi adalah di kecamatan kalitengan sistem PLTS dirancang menggunakan modul polikristalin 250 Wp berjumlah 88 buah *charge controller* MPPT dan jumlah baterai 112 buah. Di kecamatan karanggeneng sistem PLTS dirancang menggunakan modul polikristalin 325 Wp 138 buah *charge controller* MPPT dan jumlah baterai 124 buah sedangkan di kecamatan Pucuk sistem PLTS dirancang menggunakan modul polikristalin 325 Wp 548 buah *charge controller* MPPT dan jumlah baterai 484 buah.
3. Perhitungan kelayakan ekonomi dilakukan berdasarkan pendekatan LCC dan COE. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa skenario 1 memberikan biaya LCC terendah sistem PV yang dirancang adalah Rp. 410.182.324 di kecamatan Kalitengah, Rp. 574.879.996 di kecamatan Karanggeneng, dan Rp. 2.253.311.952 di kecamatan Pucuk selama umur proyek 25 tahun. dari perhitungan LCC terendah kemudian dihitung biaya energi listrik COE yang layak untuk diajukan adalah di kecamatan Kalitengah biaya energi listrik yang layak untuk diajukan Rp.1.055,20/kWh, di kecamatan Karanggeneng Rp. 1351,46/kWh dan kecamatan Pucuk Rp.1.343,95/kWh. Nilai tersebut dibandingkan dengan harga listrik PLN subsidi Rp. 1.352/kWh dan harga listrik Non subsidi Rp. 1.467,28/kWh.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed F. Zobaa. (2011). *Handbook of renewable energy technology*. 1st edition, World Scientific Publishing Company.

Al-shetwi, A. Q., & Sujod, M. Z. (2016). *Sizing and Design of PV Array for Photovoltaic Power Plant Connected Grid Inverter*, (Cv), 193–199.

Carolyn, R. P. (2009). *Solar Electric System Design , Operation and Installation*. Washington State University Extension Energy Program, (October), 35.

Chandel, S. S., Naik, M. N., & Chandel, R. (2015). *Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies*, *49*, 1084–1099.

Diaconu, A., Fara, L., Sterian, P., Craciunescu, D., & Fara, S. (2017). *Results in Sizing and Simulation of PV Applications Based on Different Solar Cell Technologies*, 63–74. https://doi.org/10.4236/jpee.2017.51005

Gharehpetian, G. B., & Mousavi Agah, S. M. (2017). *Distributed generation systems: Design, operation and grid integration*.

Handoyo, E. A., Ichsani, D., & Prabowo. (2013). *The optimal tilt angle of a solar collector*. Energy Procedia, **32**, 166–175. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.022

Irwan, Y. M., Amelia, A. R., Irwanto, M., Fareq, M., Leow, W. Z., & Gomesh, N. (2015). Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) *System Assessment using PVSYST Software*, **79**, 596–603. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.539

K. Attari, A. El yaakoubi, Z. Leemrani, A. A. (2017). *Comparative performance investigation of mono , poly- crystalline and amorphous silicon photovoltaic modules under*, (June 2016).

Kaldellis, J. K., Zafirakis, D., & Kondili, E. (2010). *Electrical Power and Energy Systems Optimum sizing of photovoltaic-energy storage systems for autonomous small islands*, ***32***, 24–36. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.06.013

Kumar, A., & Dong-Shik. (2017). *Sustainability Practiceand Educationon*

University Campuses and Beyond. Bentham Science.

Kumar, N. (2015). *Comparative Analysis of Four Different Solar Photovoltaic Technologies*.

Kyi, M. S., Maw, L., & Tun, H. M. (2016). *Study Of Solar PV Sizing Of Water Pumping System For Irrigation Of Asparagus*, **5(06)**, 71–75.

Labouret, A., & Villoz, M. (2010). *Solar photovoltaic energy*. *Solar Photovoltaic Energy*. https://doi.org/10.1049/pbrn009e

Lawang, A. T., Setyaningsih, D., Syahbana, M., Pertanian, T. I., Pertanian, F. T., & Bogor, I. P. (2019). *Evaluation Clove Leaf Oil and Citronella Oil Compounds as A Bioaditive Solar Fuel to Reduce Emissions in Diesel Engine Combustion*, ***20*(2)**, 95–102.

Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. https://doi.org/10.1002/9780470974704

Machrafi, H. (2012). *Green Energy and Technology*.. https://doi.org/10.2174/97816080528511120101

Manoj, N., Prasad, R., Mathew, M., Jayakumar, A., & Kumar, N. (2019). *Case Studies in Thermal Engineering Performance , energy loss , and degradation prediction of roof- integrated crystalline solar PV system installed in Northern India*. Case Studies in Thermal Engineering, *13*(February), 100409. https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100409

Mansaray, K. G. (2017). Optimum Design of Solar Photovoltaic Pumping Systems by Computer, (September 2014).

Mehdipour, C., & Mohammadi, F. (2019). *Design and Analysis of a Stand-Alone Photovoltaic System for Footbridge Lighting*, ***4*(2)**, 85–91.

Mehmood, A., Waqas, A., & Mahmood, H. T. (2015). *Economic Viability of Solar Photovoltaic Water Pump for Sustainable Agriculture Growth in Pakistan*. Materials Today: Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.11.019

Muhammad, A., Utama, N. A., & Kristianto, M. A. (2014). *A Technical and Economic Potential of Solar Energy Application with Feed-in Tariff Policy in Indonesia*. Procedia Environmental Sciences, **20**, 89–96. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.013

Ogunmodimu, O., & Okoroigwe, E. C. (2018). *Concentrating solar power technologies for solar thermal grid electricity in Nigeria* : A review, *90*(May 2016).

Oyedokun, O. A., Achara, N., Muhammed, S. U., & O, O. I. (2017). *Design and Simulation of Solar Powered Water Pumping System for Irrigation Purpose in Kaduna , Nigeria*, **(6)**, 342–346.

Pina, A., Fournier, J., & Corre, O. Le. (2017). *CO^2 Mitigation in Residential Sector in Indonesia and Thailand* : Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor , Bundit district temperature function for a long-term heat demand forecast.

Qazi, S. (2017). *Fixed Standalone PV Systems for Disaster Relief and Remote Areas*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803022-6.00005-8

Rashid, M. H. (2011). *Alternative Energy in Power in Power Electronics*.

Romana, A., Setiawan, E. A., & Joyonegoro, K. (2018). *Comparison of two calculation methods for designing the solar electric power system for small islands*, *02052*, 1–6.

Sadan, N., & Road, A. (2016). *Handbook for photovoltaic systems*.

Sakiliba, S. K., Hassan, A. S., Wu, J., Sanneh, E. S., & Ademi, S. (2015). *Assessment of Stand-Alone Residential Solar Photovoltaic Application in Sub-Saharan Africa : A Case Study of Gambia*, *2015*.

Salas, V. (2017). *Stand-alone photovoltaic systems*. *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-336-2.00009-4

Saleh, A. Q., Supervisor, A.-S., & Altawil, I. A. (2013). *Design and Economic Evaluation of Electrification of Small Villages in Rural Areas in Yemen Using Stand -Alone Photovoltaic System*, ***6*(1)**.

Sanjaya, O. I., Giriantari, I. A. D., & Kumara, I. N. S. (2019). *Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Pertanian Subak Semaagung*, ***6*(3)**, 114–121.

Santoso, J. (2010). *Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik*. Jurusan Teknik

Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Sharma, R., Sharma, S., & Tiwari, S. (2019). *Design optimization of solar PV water pumping system*, Materials Today : Proceedings.

Solheim, L. (2013). *Scaling an Optimized PV-cluster as part of a Microgrid in Wawashang , Nicaragua*, (June).

The German Solar Energy Society, D. (2008). *Planning and Installing*.

