

**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA OPTIMASI
TRANSFER DAYA PANEL SURYA BERBASIS LAB VIEW**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana di

Jurusan Teknik Elektro



Oleh:

Nama : Agus Saputra

No.Mahasiswa : 07 524 026

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2011

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PERANCANGAN PENGENDALI PID
PADA OPTIMASI TRANSFER DAYA PANEL SURYA**

BERBASIS LAB VIEW

TUGAS AKHIR



Oleh:

Nama : Agus Saputra

No. Mahasiswa : 07 524 026

Yogyakarta, Oktober 2011

Pembimbing I

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.eng

Pembimbing II

Wahyudi Budi Pramono, ST, M.eng

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA OPTIMASI
TRANSFER DAYA PANEL SURYA BERBASIS LAB VIEW**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : **AGUS SAPUTRA**

No. Mahasiswa : **07 524 026**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta,**

Tim Penguji,

(Ketua)

Dwi Ana Ratna Wati,ST,.M.Eng

Anggota I

Tito Yuwono,ST,.M.Sc

Anggota II

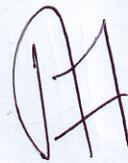
Medilla Kusriyanto,ST,.M.Eng



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia



Tito Yuwono,ST,.M.Sc

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PERANCANGAN PENGENDALI PID
PADA OPTIMASI TRANSFER DAYA PANEL SURYA
BERBASIS LAB VIEW
TUGAS AKHIR**



Oleh:

Nama : Agus Saputra

No. Mahasiswa : 07 524 026

Yogyakarta, Oktober 2011

Pembimbing I

Pembimbing II

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.eng

Wahyudi Budi Pramono, ST, M.eng

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PERANCANGAN PENGENDALI PID PADA OPTIMASI
TRANSFER DAYA PANEL SURYA BERBASIS LAB VIEW

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : **AGUS SAPUTRA**

No. Mahasiswa : **07 524 026**

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, November 2010

Tim Penguji,

(Ketua)

Dwi Ana Ratna Wati,ST.,M.Eng

Anggota I

Tito Yuwono,ST.,M.Sc

Anggota II

Medilla Kusriyanto,ST.,M.Eng



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia

Tito Yuwono,ST.,M.Sc

HALAMAN PERSEMBAHAN

TUGAS AKHIR INI KU PERSEMBAHKAN SEBAGAI UNGKAPAN RASA KASIH SAYANGKU UNTUK KE DUA ORANG TUAKU TERCINTA YANG TELAH BERKERJA KERAS MEMBESARKANKU, MENDIDIKKU, DAN MENYEKOLAHKANKU HINGGA LULUS KULIAH

SEMOGA MEDAPATKAN BALASAN YANG TERBAIK DI DUNIA DAN DIAKHIRAT



HALAMAN MOTTO

“.. dan barangsiapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan menjadikan baginya jalan kemudahan dalam urusannya”

(QS. Ath Thalaq : 4)

Siapa yang pergi untuk menuntut ilmu, Allah membukakan pintu surga kepadanya, malaikat-malaikat membentangkan sayap kepadanya dan ikan-ikan di laut mendoakan kepadanya (H.R. Abu Daud dan Turmidzi)

Kegagalan bukanlah akhir dari pekerjaan, tetapi permulaan untuk mencapai kesuksesan (Edward Young)

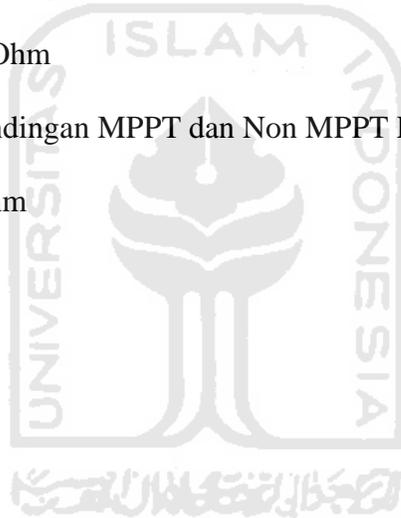
DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Koneksi <i>Single Ended</i> | 9 |
| Gambar 2.2 Koneksi <i>Diferensial</i> | 9 |
| Gambar 2.3 Rangkaian <i>Boost Converter</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Karakteristik Resistansi <i>Boost Converter</i> | 12 |
| Gambar 2.5 Rangkaian <i>Switch ON</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Rangkaian <i>Switch OFF</i> | 13 |
| Gambar 2.7 Karakteristik Kurva I-V Pada Sel Surya | 14 |
| Gambar 2.8 Titik Maksimum Daya Pada Berbagai Kondisi Penyinaran Matahari | 16 |
| Gambar 2.9 Karakteristik PV Modul 75 Watt Pada Kondisi Tes Standar | 17 |
| Gambar 2.10 Perbandingan Daya Sistem Minimum Modul PV Menggunakan dan Tanpa MPPT | 17 |
| Gambar 2.11 Aplikasi MPPT Dalam Pengisian Muatan Baterai | 18 |
| Gambar 2.12 Aplikasi MPPT Pada Sistem Jaringan Terhubung dan Sistem Mandiri | 18 |
| Gambar 2.13 Aplikasi MPPT Pada Pompa Air | 19 |
| Gambar 2.14 Diagram Blok PID | 22 |
| Gambar 3.1 Perancangan Sistem Kontrol MPPT Panel Surya | 23 |
| Gambar 3.2 Modul Sel Surya | 24 |
| Gambar 3.3 Rangkaian Pembagi Tegangan | 26 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.4 Pin Sensor Arus | 27 |
| Gambar 3.5 Kelinearan Sensor Arus | 28 |
| Gambar 3.6 Prinsip Kerja Algoritma <i>Hill Climbing</i> | 30 |
| Gambar 3.7 Diagram Alir Algoritma <i>Hill Climbing</i> | 31 |
| Gambar 3.8 Sistem Kalang Tertutup PID | 32 |
| Gambar 3.9 Sistem GUI Menggunakan Lab View 8.6 | 34 |
| Gambar 3.10 Blok Diagram Sistem | 35 |
| Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan <i>Input</i> | 38 |
| Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Sensor Arus | 40 |
| Gambar 4.3 Karakteristik Tegangan Input dan Output <i>Boost Converter</i> | 41 |
| Gambar 4.4 Karakteristik Arus Input dan Output <i>Boost Converter</i> | 42 |
| Gambar 4.5 Karakteristik <i>Boost Converter</i> Terhadap Tegangan Kontrol | 42 |
| Gambar 4.6 Variasi <i>Duty Cycle</i> | 44 |
| Gambar 4.7 Respon Tegangan PV Terhadap <i>Duty Cycle</i> | 45 |
| Gambar 4.8 Respon Arus PV Terhadap <i>Duty Cycle</i> | 46 |
| Gambar 4.9 Respon Tegangan Booster Terhadap <i>Duty Cycle</i> | 47 |
| Gambar 4.10 Respon Arus Booster Terhadap <i>Duty Cycle</i> | 47 |
| Gambar 4.11 Respon Daya Terhadap <i>Duty Cycle</i> | 48 |
| Gambar 4.12 Pengujian PV Terhubung Beban Lampu DC 45 Watt | 50 |
| Gambar 4.13 Pengujian PV Terhubung Beban Lampu DC 50 Watt | 51 |
| Gambar 4.14 Pengujian PV Terhubung Beban 2 Resistor 47 ohm Paralel | 51 |
| Gambar 4.15 Titik Maksimum Daya Terhubung Beban Lampu DC | 53 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.16 Titik Maksimum Daya Terhubung Beban Resistor | 54 |
| Gambar 4.17 Respon Daya Terhadap Tegangan Kontrol | 55 |
| Gambar 4.18 Tuning nilai $K_p=0.06$ | 56 |
| Gambar 4.19 Tuning nilai $K_p=0.5$ | 57 |
| Gambar 4.20 Tuning nilai $K_p=1$ | 57 |
| Gambar 4.21 Tuning nilai $K_p=2$ | 58 |
| Gambar 4.22 Tuning nilai $K_p=5$ | 58 |
| Gambar 4.23 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=0.05$ | 60 |
| Gambar 4.24 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=0.5$ | 60 |
| Gambar 4.25 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=1$ | 61 |
| Gambar 4.26 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=1.5$ | 61 |
| Gambar 4.27 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=2$ | 62 |
| Gambar 4.28 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=0.05, K_d=1$ | 62 |
| Gambar 4.29 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=0.05, K_d=5$ | 63 |
| Gambar 4.30 Tuning Nilai $K_p=0.06, K_i=0.05, K_d=10$ | 64 |
| Gambar 4.31 Grafik Pengujian 1 MPPT Berbasis PID | 65 |
| Gambar 4.32 GrafikTegangan Kontrol Pengujian 1 MPPT Berbasis PID | 66 |
| Gambar 4.33 Grafik Pengujian 2 MPPT Berbasis PID | 67 |
| Gambar 4.34 GrafikTegangan Kontrol Pengujian 2 MPPT Berbasis PID | 68 |
| Gambar 4.35 Grafik Pengujian 3 MPPT Berbasis PID | 69 |
| Gambar 4.36 GrafikTegangan Kontrol Pengujian 3 MPPT Berbasis PID | 69 |

| | | |
|--|--|----|
| Gambar 4.37 Perbandingan MPPT dan Non MPPT Dengan Beban Resistor | | |
| 6.67Ohm | | 71 |
| Gambar 4.38 Perbandingan MPPT dan Non MPPT Dengan Beban Resistor | | |
| 11.75Ohm | | 71 |
| Gambar 4.39 Perbandingan MPPT dan Non MPPT Dengan Beban Resistor | | |
| 15Ohm | | 72 |
| Gambar 4.40 Perbandingan MPPT dan Non MPPT Dengan Beban Resistor | | |
| 23.5Ohm | | 72 |
| Gambar 4.41 Perbandingan MPPT dan Non MPPT Dengan Beban Resistor | | |
| 28Ohm | | 73 |



DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------------|------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan Pembimbing | ii |
| Lembar Pengesahan Penguji | iii |
| Halaman Persembahan | iv |
| Halaman Motto | v |
| Kata Pengantar | vi |
| Abstraksi | ix |
| Daftar Isi | x |
| Daftar Gambar | xiii |
| Daftar Tabel | xvi |
| BAB I: PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II: TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.2 NIDAQ USB 6009 | 7 |
| 2.2.1 Spesifikasi NI-DAQ USB-6009 | 7 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2 Tipe Koneksi | 8 |
| 2.2.3 Tipe Akusisi | 9 |
| 2.3 <i>Booster Converter</i> | 10 |
| 2.4 <i>Photovoltaic</i> | 13 |
| 2.5 <i>Maximum Power Point Tracker (MPPT)</i> | 15 |
| 2.6 Pengendali PID | 19 |
| 2.6.1 Kontrol Proporsional (P) | 19 |
| 2.6.2 Kontrol Integral (I) | 20 |
| 2.6.3 Kontrol Derivatif (D) | 21 |
| BAB III: PERANCANGAN SISTEM | |
| 3.1 Panel Surya | 24 |
| 3.2 Ni DAQ USB-6009 | 25 |
| 3.3 Sensor Tegangan | 26 |
| 3.4 Sensor Arus | 27 |
| 3.5 <i>Maximum Power Point Tracker</i> | 29 |
| 3.6 Pengendali PID | 32 |
| 3.7 <i>Graphical User Interface</i> | 33 |
| BAB IV: PENGUJIAN ANALISIS DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Pengujian Sensor | 37 |
| 4.1.1 Sensor Tegangan Input | 37 |
| 4.1.1 Sensor Arus | 39 |
| 4.2 Karakteristik <i>Boost Converter</i> | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.3 Pembangkit PWM | 44 |
| 4.3.1 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Panel Surya | 44 |
| 4.3.2 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus Panel Surya | 45 |
| 4.3.3 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan <i>Booster</i> | 46 |
| 4.3.4 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus <i>Booster</i> | 47 |
| 4.3.5 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Daya <i>Booster</i> | 48 |
| 4.4 Pengujian Spesifikasi Panel Surya | 49 |
| 4.5 Manual MPPT Untuk Mencari Titik Daya Maksimum | 52 |
| 4.6 Tuning PID | 55 |
| 4.7 Pengujian Dan Analisa Sistem PID | 64 |
| 4.7.1 Pengujian 1 MPPT Berbasis PID | 65 |
| 4.7.2 Pengujian 2 MPPT Berbasis PID | 66 |
| 4.7.3 Pengujian 3 MPPT Berbasis PID | 69 |
| BAB V: Penutup | 76 |
| 5.1 Kesimpulan | 76 |
| 5.2 Saran | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA | 78 |
| LAMPIRAN | 79 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Konfigurasi Pin DAQ | 25 |
| Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Sensor Arus | 38 |
| Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor Tegangan <i>Input</i> | 38 |
| Tabel 4.2 Kalibrasi Sensor Arus | 39 |
| Tabel 4.3 Spesifikasi PV Modul | 49 |
| Tabel 4.4 Perbandingan Daya Sistem MPPT dan Non MPPT | 74 |



KATA PENGANTAR



Assalmu'alaikum Wr. Wb

Puji Syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Semoga dapat dimanfaatkan untuk pembelajaran dan bermanfaat bagi masyarakat. Shalawat dan salam tak lupa penulis haturkan kepada baginda nabi besar Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan umatnya sampai akhir zaman.

Alhamdulillah penulis bersyukur karena telah menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ Perancangan Pengendali PID Pada Optimasi Transfer Daya Panel Surya” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia. Adapun dalam tugas akhir ini adalah membahas tentang MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) yang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dari Sel Surya dengan pengendali PID. Dalam pengerjaan ini banyak dorongan dan motivasi dari berbagai pihak diantaranya:

1. Emak dan Bapak yang telah memberikan semangat dan motivasi ,dukungan moril maupun materil sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Tito Yuwono, S.T,M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Univeristas Islam Indonesia.
3. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, S.T,M.Eng selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan solusi dalam masa pengerjakan tugas akhir ini .
4. Bapak Wahyudi Budi Pramono, S.T.M,Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan masukan dalam meringankan proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Mas Hery, Mbak Aroh, Mas Hendri Selaku Laboran Laboratorium Teknik Elektro.
6. Abangku dan adikku, terima kasih atas bantuan dan motivasi selama masa kuliah.
7. Rudi, Isnanto, Hardi, Erik, Sapta, Ary, Insan, Hifni, Adam dan Teman-teman elektro angkatan 2007 yang telah memberikan masukan dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Kos Anugrah Putra dan Kos Wijaya yang selalu berbagi Keceriaan.
9. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan telah membantu, semoga kita senantiasa dalam lindungan Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan, kritik dan saran sangat diperlukan untuk memperbaiki tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat kita manfaatkan untuk kepentingan semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta Oktober 2011

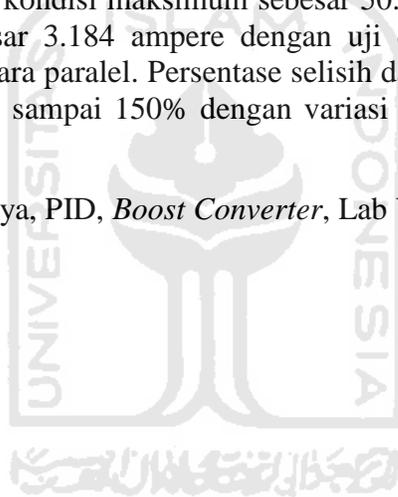


Penulis

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi dari sel surya yaitu memaksimalkan transfer daya dengan cara mencari titik daya maksimum pada berbagai tingkat penyinaran matahari atau sering disebut *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Sebuah pengendali PID menggunakan MPPT dengan metode hill climbing bekerja untuk mengontrol lebar pulsa PWM (pulse width modulation) untuk memicu pengaktifan saklar elektronik IRF MOSFET. *User interface* menggunakan Lab View 8.6 sebagai software pemrograman, analisis, dan visualisasi data yang bekerja dengan hardware akusisi data NI DAQ-USB 6009. MPPT diimplementasikan menggunakan sebuah DC *step up converter* atau sering disebut *boost converter*. Didapatkan parameter $K_p=0.06$, $K_i=0.05$, dan $K_d=10$ untuk parameter optimal PID. Daya sel surya yang dihasilkan pada kondisi maksimum sebesar 50.57 watt, tegangan sebesar 15.88 volt, dan arus sebesar 3.184 ampere dengan uji coba terhubung beban 2 resistor 47 ohm 20 watt secara paralel. Persentase selisih daya sistem MPPT dan Non MPPT berkisar antara 25% sampai 150% dengan variasi resistansi beban uji antara 6.67ohm sampai 28ohm.

Kata kunci : MPPT, Sel Surya, PID, *Boost Converter*, Lab View 8.6



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan akan produk dan jasa, kebutuhan sumber energi listrik sebagai penunjang kegiatan operasional manusia dan industri semakin meningkat. Berdasarkan survey yang dilakukan oleh Professor Richards Smalley dari Rice University mengenai masalah terbesar yang akan dihadapi manusia untuk 50 tahun mendatang, ternyata energi menduduki peringkat pertama. Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia terhitung sejak 2002 yaitu 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil tersebut, di dunia sekarang ini terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbarui menuju sumber energi terbarui.

Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.504 pulau besar dan kecil dan terletak di daerah katulistiwa yang memberikan cuaca tropis di Indonesia. Didukung keanekaragaman pulau dan perbedaan kontur geografis, Indonesia mempunyai keanekaragaman sumber daya alam, diantaranya dari sektor pertambangan, kelautan, pertanian yang dapat kita manfaatkan sebagai sumber energi listrik. Keterbatasan akan mineral tambang sebagai sumber energi fosil

karena karakteristiknya tidak terbarukan mendorong penelitian untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan. Solusinya adalah menggunakan sumber energi baru yang bersifat terbarukan (*Renewable Resource*). Salah satunya adalah memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi listrik dengan memanfaatkan sel surya/*photovoltaic* (PV) sebagai pengubah dari intensitas cahaya menjadi energi, dengan didukung kondisi iklim tropis Indonesia yang memungkinkan untuk penyinaran matahari aktif sepanjang tahun.

Keunggulan dari PV adalah bersifat ramah lingkungan karena tidak menimbulkan bahan sampingan berupa limbah yang dapat menyebabkan polusi seperti pada energi fosil, murah perawatan dan mudah dalam pengaplikasiannya karena mengkonversi secara langsung energi matahari menjadi energi listrik (*Direct Conversion*). Disamping keunggulan dari PV terdapat kekurangan yaitu transfer daya yang dihasilkan modul PV belum maksimal, tetapi hal tersebut dapat di atasi dengan menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yaitu sebuah metode pencarian atau pelacakan otomatis titik daya maksimum sel surya dengan menggunakan pengendali PID adaptif. Penggunaan parameter adaptif dikarenakan sifat non linear pada PV dan agar dapat menyesuaikan terhadap perubahan kondisi cuaca matahari yang tidak tetap.

Penerapan MPPT dengan menggunakan pengendali PID adaptif diimplementasikan dalam suatu DC-DC Converter yaitu *Boost Converter* yang

mengendalikan daya yang dihasilkan panel surya agar tetap berada pada kondisi maksimum pada saat transfer daya / *power* ke beban.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas , maka dapat dimuat rumusan masalah sebagai berikut yaitu bagaimana merancang suatu *Boost Converter* agar daya yang dihasilkan modul PV dalam transfer daya ke beban dapat dimaksimalkan, menganalisa karakteristik dari tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan modul sel surya serta merancang pengendali PID untuk mengontrol lebar pulsa PWM berdasarkan algoritma MPPT.

1.3 Batasan Masalah

Terdapat batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir diantaranya:

1. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) adalah murni sistem pelacakan/*tracking* secara elektronik dan tidak menggunakan *tracking* PV modul secara mekanik.
2. *Hardware* yang digunakan sebagai objek penelitian adalah PV modul dan *Boost Converter*.
3. *Hardware* yang digunakan sebagai akusisi data adalah NI DAQ 6009
4. Kontrol yang digunakan adalah PID dengan *Interface* menggunakan *software* Lab View 8.6.

