

Desain dan Implementasi Emulated Model Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan PI Kontroller

Emulated Model Design and Implementation of micro hydro power plant with PI controller

Perdana Azna Arifian¹, Ir. Mas Sarwoko Suraatmadja, Msc², Kharisma Bani Adam, ST. MT³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹perdanaazna22@gmail.com, ²massarwoko@telkomuniversity.ac.id,

³kharismaadam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan adanya perkembangan teknologi yang ada saat ini dan adanya potensi pembangkit listrik terutama potensi tenaga air yang melimpah, oleh karena itu dikembangkanlah pembangkit listrik skala kecil dengan memanfaatkan tenaga air yang disebut pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Pembangkit listrik tenaga mikro-hidro merupakan salah satu energi alternative yang sangat mungkin untuk dikembangkan di negara-negara dengan sumber tenaga air yang tersebar luas seperti Indonesia.

Untuk mempermudah dalam penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini, dibutuhkan emulated model PLTMH. Tugas akhir ini menggambarkan keadaan PLTMH yang sebenarnya. Kontrol yang dipakai adalah kontrol PI (Proportional Integratif), PI kontroller merupakan kontroler yang berfungsi untuk menentukan kepresisian (kestabilan) suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik. Konverter yang digunakan berupa buck boost converter, yang mampu menaikkan dan menurunkan tegangan input.

Hasil dari tugas akhir ini berupa tegangan yang konstant dari buckboost.

Kata Kunci : energi listrik, tenaga air, PLTMH, PI controller, buckboost converter.

Abstract

With the development of technology that exist today and their potential for power generation especially abundant hydroelectric potential, therefore, is developing small-scale power generation by utilizing hydropower called micro hydro power plant (MHP). Power plant micro-hydro energy is one alternative that is very likely to be developed in countries with hydroelectric resources widespread as Indonesia.

To facilitate the study of this micro hydro power plant, it takes emulated model of the MHP. This final project describes the actual state of the MHP. Controls used is dick PI (Proportional Integrative), PI controller is a controller that serves to determine the precision (stability) of an instrumentation system with the characteristics of feedback. Converters that are used in the form of buck boost converter, which is able to raise and lower the input voltage.

The results of this thesis in the form of a constant voltage of buckboost.

Keywords: electrical energy, water power, MHP, PI controller, buckboost converter.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dan kemajuan teknologi saat ini sangat pesat yang membutuhkan energi besar untuk menggerakkan kemajuan tersebut. Salah satu kebutuhan yang sudah dianggap menjadi kebutuhan pokok adalah kebutuhan akan energi listrik. Listrik bisa menjadi tolak ukur kemajuan suatu bangsa, semakin besar penggunaan energi listrik maka bisa diartikan semakin maju bangsa tersebut. Kebutuhan energi listrik terbesar adalah pada sektor penerangan. Kebutuhan akan penerangan semakin lama semakin banyak seiring pertumbuhan penduduk.

Di negara kita sendiri, masih banyak daerah-daerah yang belum mendapatkan aliran listrik dan pemakaian bahan bakar minyak pada sektor penyedia energi listrik masih sangat besar. Padahal dengan adanya kemajuan teknologi dan potensi air yang melimpah pada daerah tersebut kita dapat memanfaatkannya sebagai energi alternatif. Oleh karena itu dikembangkanlah pembangkit listrik tenaga air berskala kecil atau sering disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Turbin Air

Turbin adalah penggerak di mana energi fluida kerja diperlukan langsung untuk memutar roda turbin dan menjadi tenaga mekanis, yang selanjutnya dapat diubah menjadi tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan industri maupun rumah tangga. Pada turbin tidak mengenal terdapat mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin sedangkan bagian yang tidak berputar disebut stator.^[6]