Tim Umoette, A. (2016). *Development of Site Specific Optimal Tilt Angle Model for Fixed Tilted Plane PV Installation ın Akwa Ibom State, Nigeria*. Science Journal of Energy Engineering, ***4*(6)**, 50. https://doi.org/10.11648/j.sjee.20160406.11

Vengatesh, R. P., & Rajan, S. E. (2016). *Analysis of PV Module Connected in Different Configurations under Uniform and Non-Uniform Solar Radiations*, *5075*(July). https://doi.org/10.1080/15435075.2016.1207078

Yahyaoui, I., Tina, G., Chaabene, M., & Tadeo, F. (2015). *Design and Evaluation of a Renewable Water Pumping System*. IFAC-PapersOnLine, *48*(30), 462–467. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.12.422

Zaouche, F., Rekioua, D., & Gaubert, J. (2017). *Supervision and control strategy for photovoltaic generators with battery storage State of Charge*, ScienceDirect, 1–20.

Lampiran 1

Data Kebutuhan Air untuk Irigasi di Kecamatan Kalitengah

No	Nama Petani	Luas Lahan(m^2)	Kebutuhan Air (liter)
1	Kastiman	2.683	136.603
2	Matngali	2.740	139.505
3	Sopyan	2.886	146.939
4	Suwarti	1.292	65.781
5	Sawit	2.886	146.939
6	Sopyan	2.746	139.811
7	Sopyan	5.150	262.209
8	Dewi	2.944	149.892
9	Selamet	2.787	141.898
10	Supiyah	2.471	125.809
11	Matoyah	4.170	212.313
12	Musripah	3.150	160.380
13	Sajah	5.450	277.483
14	Samadi	1.361	69.294
15	Sawit	4.103	208.901
16	Kacung	1.345	68.480
17	Hj.tasmiyah	5.085	258.899
18	Sujono	2.508	127.693
19	Sawit	2.084	106.105
20	Sawit	8.598	437.761
21	Kasun kentong	5.696	290.008
22	Kaur kesra	5.750	292.757
23	Kasun dandang	5.757	293.114
24	Kepala desa	2.539	129.271
25	Niswatin	5.821	296.372
26	Abdul mali	2.070	105.393
	TOTAL	94.072	4.789.610

Lampiran 2

Data Kebutuhan Bahan Bakar untuk Pembibitan dan Penanaman di Kecamatan Kalitengah

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		Mei	Juni	Juli	Mei	Juni	Juli	Mei	Juni	Juli
1	Kastiman	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
2	Matngali	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
3	Sopyan	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
4	Suwarti	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
5	Sawit	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
6	Sopyan	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
7	Sopyan	22	11	11	22	11	11	267,74	133,87	133,87
8	Dewi	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
9	Selamet	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
10	Supiyah	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
11	Matoyah	16	8	8	16	8	8	194,72	97,36	97,36
12	Musripah	14	7	7	14	7	7	170,38	85,19	85,19
13	Sajah	22	11	11	22	11	11	267,74	133,87	133,87
14	Samadi	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
15	Sawit	16	8	8	16	8	8	194,72	97,36	97,36
16	Kacung	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
17	Hj.tasmiyah	20	10	10	20	10	10	243,40	121,7	121,7
18	Sujono	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
19	Sawit	8	4	4	8	4	4	97,36	48,68	48,68
20	Sawit	36	18	18	36	18	18	438,12	219,06	219,06
21	Kasun kentong	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
22	Kaur kesra	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
23	Kasun dandang	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
24	Kepala desa	10	5	5	10	5	5	121,70	60,85	60,85
25	Niswatin	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
26	Abdul mali	8	4	4	8	4	4	97,36	48,68	48,68
	TOTAL	382	191	191	382	191	191	4.648,94	2.324,5	2.324,5

Lampiran 3

Data Kebutuhan Air untuk Irigasi di Kecamatan Karanggeneng

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (liter)
1	Nasir	2.100	106.920
2	Kasnawi	5.600	285.120
3	Maji	2.100	106.920
4	Saleh	1.400	71.280
5	Lasipin	7.000	356.400
6	Sentono	1.400	71.280
7	Muliono	3.500	178.200
8	Rokim	4.620	235.224
9	Ratiman	3.500	178.200
10	Marwan	4.200	213.840
11	Juma'in	5.600	285.120
12	Solikin	1.400	71.280
13	Khoirul	4.620	235.224
14	Matari	6.300	320.760
15	Suparjo	2.800	142.560
16	Matzaini	2.800	142.560
17	Ja'is	2.100	106.920
18	H.Sulikin	7.000	356.400
19	Moh.khasan	6.300	320.760
20	Wakid	1.400	71.280
21	Moh.lazim	2.800	142.560
22	H.Suwono	1.400	71.280
23	Kebayan	6.300	320.760
24	Sakri	4.620	235.224
25	Pariyo	6.300	320.760
26	Yaji	3.920	199.584
	TOTAL	101.080	5.146.416

Lampiran 4.A

Data kebutuhan Bahan Bakar untuk Pembibitan dan Penanaman di Kecamatan Karanggeneng Musim Hujan

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)	Kebutuhan	
		Pembibitan	Bahan Bakar (Liter)	Konsumsi Beban (kWh)
		Januari	Januari	Januari
1	Nasir	4	4	48,68
2	Kasnawi	12	12	146,04
3	Maji	4	4	48,68
4	Saleh	3	3	36,51
5	Lasipin	15	15	182,55
6	Sentono	3	3	36,51
7	Muliono	7	7	85,19
8	Rokim	9	9	109,53
9	Ratiman	7	7	85,19
10	Marwan	9	9	109,53
11	Juma'in	12	12	146,04
12	Solikin	3	3	36,51
13	Khoirul	9	9	109,53
14	Matari	13	13	158,21
15	Suparjo	6	6	73,02
16	Matzaini	6	6	73,02
17	Ja'is	4	4	48,68
18	H.Sulikin	15	15	182,55
19	Moh.khasan	13	13	158,21
20	Wakid	3	3	36,51
21	Moh.lazim	6	6	73,02
22	H.Suwono	3	3	36,51
23	Kebayan	13	13	158,21
24	Sakri	9	9	109,53
25	Pariyo	13	13	158,21
26	Yaji	8	8	97,36
	TOTAL	209	209	2.543,53

Lampiran 4.B

Data Kebutuhan Bahan Bakar untuk Pembibitan dan Penanaman di Kecamatan karanggeneng Musim Kemarau

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		Mei	Juni	Juli	Mei	Juni	Juli	Mei	Juni	Juli
1	Nasir	8	4	4	8	4	4	97,36	48,68	48,68
2	Kasnawi	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
3	Maji	8	4	4	8	4	4	97,36	48,68	48,68
4	Saleh	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
5	Lasipin	30	15	15	30	15	15	365,1	182,55	182,55
6	Sentono	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
7	Muliono	14	7	7	14	7	7	170,38	85,19	85,19
8	Rokim	18	9	9	18	9	9	219,06	109,53	109,53
9	Ratiman	14	7	7	14	7	7	170,38	85,19	85,19
10	Marwan	18	9	9	18	9	9	219,06	109,53	109,53
11	Juma'in	24	12	12	24	12	12	292,08	146,04	146,04
12	Solikin	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
13	Khoirul	18	9	9	18	9	9	219,06	109,53	109,53
14	Matari	26	13	13	26	13	13	316,42	158,21	158,21
15	Suparjo	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
16	Matzaini	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
17	Ja'is	8	4	4	8	4	4	97,36	48,68	48,68
18	H.Sulikin	30	15	15	30	15	15	365,1	182,55	182,55
19	Moh.khasan	26	13	13	26	13	13	316,42	158,21	158,21
20	Wakid	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
21	Moh.lazim	12	6	6	12	6	6	146,04	73,02	73,02
22	H.Suwono	6	3	3	6	3	3	73,02	36,51	36,51
23	Kebayan	26	13	13	26	13	13	316,42	158,21	158,21
24	Sakri	18	9	9	18	9	9	219,06	109,53	109,53
25	Pariyo	26	13	13	26	13	13	316,42	158,21	158,21
26	Yaji	16	8	8	16	8	8	194,72	97,36	97,36
	TOTAL	418	209	209	418	209	209	5.087,06	2.543,53	2.543,53