1.4 Tujuan Penelitian

Merancang suatu pengendali dalam transfer daya panel surya dengan metode kendali PID, dan mengaplikasikan secara langsung ke objek/*plant* yang dikendalikan serta menetapkan konstanta pengaturan Proporsional (K_p), konstanta Integral (K_i), dan konstanta Diferensial (K_d) agar didapatkan suatu pengendali PID yang optimal dengan interface menggunakan software Lab View 8.6.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dari penelitian dan sistematika penulisan laporan akhir perancangan pengendali PID pada optimasi transfer daya panel surya berbasis Lab View.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori-teori pendukung diantaranya teori tentang modul PV, *Boost Converter*, sensor, NI DAQ 6009, Lab View, dan *driver PWM*.

BAB III Perancangan Sistem

Bab ini berisi tentang perancangan sistem yang meliputi perancangan *hardware* dan *software* yang terintegrasi dalam satu objek penelitian.

BAB IV Pengujian, Analisis, dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pengujian , analisis , dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan dan sebagai parameter keberhasilan suatu penelitian.

BAB V Kesimpulan

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran pada saat pengujian tugas akhir yang ditujukan sebagai pengembangan untuk penelitian lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Roni Andika tahun 2010 yang meneliti tentang pengontrolan *heater* dengan metode pengontrol PID. Pengendalian dilakukan menggunakan *Hardware* NI DAQ USB 6009 dengan menggunakan keluaran dari analog *output* untuk mengendalikan *Triac* yaitu sebuah saklar otomatis untuk pengendalian suhu. Suhu diukur menggunakan piranti sensor suhu yaitu LM35 dan diproses menggunakan DAQ USB 6009 dan sensor juga digunakan sebagai *feed back error* untuk pengendali PID. *Software* yang digunakan adalah Lab View 8.6 sebagai tampilan visual dari program.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Fajar tahun 2010 tentang akuisisi data pada panel surya. Pada penelitian ini adalah meneliti karakteristik dari panel surya. Karakteristik panel surya tersebut dapat diketahui dengan cara melakukan proses akuisisi data sel surya. Dimana akuisisi tersebut merupakan proses pengambilan data dari panel surya untuk kemudian diproses dan ditampilkan dikomputer. Data tersebut merupakan *output* dari panel surya yaitu arus dan tegangan, dan yang diolah dan diukur menggunakan alat NI DAQ USB-6009, kemudian diproses dan ditampilkan ke komputer.

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Raditya Dwi Gangsar tahun 2010, tentang perancangan pengendali fuzzy untuk optimasi panel surya. Pada penelitian ini merancang sistem kendali untuk memaksimalkan transfer daya dari panel surya. *Output* dari panel surya berupa arus dan tegangan diproses pada alat akuisisi data yaitu NI DAQ USB-6009. Keluaran dari DAQ yang kontrol menggunakan logika fuzzy adalah sebuah sinyal tegangan DC yang kemudian diteruskan sebagai masukan ke pembangkit PWM (*pulse width modulation*) sehingga menghasilkan sinyal PWM yang digunakan mengatur tegangan keluaran pada *Boost Converter*. Di dapatkan hasil maksimal daya yang mampu dihasilkan sebesar 23.0317 Watt.

2.2 NIDAQ USB-6009

NIDAQ USB 6009 merupakan perangkat akuisisi data yang mempunyai fungsi seperti *mikrokontroller* tetapi desainnya lebih simpel dan praktis dalam penggunaannya. Tidak sebatas fungsinya sebagai perangkat akuisisi data, DAQ telah dikembangkan dengan penambahan fitur yang lebih lengkap seperti kontrol dan sistem kendali cerdas. Dalam aplikasinya DAQ banyak digunakan di bidang akademik dan personaliti untuk keperluan penelitian dan eksperimen. DAQ terkoneksi dengan perangkat komputer melalui koneksi *plug and play USB* (*universal serial bus*).

2.2.1 Spesifikasi NI-DAQ USB-6009

Analog Input

8SE/4 DI

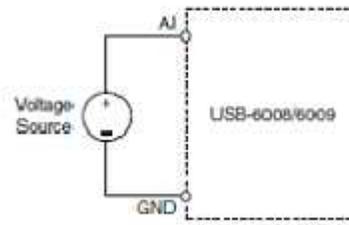
| | |
|------------------|----------|
| Input Resolution | 14 bits |
| Max Sample Rate | 48ks/s |
| Input Range | 1 to 20V |
| Analog Output | 2 |
| Ouput Resolusi | 12 bits |
| Output Rate | 15 Hz |
| Output Range | 0-5V |
| Digital I/O line | 12 |
| 32bit Counter | 1 |
| Trigger | Digital |

2.2.2 Tipe Koneksi

Ni DAQ USB-6009 mempunyai dua tipe koneksi yaitu *Single Ended* dan Tipe *Differensial*. Koneksi tersebut mempunyai fungsi yang berbeda dan pada penggunaannya tergantung dari tipe pengukuran dan data yang akan kita ukur.

a. Single Ended

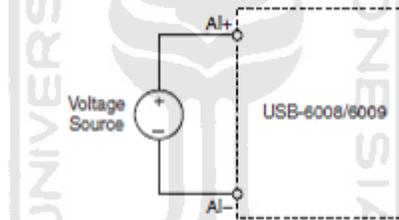
Pada tipe koneksi *Single Ended*, *port analog input* positif terhubung dengan sumber positif, sedangkan sumber negatif terhubung ke *port ground analog input*. Pada koneksi ini port negatif *analog input* tidak digunakan. Besar *range* pengukuran maksimum 10 Volt.



Gambar 2.1 Koneksi Single Ended

b. Diferensial

Pada tipe koneksi *Diferensial port analog input* positif terhubung dengan sumber positif dan *port analog input* negatif terhubung dengan sumber negatif. Pada koneksi ini *port ground analog input* tidak digunakan. Besar *range* pengukuran maksimum V_{pp} 20V.



Gambar 2.2 Koneksi Diferensial

2.2.3 Tipe Akuisi

Pengambilan data menggunakan NI-DAQ USB-6009 dapat dilakukan dengan beberapa mode akuisi yang telah disediakan . Mode akuisi data tersebut adalah sebagai berikut:

a. 1 sample (on demand)

Pada mode ini akuisi data bergantung pada waktu yang telah ditentukan oleh perangkat lunak karena tidak memerlukan *clock* pada

saat proses. Mode akuisisi ini dikendalikan secara manual atau pada perangkat lunak seperti *loop*.

b. 1 sample (Hardware Timed)

Pada mode ini akuisisi data mengambil 1 sample pada setiap *edge* pada *clock hardware*. Akuisisi ini mengikuti kemampuan perangkat keras.

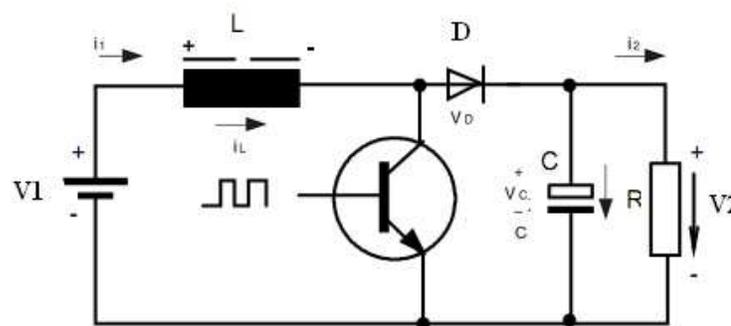
c. N Samples

Pada mode ini akuisisi data dibatasi oleh N, dimana N adalah banyaknya sample parameter yang dibaca. Pada mode ini akuisisi tidak dilakukan secara *continoues*.

d. Continuos

Pada mode ini akuisisi berjalan secara terus menerus (*continuu*) sampai program dihentikan. Mode akuisisi ini secara otomatis akan membuat sebuah *buffer* memori.

2.3 Booster Converter



Gambar 2.3 Rangkaian Boost Converter

Booster converter merupakan sebuah DC-DC *Converter* dengan karakteristik mempunyai tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan dan arus keluaran lebih kecil dari arus masukan. Besar kecilnya tegangan keluaran maupun tegangan masukan dapat diatur dengan tergantung pada *duty cycle*.

Berikut hubungan antara tegangan dan *duty cycle*:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_o} = \frac{1}{1-D} \quad (2.1)$$

Dari persamaan nilai V_{in} dan I_{in} dapat diketahui

$$V_{in} = V_o (1-D) \quad (2.2)$$

$$I_{in} = I_o \left(\frac{1}{1-D} \right) \quad (2.3)$$

Nilai V_{in} dan I_{in} diketahui maka nilai dari Resistansi *Booster Converter* dapat dicari.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \left(\frac{V_o}{I_o} \right) (1-D)^2 = R_o(1-D)^2 \quad (2.4)$$

Keterangan:

V_{in} = Tegangan Masukan (Volt)

V_o = Tegangan Keluaran (Volt)

I_{in} = Arus Masukan (Ampere)

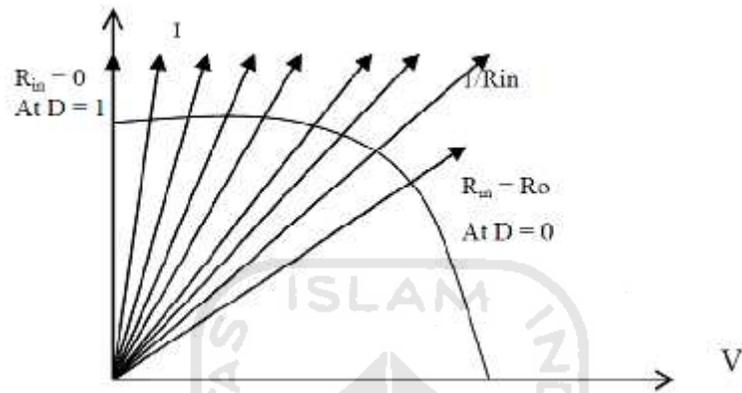
I_o = Arus Keluaran

D = *Duty Cycle* dengan nilai antara 0 sampai 1

R_{in} = Resistensi *Boost Converter*

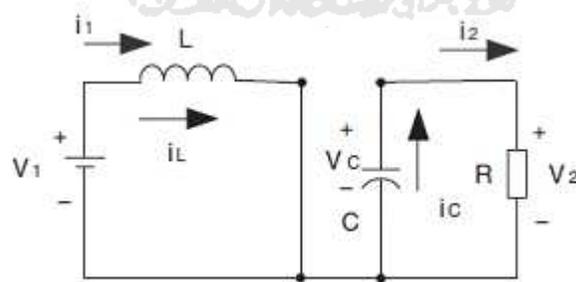
R_o = Resistensi Beban

Dari persamaan dapat diketahui bahwa nilai R_{in} bervariasi.



Gambar 2.4. Karakteristik Resistensi *Boost Converter*

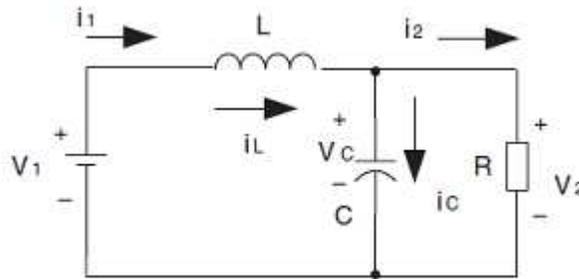
Dari grafik gambar 2.4 di atas nilai R_{in} *Boost Converter* bervariasi. Nilai $R_{in}=0$ sampai $R_{in}=R_o$.



Gambar 2.5 Rangkaian Switch ON

Gambar 2.5 merupakan rangkaian *switch on booster* dimana tegangan akan menginduksi kumparan L dan arus induksi i_L membesar sedangkan beban tidak

tersambung maka arus pada kapasitor i_C akan mengalir ke beban R . pada periode ini energi akan tersimpan dalam induktor L .



Gambar 2.6 Rangkaian Switch OFF

Pada gambar 2.6 merupakan rangkaian *switch off booster*. Dimana energi yang tersimpan dalam induktor akan mengalir ke beban R .

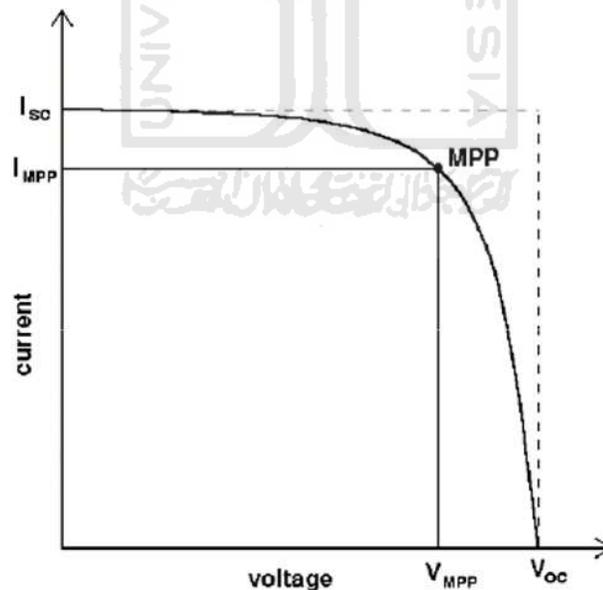
2.4 Photovoltaic

Photovoltaic Cell merupakan transduser untuk mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik dimana masing-masing jenis *photovoltaic cell* baik yang berbeda menurut bahan dasarnya, maupun teknologi pembuatannya, mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Ada tiga parameter biasanya yang digunakan untuk menentukan output dari *Photovoltaic Cell* yaitu:

1. Arus *short circuit* (I_{sc})
2. Tegangan *open circuit* (V_{oc})

3. *Fill factor* (FF)

Dua parameter pertama yaitu arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) yang ditimbulkan oleh *photovoltaic Cell* bergantung dari intensitas cahaya yang mengenai *PhotoVoltaic* tersebut. Sedangkan parameter yang terakhir adalah *fill factor* (FF). merupakan suatu harga yang mendekati konstan untuk suatu *photovoltaic cell* tertentu (tidak tergantung pada intensitas cahaya). Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) yang ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Karakteristik Kurva I-V Pada Sel Surya

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit* I_{sc} dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* V_{oc} . Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF) dengan persamaan:

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.5)$$

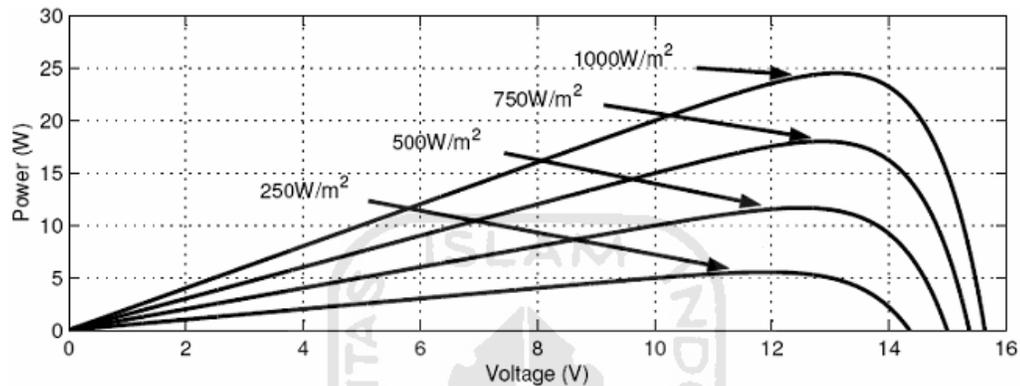
daya maksimum dari sel surya dinyatakan dengan:

$$P_{MAX} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.6)$$

2.5 Maximum Power Point Tracker (MPPT)

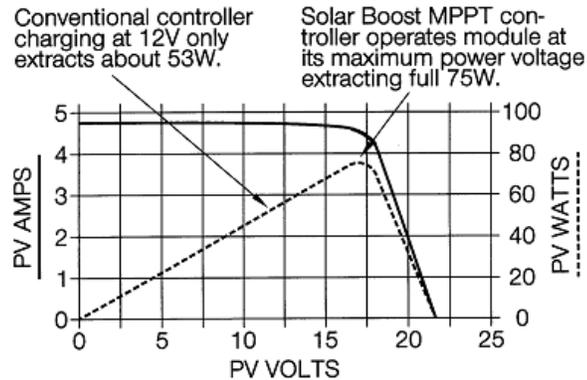
Maximum Power Point Tracker atau sering disebut MPPT merupakan suatu metode pelacakan titik daya maksimum. MPPT merupakan sebuah sistem yang mengoperasikan modul *Photovoltaic* (PV) dengan cara mengizinkan modul PV untuk menghasilkan seluruh daya yang mampu dihasilkan. MPPT bukan merupakan pencarian titik maksimum secara mekanik yang bekerja mengikuti arah perubahan matahari, tetapi MPPT adalah murni sistem elektronik yang bekerja mencari titik maksimum dari tegangan dan arus keluaran dari PV. Sistem ini dapat memaksa panel surya untuk membangkitkan daya hingga maksimum pada setiap perubahan level intensitas penyinaran matahari. Biasanya MPPT digunakan sebagai pelacakan titik

daya maksimum pada sistem yang non linear seperti energi matahari dan energi angin.



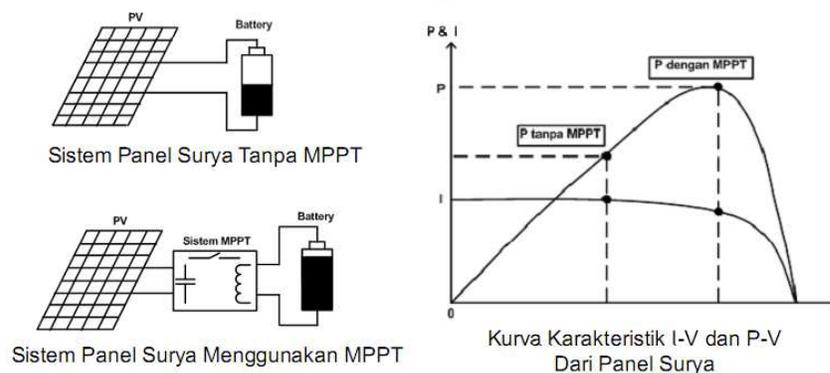
Gambar 2.8 Titik Maksimum Daya Pada Berbagai Kondisi Penyinaran Matahari

Untuk mengerti bagaimana sistem MPPT bekerja, ketika pengendali konvensional bekerja pada pengisian daya baterai dengan menghubungkan PV modul dengan baterai. Kondisi ini memaksa PV modul bekerja pada tegangan kerja baterai, tentunya sangat tidak ideal mengoperasikan PV modul yang mempunyai daya yang besar bekerja pada tegangan kerja baterai untuk menghasilkan daya maksimumnya. Pada gambar 2.9 menunjukkan grafik arus/tegangan untuk modul PV 75 Watt pada kondisi tes dengan suhu $25^{\circ}C$ dan tingkat insolasi penyinaran $1000 W/m^2$.



Gambar 2.9 Karakteristik PV Modul 75 Watt Pada Kondisi Tes Standar

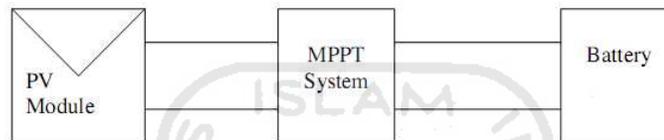
Grafik pada gambar 2.9 menunjukkan karakteristik transfer daya dan tegangan yang dihasilkan. Pada contoh ditunjukkan kontrol konvensional yang menghubungkan PV modul langsung ke baterai dan memaksa PV modul bekerja pada titik tegangan baterai yaitu 12V. dengan memaksa modul PV dengan kapasitas daya 75W bekerja pada tegangan 12V berarti membatasi daya yang mampu dihasilkan sebesar $\approx 53W$ (Richard,2006:1-2)



Gambar 2.10 Perbandingan Daya Sistem Modul PV Menggunakan MPPT dan Tanpa MPPT

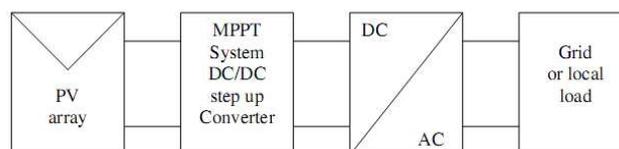
Berikut beberapa contoh pengaplikasian dari *Maximum Power Point Tracking*:

1. Pengisian Baterai: pengisian baterai (lead acid/NiCad) yang digunakan untuk menyimpan energi listrik. Energi ini datang dari sistem modul sel surya PV kemudian digunakan untuk pengisian cepat energi listrik dengan bantuan kontrol pengisian MPPT.