Tenaga air yang masuk ke turbin tergantung pada head air dan debit yang masuk ke turbin. Tenaga potensial (Head) dan tenaga kinetik (dari debit) air diserap oleh sudu – sudu turbin, menyebabkan roda jalan berputar dan menimbulkan tenaga mekanis pada poros turbin. Ada banyak tipe turbin yang digunakan untuk PLTMH dan dipilih berdasarkan penggunaannya di lapangan serta tinggi vertikal air (umumnya diistilahkan “head”) yang dapat menjalankannya. Tipe turbin yang paling umum adalah sebagai berikut:^[6]

2.1.1 Turbin Cross-Flow^[1]

Salah satu turbin jenis impuls yang banyak dipakai pada listrik tenaga mikrohidro adalah turbin Cross-Flow (aliran silang). Turbin cross-flow merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Michell memperoleh hak paten atas desainnya pada 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan Weymouth. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin Ossberger, yang memperoleh hak paten pertama pada 1922. Perusahaan Ossberger tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin cross-flow yang terkemuka di dunia.

2.1.2 Turbin Pico Propeler^[1]

Pada dasarnya turbin propeller terdiri dari sebuah propeller (balung-balung), yang sama bentuknya dengan balung-balung kapal laut, yang dipasang pada tabung setelah pipa pesat. Poros turbin menyambung keluar dari tabung. Turbin propeller biasanya mempunyai tiga sampai enam sudu, biasanya tiga sudu untuk turbin yang mempunyai head sangat rendah dan aliran air diatur oleh sudu statis atau wicket gate yang dipasang tepat di hulu propeller. Turbin propeller ini dikenal sebagai fixed blade axial flow turbine karena sudut sudu rotornya tidak dapat diubah. Efisiensi operasi turbin pada beban sebagian (part-flow) untuk turbin jenis ini sangat rendah. Turbin propeller kecil (pico propeller turbine) dapat digunakan untuk head rendah (1 – 6 m), debit 100 – 700 liter/detik dengan kapasitas 0,1 – 30 kW.

2.1.3 PAT (Pump As Turbine)^[1]

Penggunaan pompa sebagai turbin (PAT) pada mikrohidro untuk head menengah (medium head), 10 sampai 50 m, merupakan alternatif yang dapat dipertimbangkan. Hanya saja karena pompa tidak didesain untuk aliran yang terbalik mengakibatkan efisiensi PAT tidak sebaik turbin air umumnya. Sebuah pompa didesain untuk bekerja pada kecepatan, head dan debit yang konstan, sehingga untuk digunakan sebagai turbin menuntut laju aliran air yang konstan sepanjang tahun. Perubahan laju aliran air akan mengakibatkan efisiensi PAT menurun

2.2 Generator

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan energi listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari turbin, baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.^[11]

2.3 Kontrol PI (Proportional Integratif)^[14]

Kontrol PI (Proportional-Integral) berfungsi untuk menentukan kepresisian/kestabilan suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik. Kontrol pada PI terdiri dari P (Proportional) dan I (Integral). Dalam implementasinya masing-masing parameter dapat bekerja sendiri maupun bekerja bersama. Parameter PI dapat diatur dalam sistem yang akan dikendalikan, agar respon output sistem sesuai terhadap input sistem yang diinginkan.

Parameter-parameter penyusun kontroler PI:

1. Proportional

Pengontrol proportional memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang di inginkan dengan harga aktualnya).

Pengaruh pada sistem:

Dapat memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time.

Persamaan matematis:

$$P = K_p \dots\dots\dots(2.3)$$

2. Integral

Pengontrol integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran pengontrol ini merupakan penjumlahan terus menerus dari perubahan masukannya.

Pengaruh pada sistem:

Menghilangkan Error Steady State namun dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem). Selain itu kontrol Integral memiliki rise time yang lebih lama dibandingkan kontrol Proportional (responnya lebih lama).

Persamaan matematis:

$$I = K_i \int_0^t \dots\dots\dots(2.4)$$

Kontrol PI difungsikan sebagai koreksi rpm output agar respon output sesuai dengan rpm input, dengan menganalisa dalam cakupan domain waktu (sampling time) data yang didapat dari sensor encoder.

2.4 Konverter^[15]

Buck-boost konverter adalah konverter DC(direct current) yang output tegangan dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan input, dan juga tegangan outputnya selalu bernilai negatif.