Lampiran 5

Data Kebutuhan Air untuk Irigasi Kecamatan Pucuk

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (Liter)	
			Musim hujan	Musim Kemarau
1	Kaswar	707	263.520	329.400
2	H.Sutaeni	1.371	592.920	922.320
3	Nur Arifin	649	263.520	395.280
4	yasan	686	263.520	461.160
5	H.Sukoco	1.982	922.320	1.383.480
6	H.Sukoco	2.240	1.054.080	1.581.120
7	H.Muchid	2.111	988.200	1.449.360
8	H.Muchid	2.228	988.200	1.515.240
9	Kardiyah	1.355	592.920	922.320
10	kohar	2.238	988.200	1.515.240
11	munjid	761	329.400	527.040
12	H.Abd Wahab	2.028	922.320	1.383.480
13	H.Abd Wahab	2.095	922.320	1.449.360
14	H.Abd Wahab	2.038	922.320	1.383.480
15	H.Abd Wahab	968	395.280	658.800
16	H.Abd Wahab	598	263.520	395.280
17	H.Abd Wahab	1.384	592.920	922.320
18	H.Abd Wahab	2.149	988.200	1.515.240
19	Nur Arifin	1.177	527.040	790.560
20	Nur Arifin	1.026	461.160	658.800
21	Nur Arifin	746	329.400	461.160
22	Nur Arifin	1.393	592.920	922.320
23	Sulkan	1.032	461.160	724.680
24	Kardiyah	758	329.400	527.040
25	h.supriadi	2.111	988.200	1.449.360
26	h.supriadi	1.342	592.920	922.320
27	h.supriadi	2.304	1.054.080	1.581.120
28	kohar	1.299	592.920	856.440
29	tarmuji	806	329.400	527.040
30	kasmin	591	263.520	395.280
31	kasmin	692	263.520	461.160

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (Liter)	
			Musim hujan	Musim Kemarau
32	kasmin	754	329.400	527.040
34	kasbola	1.469	658.800	988.200
35	H.Wahab	649	263.520	395.280
36	Soetarjo	748	329.400	527.040
37	H.Syukur/Raji	761	329.400	527.040
38	H.Syukur/Raji	677	263.520	461.160
39	H.Syukur/Raji	639	263.520	395.280
40	H.Sutaeni	1.098	461.160	724.680
41	H.Sutaeni	561	263.520	395.280
42	H.Sutaeni	1.340	592.920	922.320
43	Supriyo	788	329.400	527.040
44	Supriyo	2.063	922.320	1.449.360
45	H.Abdul Wahab	2.135	988.200	1.449.360
46	H.Abdul Wahab	649	263.520	395.280
47	Tamyis	385	131.760	263.520
48	H.Sukoco	729	329.400	461.160
49	Mutasam	642	263.520	395.280
50	Sulkan	634	263.520	395.280
51	kohar	637	263.520	395.280
52	m.bahrosni	548	197.640	329.400
53	munjid	720	329.400	461.160
54	sujianto	1.279	592.920	856.440
55	Muntabah	722	329.400	461.160
57	Muraji	810	329.400	527.040
58	mashari	748	329.400	527.040
59	h.supriadi	1.404	658.800	988.200
60	h.ridwan	729	329.400	461.160
61	h.ridwan	629	263.520	395.280
62	H.Abdul Wahab	2.186	988.200	1.515.240
63	Nur Arifin	2.169	988.200	1.515.240
64	H.Muchid	2.270	1.054.080	1.581.120
65	H.Muchid	2.034	922.320	1.383.480
66	H.Muchid	2.242	1.054.080	1.581.120
67	Tamyis	286	131.760	197.640
68	H.Muchid	153	65.880	65.880

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (Liter)	
			Musim hujan	Musim Kemarau
69	kustianah	104	65.880	65.880
70	Narim	518	197.640	197.640
71	Soetarjo	153	65.880	65.880
72	Sulastri	136	65.880	65.880
73	Koirul	683	263.520	461.160
74	Mundir	252	65.880	131.760
75	H.Syukur/Raji	387	131.760	263.520
76	Kaswar	116	65.880	65.880
77	H.Sutaeni	265	65.880	131.760
78	Muntabah	381	131.760	263.520
79	Supriyo	598	263.520	395.280
80	H.Wahab	1.213	527.040	790.560
81	H.Wahab	544	197.640	329.400
82	H.Wahab	1.305	592.920	856.440
83	H.Wahab	262	65.880	131.760
84	H.Wahab	382	131.760	263.520
85	Rokim	238	65.880	131.760
86	Rokim	163	65.880	65.880
87	saki	245	65.880	131.760
88	Nur Arifin	167	65.880	65.880
89	Nur Arifin	180	65.880	65.880
90	Yasan	158	65.880	65.880
91	Tamyis	105	65.880	65.880
92	Tamyis	126	65.880	65.880
93	H.Salekah	120	65.880	65.880
94	Mujiono	172	65.880	65.880
95	Astro marim	193	65.880	131.760
96	Dewi nurkuyomah	365	131.760	197.640
97	Muslimin	365	131.760	197.640
98	H.Sukoco	163	65.880	65.880
99	H.Muchid	422	197.640	263.520
100	Mutasam	449	197.640	263.520
101	Warsit	294	131.760	197.640
102	Dewi Anjani	177	65.880	65.880
103	Monari	286	131.760	197.640

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (Liter)	
			Musim hujan	Musim Kemarau
104	Sulkan	275	65.880	131.760
105	Warimpen	223	65.880	131.760
106	Wakini	360	131.760	197.640
107	Kardiyah	172	65.880	65.880
108	Muraji	210	65.880	131.760
109	Rais p.Genduk	235	65.880	131.760
110	Satun	121	65.880	65.880
111	Satun	113	65.880	65.880
112	Satun	113	65.880	65.880
113	pandeli	132	65.880	65.880
115	legoh	170	65.880	65.880
116	sukimah	279	65.880	131.760
117	warjono	317	131.760	197.640
118	sutomo	202	65.880	131.760
119	khorul huda	96	65.880	65.880
120	Esti	157	65.880	65.880
121	Endang	152	65.880	65.880
122	Kusnati	67	65.880	65.880
123	murjadi	94	65.880	65.880
124	karminten	352	131.760	197.640
125	maslan	383	131.760	263.520
126	karmidi	226	65.880	65.880
127	h.supriadi	1.885	856.440	1.317.600
128	h.ridwan	102	65.880	65.880
129	takif	150	65.880	65.880
130	m.bahrosni	760	329.400	527.040
131	m.bahrosni	541	197.640	329.400
132	bakri cs	188	65.880	131.760
133	Sumartiyah	284	131.760	197.640
134	sulkan	380	131.760	263.520
135	marem/mua'lip	176	65.880	65.880
136	mata'in	171	65.880	65.880
137	tasam	293	131.760	197.640
138	kasmin	290	131.760	197.640
139	kasiadi	139	65.880	65.880

No	Nama Petani	Luas Lahan (m^2)	Kebutuhan Air (Liter)	
			Musim hujan	Musim Kemarau
140	kasbola	189	65.880	131.760
141	pujiono	86	65.880	65.880
142	sutiyah	780	329.400	527.040
143	zen subekti	167	65.880	65.880
	TOTAL	102.725	44.732.520	67.395.240

Lampiran 6.A

Data kebutuhan Bahan Bakar untuk Pembibitan dan Penanaman di Kecamatan Pucuk Musim Hujan