Gambar 2.11 Aplikasi MPPT Dalam Pengisian Muatan Baterai

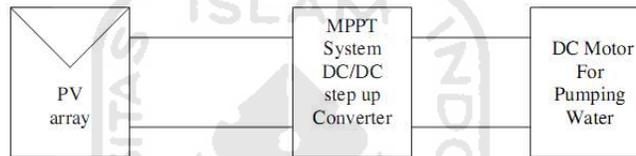
2. Jaringan terhubung atau sistem mandiri PV: dalam jaringan terhubung atau sistem PV mandiri, modul sel surya mensuplai daya ke jaringan terhubung atau ke beban lokal. Sebuah DC/DC konverter digunakan untuk tegangan DC dan pada jaringan terhubung dimana tegangan menggunakan tegangan AC, maka harus menggunakan konverter DC/AC.



Gambar 2.12 Aplikasi MPPT Pada Sistem Jaringan Terhubung dan Sistem Mandiri

Sebelum ke konverter DC/AC, sebuah konverter DC/DC (umumnya *step up konveter*) yang digunakan untuk mencari titik daya maksimum untuk kemudian di transfer ke jaringan terhubung atau beban lokal.

3. Pompa air: listrik yang dihasilkan modul sel surya digunakan untuk menggerakkan sebuah motor DC yang menggerakkan pompa air. Dengan menggunakan MPPT transfer daya ke motor dapat dimaksimumkan dan berefek laju aliran pompa air juga semakin besar.



Gambar 2.13 Aplikasi MPPT Pada Pompa Air

2.6 Pengendali PID

Pengendali PID merupakan suatu pengendali yang masih banyak digunakan, lebih dari 95 % industri masih menggunakan pengendali ini. Pengendali ini merupakan gabungan dari pengendali Proporsional(P), pengendali Integral(I), dan pengendali Derivatif (D).

2.6.1 Kontrol Proporsional (P)

Aksi kontrol proporsional digunakan untuk mempercepat respon sistem, tetapi akan menghasilkan pada kondisi mantap (*offset*). Sinyal kontrol

yang dihasilkan mempunyai hubungan yang liner terhadap kesalahan dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.7)$$

dimana K_p : Konstanta Proporsional

pengaruh kontroler proporsional pada sistem adalah sebagai berikut:

1. Menambah atau mengurangi kestabilan
2. Dapat memperbaiki respon transien khususnya *rise time*, *settling time*
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state*

2.6.2 Kontrol Integral (I)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan integrasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

Dimana K_i : konstanta integral

Pengaruh pada sistem:

1. Menghilangkan *Error Steady State*
2. Respon lebih lambat (dibanding P)

3. Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

2.6.3. Kontrol Derivatif (D)

Sinyal Kontrol yang dihasilkan merupakan hasil dari diferensiasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

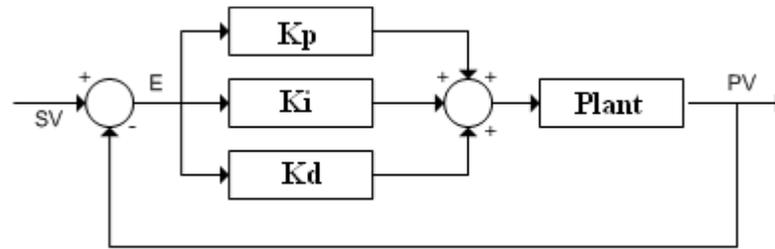
Dimana K_d : konstanta *derivatif*

Pengaruh pada sistem:

1. Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi sehingga bisa memperbesar pemberian nilai K_p
2. Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan *error*.
3. D hanya berubah saat ada *error*, sehingga saat ada *error* statis D tidak bereaksi Sehingga D tidak boleh digunakan sendiri.

PID merupakan gabungan dari pengendali proporsional, pengendali integral, dan pengendali derivatif seperti ditunjukkan pada gambar 2.14 sehingga memiliki kelebihan sebagai berikut:

- P: memperbaiki respon transien
- I: menghilangkan *error steady state*
- D: memberikan efek redaman



Gambar 2.14 Diagram Blok PID

Sehingga persamaannya menjadi:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

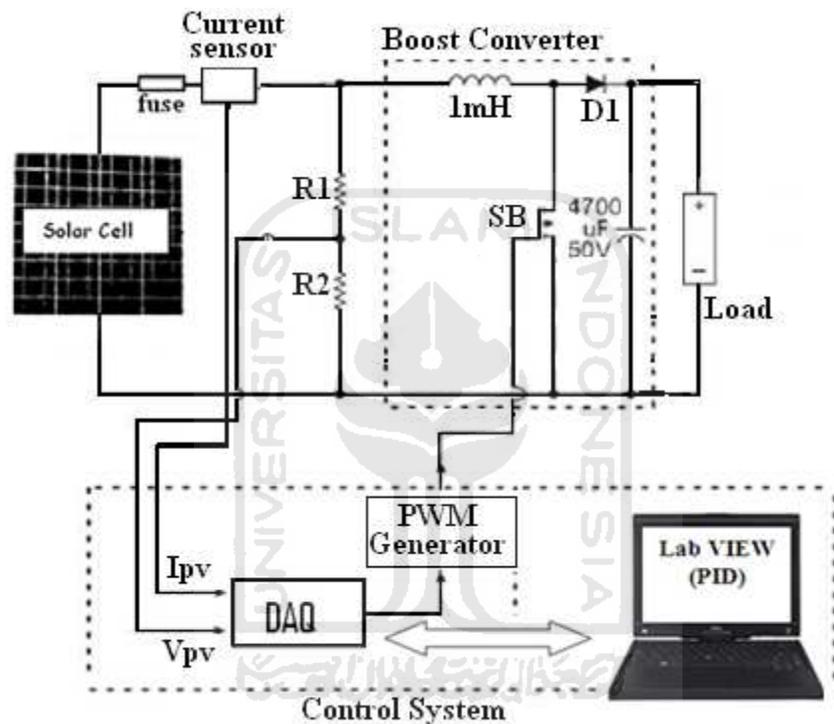
Dengan K_p : penguatan proporsional

K_i : penguatan integral

K_d : penguatan turunan

BAB III

PERANCANGAN SISTEM



Gambar 3.1 Perancangan Sistem kontrol MPPT Panel Surya

Gambar 3.1 di atas merupakan perancangan keseluruhan dari kontrol MPP (*maximum power point*) panel surya, dimana terdiri dari *hardware* dan *software* yang terintegrasi menjadi suatu sistem yang dinamis. Penjelasan untuk lebih jelas dari bagian-bagian penyusun sistem adalah sebagai berikut:

3.1 Panel Surya



Gambar 3.2 Modul Sel Surya

Photovoltaic (PV) atau sering disebut modul sel surya merupakan suatu sel yang dapat menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari PV adalah mengkonversi energi panas matahari menjadi energi listrik. Biasanya sel surya dihubungkan antara satu sel dengan sel lainnya dan membentuk suatu modul panel surya. Panel surya tersebut mempunyai kapasitas daya yang mampu dihasilkan, tergantung dari luas penampang atau banyaknya sel surya yang dipasang dalam satu modul. Berikut spesifikasi panel surya yang digunakan:

Type : NT 680640156

Max Power : 50W

Voc : 21.6V

Isc : 3.2 A

Vpm : 17.4V

Ipm : 2.9A

Tested at : 1000V/m

Temp : 25 deg C

Tolerance : $\pm 5\%$

3.2 Ni DAQ USB-6009

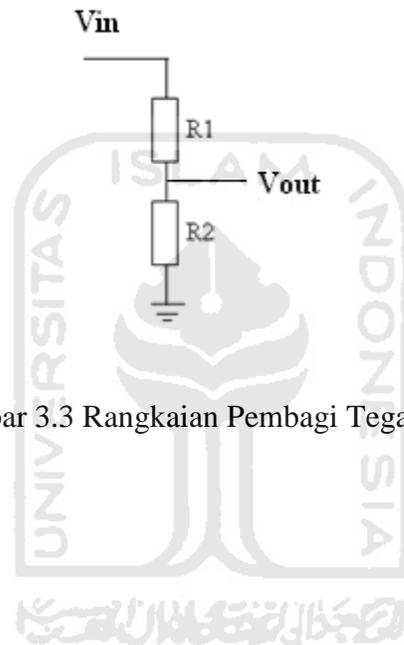
Merupakan piranti akuisisi data yang berfungsi sebagai pengukuran sinyal elektrik dari suatu sensor, transduser dan probe yang kemudian diproses pada komputer. Pada sistem pengukuran panel surya besaran yang diukur adalah tegangan dan arus. Berikut konfigurasi pin DAQ yang terhubung ke sensor.

Tabel 3.1 Konfigurasi Pin DAQ

| PIN DAQ | FUNGSI |
|---------|------------------------------|
| Ai0 | Membaca Tegangan Panel Surya |
| Ai1 | Membaca Arus Panel Surya |
| Ao0 | Output Tegangan PID |

3.3. Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk pengukuran tegangan. Agar pengukuran data presisi dan membatasi tegangan yang masuk ke DAQ tidak terlalu besar maka digunakan sensor tegangan yang terdiri dari 2 buah resistor pembagi tegangan.



Gambar 3.3 Rangkaian Pembagi Tegangan

V input diperoleh dari:

$$V_{in} = I \times (R_1 + R_2) \quad (3.1)$$

Karena R terhubung secara seri maka besar arus yang melalui R1 dan R2 adalah sama. Sedangkan

$$V_{out} = R_2 \times I \quad (3.2)$$

Sehingga dari persamaan tersebut dapat dihasilkan persamaan:

$$\frac{V_{in}}{R_1 + R_2} = \frac{V_{out}}{R_2} \quad (3.3)$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{in} \quad (3.4)$$

Keterangan:

V_{in} = Tegangan Masukan (volt)

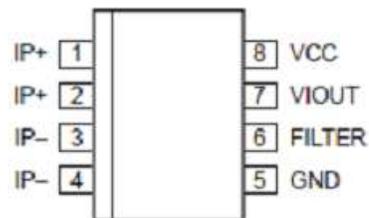
V_{out} = Tegangan Keluaran (volt)

R = Resistansi (ohm)

I = Arus (ampere)

3.4 Sensor Arus

Arus merupakan besaran penting yang harus diukur untuk mengetahui kinerja optimal suatu sel surya. Arus berubah-ubah sesuai kondisi penyinaran matahari, diperlukan suatu sensor yang ideal agar arus yang kita ukur presisi dengan *error* yang kecil. Sensor arus yang digunakan adalah allegro ACS 172 dengan catu daya sebesar +5 Volt dengan tegangan referensi +2.5V.

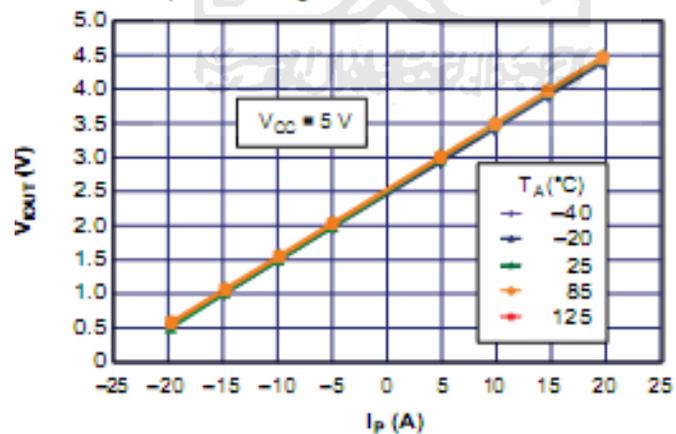


Gambar 3.4 Pin Sensor Arus

Tabel 3.4 Konfigurasi Pin Sensor Arus

| NO | Nama | Deskripsi |
|---------|--------|--|
| 1 dan 2 | IP+ | Terminal dimana arus akan disensor, <i>fuse</i> internal |
| 3 dan 4 | IP- | Terminal dimana arus akan disensor, <i>fuse</i> internal |
| 5 | GND | Terminal sinyal <i>ground</i> |
| 6 | FILTER | Terminal kapasitor eksternal untuk mengeset <i>Bandwidth</i> |
| 7 | VIOUT | Sinyal analog keluaran |
| 8 | VCC | Terminal <i>power supply</i> |

ACS 712 mengukur arus dengan cara merubah kedalam bentuk tegangan . sensor ini mempunyai grafik kelinieran sebagai berikut:



Gambar 3.5 Kelinearan Sensor Arus

3.5 Maximum Power Point Tracker

Maximum Power Point Tracking merupakan suatu metode pencarian titik maksimum daya. Ada beberapa algoritma yang sering digunakan dalam pencarian titik maksimum daya, diantaranya *perturb and observe*, *incremental conductance*, *parasitice capacitance*, *voltage base peak power tracking*, dan *current based peak power tracking*. Dua algoritma pertama sering disebut juga sebagai algoritma pendakian bukit (*hill climbing*), karena pada kenyataan algoritma ini bekerja pada sisi kiri MPP grafik meningkat (*rising*) $dP > 0$ sementara disebelah kanan grafik menurun (*falling*) $dP < 0$ seperti ditunjukkan pada gambar 3.6. Prinsip kerja dari algoritma *hill climbing* diberikan persamaan *diffrensial* daya (dP) sama dengan nol.

Daya didapatkan dari hasil perkalian tegangan dan arus Ditunjukkan pada persamaan:

$$P = V * I \quad (3.6)$$

Daya maksimum didiperoleh ketika perubahan daya (*diffrensial* daya) tidak terjadi lagi atau dalam persamaan:

$$dP = 0 \text{ atau } (P_k = P_{k-1}) \quad (3.7)$$

apabila terjadi kenaikan daya berarti terjadinya gangguan (*perturbation*) yang menyebabkan terjadinya perubahan daya (dP) yang bernilai positif atau $dP > 0$, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$dP > 0 \text{ atau } (P_k > P_{k-1}) \quad (3.8)$$

apabila terjadi penurunan daya berarti terjadinya gangguan (*perturbation*) yang menyebabkan terjadinya perubahan daya (dP) yang bernilai negatif atau $dP < 0$, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$dP < 0 \text{ atau } (P_k < P_{k-1}) \quad (3.9)$$

keterangan: P = Daya (Watt)

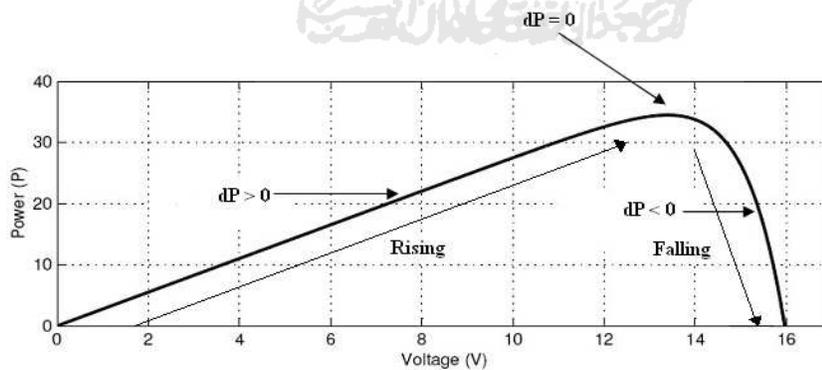
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

dP = Perubahan Daya (Watt)

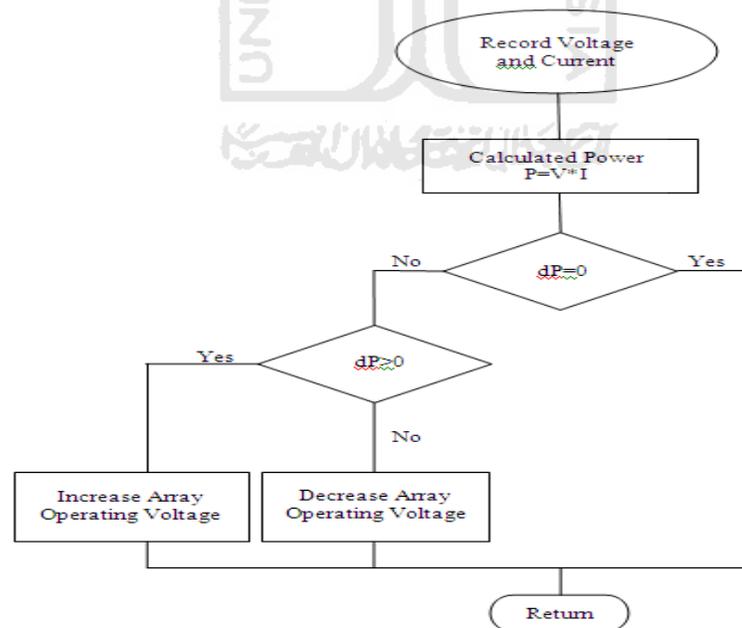
P_k = Daya Sekarang (Watt)

P_{k-1} = Daya sebelumnya (Watt)



Gambar 3.6 Prinsip Kerja Algoritma *Hill Climbing*

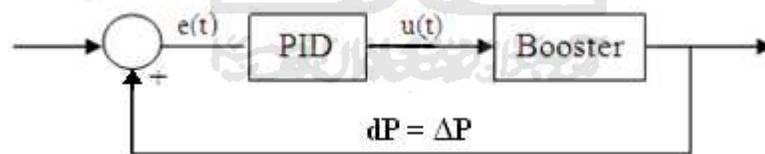
Gambar 3.6 merepresentasikan prinsip kerja algoritma *hill climbing* yang bekerja 3 daerah kondisi yaitu kondisi pertama pada saat daerah kerja sebelah kiri ketika terjadi gangguan (*perturbation*) akan terjadi kenaikan daya. Ditunjukkan pada saat kenaikan grafik (*rising*) kearah maksimum dengan perubahan daya bernilai positif ($dP > 0$), dan berakibat MPPT akan menaikkan tegangan operasi PV. Kondisi kedua ketika daya telah berada pada kondisi puncak (MPP) dengan tidak ada lagi perubahan daya ($dP=0$), maka MPPT akan beroperasi pada titik ini hingga ada gangguan (*perturbation*). Kondisi ketiga sebaliknya ketika terjadi gangguan yang menyebabkan terjadinya penurunan daya. Ditunjukkan pada saat penurunan grafik (*falling*) dengan perubahan daya bernilai negatif ($dP < 0$), mengakibatkan MPPT akan menurunkan tegangan operasi PV. Berikut diagram alir dari algoritma *hill climbing*.



Gambar 3.7 Diagram Alir Algoritma *Hill Climbing*

3.6 Pengendali PID

Kontrol PID berperan penting dalam mengatur tegangan kontrol untuk mencari titik maksimum daya PV. Dalam MPPT, PID bekerja berdasarkan algoritma *hill climbing* dimana *error* $e(t)$ yang diproses oleh PID adalah perubahan daya (dP), sedangkan set point dicapai pada saat tidak ada lagi perubahan daya atau $dP = 0$. Titik daya maksimum atau posisi $dP=0$ dapat berubah-ubah karena karena pada sistem MPPT PV daya yang dihasilkan tidaklah linear tergantung intensitas penyinaran matahari (insolasi matahari). Penerapan algoritma *hill climbing* dalam PID sangatlah penting mengingat kondisi cuaca yang tidak konstan dan selalu berubah. Berikut sistem kalang tertutup pengendali PID.