Gambar 2.5 rangkaian Buck Boost Converter

Prinsip kerja dari konverter ini adalah :

1. Ketika switch closed : maka tegangan input langsung terhubung dengan induktor sehingga energi terkumpul pada induktor, dan pada saat yang sama kapasitor menyuplai energi ke beban.
2. Ketika switch opened : maka induktor terhubung dengan output dan juga kapasitor, sehingga energi ditransfer dari induktor ke kapasitor dan beban.
3. Buck-boost konverter memiliki polaritas tegangan output terbalik dari tegangan input.

2.5 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berupa sebuah transformer step-down pada umumnya besar transformer adalah 1 ampere. Keluaran dari sensor tegangan berupa tegangan berbentuk gelombang sinusoidal.

2.6 Sensor Arus

perangkat yang mendeteksi arus listrik (AC atau DC) di kawat, dan menghasilkan sinyal sebanding dengan itu. Sinyal yang dihasilkan bisa tegangan analog atau arus atau bahkan digital. Hal ini dapat kemudian digunakan untuk menampilkan arus yang akan diukur dalam ammeter atau dapat disimpan untuk analisis lebih lanjut dalam sistem akuisisi data atau dapat dimanfaatkan untuk tujuan kontrol.

2.7 Mikrokontroler^[16]

Mikrokontroler adalah suatu chip berupa IC (Integrated Circuit) yang dapat menerima sinyal input, mengolahnya dan memberikan sinyal output sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Sinyal input mikrokontroler berasal dari sensor yang merupakan informasi dari lingkungan sedangkan sinyal output ditujukan kepada aktuator yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Jadi secara sederhana mikrokontroler dapat diibaratkan sebagai otak dari suatu perangkat/produk yang mampu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Secara Umum

Dalam penelitian tugas akhir ini dirancang sebuah emulated model pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau tenaga air berskala kecil sebagai ganti dari model pembangkit yang sebenarnya. Turbin air(emulated) yang terhubung dengan generator berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Tegangan dan arus yang keluar dari generator (emulated) akan masuk ke Buck Boost converter agar tegangan dan arus menjadi konstan.kemudian dibutuhkan piranti lain berupa ELC (Elektronik Load Controller) berfungsi untuk mengontrol tegangan keluaran Buck Boost ke beban agar tidak berlebihan beban yang tak terpakai akan disalurkan ke beban komplemen. Alat pengukuran berupa sensor tegangan dan sensor arus.

Pada Buck Boost converter komponen yang digunakan berupa induktor, kapasitor, dan mosfet IRFP460 yang berfungsi sebagai skalar otomatis. Sedangkan pada rangkaian optocoupler digunakan IC TLP 250.

3.2 Perancangan BuckBoost Converter

Buck Boost yang dirancang dimisalkan memiliki duty cycle = 0 - 0,7 frekuensi = 40Khz, Resistansi minimum= 0,428571 Ω, Resistansi maksimum = 1 KΩ. Demikian dapat dicari induktor dengan perhitungan sebagai berikut :

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 * R}{2f} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$L_{min} = \frac{(1-0,3)^2 * 1000}{2(40*10^3)} = 6125 \mu Hz$$

Nilai kapasitor dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

$$C = \frac{I * \Delta V}{(R * F * \Delta V)} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\Delta V = \pm 1\% * V_0 \dots\dots\dots (3.3)$$

$\Delta V = 0,12$

$$C = \frac{I * \Delta V}{(R * F * \Delta V)} \dots\dots\dots (3.4)$$

$C = 4666 \mu f$

Pada Buck Boost Konverter ini menggunakan induktor >= 6125 μHz,kapasitor >= 4666μf, MOSFET IRFP460 dan menggunakan IC TLP 250 sebagai rangkaian optocoupler. Rangkaian buckboost yang digunakan sebagai berikut :