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)		Kebutuhan			
		Pembibitan	Penanaman	Bahan Bakar (Liter)		Konsumsi Beban (kWh)	
		Desember	Januari	Desember	Januari	Desember	Januari
1	Kaswar	8	4	8	4	78,4	39,2
2	H.Sutaeni	18	9	18	9	176,4	88,2
3	Nur Arifin	8	4	8	4	78,4	39,2
4	yasan	8	4	8	4	78,4	39,2
5	H.Sukoco	28	14	28	14	274,4	137,2
6	H.Sukoco	32	16	32	16	313,6	156,8
7	H.Muchid	30	15	30	15	294	147
8	H.Muchid	30	15	30	15	294	147
9	Kardiyah	18	9	18	9	176,4	88,2
10	kohar	30	15	30	15	294	147
11	munjid	10	5	10	5	98	49
12	H.Abd Wahab	28	14	28	14	274,4	137,2
13	H.Abd Wahab	28	14	28	14	274,4	137,2
14	H.Abd Wahab	28	14	28	14	274,4	137,2
15	H.Abd Wahab	12	6	12	6	117,6	58,8
16	H.Abd Wahab	8	4	8	4	78,4	39,2
17	H.Abd Wahab	18	9	18	9	176,4	88,2
18	H.Abd Wahab	30	15	30	15	294	147
19	Nur Arifin	16	8	16	8	156,8	78,4
20	Nur Arifin	14	7	14	7	137,2	68,6
21	Nur Arifin	10	5	10	5	98	49
22	Nur Arifin	18	9	18	9	176,4	88,2
23	Sulkan	14	7	14	7	137,2	68,6
24	Kardiyah	10	5	10	5	98	49
25	h.supriadi	30	15	30	15	294	147
26	h.supriadi	18	9	18	9	176,4	88,2
27	h.supriadi	32	16	32	16	313,6	156,8
28	kohar	18	9	18	9	176,4	88,2
29	tarmuji	10	5	10	5	98	49
30	kasmin	8	4	8	4	78,4	39,2

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)		Kebutuhan			
		Pembibitan	Penanaman	Bahan Bakar (Liter)		Konsumsi Beban (kWh)	
		Desember	Januari	Desember	Januari	Desember	Januari
31	kasmin	8	4	8	4	78,4	39,2
32	kasmin	10	5	10	5	98	49
33	kaswati	10	5	10	5	98	49
34	kasbola	20	10	20	10	196	98
35	H.Wahab	8	4	8	4	78,4	39,2
36	Soetarjo	10	5	10	5	98	49
37	H.Syukur/Raji	10	5	10	5	98	49
38	H.Syukur/Raji	8	4	8	4	78,4	39,2
39	H.Syukur/Raji	8	4	8	4	78,4	39,2
40	H.Sutaeni	14	7	14	7	137,2	68,6
41	H.Sutaeni	8	4	8	4	78,4	39,2
42	H.Sutaeni	18	9	18	9	176,4	88,2
43	Supriyo	10	5	10	5	98	49
44	Supriyo	28	14	28	14	274,4	137,2
45	H.Abdul Wahab	30	15	30	15	294	147
46	H.Abdul Wahab	8	4	8	4	78,4	39,2
47	Tamyis	4	2	4	2	39,2	19,6
48	H.Sukoco	10	5	10	5	98	49
49	Mutasam	8	4	8	4	78,4	39,2
50	Sulkan	8	4	8	4	78,4	39,2
51	kohar	8	4	8	4	78,4	39,2
52	m.bahrosni	6	3	6	3	58,8	29,4
53	munjid	10	5	10	5	98	49
54	sujianto	18	9	18	9	176,4	88,2
55	Muntabah	10	5	10	5	98	49
57	Muraji	10	5	10	5	98	49
58	mashari	10	5	10	5	98	49
59	h.supriadi	20	10	20	10	196	98
60	h.ridwan	10	5	10	5	98	49
61	h.ridwan	8	4	8	4	78,4	39,2
62	H.Abdul Wahab	30	15	30	15	294	147
63	Nur Arifin	30	15	30	15	294	147
64	H.Muchid	32	16	32	16	313,6	156,8
65	H.Muchid	28	14	28	14	274,4	137,2

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)		Kebutuhan			
		Pembibitan	Penanaman	Bahan Bakar (Liter)		Konsumsi Beban (kWh)	
		Desember	Januari	Desember	Januari	Desember	Januari
66	H.Muchid	32	16	32	16	313,6	156,8
67	Tamyis	4	2	4	2	39,2	19,6
68	H.Muchid	2	1	2	1	19,6	9,8
69	kustianah	2	1	2	1	19,6	9,8
70	Narim	6	3	6	3	58,8	29,4
71	Soetarjo	2	1	2	1	19,6	9,8
72	Sulastri	2	1	2	1	19,6	9,8
73	Koirul	8	4	8	4	78,4	39,2
74	Mundir	2	1	2	1	19,6	9,8
75	H.Syukur/Raji	4	2	4	2	39,2	19,6
76	Kaswar	2	1	2	1	19,6	9,8
77	H.Sutaeni	2	1	2	1	19,6	9,8
78	Muntabah	4	2	4	2	39,2	19,6
79	Supriyo	8	4	8	4	78,4	39,2
80	H.Wahab	16	8	16	8	156,8	78,4
81	H.Wahab	6	3	6	3	58,8	29,4
82	H.Wahab	18	9	18	9	176,4	88,2
83	H.Wahab	2	1	2	1	19,6	9,8
84	H.Wahab	4	2	4	2	39,2	19,6
85	Rokim	2	1	2	1	19,6	9,8
86	Rokim	2	1	2	1	19,6	9,8
87	saki	2	1	2	1	19,6	9,8
88	Nur Arifin	2	1	2	1	19,6	9,8
89	Nur Arifin	2	1	2	1	19,6	9,8
90	Yasan	2	1	2	1	19,6	9,8
91	Tamyis	2	1	2	1	19,6	9,8
92	Tamyis	2	1	2	1	19,6	9,8
93	H.Salekah	2	1	2	1	19,6	9,8
94	Mujiono	2	1	2	1	19,6	9,8
95	Astro marim	2	1	2	1	19,6	9,8
96	Dewi nurkuyomah	4	2	4	2	39,2	19,6
97	Muslimin	4	2	4	2	39,2	19,6
98	H.Sukoco	2	1	2	1	19,6	9,8
99	H.Muchid	6	3	6	3	58,8	29,4
100	Mutasam	6	3	6	3	58,8	29,4

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)		Kebutuhan			
		Pembibitan	Penanaman	Bahan Bakar (Liter)		Konsumsi Beban (kWh)	
		Desember	Januari	Desember	Januari	Desember	Januari
101	Warsit	4	2	4	2	39,2	19,6
102	Dewi Anjani	2	1	2	1	19,6	9,8
103	Monari	4	2	4	2	39,2	19,6
104	Sulkan	2	1	2	1	19,6	9,8
105	Warimpen	2	1	2	1	19,6	9,8
106	Wakini	4	2	4	2	39,2	19,6
107	Kardiyah	2	1	2	1	19,6	9,8
108	Muraji	2	1	2	1	19,6	9,8
109	Rais p.Genduk	2	1	2	1	19,6	9,8
110	Satun	2	1	2	1	19,6	9,8
111	Satun	2	1	2	1	19,6	9,8
112	Satun	2	1	2	1	19,6	9,8
113	pandeli	2	1	2	1	19,6	9,8
114	herman	2	1	2	1	19,6	9,8
115	legoh	2	1	2	1	19,6	9,8
116	sukimah	2	1	2	1	19,6	9,8
117	warjono	4	2	4	2	39,2	19,6
118	sutomo	2	1	2	1	19,6	9,8
119	khorul huda	2	1	2	1	19,6	9,8
120	Esti	2	1	2	1	19,6	9,8
121	Endang	2	1	2	1	19,6	9,8
122	Kusnati	2	1	2	1	19,6	9,8
123	murjadi	2	1	2	1	19,6	9,8
124	karminten	4	2	4	2	39,2	19,6
125	maslan	4	2	4	2	39,2	19,6
126	karmidi	2	1	2	1	19,6	9,8
127	h.supriadi	26	13	26	13	254,8	127,4
128	h.ridwan	2	1	2	1	19,6	9,8
129	takif	2	1	2	1	19,6	9,8
130	m.bahrosni	10	5	10	5	98	49
131	m.bahrosni	6	3	6	3	58,8	29,4
132	bakri cs	2	1	2	1	19,6	9,8
133	Sumartiyah	4	2	4	2	39,2	19,6
134	sulkan	4	2	4	2	39,2	19,6
135	marem/mua'lip	2	1	2	1	19,6	9,8