Gambar 3.8 Sistem Kalang Tertutup PID

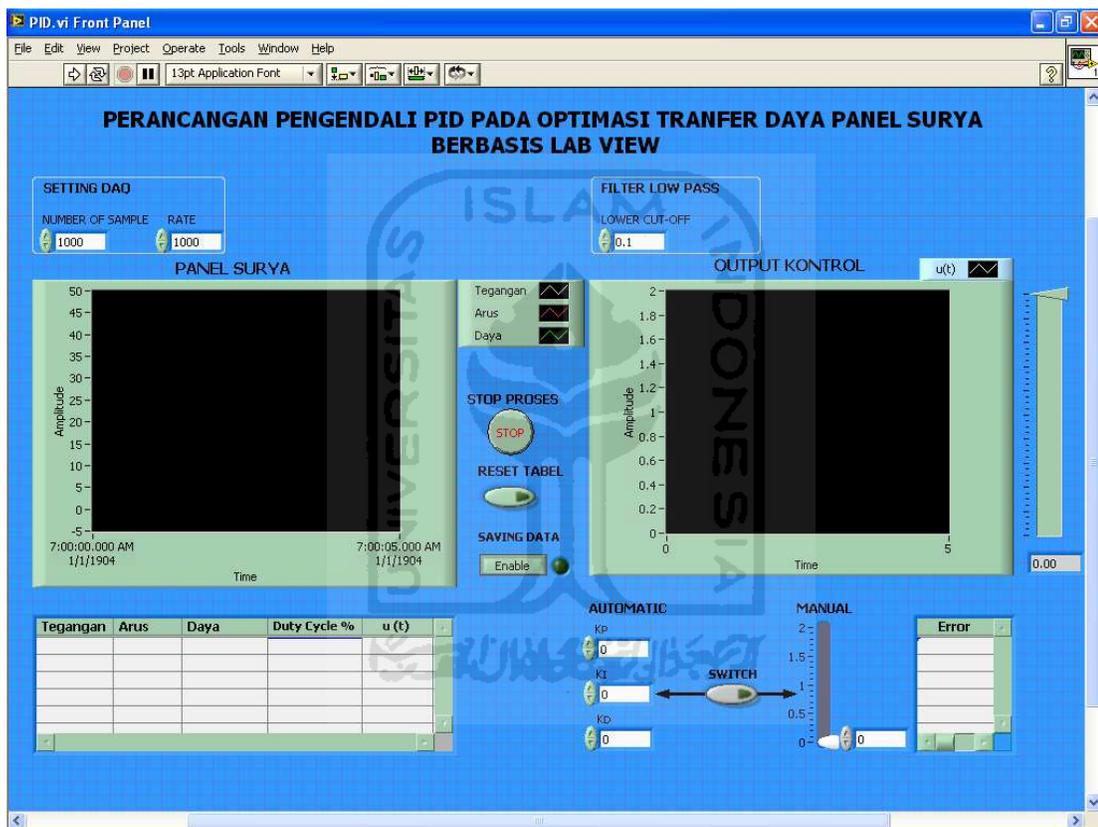
Untuk menentukan respon tegangan kontrol $u(t)$ yang sesuai dengan respon yang diinginkan diperlukan penetapan parameter konstanta P, I, dan D yang tepat. Konstanta P, I, dan D dapat ditentukan dengan menganalisis respon output dengan sistem kalang terbuka.

3.7 Graphical User Interface (GUI)

LabView merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* adalah perangkat lunak komputer untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali instrumen serta automasi industri yang pertama kali dikembangkan oleh perusahaan National Instrumen pada tahun 1986. Seperti konsep programan lainnya yaitu *C++*, *Matlab*, *Visual Basic*, *LabView* juga mempunyai fungsi dan peranan yang sama. Perbedaannya bahwa *LabView* menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan basis teks. Program *LabView* dikenal dengan sebutan VI atau *Virtual Instruments* karena penampilan dan operasinya dapat meniru sebuah instrument. Desain *LabView* mempermudah user dalam menggunakan dan memahami pemrograman karena telah disediakan dan dikelompokkan berdasarkan fungsi-fungsi tertentu.

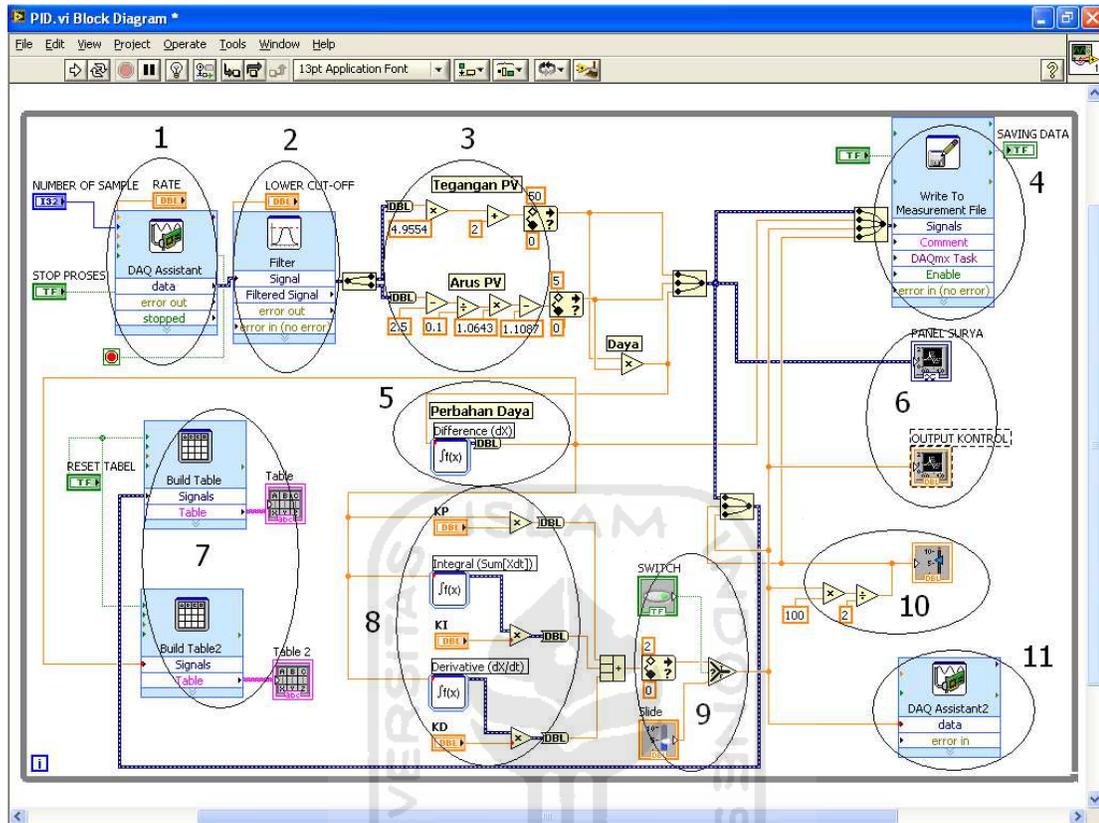
Desain pada gambar 3.9 terdiri dari beberapa *pallet* fungsi yaitu disebelah kiri atas terdapat fungsi setting DAQ yaitu pengaturan *number of sample* dan *rate* dan disebelah kanan atas terdapat pengaturan *cut off filter* yang bisa diatur kapanpun sesuai dengan keperluan *user*. Pada bagian tengah terdapat 2 *display* yaitu daya panel surya dan output PID dimana hasil pengukuran signal akan ditampilkan dalam bentuk *chart* yang biasa diamati secara *Real Time*. Di bagian tengah diantara *display* terdapat tombol 3 pengaturan yaitu pengaturan *stop* sistem, pengaturan reset tabel dan pengaturan penyimpanan data. Di bagian kiri bawah terdapat tabel yang berfungsi

menampilkan nilai hasil pengukuran dan menyajikannya dalam bentuk tabel. Dibagian kanan bawah terdapat blok pengaturan kontrol yang dapat dilakukan secara manual dengan cara menggerakkan *slide* kontrol, dan secara otomatis menggunakan sistem PID dimana dimasukkan parameter Gain PID secara langsung.



Gambar 3.9 Sistem GUI Dengan labview 8.6

Adapun diagramnya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Blok diagram sistem

Keterangan:

1. **DAQ Assistant1:** Kanal Virtual dari Analog *input hardware* akuisisi data NI USB-6009.
2. **Filter:** memfilter sinyal masukan agar dihasilkan lebih halus dan tidak bernoise. Filter digital yang digunakan adalah low pass filter tipe butterworth dengan frekuensi cut off 0.1 Hz orde 3.
3. **Signal:** merupakan sinyal yang kita ukur, sinyal yang telah difilter dibagi menjadi 3 utama yaitu Tegangan PV, Tegangan *Booster*, Arus *Booster*.

Kemudian penambahan satu signal yaitu daya merupakan hasil perkalian dari Tegangan *Booster* dan Arus *Booster*.

4. **Penyimpanan data:** berguna untuk menyimpan data pengukuran secara *real time*. Data disimpan dalam format *.LVM (logical Volume Managemen)* dan dapat di akses dengan notepad.
5. **Error :** Input PID yaitu perubahan daya.
6. **Display:** untuk menampilkan pengukuran data dalam bentuk *chart real time*. *Display* terdiri dari 2 yaitu *display* daya dan *display output pid*.
7. **Tabel:** berfungsi untuk menampilkan data pengukuran dan disajikan dalam bentuk tabel.
8. **Blok kontrol PID:** berfungsi sebagai kontrol, dimana metode kontrol yang digunakan adalah PID
9. **Switch:** berfungsi untuk menukar sistem secara manual ke otomatis atau sebaliknya.
10. **Linearisasi PWM:** berfungsi sebagai linearisasi pwm dimana nilai dari tegangan kontrol akan dikalikan dengan 100 dan dibagi 2. Nilai tersebut akan sama dengan nilai % *duty cycle*.
11. **DAQ Assistan2:** Kanal Vitual Output *hardware* akuisisi data dengan memberikan supply tegangan 0-5 Volt.

BAB IV

PENGUJIAN ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil uji coba sistem MPPT ,analisis, dan pembahasan untuk mengetahui bekerja atau tidaknya sebuah sistem MPPT dengan pengendali PID. Sistem kendali yang digunakan adalah PID yang berfungsi mengendalikan lebar pulsa PWM. Pulsa PWM dibangkitkan oleh *Driver* PWM menggunakan IC TL494 yang dioperasikan pada frekuensi sekitar 14 kHz. IC TL494 mampu yang menghasilkan *duty cycle* 0-100% dengan memberikan suplai tegangan 0-2 Volt. Pulsa PWM digunakan untuk pengaktifan saklar elektronik MOSFET IRF. Sistem Kendali PID diimplementasikan menggunakan Lab VIEW versi 8.6

4.1 Pengujian Sensor

Agar pembacaan pada alat ukur sesuai dengan pembacaan dikomputer ,maka diperlukannya suatu kalibrasi . Kalibrasi tersebut membandingkan beberapa data yang terukur menggunakan alat ukur dan data yang terbaca oleh perangkat akuisisi yang di komputer. Kemudian data tersebut diamati perubahannya, linear atau tidak perubahan tegangan tersebut.

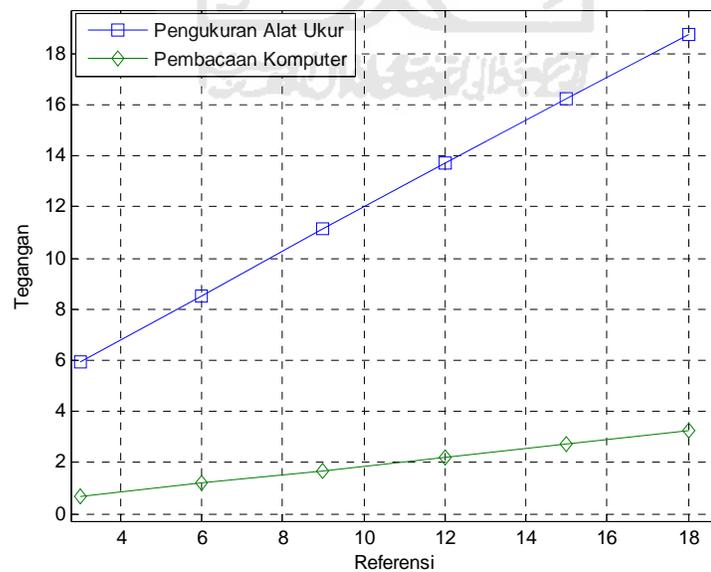
4.1.1 Sensor Tegangan Input

Pada sensor tegangan input menggunakan dua buah resistor yang berukuran sama yaitu 10 K Ω .

Berikut data sensor tegangan input:

Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor Tegangan Input.

| Pembacaan Alat Ukur | Pembacaan Komputer |
|---------------------|--------------------|
| 5.91 | 0.664 |
| 8.5 | 1.19 |
| 11.12 | 1.671 |
| 13.7 | 2.194 |
| 16.24 | 2.744 |
| 18.72 | 3.252 |



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan Input

Pada gambar 4.1 dapat dilihat respon antara data alat ukur dan data komputer bersifat linear, dan parameter kalibrasinya dapat dicari menggunakan Matlab dengan menggunakan rumus linearisasi yaitu:

$\text{Polyfit}(b,a,1)$

Keterangan: b = data hasil pembacaan oleh komputer

a = data hasil pembacaan alat ukur $y = ax + b$

1 = sistem orde 1

Didapatkan parameter yaitu:

4.9554 2.6895

Parameter di atas merupakan hasil dari kalibrasi yang mempunyai makna, data pembacaan di komputer dikali dengan nilai 4.9554 dan ditambah 2.6895

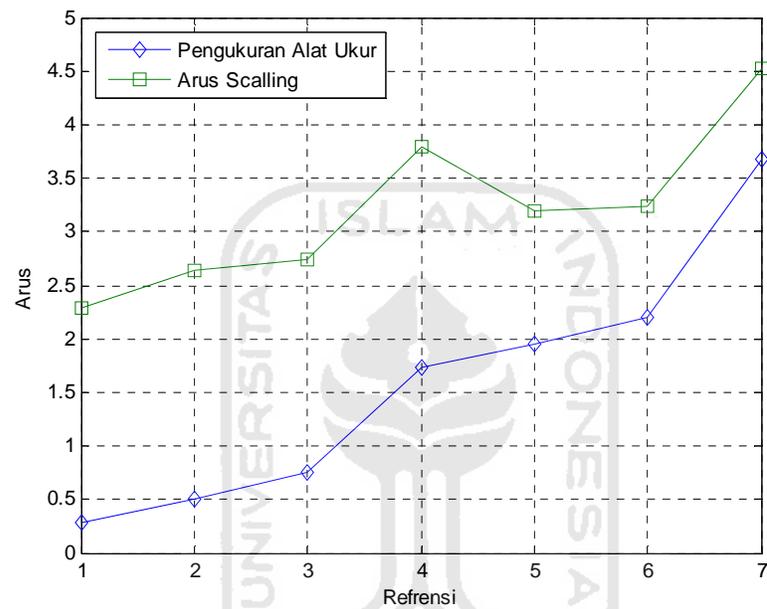
4.1.2 Sensor Arus

Berikut data hasil pengukuran dengan alat ukur dan pembacaan pada komputer:

Tabel 4.2 Kalibrasi Sensor Arus

| Pembacaan Alat Ukur | Arus Scalling |
|---------------------|---------------|
| 0.29 | 2.295 |
| 0.51 | 2.64 |
| 0.76 | 2.74 |
| 1.73 | 3.8 |

| Pembacaan Alat Ukur | Arus Scalling |
|---------------------|---------------|
| 1.95 | 3.197 |
| 2.2 | 3.24 |
| 3.68 | 4.53 |



Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Sensor Arus

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2 data pengukuran dengan alat ukur dan komputer bersifat linear, maka parameter kalibrasi dapat dicari dengan Matlab menggunakan rumus linearisasi yaitu:

`polyfit(b,a,1)`

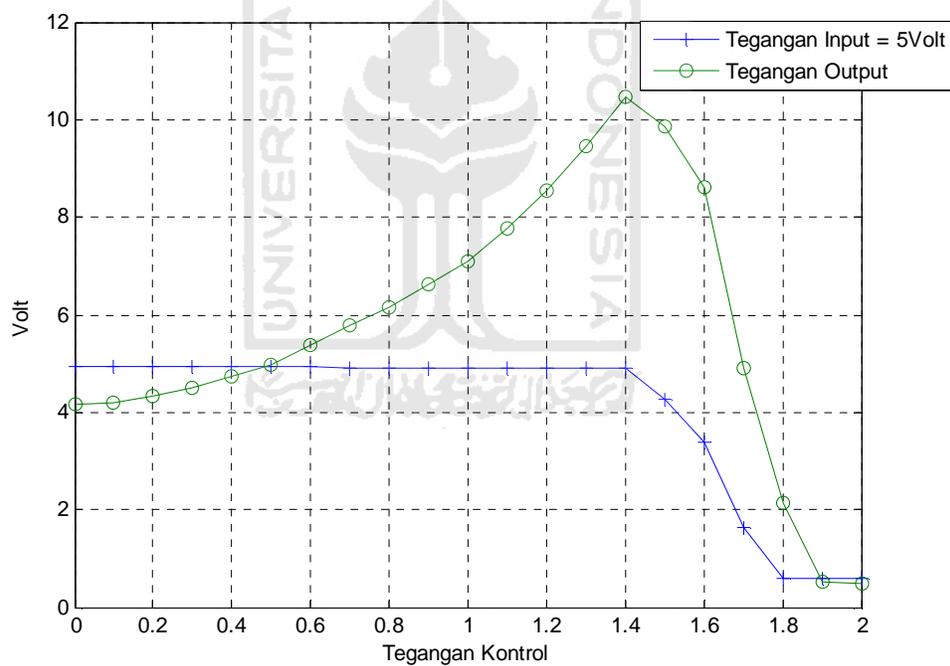
Keterangan: b = data hasil pembacaan oleh komputer

a = data hasil pembacaan alat ukur $y = ax + b$

1= sistem orde 1

Hasil yang didapat yaitu 1.4535 -3.0714 parameter tersebut mempunyai makna hasil pembacaan komputer dikalikan dengan nilai 1.4535 dan dikurangi 3.0714.

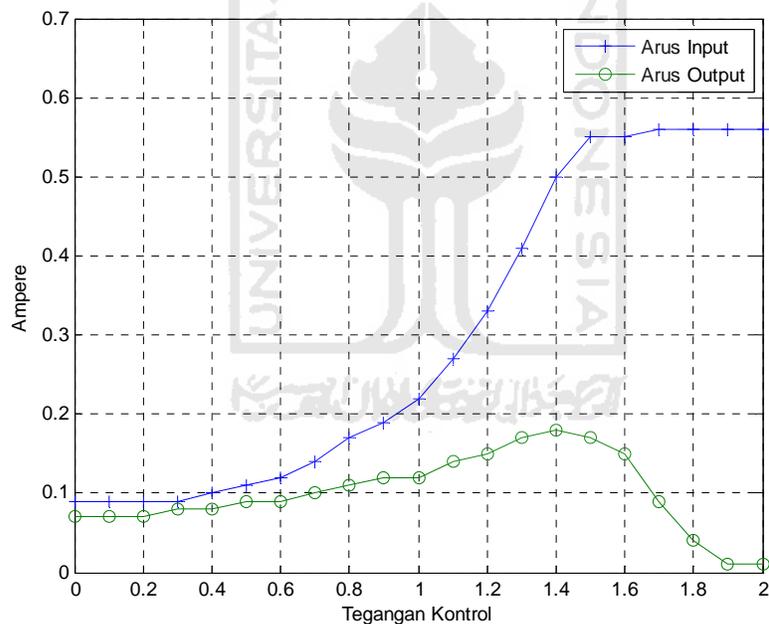
4.2 Karakteristik Boost Converter



Gambar 4.3 Karakteristik Tegangan Input Dan Output *Boost Converter*

Gambar 4.3 merupakan karakteristik Tegangan Input dan Output *Boost Converter* dengan pengujian input konstan 5 Volt dan terhubung resistor 56ohm.

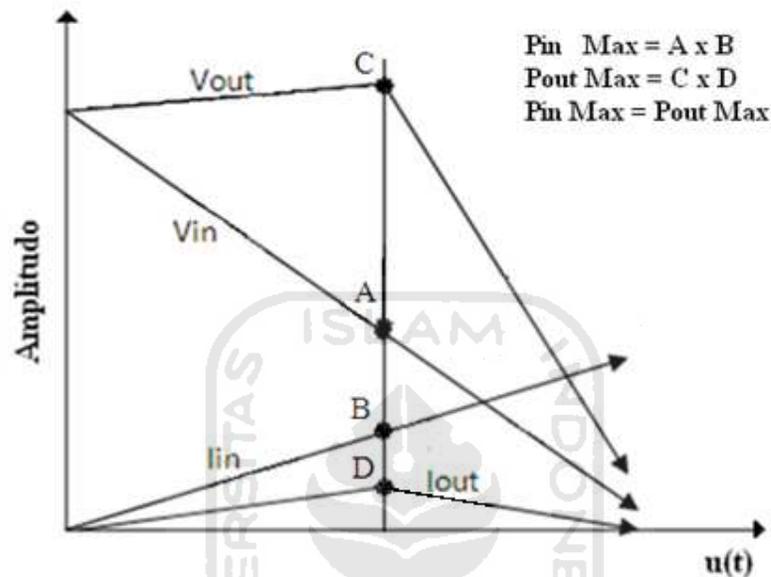
Dapat dilihat perubahan dari tegangan input dan *output* booster dengan menaikkan tegangan kontrol dari 0-2 Volt secara simultan dengan kenaikan setiap 0.1 Volt. Tegangan output lebih besar dari tegangan input ($V_o > V_{in}$) dimana tegangan input semakin mengecil seiring kenaikan tegangan kontrol, sedangkan tegangan *output booster* akan membesar dan akan maksimal pada tegangan kontrol tertentu, selanjutnya akan mengecil. Tegangan *output* dari *booster* dapat bervariasi tergantung besar kecilnya tegangan input booster dan nilai resistansi beban.