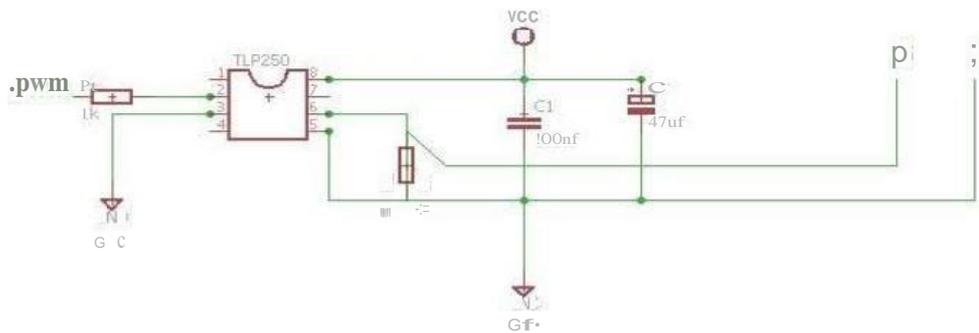
3.3 Perancangan Sistem Pengendali

Sistem minimum merupakan rangkaian paling sederhana yang digunakan untuk mendukung kerja mikrokontroler. Komponen-komponen pendukung adalah rangkaian reset, kristal (clock), rangkaian catu daya 5V dc, In-System programmer, dan mikrokontroler. Pada perancangan sistem minimum ini menggunakan ATMega 8535.

Pada perancangan sistem minimum menggunakan mikrokontroler yang dihubungkan dengan Buck Boost Converter agar keluaran dari sistem stabil.

3.4 Rangkaian Optocoupler

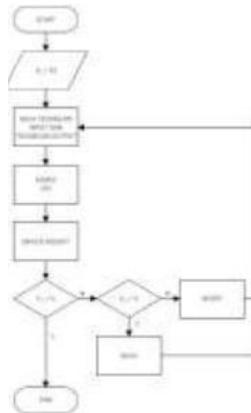
Rangkaian optocoupler yang digunakan sebagai berikut :



Gambar 3.2 rangkaian optocoupler

3.5 Flowchart Umum Sistem

Keluaran dari generator(emulated) kemudian dihubungkan dengan sensor tegangan dan sensor arus, kemudian dari sensor masuk ke buckboost converter untuk di ubah tegangan dan arusnya agar sesuai yang diinginkan, buckboost converter menggunakan mosfet IRFP460 dan dikontrol oleh mikrokontroler. Setelah tegangan dan arus diubah oleh buckboost converter ada sensor tegangan dan sensor arus pada keluaran buck boost converter agar kita dapat melihat perubahan pada tegangan dan arus.



Gambar 3.4 flowchart umum sistem

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian Keluaran Sinyal Osiloskop Dan Keluaran Buckboost Converter

Pada bab ini akan membahas mengenai pengujian terhadap hasil keluaran sinyal dari rangkaian optocoupler yang digunakan, sensor tegangan, dan juga tegangan keluaran dari buckboost converter hal ini meliputi tegangan dan arus. Dengan mendapatkan data ini dapat diketahui performansi dan analisis dari alat yang dirancang.

Beberapa tahap pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini berupa tampilan dari osiloskop dan tegangan keluaran dari buckboost converter.

Tujuan pengujian :

Untuk mengetahui keluaran sinyal dari driver mosfet dan keluaran tegangan dari *buck boost converter*.

Alat pengujian :

- Buck boost converter
- rangkaian optocoupler
- mikrokontroler ATmega 8535
- osiloskop
- PSU(power supply unit)

- personal computer
- kabel downloader
- sensor tegangan dan arus
- multimeter
- kabel jumper

4.1 Pengujian rangkaian optocoupler

Pengujian rangkaian osiloskop dilakukan dengan cara menghubungkan kaki pwm yang terhubung ke kaki 2 tlp250 ke PORTD 5 mikrokontroler dan kaki ground yang terhubung ke kaki 3 tlp250 ke PORTD GND mikrokontroler, kemudian kaki 5 dihubungkan ke ground PSU dan ke probe ground osiloskop dan kaki 6 tlp250 dihubungkan ke kaki probe positif osiloskop, kaki 8 tlp250 dihubungkan ke positif PSU. Lalu personal computer dihubungkan ke mikrokontroler untuk catu daya sekaligus memasukan program.