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)		Kebutuhan			
		Pembibitan	Penanaman	Bahan Bakar (Liter)		Konsumsi Beban (kWh)	
		Desember	Januari	Desember	Januari	Desember	Januari
136	mata'in	2	1	2	1	19,6	9,8
137	tasam	4	2	4	2	39,2	19,6
138	kasmin	4	2	4	2	39,2	19,6
139	kasiadi	2	1	2	1	19,6	9,8
140	kasbola	2	1	2	1	19,6	9,8
141	pujiono	2	1	2	1	19,6	9,8
142	sutiyah	10	5	10	5	98	49
143	zen subekti	2	1	2	1	19,6	9,8
	TOTAL	1.358	679	1.358	679	13.308,4	6.654,2

Lampiran 6.B

Data kebutuhan Bahan Bakar untuk Pembibitan dan Penanaman di Kecamatan Pucuk Musim Kemarau

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		April	Mei	Juni	April	Mei	Juni	April	Mei	Juni
1	Kaswar	5	10	10	5	10	10	49	98	98
2	H.Sutaeni	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
3	Nur Arifin	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
4	yasan	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
5	H.Sukoco	21	42	42	21	42	42	205,8	411,6	411,6
6	H.Sukoco	24	48	48	24	48	48	235,2	470,4	470,4
7	H.Muchid	22	44	44	22	44	44	215,6	431,2	431,2
8	H.Muchid	23	46	46	23	46	46	225,4	450,8	450,8
9	Kardiyah	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
10	kohar	23	46	46	23	46	46	225,4	450,8	450,8
11	munjid	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
12	H.Abd Wahab	21	42	42	21	42	42	205,8	411,6	411,6
13	H.Abd Wahab	22	44	44	22	44	44	215,6	431,2	431,2
14	H.Abd Wahab	21	42	42	21	42	42	205,8	411,6	411,6
15	H.Abd Wahab	10	20	20	10	20	20	98	196	196
16	H.Abd Wahab	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
17	H.Abd Wahab	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
18	H.Abd Wahab	23	46	46	23	46	46	225,4	450,8	450,8
19	Nur Arifin	12	24	24	12	24	24	117,6	235,2	235,2
20	Nur Arifin	10	20	20	10	20	20	98	196	196
21	Nur Arifin	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
22	Nur Arifin	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
23	Sulkan	11	22	22	11	22	22	107,8	215,6	215,6
24	Kardiyah	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
25	h.supriadi	22	44	44	22	44	44	215,6	431,2	431,2
26	h.supriadi	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
27	h.supriadi	24	48	48	24	48	48	235,2	470,4	470,4
28	kohar	13	26	26	13	26	26	127,4	254,8	254,8
29	tarmuji	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
30	kasmin	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		April	Mei	Juni	April	Mei	Juni	April	Mei	Juni
31	kasmin	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
32	kasmin	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
33	kaswati	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
34	kasbola	15	30	30	15	30	30	147	294	294
35	H.Wahab	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
36	Soetarjo	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
37	H.Syukur/Raji	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
38	H.Syukur/Raji	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
39	H.Syukur/Raji	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
40	H.Sutaeni	11	22	22	11	22	22	107,8	215,6	215,6
41	H.Sutaeni	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
42	H.Sutaeni	14	28	28	14	28	28	137,2	274,4	274,4
43	Supriyo	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
44	Supriyo	22	44	44	22	44	44	215,6	431,2	431,2
45	H.Abdul Wahab	22	44	44	22	44	44	215,6	431,2	431,2
46	H.Abdul Wahab	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
47	Tamyis	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
48	H.Sukoco	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
49	Mutasam	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
50	Sulkan	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
51	kohar	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
52	m.bahrosni	5	10	10	5	10	10	49	98	98
53	munjid	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
54	sujianto	13	26	26	13	26	26	127,4	254,8	254,8
55	Muntabah	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
57	Muraji	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
58	mashari	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
59	h.supriadi	15	30	30	15	30	30	147	294	294
60	h.ridwan	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
61	h.ridwan	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
62	H.Abdul Wahab	23	46	46	23	46	46	225,4	450,8	450,8
63	Nur Arifin	23	46	46	23	46	46	225,4	450,8	450,8
64	H.Muchid	24	48	48	24	48	48	235,2	470,4	470,4
65	H.Muchid	21	42	42	21	42	42	205,8	411,6	411,6

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		April	Mei	Juni	April	Mei	Juni	April	Mei	Juni
66	H.Muchid	24	48	48	24	48	48	235,2	470,4	470,4
67	Tamyis	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
68	H.Muchid	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
69	kustianah	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
70	Narim	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
71	Soetarjo	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
72	Sulastri	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
73	Koirul	7	14	14	7	14	14	68,6	137,2	137,2
74	Mundir	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
75	H.Syukur/Raji	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
76	Kaswar	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
77	H.Sutaeni	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
78	Muntabah	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
79	Supriyo	6	12	12	6	12	12	58,8	117,6	117,6
80	H.Wahab	12	24	24	12	24	24	117,6	235,2	235,2
81	H.Wahab	5	10	10	5	10	10	49	98	98
82	H.Wahab	13	26	26	13	26	26	127,4	254,8	254,8
83	H.Wahab	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
84	H.Wahab	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
85	Rokim	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
86	Rokim	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
87	saki	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
88	Nur Arifin	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
89	Nur Arifin	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
90	Yasan	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
91	Tamyis	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
92	Tamyis	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
93	H.Salekah	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
94	Mujiono	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
95	Astro marim	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
96	Dewi nurkuyomah	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
97	Muslimin	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
98	H.Sukoco	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
99	H.Muchid	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
100	Mutasam	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		April	Mei	Juni	April	Mei	Juni	April	Mei	Juni
101	Warsit	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
102	Dewi Anjani	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
103	Monari	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
104	Sulkan	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
105	Warimpen	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
106	Wakini	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
107	Kardiyah	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
108	Muraji	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
109	Rais p.Genduk	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
110	Satun	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
111	Satun	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
112	Satun	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
113	pandeli	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
114	herman	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
115	legoh	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
116	sukimah	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
117	warjono		0	0		0	0	0	0	0
118	sutomo	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
119	khorul huda	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
120	Esti	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
121	Endang	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
122	Kusnati	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
123	murjadi	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
124	karminten	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
125	maslan	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
126	karmidi	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
127	h.supriadi	20	40	40	20	40	40	196	392	392
128	h.ridwan	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
129	takif	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
130	m.bahrosni	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
131	m.bahrosni	5	10	10	5	10	10	49	98	98
132	bakri cs	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
133	Sumartiyah	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
134	sulkan	4	8	8	4	8	8	39,2	78,4	78,4
135	marem/mua'lip	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6

No	Nama Petani	Lama Pemompaan (Jam)			Kebutuhan					
		Pembibitan	Penanaman		Bahan Bakar (Liter)			Konsumsi Beban (kWh)		
		April	Mei	Juni	April	Mei	Juni	April	Mei	Juni
136	mata'in	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
137	tasam	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
138	kasmin	3	6	6	3	6	6	29,4	58,8	58,8
139	kasiadi	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
140	kasbola	2	4	4	2	4	4	19,6	39,2	39,2
141	pujiono	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
142	sutiyah	8	16	16	8	16	16	78,4	156,8	156,8
143	zen subekti	1	2	2	1	2	2	9,8	19,6	19,6
	TOTAL	1.023	2.046	2.046	1.023	2.046	2.046	10.025,4	20.050,8	20.050,8

Lampiran 7

Perhitungan Biaya LCC

- **Kecamatan Kalitengah**

Skenario 1

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	70	Rp 1.391.022,75	Rp 97.371.593
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 399.679.872

Biaya investasi awal	Rp	399.679.872
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.996.799
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	54.756.143
Biaya LCC	Rp	454.436.015

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	70	Rp 1.254.945,25	Rp 87.846.168
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 390.154.447

Biaya investasi awal	Rp	390.154.447
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.901.544
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	53.451.159
Biaya LCC	Rp	443.605.607

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	90	Rp 1.070.017,50	Rp 96.301.575
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 398.609.855