Gambar 4.4 Karakteristik Arus Input Dan Output *Boost Converter*

Pada gambar 4.4 merupakan karakteristik dari arus boost converter dimana arus output lebih kecil dari arus input ($I_o < I_{in}$). Arus input akan membesar dan maksimum pada titik tertentu, sedangkan arus output akan maksimum pada titik tertentu dan

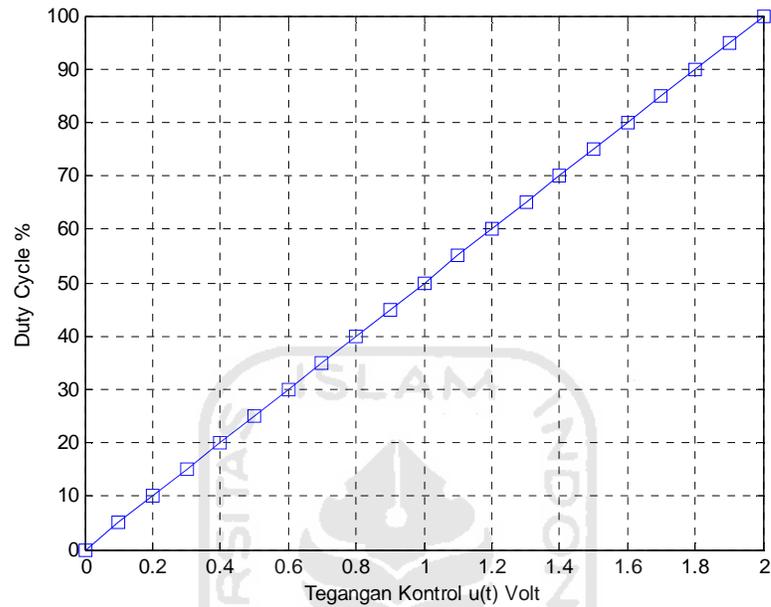
kemudian turun. Untuk lebih jelasnya mengenai karakteristik *boost converter* dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Karakteristik Boost Converter Terhadap Tegangan Kontrol $u(t)$

Gambar 4.5 merupakan penjelasan mengenai karakteristik *boost converter* dimana terhubung ke beban. Ketika *booster* diberikan suatu suplai DC, tegangan inputan akan mengecil seiring kenaikan tegangan kontrol $u(t)$. Tetapi berkebalikan, dengan arus inputan yang semakin membesar, sedangkan tegangan output membesar dan sampai ke titik puncaknya kemudian mengecil. Sama halnya dengan arus output akan naik sampai titik tertentu dan kemudian turun. Seperti pada gambar 4.4, daya maksimum input merupakan perkalian dari titik A dan B, dan daya maksimum output merupakan perkalian dari titik B dan C. Pada kondisi inilah daya *input booster* sama dengan daya *output booster*.

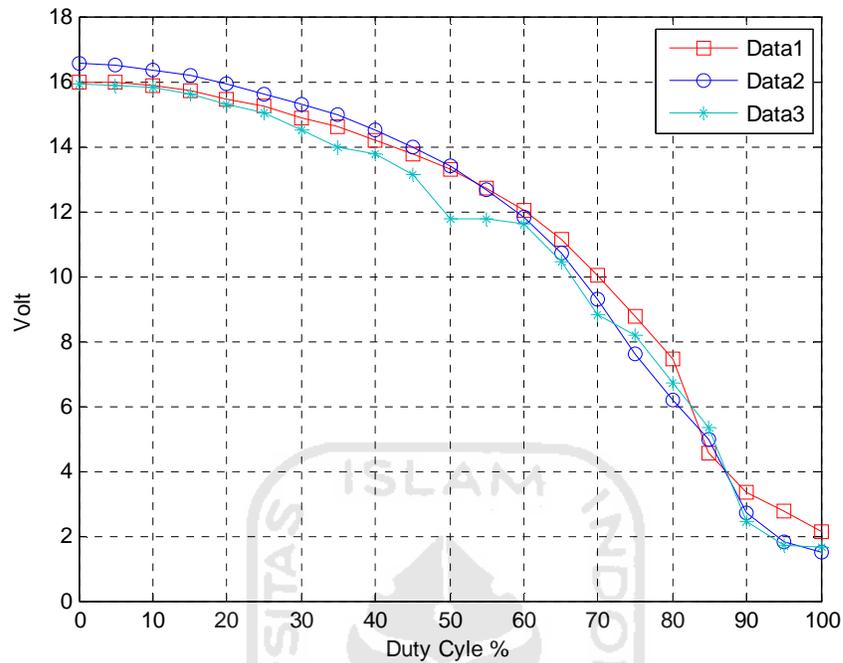
4.3 Pembangkit PWM



Gambar 4.6 Variasi *Duty Cycle*

Gambar 4.6 menunjukkan kelinearan PWM terhadap tegangan kontrol, Sinyal PWM dibangkitkan antara 0-100 % dengan memberikan tegangan dari 0-2 Volt. PWM akan naik 5 % setiap kenaikan tegangan kontrol sebesar 0.1 Volt.

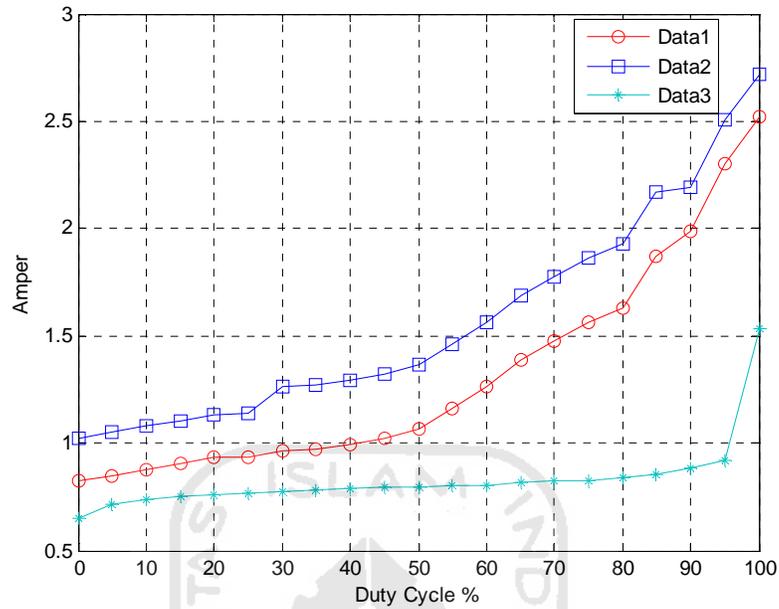
4.3.1 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Tegangan Panel Surya



Gambar 4.7 Respon Tegangan PV Terhadap *Duty Cycle*

Gambar 4.7 merupakan respon tegangan panel surya terhadap *duty cycle*. Dimana terjadi penurunan nilai tegangan ketika kenaikan nilai *duty cycle* dari 0 – 100 %. Hal ini disebabkan karena sifat dari *booster* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

4.3.2 Pengaruh *Duty Cycle* Terhadap Arus Panel Surya

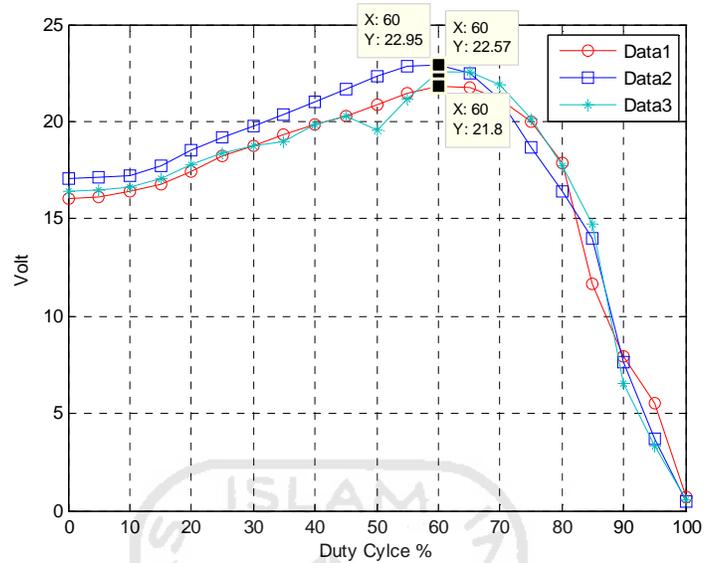


Gambar 4.8 Respon Arus PV terhadap Duty Cycle

Gambar 4.8 merupakan respon arus PV terhadap kenaikan *duty cycle*. Arus akan naik seiring kenaikan *Duty cycle* dari 0-100%.

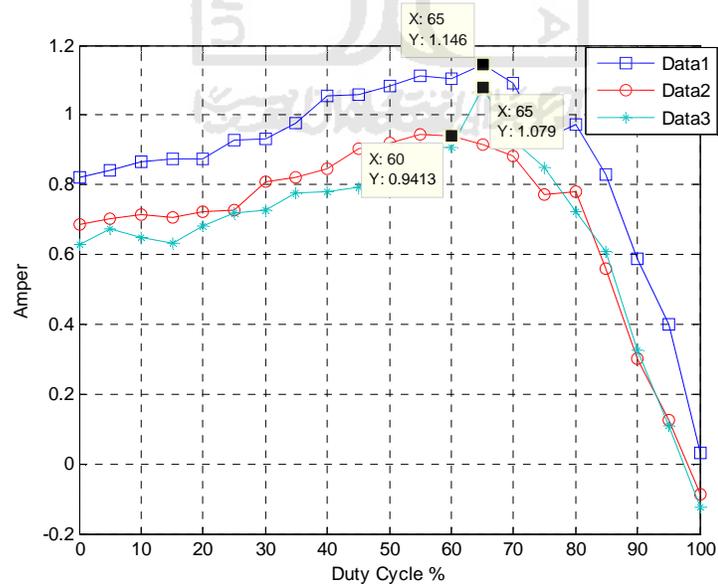
4.3.3 Pengaruh *Duty Cycle* Terhadap Tegangan Booster

Gambar 4.9 merupakan respon dari tegangan *booster* terhadap *duty cycle*. Ketika *Duty Cycle* dinaikkan dari 0-100 % maka akan mengakibatkan tegangan akan naik dan mencapai titik puncaknya (V_{max}) pada *Duty Cycle* tertentu dan kemudian turun. Nilai maksimum tegangan *booster* (V_{max}) diperoleh pada saat *duty cycle* 60 %.



Gambar 4.9 Respon Tegangan Booster Terhadap Duty Cycle

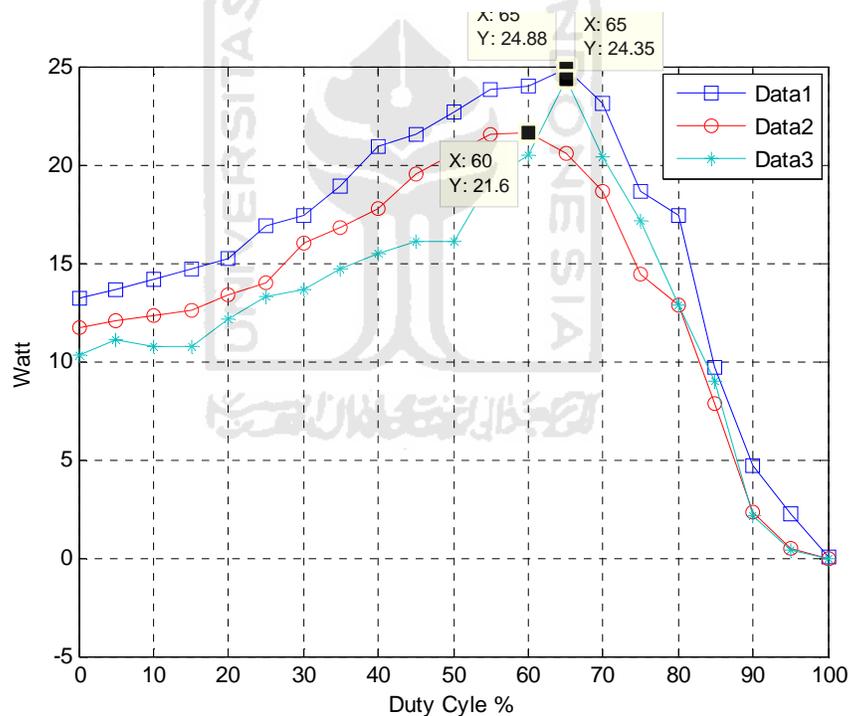
4.3.4 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Arus Booster



Gambar 4.10 Respon Arus Booster Terhadap Duty Cycle

Gambar 4.10 merupakan respon arus booster terhadap *duty cycle*. Ketika *duty cycle* dinaikkan dari 0 – 100 %, maka akan mengakibatkan kenaikan arus sampai titik tertentu (I_{max}) kemudian akan turun. Pada data 1 dan data 3 nilai arus maksimum diperoleh pada saat *duty cycle* 65 % sedangkan pada data 2 nilai arus maksimum diperoleh pada saat *duty cycle* 60%. Perbedaan tersebut terjadi karena perbedaan intensitas penyinaran matahari.

4.3.5 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Daya Booster



Gambar 4.11 Respon Daya Terhadap Duty Cycle

Daya *booster* merupakan hasil dari perkalian dari tegangan *booster* dan arus *booster*. Gambar 4.11 memperlihatkan respon daya *duty cycle*. Daya

akan naik sampai titik tertentu (P_{max}) selanjutnya akan turun. Pada data1 dan data3 daya maksimum diperoleh pada saat *duty cycle* 65% dan data2 daya maksimum diperoleh pada saat *duty cycle* 60%. Perbedaan tersebut terjadi karena perbedaan intensitas penyinaran matahari.

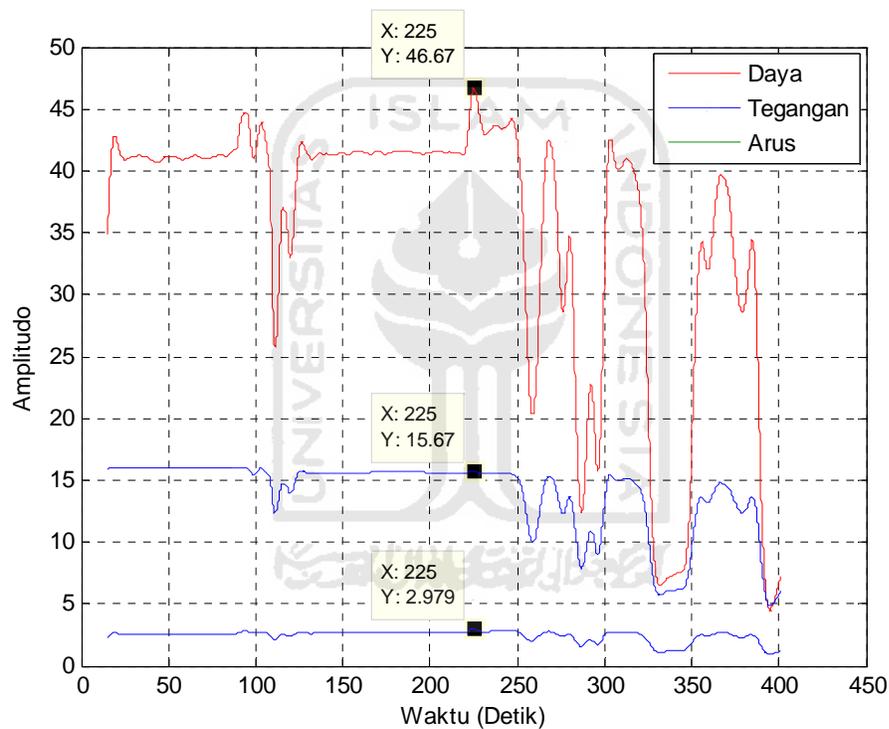
4.4 Pengujian Spesifikasi Panel Surya

Tabel 4.3 Spesifikasi PV Modul

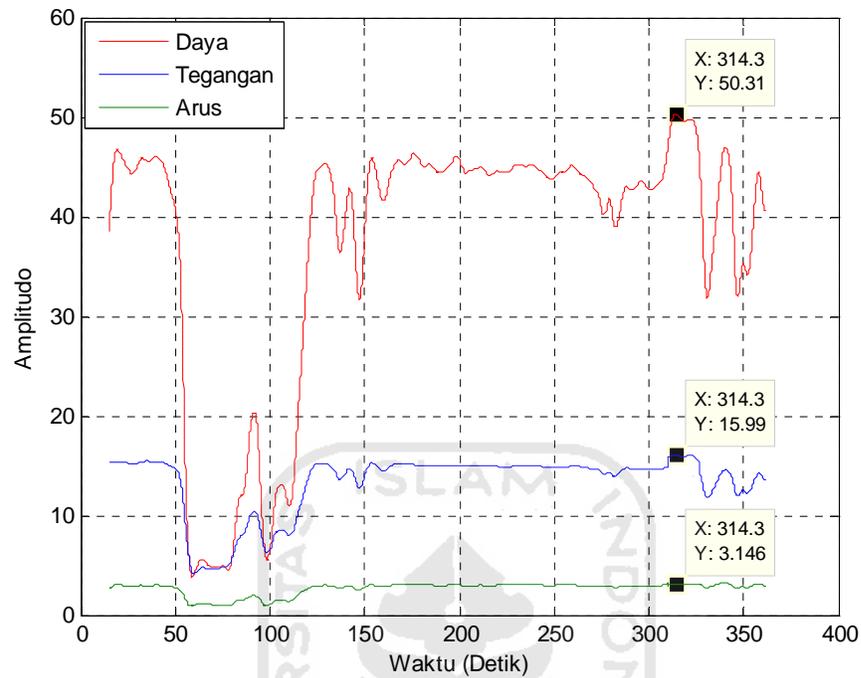
| Solar Modul NT Spesification | | Unit |
|--|--------------|------|
| Modul Type | NT 680640156 | |
| Max Power | 50 | Watt |
| Open Circuit Voltage/Voc | 21.6 | Volt |
| Short Circuit Current/Is _c | 3.2 | Amp |
| Max Power Voltage/V _{pm} | 17.4 | Volt |
| Max Power Current/I _{pm} | 2.9 | Amp |
| Tolerance | ± 5 | % |
| on test condition 1000 V/m, 25 ² °C | | |

Tabel 4.3 merupakan spesifikasi PV modul yang digunakan. Berdasarkan tabel 4.3 daya maksimum (*max Power*) yang dapat ditransfer sebesar 50W.