Gambar 4.1 adalah sinyal keluaran rangkaian optocoupler pada osiloskop:



Gambar 4.1 tampilan osiloskop

Bisa dilihat sinyal keluaran osiloskop memiliki ripple yang kecil menunjukkan rangkaian optocoupler dapat berfungsi baik.

4.2 Pengujian nilai sensor tegangan.

Pengujian sensor tegangan dapat dilakukan dengan menghubungkan kaki ground sensor ke ground PSU, kaki positif sensor ke positif PSU. Lalu kaki masukan kaki adc ke kaki adc mikrokontroler. Hasil dari sensor tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 pengujian sensor tegangan

PSU (V)	MULTIMETER (V)	SENSOR (V)
1	0,9	0,9
1,5	1,4	1,4
2,3	2,2	2,3
4,2	4,1	4,1
5,3	5,2	5,2
5,7	5,6	5,6
6,2	6,1	6,1
6,8	6,8	6,7
7,4	7,4	7,3
12	12	11,9
13,9	14	13,9
15,3	15,4	15,3
16,4	16,5	16,4
22,7	22,8	22,7
25,1	25,3	25,3
29,3	29,5	29,5
30	30,3	30,2
31,6	31,9	31,6

Rata – rata kepresisian dari sensor tegangan mencapai 99%.

1.3 Buckboost converter

Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan buckboost converter dengan PSU yaitu positif PSU pada kaki positif masukan dari buckboost, sedangkan kaki negatif buckboost dihubungkan ke ground PSU. Mikrokontroler terhubung ke personal computer dan dihubungkan dengan rangkaian optocoupler. Personal computer berfungsi sebagai pensuplai untuk mikrokontroler sekaligus untuk mengupload program. Dari mikrokontroler yang sudah terdapat program untuk mengatur dan menset keadaan keluaran agar sesuai dengan yang diharapkan. Kemudian sensor arus dan tegangan berfungsi sebagai feedback sekaligus mengecek arus dan tegangan buckboost.

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat tegangan arus dan daya masukan.

Tabel 4.2 tegangan, arus, dan daya dari masukan

tegangan input (Vin)	arus input (Iin)	daya input (Pin)
5,4	0,99	5,346
6,6	1,24	8,184
7,2	0,98	7,056
8	0,82	6,56
9,1	0,66	6,006
10,7	0,55	5,885
11,2	0,52	5,824
12,4	0,49	6,076
13,2	0,47	6,204
14,2	0,43	6,106
15,6	0,4	6,24
16,7	0,37	6,179
17,7	0,34	6,018
18	0,31	5,58
19,2	0,33	6,336
20,1	0,34	6,834

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat tegangan, arus, dan daya keluaran.

Tabel 4.3 tegangan, arus, daya keluaran

tegangan output (Vout)	arus output (Iout)	daya output (Pout)
11,26	0,362	4,07612
12,76	0,425	5,423
12,34	0,445	5,4913
12,06	0,425	5,1255
12,52	0,41	5,1332
12,72	0,402	5,11344
12,21	0,405	4,94505
12,82	0,411	5,26902
12,51	0,418	5,22918
12,55	0,412	5,1706
12,57	0,404	5,07828
12,19	0,408	4,97352
12,25	0,397	4,86325
12,59	0,416	5,23744
12,42	0,413	5,12946
12,97	0,431	5,59007

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat efisiensinya dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Tabel 4.4 efisiensi daya

daya input (Pin)	daya output (Pout)	efisiensi
4,07612	4,07612	76%
5,423	5,423	66%
5,4913	5,4913	78%
5,1255	5,1255	78%
5,1332	5,1332	85%
5,11344	5,11344	87%
4,94505	4,94505	85%
5,26902	5,26902	87%
5,22918	5,22918	84%
5,1706	5,1706	85%
5,07828	5,07828	81%
4,97352	4,97352	80%
4,86325	4,86325	81%
5,23744	5,23744	94%
5,12946	5,12946	81%
5,59007	5,59007	82%