Biaya investasi awal	Rp	398.609.855
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.986.099
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	54.609.550
Biaya LCC	Rp	453.219.405

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	90	Rp 965.342,50	Rp 86.880.825
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 389.189.105

Biaya investasi awal	Rp	389.189.105
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.891.891
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	53.318.907
Biaya LCC	Rp	442.508.012

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Ponokristalin 325 Wp	68	Rp 1.391.022,75	Rp 94.589.547
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 370.397.827
	Biaya investasi awal			Rp 370.397.827
	Pemeliharaan dan operasional			Rp 3.703.978
	Nilai sekarang dari biaya PLTS			Rp 50.744.502
	Biaya LCC			Rp 421.142.329

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	68	Rp 1.254.945,25	Rp 85.336.277
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 361.144.557
	Biaya investasi awal			Rp 361.144.557
	Pemeliharaan dan operasional			Rp 3.611.446
	Nilai sekarang dari biaya PLTS			Rp 49.476.804
	Biaya LCC			Rp 410.621.361

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	88	Rp 1.070.017,50	Rp 94.161.540
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 369.969.820

Biaya investasi awal	Rp	369.969.820
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.699.698
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	50.685.865
Biaya LCC	Rp	420.655.685

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	88	Rp 965.342,50	Rp 84.950.140
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	112	Rp 2.093.377,50	Rp 234.458.280
	TOTAL			Rp 360.758.420

Biaya investasi awal	Rp	360.758.420
Pemeliharaan dan operasional	Rp	3.607.584
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	49.423.904
Biaya LCC	Rp	410.182.324

Skenario 2

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	70	Rp 1.391.022,75	Rp 97.371.593
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 516.909.012

Biaya investasi awal	Rp	516.909.012
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.169.090
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	70.816.535
Biaya LCC	Rp	587.725.547

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	70	Rp 1.254.945,25	Rp 87.846.168
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 507.383.587

Biaya investasi awal	Rp	507.383.587
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.073.836
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	69.511.551
Biaya LCC	Rp	576.895.139

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	90	Rp 1.070.017,50	Rp 96.301.575
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 515.838.995

Biaya investasi awal	Rp	515.838.995
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.158.390
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	70.669.942
Biaya LCC	Rp	586.508.937

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	90	Rp 965.342,50	Rp 86.880.825
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 506.418.245

Biaya investasi awal	Rp	506.418.245
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.064.182
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	69.379.300
Biaya LCC	Rp	575.797.545

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	68	Rp 1.391.022,75	Rp 94.589.547
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 487.626.967

Biaya investasi awal	Rp	487.626.967
Pemeliharaan dan operasional	Rp	4.876.270
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	66.804.894
Biaya LCC	Rp	554.431.861

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	68	Rp 1.254.945,25	Rp 85.336.277
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 478.373.697

Biaya investasi awal	Rp	478.373.697
Pemeliharaan dan operasional	Rp	4.783.737
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	65.537.196
Biaya LCC	Rp	543.910.893

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	88	Rp 1.070.017,50	Rp 94.161.540
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 487.198.960

Biaya investasi awal	Rp	487.198.960
Pemeliharaan dan operasional	Rp	4.871.990
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	66.746.258
Biaya LCC	Rp	553.945.218

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	88	Rp 965.342,50	Rp 84.950.140
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	168	Rp 2.093.377,50	Rp 351.687.420
	TOTAL			Rp 477.987.560

Biaya investasi awal	Rp	477.987.560
Pemeliharaan dan operasional	Rp	4.779.876
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	65.484.296
Biaya LCC	Rp	543.471.856

Skenario 3

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	70	Rp 1.391.022,75	Rp 97.371.593
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 634.138.152

Biaya investasi awal	Rp	634.138.152
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.341.382
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	86.876.927
Biaya LCC	Rp	721.015.079

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	70	Rp 1.254.945,25	Rp 87.846.168
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 624.612.727

Biaya investasi awal	Rp	624.612.727
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.246.127
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	85.571.944
Biaya LCC	Rp	710.184.671

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	90	Rp 1.070.017,50	Rp 96.301.575
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 633.068.135
	Biaya investasi awal			Rp 633.068.135
	Pemeliharaan dan operasional			Rp 6.330.681
	Nilai sekarang dari biaya PLTS			Rp 86.730.334
	Biaya LCC			Rp 719.798.469

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	90	Rp 965.342,50	Rp 86.880.825
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	26	Rp 2.230.769,23	Rp 57.999.999
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 623.647.385
	Biaya investasi awal			Rp 623.647.385
	Pemeliharaan dan operasional			Rp 6.236.474
	Nilai sekarang dari biaya PLTS			Rp 85.439.692
	Biaya LCC			Rp 709.087.077

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	68	Rp 1.391.022,75	Rp 94.589.547
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 604.856.107

Biaya investasi awal	Rp	604.856.107
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.048.561
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	82.865.287
Biaya LCC	Rp	687.721.394

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	68	Rp 1.254.945,25	Rp 85.336.277
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 595.602.837

Biaya investasi awal	Rp	595.602.837
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.956.028
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	81.597.589
Biaya LCC	Rp	677.200.426

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	88	Rp 1.070.017,50	Rp 94.161.540
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 604.428.100

Biaya investasi awal	Rp 604.428.100
Pemeliharaan dan operasional	Rp 6.044.281
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 82.806.650
Biaya LCC	Rp 687.234.750

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	88	Rp 965.342,50	Rp 84.950.140
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	9	Rp 3.500.000,00	Rp 31.500.000
4	Baterai	224	Rp 2.093.377,50	Rp 468.916.560
	TOTAL			Rp 595.216.700

Biaya investasi awal	Rp 595.216.700
Pemeliharaan dan operasional	Rp 5.952.167
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 81.544.688
Biaya LCC	Rp 676.761.388

Kecamatan Karanggeneng

Skenario 1

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	146	Rp 1.391.022,75	Rp 203.089.322
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	55	Rp 2.230.769,23	Rp 122.692.307
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 595.210.439

Biaya investasi awal	Rp	595.210.439
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.952.104
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	81.543.830
Biaya LCC	Rp	676.754.269

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	144	Rp 1.254.945,25	Rp 180.712.116
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	54	Rp 2.230.769,23	Rp 120.461.538
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 570.602.464

Biaya investasi awal	Rp	570.602.464
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.706.025
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	78.172.538
Biaya LCC	Rp	648.775.002

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	190	Rp 1.070.017,50	Rp 203.303.325
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	55	Rp 2.230.769,23	Rp 122.692.307
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 595.424.443

Biaya investasi awal	Rp	595.424.443
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.954.244
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	81.573.149
Biaya LCC	Rp	676.997.591

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	188	Rp 965.342,50	Rp 181.484.390
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	54	Rp 2.230.769,23	Rp 120.461.538
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 571.374.738

Biaya investasi awal	Rp	571.374.738
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.713.747
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	78.278.339
Biaya LCC	Rp	649.653.078

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	138	Rp 1.391.022,75	Rp 191.961.140
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	18	Rp 3.500.000,00	Rp 63.000.000,00
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810,00
	TOTAL			Rp 524.389.950

Biaya investasi awal	Rp	524.389.950
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.243.899
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	71.841.423
Biaya LCC	Rp	596.231.373

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	138	Rp 1.254.945,25	Rp 173.182.445
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	18	Rp 3.500.000,00	Rp 63.000.000,00
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810,00
	TOTAL			Rp 505.611.255

Biaya investasi awal	Rp	505.611.255
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.056.113
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	69.268.742
Biaya LCC	Rp	574.879.996

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	180	Rp 1.070.017,50	Rp 192.603.150
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	18	Rp 3.500.000,00	Rp 63.000.000
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 525.031.960

Biaya investasi awal	Rp	525.031.960
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.250.320
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	71.929.379
Biaya LCC	Rp	596.961.339

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	180	Rp 965.342,50	Rp 173.761.650
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	18	Rp 3.500.000,00	Rp 63.000.000
4	Baterai	124	Rp 2.093.377,50	Rp 259.578.810
	TOTAL			Rp 506.190.460