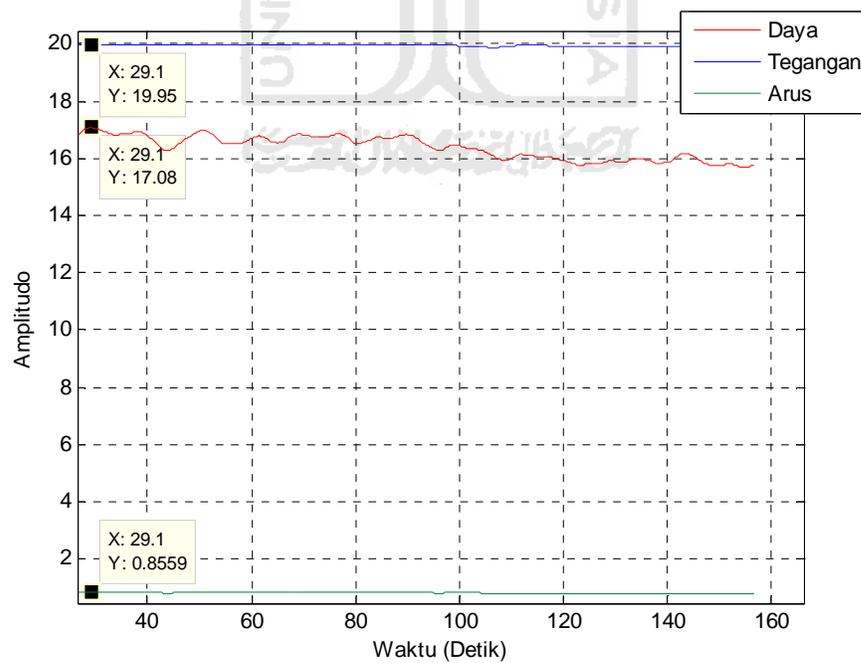
Daya tersebut merupakan hasil perkalian dari arus maksimum (I_{pm}) sebesar 2.9A dan tegangan maksimum (V_{pm}) sebesar 17.4V. Sebelum menjalankan sistem dengan menggunakan PID terlebih dahulu spesifikasi PV modul harus dibuktikan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan secara langsung PV (*Non MPPT*) dengan beban yang bervariasi.



Gambar 4.12 Pengujian PV Terhubung Dengan Beban Lampu DC 45 Watt



Gambar 4.13 Pengujian PV Terhubung Dengan Beban Lampu DC 50 Watt

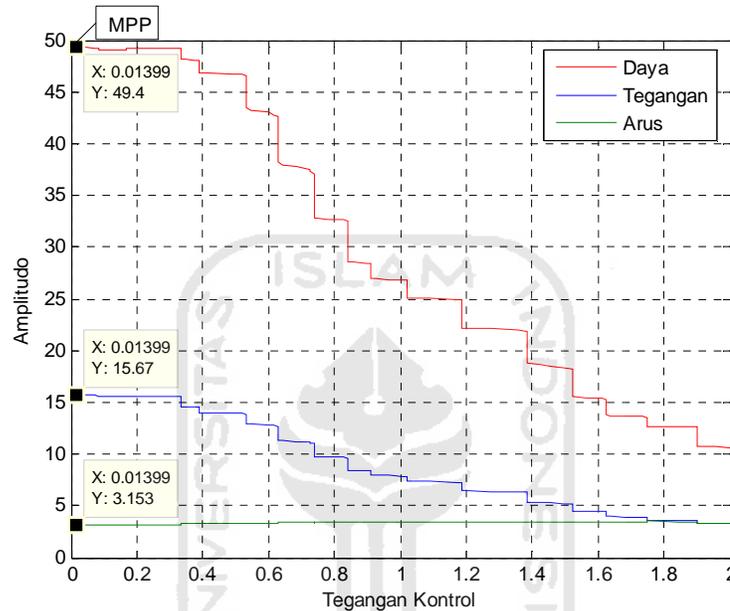


Gambar 4.14 Pengujian PV Terhubung Dengan Beban 2Resistor 47 Ω

Gambar 4.12,4.13,dan 4.14 masing-masing menunjukkan karakteristik panel surya dengan beban dan intensitas berbeda. Arus dan tegangan yang dihasilkan PV sangat tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima. Untuk menghasilkan daya maksimum dibutuhkan perkalian antara I_{pm} dan V_{pm} , tetapi pada kenyataan nilai I_{pm} dan V_{pm} tidak diketahui secara pasti. Pengujian pertama pada gambar 4.12 PV dihubungkan dengan lampu 45W. Kondisi penyorotan optimal didapatkan daya maksimum sebesar 46.67W dengan arus sebesar 2.979A dan tegangan 15.67V. Daya maksimum mendekati spesifikasi panel surya, selanjutnya beban dinaikkan menjadi 50W pada gambar 4.13 didapatkan hasil maksimal yaitu daya sebesar 50.31W dengan arus sebesar 3.146A dan tegangan 15.99V. Kondisi ini panel surya bekerja dengan maksimal dan telah memenuhi spesifikasi yang tertera di *datasheet*. Selanjutnya untuk keperluan lebih lanjut pada intensitas yang sama dilakukan uji dengan menghubungkan panel surya dengan beban 2 resistor yang berukuran 47Ω yang mempunyai *power rating* 40W dihubungkan secara paralel. Pada gambar 4.14 dapat dilihat daya maksimal yang dihasilkan sebesar 17.08W merupakan perkalian dari arus sebesar 0.8559A dan tegangan sebesar 19.95V. Daya yang dihasilkan sangat kecil dikarenakan PV dipaksa bekerja pada daerah tegangan kerja beban (*direct coupled*) sehingga arus yang mengalir ke beban dibatasi.

4.5 Manual MPPT Untuk Mencari Titik Maksimum Daya

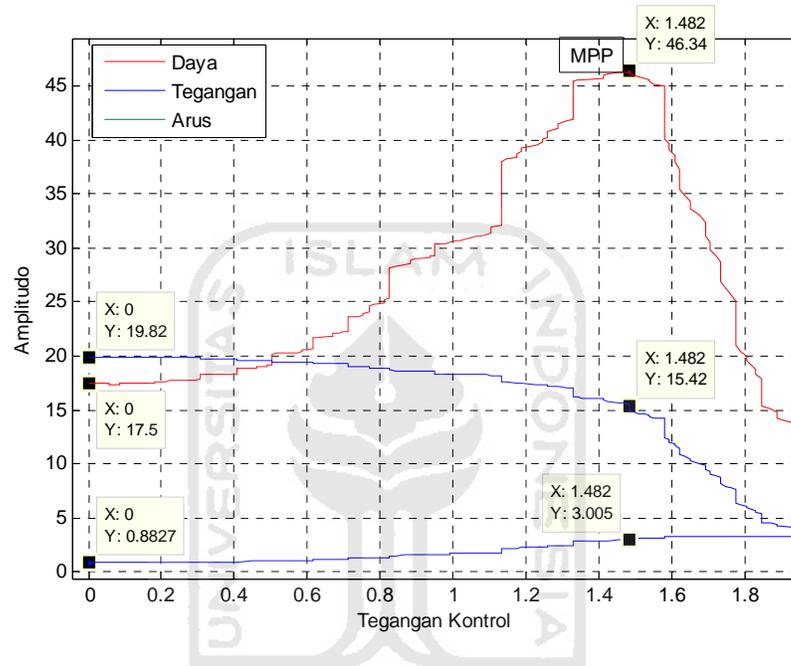
Untuk merancang agar pengendali berkerja secara optimal diperlukannya pengamatan sistem secara *open loop* yang bertujuan untuk melihat respon daya terhadap perubahan tegangan kontrol $u(t)$.



Gambar 4.15 Titik Maskimum Daya Terhubung Beban Lampu DC Watt 50

Pada gambar 4.15 dan 4.16 merupakan karakteristik respon daya terhadap tegangan kontrol pada dengan uji terhubung beban lampu dan resistor pada tingkat intensitas penyinaran maksimum. Untuk melihat respon dilakukan manual kontrol (*open loop*) dengan menaikkan tegangan kontrol secara simultan dari 0-2 Volt. Pada gambar 4.15 uji dilakukan dengan terhubung beban lampu dc 50W. Daerah kerja tegangan kontrol $u(t)$ untuk mencapai titik daya maksimum (MPP) berada pada 0V dengan menghasilkan daya sebesar 49.4W. Daya tersebut merupakan hasil perkalian dari arus PV sebesar 3.153A dan tegangan PV sebesar 15.67V. Selanjutnya ketika

tegangan kontrol $u(t)$ dinaikkan sampai maksimum yaitu 2V terjadi penurunan daya. Hal ini dikarenakan daya yang dihasilkan telah maksimum dengan kata lain PV dipaksa bekerja pada beban yang maksimal yaitu 50W.



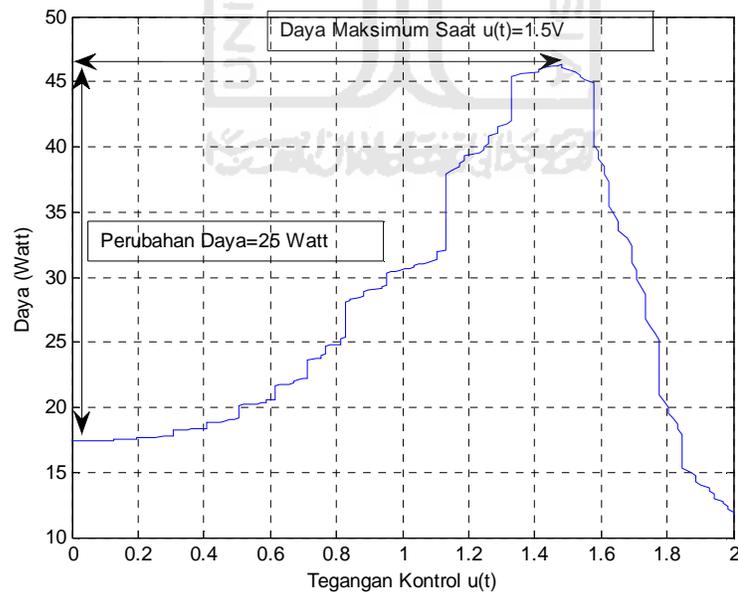
Gambar 4.16 Titik Maskimum Daya Terhubung Beban Resistor

Berbeda dengan PV dengan terhubung beban 2 resistor 47Ω masing-masing 20W yang dihubung secara paralel. Gambar 4.16 kondisi awal pada saat tegangan kontrol 0V, daya PV yang dihasilkan sebesar 17.5W dengan arus PV sebesar 0.8827A dan tegangan PV 19.82V. Arus yang dihasilkan sangat kecil kurang dari 1A maka sangat tidak ideal apabila PV mempunyai spesifikasi maksimal arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 3.2 A bekerja pada daerah tegangan kerja beban yang menghasilkan arus kurang dari 1A. Selanjutnya daya dapat dilacak dengan menaikkan

tegangan kontrol. Didapatkan daya maksimum PV sebesar 46.34W pada saat tegangan kontrol 1.482V dengan tegangan PV sebesar 15.42V dan arus PV sebesar 3.005A. Meskipun Tegangan yang dihasilkan PV lebih kecil, daerah tegangan kerja itu menghasilkan arus yang lebih besar sehingga perkalian antar arus PV dan tegangan PV dihasilkan lebih besar.

4.6 *Tuning* PID

Tuning PID bertujuan untuk mencari parameter PID yang terbaik. Untuk membandingkan dan mencari nilai PID yang paling optimal dilakukan *tuning* pada beberapa nilai konstanta PID pada intensitas penyinaran yang merata atau tidak berubah-ubah. Nilai K_p dapat ditentukan berdasarkan respon daya pada gambar 4.16



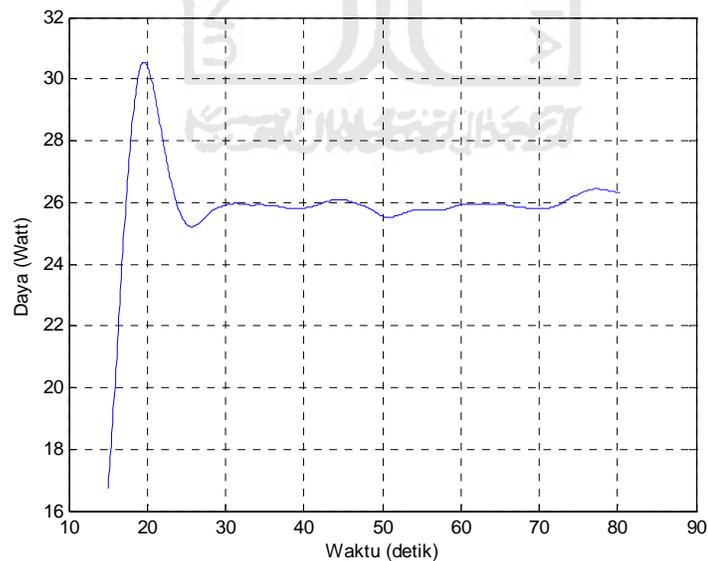
Gambar 4.17 Respon Daya Terhadap Tegangan Kontrol

Berdasarkan respon daya pada gambar diatas maka parameter K_p dapat ditentukan dengan cara:

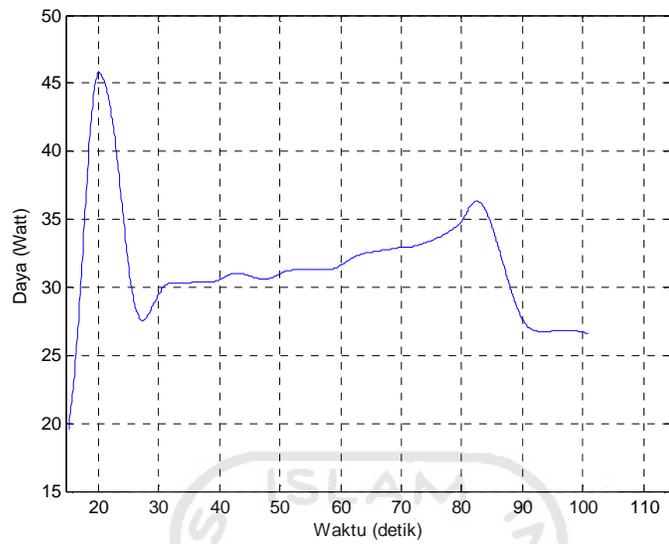
$$\begin{aligned} K_p &= u(t) / \Delta \text{ Daya} \\ &= 1.5/25 \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

Nilai kontrol $u(t)$ yang dihasilkan bersifat linear terhadap kesalahan, diharapkan setiap kenaikan tegangan kontrol 0.06 Volt maka akan menaikkan daya sebesar 1 Watt. Nilai K_i , dan K_d dalam PID biasanya lebih kecil dibandingkan nilai K_p , maka untuk melihat respon dilakukan tuning pada berbagai nilai konstanta PID.

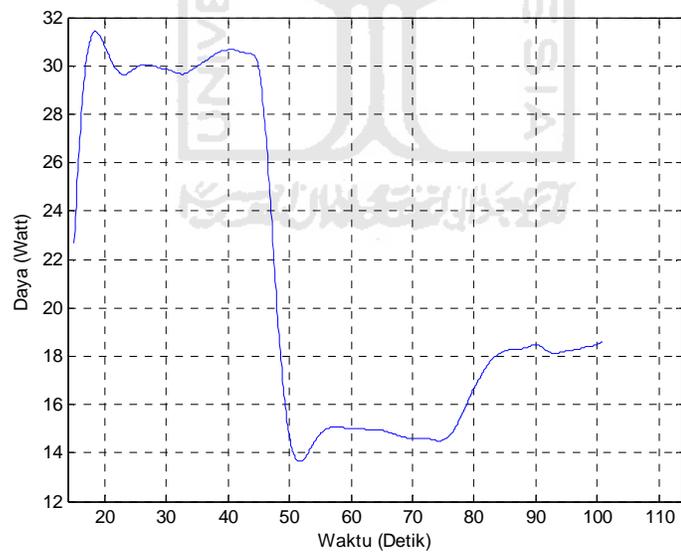
a. Pemilihan Parameter K_p



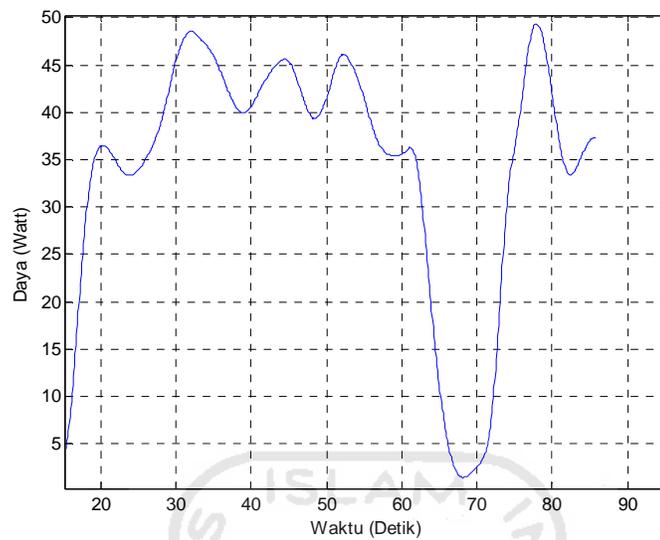
Gambar 4.18 *Tuning* nilai $K_p=0.06$



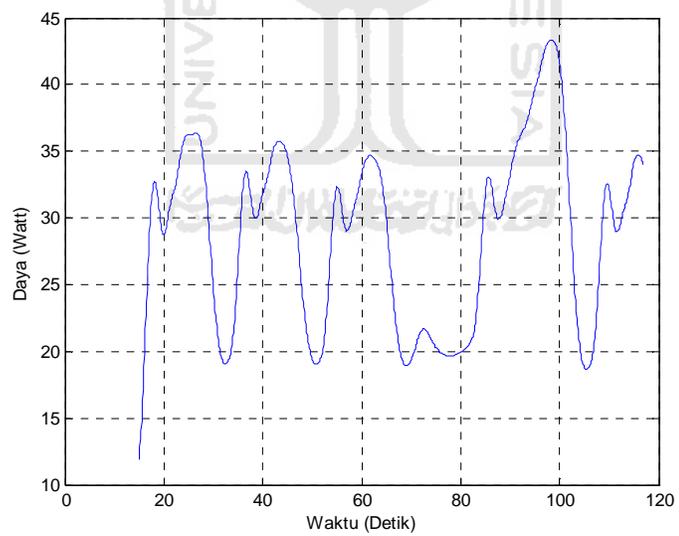
Gambar 4.19 *Tuning* nilai $K_p=0.5$



Gambar 4.20 *Tuning* nilai $K_p=1$



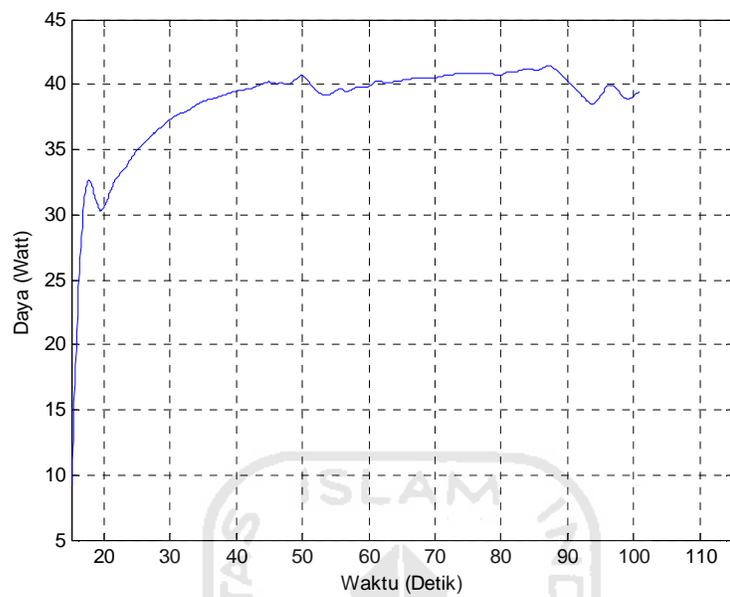
Gambar 4.21 *Tuning* nilai $K_p=2$



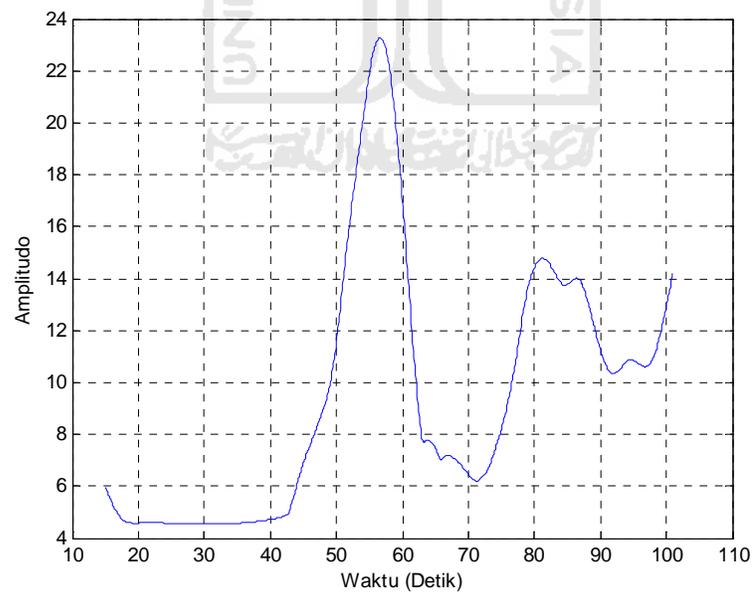
Gambar 4.22 *Tuning* nilai $K_p=5$

Dari tuning pada berbagai nilai konstanta K_p , didapatkan nilai $K_p=0.06$ untuk respon yang terbaik. Daya mencapai 26W pada detik ke 30 dan stabil dengan osilasi kecil sampai detik ke 80. Selanjutnya nilai K_p dinaikkan menjadi 0.5 didapatkan daya mencapai 30W pada detik ke 30 kemudian naik dan mencapai 35W dan kemudian turun kembali. Nilai K_p dinaikkan menjadi 1 respon daya mencapai 30W dan turun drastis menjadi 14W pada detik ke 50 dan berusaha untuk naik dan mencapai daya 18W pada detik ke 90. Selanjutnya K_p dinaikkan menjadi 1.5 daya mencapai 45W pada detik ke 30 dan terus berosilasi sekitar 5W dan kemudian turun tajam pada detik ke 70. K_p dinaikkan menjadi 5 didapatkan respon yang tidak stabil dan terus berosilasi setiap 10 detik. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar penetapan parameter K_p maka respon sistem yang dihasilkan semakin cepat tetapi membuat ketidakstabilan pada sistem. Maka diambil parameter K_p 0.06 sesuai dengan perhitungan respon daya pada gambar 4.16 dan respon yang dihasilkan stabil meskipun tidak mencapai 50W akan diperbaiki dengan penambahan parameter K_i dan K_d .