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari pengujian dan analisis pada alat yang berupa buck boost, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil tes rangkaian optocoupler pada osiloskop menunjukkan ripple yang kecil.
2. Tingkat kepresisian sensor tegangan mencapai 99%
3. Dapat melakukan buck pada tegan : 6V – 11V, dan dapat melakukan fungsi boost pada tegangan : 13V – 19V.
4. Rata – rata efisiensi alat adalah 82%.
5. Kontrol PI berpengaruh pada keluaran buck boost, menjadikan keluaran lebih stabil.

1.2 Saran

Selama pengerjaan tugas akhir ini tentunya tidak lepas berbagai macam kekurangan, secara khusus pada alat yang dibuat. Namun setelah masa waktu tugas akhir ini habis, penulis belum dapat memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada. Untuk itu demi kesempurnaan alat ini, penulis dapat memberikan beberapa catatan :

1. Perbesar batas kerja dari buckboost converter.
2. Untuk hasil yang lebih maksimal diharapkan agar membuat rangkain lebih presisi dalam penghitungan dan menggunakan spesifikasi alat yang sesuai.
3. Perhatikan batas maksimal alat yang digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. PLTMH
<https://ahabe.wordpress.com/pltmh/> (diakses 15 april 2015)
2. Muhammad Asy'ari Perangin Angin.2008 "Perancangan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro".Medan.Universitas Sumatera Utara.
3. Agus Indarto, Pitojo Tri Juwono, Rispiningtati.2012." Kajian Potensi Sungai Srinjing untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung Di Kabupaten Kediri".Malang. Universitas Brawijaya Malang.
4. Ir. Janter Napitupulu, MT." Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dalam Pengelolaan Energi Hijau".Medan.Universitas Darma Agung Medan.
5. Khairul Amri.2009."Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Sungai Air Kule Kabupaten Kaur".Bengkulu.Universitas Bengkulu.
6. Definisi Dan Klasifikasi Turbin.2013.
<https://fitransyah.wordpress.com/2013/07/25/page/6/> (dikases 15 april 2015)
7. GENERATOR.2012.
<http://imamsinaga.blogspot.com/> (diakses 15 april 2015)
8. Generator, Turbin, Pltm.
<https://www.scribd.com/doc/82250603/11a-Bab-Generator-Turbin-Pltm> (diakses 15 april 2015)
9. Generator Induksi.2013.
<http://te.unib.ac.id/lecturer/amrirosa/?p=34>(diakses 15 april 2015)
10. CV Cihanjuang Inti Teknik, Produsen Turbin Listrik Mikro Hidro dengan TKDN Hampir 100%.2012.
<http://arifh.blogdetik.com/cv-cihanjuang-inti-teknik-produsen-turbin-listrik-mikro-hidro-dengan-tkdn-hampir-100/> (diakses 15 april 2015)
11. Hydropower Turbines Kaplan Turbine.
<http://www.renewablesfirst.co.uk/hydro-learning-centre/kaplan-turbines/> (dikases 15 april 2015)
12. Prinsip dan Cara Kerja Generator.2015
http://www.academia.edu/8360970/Prinsip_Cara_Kerja_Generator (diakses 15 april 2015)
13. Handy Wicaksono1, Josaphat Pramudijanto2.2004." Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Metode *Tuning Direct Synthesis*".Surabaya.Institut Teknologi Surabaya.
14. Muhamad Ali." Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab".Yogyakarta.Universitas Negeri Yogyakarta.
15. Membuat dan Mendesain Buck Boost Konverter.
<http://ngerumpilistrik.blogspot.co.id/2012/06/membuat-dan-mendesain-buck-boost.html> (diakses 15 februari 2016)
16. Belajar Mikrokontroler.
<http://mikrokontroler-indonesia.blogspot.co.id/2014/01/pengertian-mikrokontroler.html> (diakses 15 februari 2016)