Biaya investasi awal	Rp	506.190.460
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.061.905
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	69.348.093
Biaya LCC	Rp	575.538.553

Skenario 2

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	96	Rp 1.391.022,75	Rp 133.538.184
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 608.877.336

Biaya investasi awal	Rp	608.877.336
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.088.773
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	83.416.195
Biaya LCC	Rp	692.293.531

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	94	Rp 1.254.945,25	Rp 117.964.854
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 593.304.006

Biaya investasi awal	Rp	593.304.006
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.933.040
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	81.282.649
Biaya LCC	Rp	674.586.655

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	124	Rp 1.070.017,50	Rp 132.682.170
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 608.021.322

Biaya investasi awal	Rp 608.021.322
Pemeliharaan dan operasional	Rp 6.080.213
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 83.298.921
Biaya LCC	Rp 691.320.243

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	124	Rp 965.342,50	Rp 119.702.470
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 595.041.622

Biaya investasi awal	Rp 595.041.622
Pemeliharaan dan operasional	Rp 5.950.416
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 81.520.702
Biaya LCC	Rp 676.562.325

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	92	Rp 1.391.022,75	Rp 127.974.093
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 565.005.553

Biaya investasi awal	Rp 565.005.553
Pemeliharaan dan operasional	Rp 5.650.056
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 77.405.761
Biaya LCC	Rp 642.411.314

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	90	Rp 1.254.945,25	Rp 112.945.073
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 549.976.533

Biaya investasi awal	Rp	549.976.533
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.499.765
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	75.346.785
Biaya LCC	Rp	625.323.317

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	120	Rp 1.070.017,50	Rp 128.402.100
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 565.433.560

Biaya investasi awal	Rp	565.433.560
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.654.336
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	77.464.398
Biaya LCC	Rp	642.897.958

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	120	Rp 965.342,50	Rp 115.841.100
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	184	Rp 2.093.377,50	Rp 385.181.460
	TOTAL			Rp 552.872.560

Biaya investasi awal	Rp	552.872.560
Pemeliharaan dan operasional	Rp	5.528.726
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	75.743.541
Biaya LCC	Rp	628.616.101

Skenario 3

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	94	Rp 1.391.022,75	Rp 130.756.139
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 731.697.941

Biaya investasi awal	Rp	731.697.941
Pemeliharaan dan operasional	Rp	7.316.979
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	100.242.618
Biaya LCC	Rp	831.940.559

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	94	Rp 1.254.945,25	Rp 117.964.854
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	36	Rp 2.230.769,23	Rp 80.307.692
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 718.906.656

Biaya investasi awal	Rp	718.906.656
Pemeliharaan dan operasional	Rp	7.189.067
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	98.490.212
Biaya LCC	Rp	817.396.868

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	122	Rp 1.070.017,50	Rp 130.542.135
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	35	Rp 2.230.769,23	Rp 78.076.923
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 729.253.168

Biaya investasi awal	Rp	729.253.168
Pemeliharaan dan operasional	Rp	7.292.532
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	99.907.684
Biaya LCC	Rp	829.160.852

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	122	Rp 965.342,50	Rp 117.771.785
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	Konverter DC-DC	35	Rp 2.230.769,23	Rp 78.076.923
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 716.482.818

Biaya investasi awal	Rp	716.482.818
Pemeliharaan dan operasional	Rp	7.164.828
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	98.158.146
Biaya LCC	Rp	814.640.964

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Moonokristalin 325 Wp	90	Rp 1.391.022,75	Rp 125.192.048
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 687.826.158

Biaya investasi awal	Rp	687.826.158
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.878.262
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	94.232.184
Biaya LCC	Rp	782.058.341

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	90	Rp 1.254.945,25	Rp 112.945.073
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 675.579.183

Biaya investasi awal	Rp	675.579.183
Pemeliharaan dan operasional	Rp	6.755.792
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	92.554.348
Biaya LCC	Rp	768.133.531

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	116	Rp 1.070.017,50	Rp 124.122.030
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 686.756.140

Biaya investasi awal	Rp 686.756.140
Pemeliharaan dan operasional	Rp 6.867.561
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 94.085.591
Biaya LCC	Rp 780.841.731

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	116	Rp 965.342,50	Rp 111.979.730
2	Inverter	1	Rp 9.850.000,00	Rp 9.850.000
3	MPPT	12	Rp 3.500.000,00	Rp 42.000.000
4	Baterai	244	Rp 2.093.377,50	Rp 510.784.110
	TOTAL			Rp 674.613.840

Biaya investasi awal	Rp 674.613.840
Pemeliharaan dan operasional	Rp 6.746.138
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 92.422.096
Biaya LCC	Rp 767.035.936

Kecamatan Pucuk

Skenario 1

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	578	Rp 1.391.022,75	Rp 804.011.150
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	216	Rp 2.230.769,23	Rp 481.846.153
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.338.452.013

Biaya investasi awal	Rp	2.338.452.013
Pemeliharaan dan operasional	Rp	23.384.520
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	320.367.926
Biaya LCC	Rp	2.658.819.939

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	576	Rp 1.254.945,25	Rp 722.848.464
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	215	Rp 2.230.769,23	Rp 479.615.384
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.255.058.558

Biaya investasi awal	Rp	2.255.058.558
Pemeliharaan dan operasional	Rp	22.550.586
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	308.943.023
Biaya LCC	Rp	2.564.001.581

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	752	Rp 1.070.017,50	Rp 804.653.160
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	216	Rp 2.230.769,23	Rp 481.846.153
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.339.094.024

Biaya investasi awal	Rp 2.339.094.024
Pemeliharaan dan operasional	Rp 23.390.940
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 320.455.881
Biaya LCC	Rp 2.659.549.905

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	748	Rp 965.342,50	Rp 722.076.190
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	215	Rp 2.230.769,23	Rp 479.615.384
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.254.286.284

Biaya investasi awal	Rp 2.254.286.284
Pemeliharaan dan operasional	Rp 22.542.863
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 308.837.221
Biaya LCC	Rp 2.563.123.505

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	550	Rp 1.391.022,75	Rp 765.062.513
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	69	Rp 3.500.000,00	Rp 241.500.000
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.059.157.223

Biaya investasi awal	Rp	2.059.157.223
Pemeliharaan dan operasional	Rp	20.591.572
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	282.104.539
Biaya LCC	Rp	2.341.261.762

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	548	Rp 1.254.945,25	Rp 687.709.997
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	69	Rp 3.500.000,00	Rp 241.500.000,00
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710,00
	TOTAL			Rp 1.981.804.707

Biaya investasi awal	Rp	1.981.804.707
Pemeliharaan dan operasional	Rp	19.818.047
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	271.507.245
Biaya LCC	Rp	2.253.311.952

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	714	Rp 1.070.017,50	Rp 763.992.495
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	205	Rp 3.500.000,00	Rp 717.500.000
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.534.087.205

Biaya investasi awal	Rp 2.534.087.205
Pemeliharaan dan operasional	Rp 25.340.872
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 347.169.947
Biaya LCC	Rp 2.881.257.152

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	714	Rp 965.342,50	Rp 689.254.545
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	205	Rp 3.500.000,00	Rp 717.500.000
4	Baterai	484	Rp 2.093.377,50	Rp 1.013.194.710
	TOTAL			Rp 2.459.349.255

Biaya investasi awal	Rp 2.459.349.255
Pemeliharaan dan operasional	Rp 24.593.493
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 336.930.848
Biaya LCC	Rp 2.796.280.103

Skenario 2

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	378	Rp 1.391.022,75	Rp 525.806.600
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	141	Rp 2.230.769,23	Rp 314.538.461,43
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310,00
	TOTAL			Rp 2.395.350.371

Biaya investasi awal	Rp 2.395.350.371
Pemeliharaan dan operasional	Rp 23.953.504
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 328.163.001
Biaya LCC	Rp 2.723.513.372

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	378	Rp 1.254.945,25	Rp 474.369.305
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	141	Rp 2.230.769,23	Rp 314.538.461
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310
	TOTAL			Rp 2.343.913.076