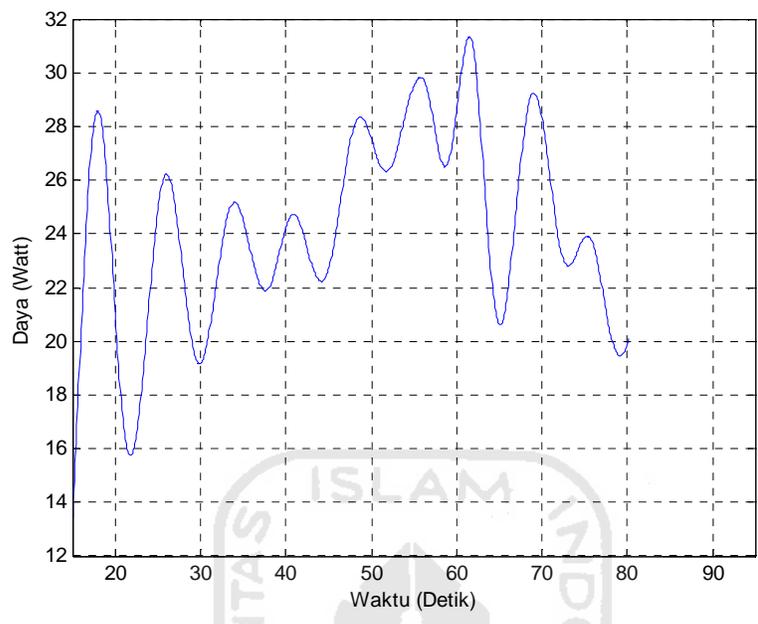
b. Pemilihan Parameter K_i



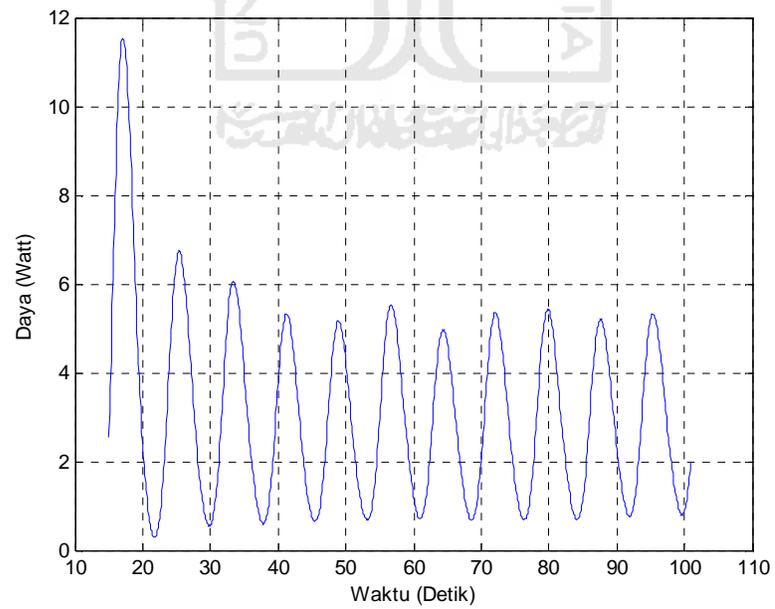
Gambar 4.23 *Tuning* nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.05$



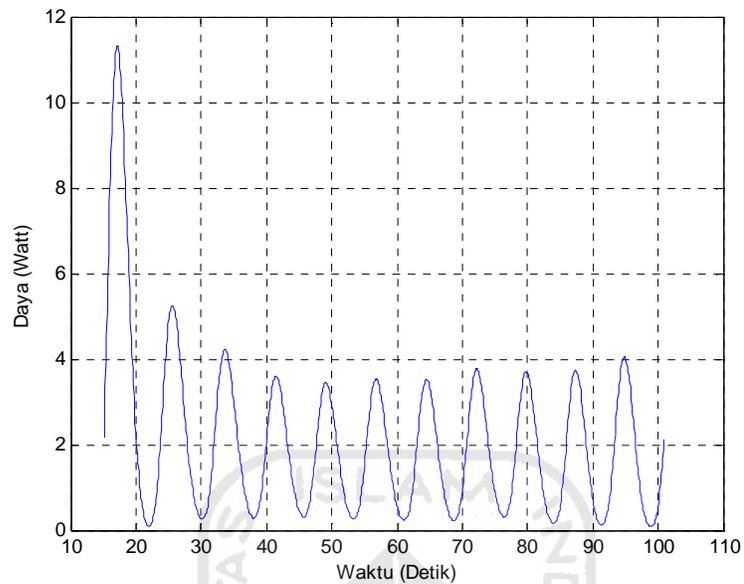
Gambar 4.24 *Tuning* nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.5$



Gambar 4.25 Tuning nilai $K_p=0.06, K_i=1$



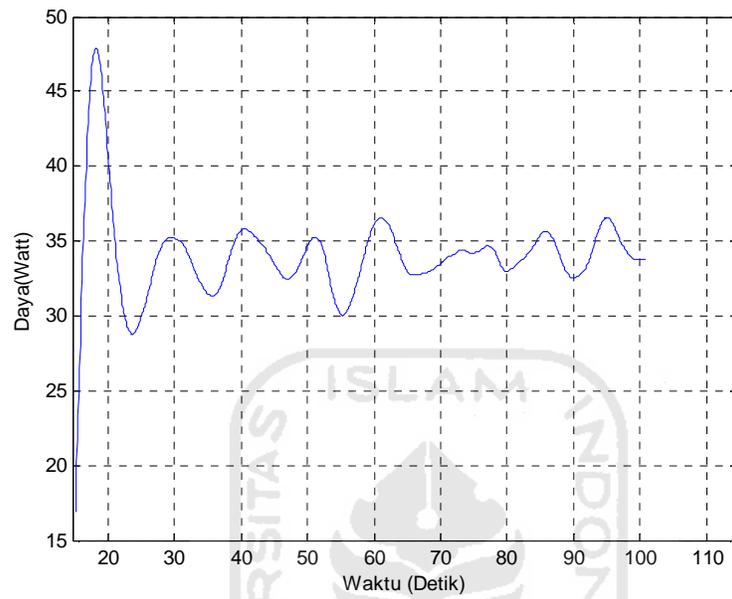
Gambar 4.26 Tuning nilai $K_p=0.06, K_i=1.5$



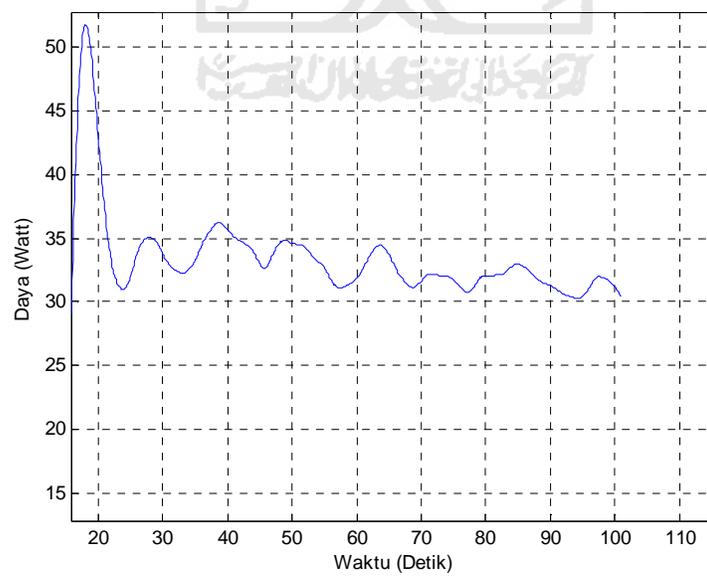
Gambar 4.27 *Tuning* nilai $K_p=0.06$, $K_i=2$

Setelah parameter K_p didapatkan selanjutnya dilakukan tuning pada berbagai nilai K_i . Tuning pertama dengan parameter $K_p=0.06$, $K_i= 0.05$ Daya yang dihasilkan mencapai 40W dengan osilasi yang kecil. Respon ini lebih baik dibandingkan beberapa pengujian kedua yaitu *Tuning* nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.5$. daya beresilasi pada detik 55. Selanjutnya ketika nilai K_i dinaikkan menjadi 1 respon menjadi tidak stabil dan terus beresilasi. Begitupun ketika K_i dinaikkan menjadi 1.5 dan selanjutnya 2 respon tetap beresilasi setiap 10 detik. Penambahan parameter K_i berhasil menaikkan daya untuk mencapai titik maksimum, tetapi apabila nilai K_i terlalu besar maka akan mengakibatkan ketidakstabilan pada sistem.

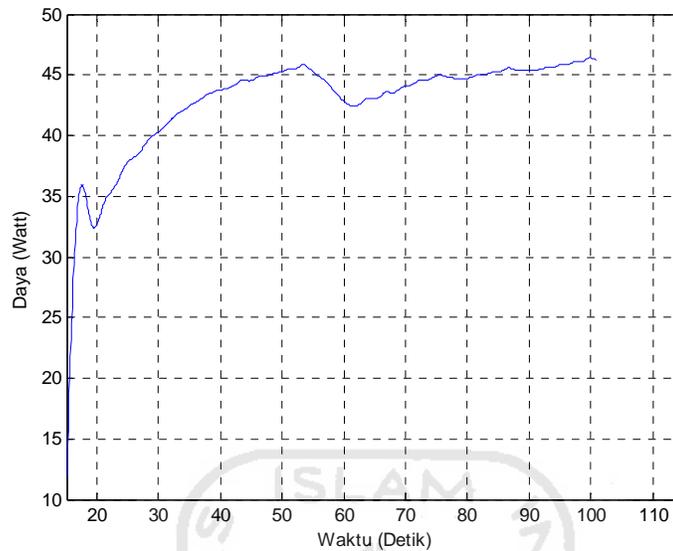
c. **Pemilihan Parameter K_d**



Gambar 4.28 *Tuning* nilai $K_p=0.06, K_i=0.05, K_d=1$



Gambar 4.29 *Tuning* nilai $K_p=0.06, K_i=0.05, K_d=5$



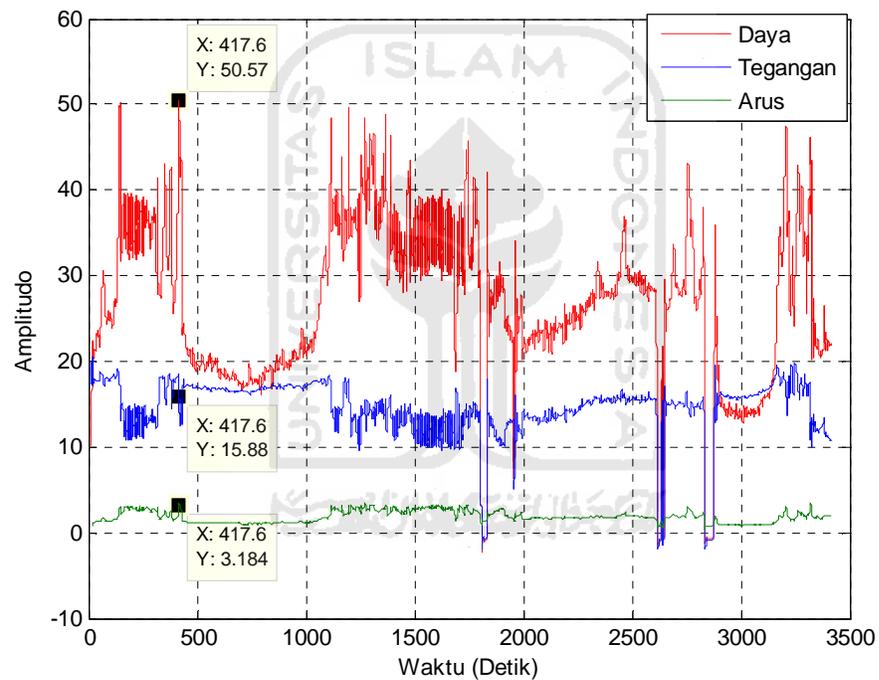
Gambar 4.30 Tuning nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.05$, $K_d=10$

Setelah parameter K_p dan K_i didapatkan dilakukan tuning dengan penambahan parameter K_d . Tuning pertama dengan parameter $K_p=0.06$, $K_i=0.05$, $K_d=1$, respon menjadi berosilasi 5W setiap 10 detik. Selanjutnya nilai K_d dinaikkan menjadi 5 osilasi menjadi berkurang sekitar 3W setiap 10 detik. Selanjutnya nilai K_d dinaikkan menjadi 10, respon sistem membaik dan mampu menghasilkan daya sampai 45 Watt tetapi masih ada osilasi yang sangat besar pada detik ke 55 tetapi pada detik ke 60 sistem mampu mengembalikan sistem pada keadaan semula. Semakin besar penambahan nilai K_d maka dapat menstabilkan sistem karena mampu meredam osilasi. Jadi dipilih parameter terbaik yaitu $K_p = 0.06, K_i = 0.05, K_d = 10$

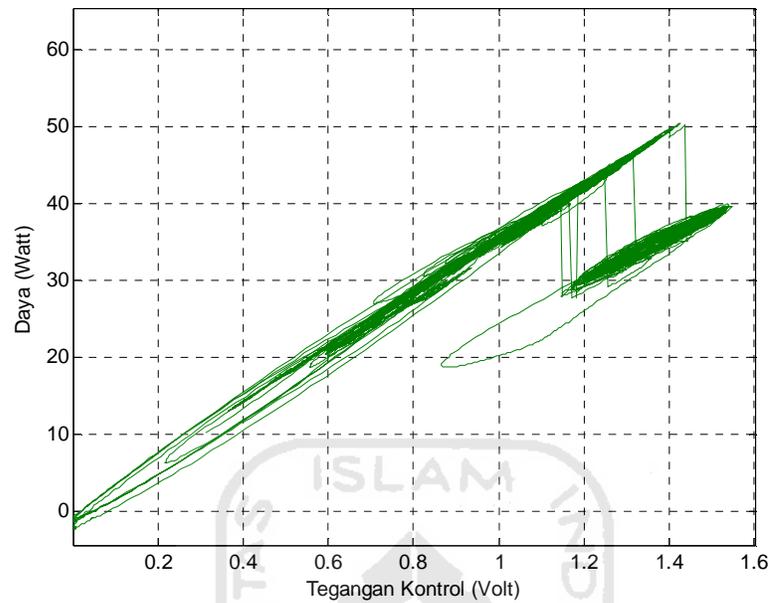
4.7 Pengujian Dan Analisis Sistem PID

Setelah didapatkan parameter yang ideal untuk sistem PID yaitu dengan nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.05$, $K_d=10$, dilakukan pengujian dengan pengambilan data pada berbagai kondisi penyinaran matahari. Pengujian tersebut dilakukan untuk melihat respon apakah sistem MPPT dengan PID telah bekerja dengan baik.

4.7.1 Pengujian 1 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.31 Grafik Pengujian 1 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.32 Grafik Tegangan Kontrol Pengujian 2 MPPT Berbasis PID

Pengambilan data : Kamis tanggal 6 oktober 2001

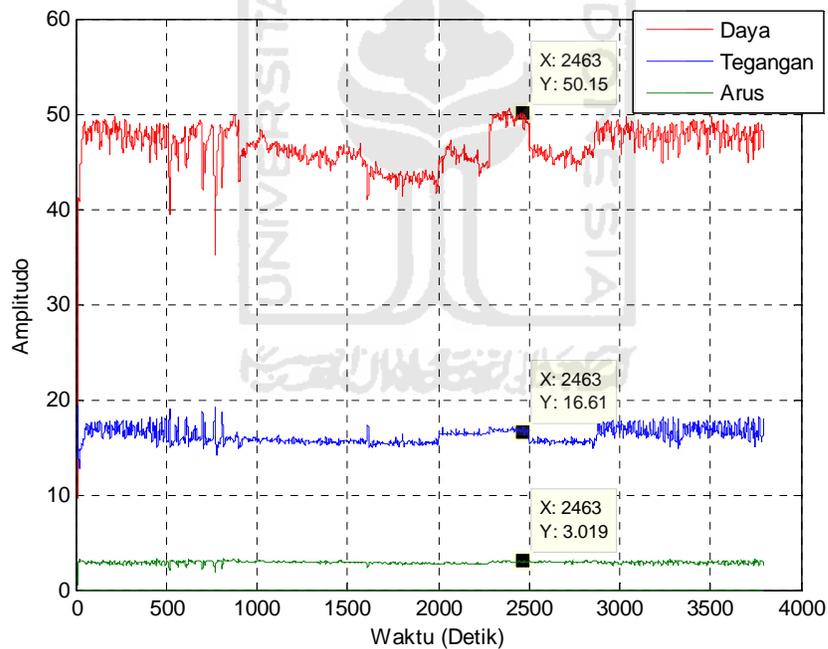
Waktu : Pukul 09.00-10.00

Intensitas Penyinaran : Sedang

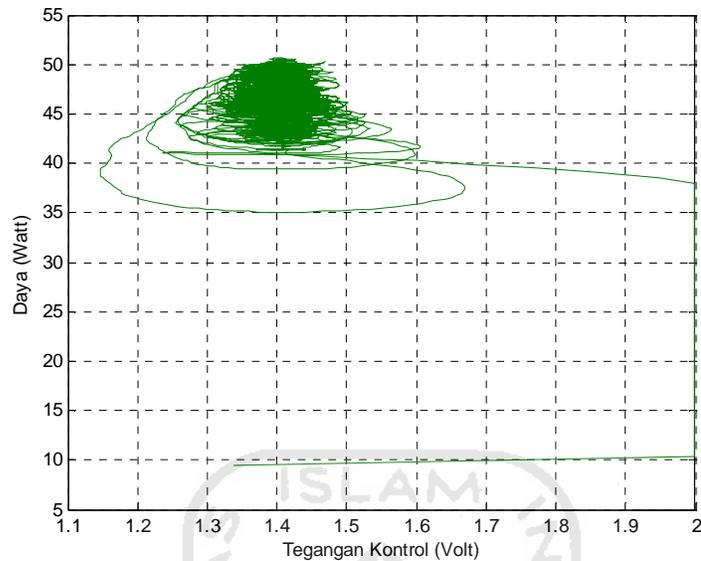
Pada gambar 4.31 merupakan uji sistem MPPT dengan kontrol PID. Daya maksimum yaitu 50.57W pernah dicapai pada detik 50.57 dengan tegangan sebesar 15.88V dan arus sebesar 3.184A. Daya maksimal yang dihasilkan bervariasi dikarenakan intensitas penyinaran yang tidak merata. Ketika ada gangguan (*perturbation*) seperti pada detik ke 500 maka terjadi perubahan daya maka *error (e)* bernilai negatif dan mengakibatkan daya turun

menjadi sekitar 20W. Secara otomatis sistem akan mengurangi nilai tegangan kontrol $u(t)$. Ketika terjadi kenaikan daya berarti perubahan daya maka *error* (e) bernilai positif seperti kurang lebih terjadi pada detik 700 maka sistem akan menaikkan tegangan kontrol. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.32 dimana nilai tegangan kontrol bervariasi dari 0V sampai 1.5V menyesuaikan terhadap perubahan daya pada berbagai tingkat penyinaran.