Biaya investasi awal	Rp 2.343.913.076
Pemeliharaan dan operasional	Rp 23.439.131
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 321.116.091
Biaya LCC	Rp 2.665.029.167

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	494	Rp 1.070.017,50	Rp 528.588.645
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	142	Rp 2.230.769,23	Rp 316.769.230
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310
	TOTAL			Rp 2.400.363.186

Biaya investasi awal	Rp 2.400.363.186
Pemeliharaan dan operasional	Rp 24.003.632
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 328.849.756
Biaya LCC	Rp 2.729.212.942

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	494	Rp 965.342,50	Rp 476.879.195
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	142	Rp 2.230.769,23	Rp 316.769.230
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310
	TOTAL			Rp 2.348.653.736

Biaya investasi awal	Rp 2.348.653.736
Pemeliharaan dan operasional	Rp 23.486.537
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 321.765.562
Biaya LCC	Rp 2.670.419.297

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	364	Rp 1.391.022,75	Rp 506.332.281
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	46	Rp 3.500.000,00	Rp 161.000.000,00
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310,00
	TOTAL			Rp 2.222.337.591

Biaya investasi awal	Rp	2.222.337.591
Pemeliharaan dan operasional	Rp	22.223.376
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	304.460.250
Biaya LCC	Rp	2.526.797.841

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	364	Rp 1.254.945,25	Rp 456.800.071
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	46	Rp 3.500.000,00	Rp 161.000.000,00
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310,00
	TOTAL			Rp 2.172.805.381

Biaya investasi awal	Rp	2.172.805.381
Pemeliharaan dan operasional	Rp	21.728.054
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	297.674.337
Biaya LCC	Rp	2.470.479.718

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	472	Rp 1.070.017,50	Rp 505.048.260
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	46	Rp 3.500.000,00	Rp 161.000.000,00
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310,00
	TOTAL			Rp 2.221.053.570

Biaya investasi awal	Rp	2.221.053.570
Pemeliharaan dan operasional	Rp	22.210.536
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	304.284.339
Biaya LCC	Rp	2.525.337.909

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	472	Rp 965.342,50	Rp 455.641.660
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	46	Rp 3.500.000,00	Rp 161.000.000,00
4	Baterai	724	Rp 2.093.377,50	Rp 1.515.605.310,00
	TOTAL			Rp 2.171.646.970

Biaya investasi awal	Rp	2.171.646.970
Pemeliharaan dan operasional	Rp	21.716.470
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp	297.515.635
Biaya LCC	Rp	2.469.162.605

Skenario 3

A. Modul Monokristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	368	Rp 1.391.022,75	Rp 511.896.372
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	138	Rp 2.230.769,23	Rp 307.846.153
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910
	TOTAL			Rp 2.877.158.436

Biaya investasi awal	Rp 2.877.158.436
Pemeliharaan dan operasional	Rp 28.771.584
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 394.170.706
Biaya LCC	Rp 3.271.329.141

B. Modul Polikristalin 325 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	368	Rp 1.254.945,25	Rp 461.819.852
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	138	Rp 2.230.769,23	Rp 307.846.153
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910
	TOTAL			Rp 2.827.081.916

Biaya investasi awal	Rp 2.827.081.916
Pemeliharaan dan operasional	Rp 28.270.819
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 387.310.222
Biaya LCC	Rp 3.214.392.138

C. Modul Monokristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	478	Rp 1.070.017,50	Rp 511.468.365
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	138	Rp 2.230.769,23	Rp 307.846.153
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910
	TOTAL			Rp 2.876.730.429

Biaya investasi awal	Rp 2.876.730.429
Pemeliharaan dan operasional	Rp 28.767.304
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 394.112.069
Biaya LCC	Rp 3.270.842.497

D. Modul Polikristalin 250 Wp dengan konverter DC-DC

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	478	Rp 965.342,50	Rp 461.433.715
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	Konverter DC-DC	138	Rp 2.230.769,23	Rp 307.846.153,74
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910,00
	TOTAL			Rp 2.826.695.779

Biaya investasi awal	Rp 2.826.695.779
Pemeliharaan dan operasional	Rp 28.266.958
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 387.257.322
Biaya LCC	Rp 3.213.953.100

E. Modul Monokristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 325 Wp	348	Rp 1.391.022,75	Rp 484.075.917
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	44	Rp 3.500.000,00	Rp 154.000.000
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910
	TOTAL			Rp 2.695.491.827

Biaya investasi awal	Rp 2.695.491.827
Pemeliharaan dan operasional	Rp 26.954.918
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 369.282.380
Biaya LCC	Rp 3.064.774.207

F. Modul Polikristalin 325 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 325 Wp	348	Rp 1.254.945,25	Rp 436.720.947
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	44	Rp 3.500.000,00	Rp 154.000.000,00
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910,00
	TOTAL			Rp 2.648.136.857

Biaya investasi awal	Rp 2.648.136.857
Pemeliharaan dan operasional	Rp 26.481.369
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 362.794.749
Biaya LCC	Rp 3.010.931.606

G. Modul Monokristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Monokristalin 250 Wp	452	Rp 1.070.017,50	Rp 483.647.910
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	44	Rp 3.500.000,00	Rp 154.000.000,00
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910,00
	TOTAL			Rp 2.695.063.820

Biaya investasi awal	Rp 2.695.063.820
Pemeliharaan dan operasional	Rp 26.950.638
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 369.223.743
Biaya LCC	Rp 3.064.287.563

H. Modul Polikristalin 250 Wp dengan MPPT

NO	KOMPONEN	Jumlah	Harga satuan	Total Harga
1	Polikristalin 250 Wp	452	Rp 965.342,50	Rp 436.334.810
2	Inverter	4	Rp 9.850.000,00	Rp 39.400.000
3	MPPT	44	Rp 3.500.000,00	Rp 154.000.000,00
4	Baterai	964	Rp 2.093.377,50	Rp 2.018.015.910,00
	TOTAL			Rp 2.647.750.720

Biaya investasi awal	Rp 2.647.750.720
Pemeliharaan dan operasional	Rp 26.477.507
Nilai sekarang dari biaya PLTS	Rp 362.741.849
Biaya LCC	Rp 3.010.492.569

Lampiran 8

Perhitungan Biaya Energi PLTS

1. Perhitungan Faktor pemulihan

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$

$$= \frac{0{,}0525(1+0{,}0525)^{25}}{(1+0{,}0525)^{25}-1}$$

$$= 0{,}07275$$

2. Perhitungan A KWH

   A KWH = kWh harian x 365 [kWh]

Wilayah Lamongan	**AKWH (kWh)**
Kecamatan Kalitengah	28279,83
Kecamatan Karanggeneng	30946,28
Kecamatan Pucuk	121975,70

A KWH adalah Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

Lampiran 9

Tarif Dasar Listrik

PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK *(TARIFF ADJUSTMENT)*

BULAN APRIL - JUNI 2020

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	UTR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

**) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat (1,4 ≤ K ≤ 2), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

BIODATA PENULIS

Fita Fitria, lahir di Surabaya pada tanggal 25 Mei 1990. Memulai Sekolah Dasar pada tahun 1996 di SD Muhammadiyah 12 Surabaya. Kemudian melanjutkan sekolah di MTS "PUTRA-PUTRI" Simo Sungelebak Karanggeneng Lamongan hingga tahun 2005. Di jenjang Sekolah Menengah Atas penulis bersekolah di MA Matholi'ul Anwar Karanggennge. Pada tahun 2008 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UNAIR. Selama berstatus sebagai mahasiswa sarjana, penulis aktif di kegiatan kemahasiswaan di bidang kewirausahaan dan sumber daya manusia. Pada tahun 2011 penulis melaksanakan kerja praktik di Rumah sakit umum Surabaya di bagian ultasonografi. Penulis menyelesaikan pendidikan program sarjana pada Februari 2013. Pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan magister di Departemen Teknik Fisika bidang Rekayasa Energi Terbarukan. Penulis dapat dihubungi melalui email fitafitria@gmail.com.