4.7.2 Pengujian 2 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.33 Grafik Pengujian 2 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.34 Grafik Tegangan Kontrol Pengujian 2 MPPT Berbasis PID

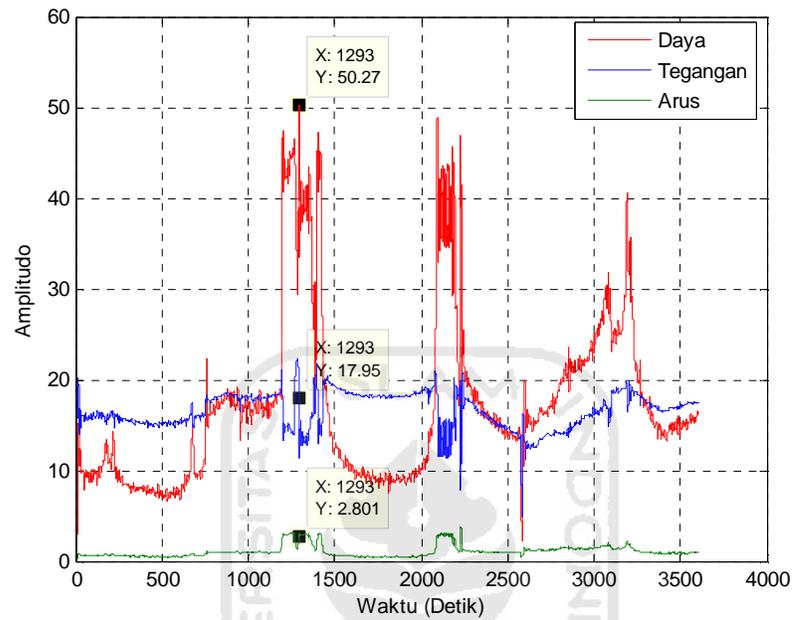
Pengambilan data : Kamis tanggal 6 oktober 2001

Waktu : Pukul 11.00-12.00

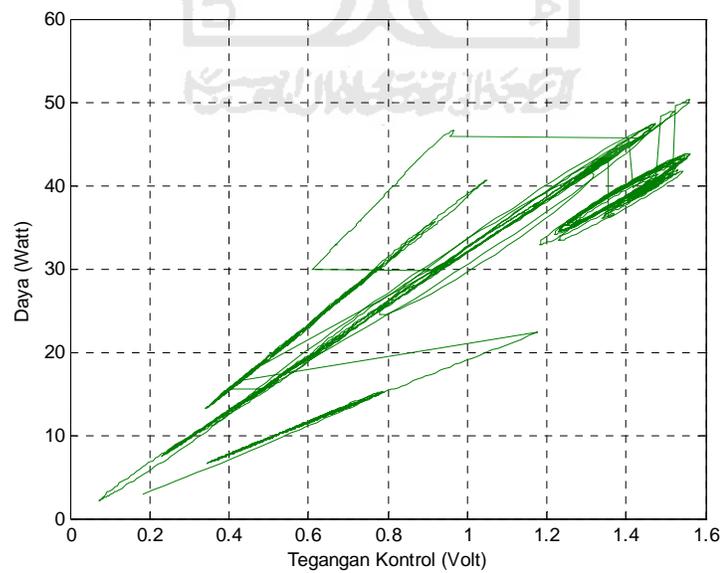
Intensitas Penyinaran : Tinggi

Pada gambar 4.33 pengambilan data pada intensitas penyinaran hampir konstan dengan rata-rata daya yang dihasilkan mendekati nilai maksimum sekitar 48W. Pada detik ke 2463 berhasil mencapai daya maksimum 50.43W dengan tegangan sebesar 16.61 dan arus sebesar 3.019. intensitas penyinaran hampir tidak berubah ditandai dengan perubahan tegangan kontrol yang kecil. Seperti pada gambar 4.34 rata-rata tegangan kontrol untuk mencapai titik maksimum berkisar di titik 1.4V.

4.7.3 Pengujian 3 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.35 Grafik Pengujian 3 MPPT Berbasis PID



Gambar 4.36 Grafik Tegangan Kontrol Pengujian 3 MPPT Berbasis PID

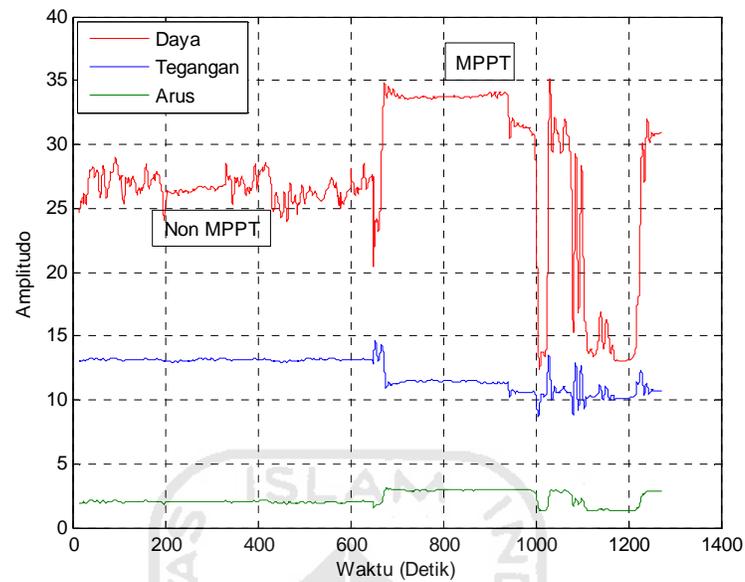
Pengambilan data : Kamis tanggal 6 oktober 2001

Waktu : Pukul 14.00-15.00

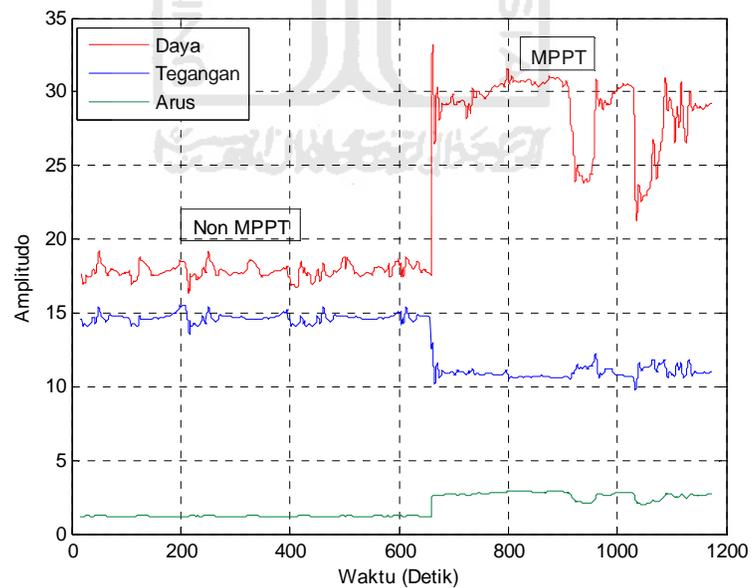
Intensitas Penyinaran : Rendah

pada gambar 4.35 merupakan pengujian pada intensitas penyinaran sangat rendah. Daya yang dihasilkan rata-rata berada di bawah 20W. Pada detik ke 1200 intensitas cahaya meningkat ditandai dengan kenaikan daya sampai 40W dan pada detik ke 1293 mencapai maksimum di titik 50.27W dengan tegangan sebesar 17.95V dan arus sebesar 2.801A kemudian detik 1500 daya kembali turun. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya nilai tegangan kontrol akan bervariasi apabila apabila intensitas penyinaran tidak konstan dan terus berubah mengikuti perubahan daya seperti pada gambar 4.36 tegangan kontrol bervariasi dari 0.1V sampai 1.4V.

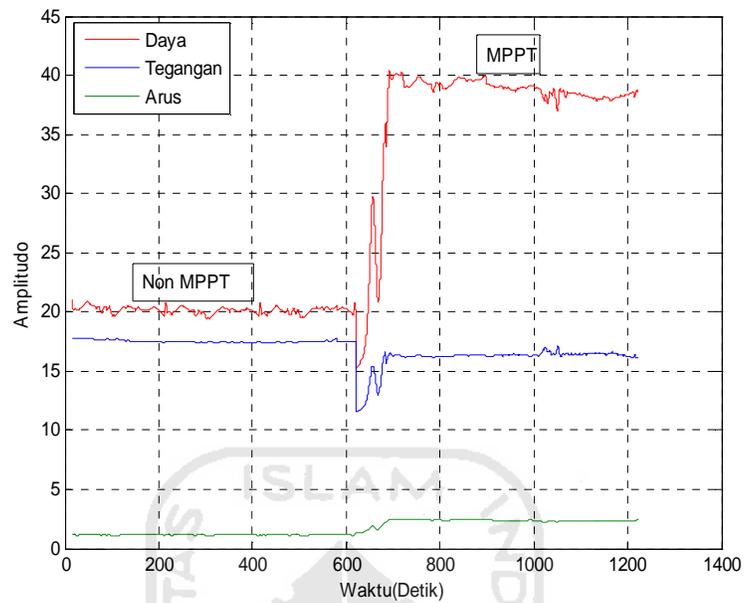
Tingkat keberhasilan penelitian dilakukan dengan uji efektifitas algoritma yaitu membandingkan 5 data daya hasil pengujian Non MPPT dan MPPT dengan selang waktu 10 menit pada setiap pengambilan data pada intensitas penyinaran maksimum dengan beban bervariasi.



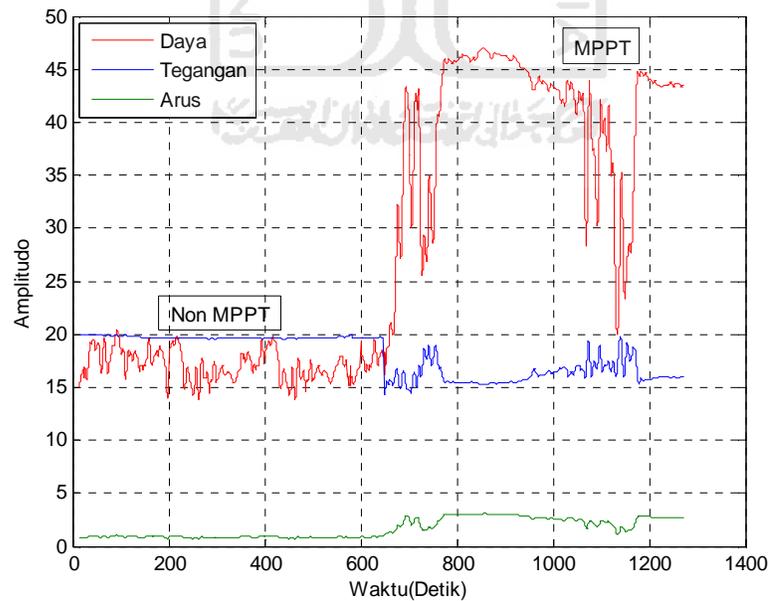
Gambar 4.37 Perbandingan MPPT dan Non MPPT dengan Beban Resistor 6.67Ohm



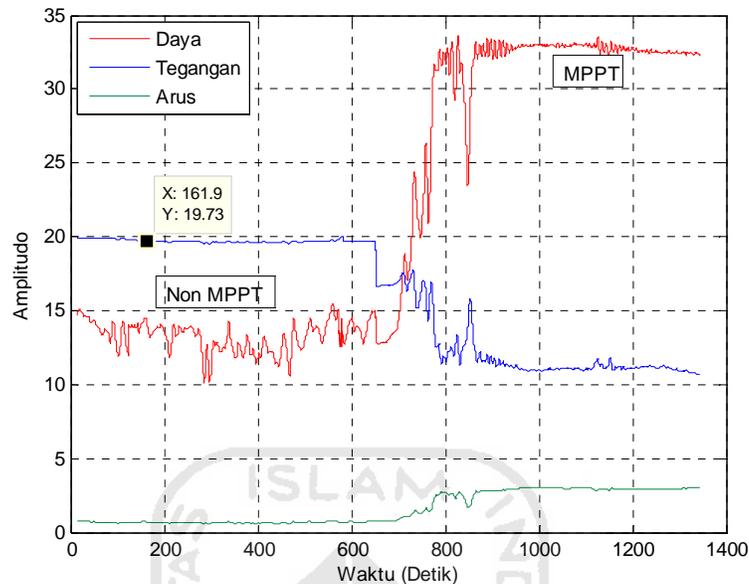
Gambar 4.38 Perbandingan MPPT dan Non MPPT dengan Beban Resistor 11.75Ohm



Gambar 4.39 Perbandingan MPPT dan Non MPPT dengan Beban Resistor 15 Ohm



Gambar 4.40 Perbandingan MPPT dan Non MPPT dengan Resistor 23.5 Ohm



Gambar 4.41 Perbandingan MPPT dan Non MPPT dengan Beban Resistor 28 Ohm

Pada pengujian 1 yaitu gambar 4.37 pada pengujian 1 dengan dengan resistansi sebesar 6.67 Ohm, sistem Non MPPT daya maksimum rata-rata dihasilkan sekitar 27W, sedangkan dengan MPPT daya rata-rata dihasilkan sekitar 34W. Pada pengujian 2 dengan resistansi beban 11.75ohm pada gambar 4.38 daya rata-rata sistem non MPPT sebesar 18W sedangkan pengujian MPPT daya maksimum rata-rata yang dihasilkan sekitar 30W. Pada pengujian 3 beban dinaikkan menjadi 15ohm daya sistem non MPPT rata-rata sekitar 20W sedangkan dengan MPPT rata-rata daya yang dihasilkan sekitar 39W. Pengujian 4 dengan resistansi beban sebesar 23.5ohm daya sistem non MPPT sekitar 18W sedangkan sistem MPPT rata-rata daya sekitar 45W. Pengujian 5 dengan resistansi beban sebesar 28ohm rata-rata daya yang dihasilkan sistem non MPPT sebesar 14W sedangkan menggunakan MPPT daya yang

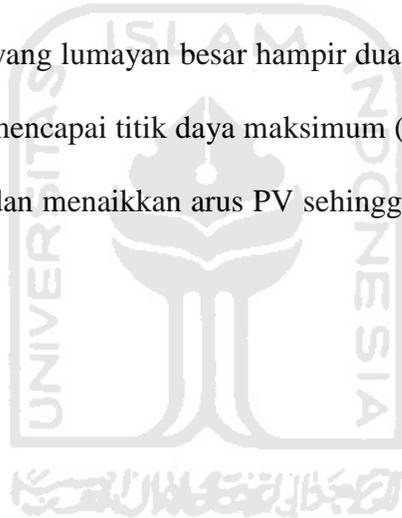
dihasilkan sebesar 33W. Untuk lebih jelas data hasil pengamatan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 4.4 Perbandingan Daya Sistem MPPT dan Non MPPT

| No | MPPT | Non MPPT | Selisih Daya | %Selisih Daya | Resistansi Beban |
|----|------|----------|--------------|---------------|------------------|
| 1 | 34W | 27W | 7W | 25.92% | 6.67ohm |
| 2 | 30W | 18W | 12W | 66.67% | 11.75ohm |
| 3 | 39W | 20W | 19W | 95% | 15ohm |
| 4 | 45W | 18W | 27W | 150% | 23.5ohm |
| 5 | 33W | 14W | 19W | 135.71% | 28ohm |

Berdasarkan Tabel 4.4 persentase selisih daya berkisar antara 25% sampai 150%. Ini menunjukkan bahwa besarnya daya maksimum yang dilacak menggunakan sistem MPPT bervariasi, semakin tinggi nilai resistansi beban maka selisih daya non MPPT dan MPPT semakin besar. Daya maksimum bukanlah hasil perkalian dari arus maksimum (I_{pm}) atau tegangan maksimum (V_{pm}), seperti pada gambar 4.37 pada kondisi Non MPPT daya yang dihasilkan sekitar 27W. Hal ini dikarenakan kondisi awal arus yang dihasilkan telah lebih dari 1 Ampere yaitu sekitar 2A sedangkan tegangan sekitar 13V sehingga menghasilkan perkalian antara arus dan tegangan yang besar. Kemudian ketika MPPT dijalankan sistem melacak titik antar arus dan tegangan yang maksimum sehingga menghasilkan daya yang maksimal pada kondisi

penyinaran saat itu didapatkan daya sekitar 34W pada kondisi arus rata-rata sebesar 2.9A dan tegangan sekitar 12V, selisih daya antara sistem MPPT dan Non MPPT rata-rata sebesar 7W. Berbeda dengan pengujian dengan resistansi beban sebesar 23.5Ohm kondisi awal Non MPPT menghasilkan arus yang kecil dibawah 1A yaitu sekitar 0.85A dan tegangan rata-rata sebesar 20V sehingga menghasilkan daya yang kecil sekitar 18W. Sehingga daya dapat dilacak lagi sehingga menghasilkan daya sebesar 45W hasil perkalian dari arus sebesar 3A dan tegangan sebesar 15V. sehingga menghasilkan selisih daya yang lumayan besar hampir dua kali lipat daya non MPPT yaitu sebesar 27W. Untuk mencapai titik daya maksimum (MPP) Sistem MPPT akan menurunkan tegangan PV dan menaikkan arus PV sehingga menghasilkan daya yang paling optimal.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa untuk membandingkan kinerja sistem MPPT dan Non MPP ditunjukkan pada performa terbaik menggunakan kendali PID dengan nilai $K_p=0.06$, $K_i=0.05$, $K_d=0.10$. Hasil ini lebih baik dibandingkan operasi PV tanpa menggunakan sistem MPPT berbasis PID. Hal ini disebabkan sistem yang menggunakan algoritma *hill climbing* dimana sistem dapat menentukan dan mampu menghitung dengan tepat arah perubahan arus dan tegangan sehingga menghasilkan daya yang lebih besar. Tingkat keberhasilan diukur dari energi atau transfer daya PV ke beban dapat dimaksimalkan. Persentase selisih daya sistem MPPT dan Non MPPT berkisar antara 25% sampai 150% dengan variasi resistansi beban uji antara 6.67ohm sampai 28ohm. Keberhasilan tersebut telah mengantarkan pada tujuan akhir penelitian ini.

5.2 Saran

Berikut ini saran-saran untuk membantu untuk pengembangan penelitian dibidang yang sama.

1. Sumber energi (cahaya lain) sangat diperlukan untuk menggantikan cahaya matahari supaya lebih membantu dalam perancangan, penelitian, dan simulasi.
2. Peninjauan kembali tentang pengkabelan, penyinaran, dan posisi panel surya sangat mempengaruhi optimasi dalam transfer daya,



DAFTAR PUSTAKA

Andika,Roni,2010. *Perancangan Pengendali PID Digital Pada Heater*. Indonesia: Department of Electrical Engineering Islamic University of Indonesia

Gangsar.R.D, 2010. *Perancangan Kendali Fuzzy Untuk Optimasi Panel Surya*. Indonesia: Department of Electrical Engineering Islamic University of Indonesia

Fajar, 2010. *Akuisisi Data Pada Panel Surya*. Indonesia: Department of Electrical Engineering Islamic University of Indonesia

Richard A.C,2006. *What is Maximum Power Point Tracking (MPPT) and How Does it Work?*. www.blueskyenergyinc.com

Chaundhari.A.Vikran.2005. *Automatic Peak Power Tracker For Solar PV Modules Using Dspace Software*.Bhopal: Maulana Azad National Institute of Technology (Demeed University).

Hohm.D.P & Roop.M.E. *Comparative Study Of Maximum, Power Point Tracking Algorithm*.USA: Electrical Engineering Department, south Dakota State University.

LAMPIRAN



