



ANALISIS PROTOTYPE TURBIN PELTON DENGAN VARIASI OPERASIONAL DI LABORATORIUM PENGUJIAN MESIN UNIVERSITAS DARMA AGUNG

Kristian Tarigan^a, Saut Parsaoran Pardede^a, Rasta^a, Dewi Sholeha^{b*}, Efrata Tarigan^c

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Darma Agung, Jl. Dr.Td Pardede No 21 Petisah Hulu. Kecamatan Medan Baru Sumatera Utara

^bProgram Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Darma Agung, Jl. Dr.Td Pardede No 21 Petisah Hulu. Kecamatan Medan Baru Sumatera Utara

^cProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

*Corresponding Authors At: Alkhansadewi@gmail.Com (Dewi S) Tel: +62853-6155-5506

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 14 Januari 2024

Direvisi pada 05 Februari 2024

Disetujui pada 14 Februari 2024

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

Kata kunci:

PLTMH, Turbin Pelton, Ketinggian (Head), Kecepatan Aliran(V), Sudut Sudu, Nozzle, Perbaikan dan Pengoptimalan

Keywords:

PLTMH, Pelton Turbine, Height (Head), Flow Speed (V), Blade Angle, Nozzle, Repair and Optimization

ABSTRAK

Salah satu pilihan untuk memanfaatkan sumber energi saat ini adalah pembangkit listrik tenaga air. Ini adalah salah satu jenis pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) terbaik yang dapat dikembangkan di lingkungan alam Indonesia karena kebutuhan energi yang terus meningkat. Turbin pelton adalah salah satu jenis turbin air yang paling umum digunakan. Banyak faktor memengaruhi kinerja turbin pelton. Ketinggian (kepala), kecepatan aliran, sudut sudu, jumlah nozzle, kecepatan aliran, dan jumlah sudu adalah semua bagian dari ini. Ketersediaan fasilitas yang diperlukan untuk proses pembelajaran di perkuliahan sangat penting dalam konteks pendidikan. Untuk membandingkan hasil uji dengan hasil teori, diperlukan alat peraga Turbin Pelton Prototype. Di Laboratorium Pengujian Mesin Universitas Darma Agung, fungsi komponen prototipe Turbin Pelton harus diperbaiki dan dioptimumkan. Selanjutnya, variasi pengoperasian (ukuran diameter bukaan nozzle) dan kecepatan aliran yang berbeda selama pengujian memengaruhi daya dan efisiensi kerja turbin

ABSTRACT

Hydroelectric power plants are one alternative for making use of the energy sources that are now available. The demand for energy is expected to continue to rise, which is why this particular type of micro-hydro power plant (PLTMH) is considered to be among the most suitable options for development in Indonesia's natural environment. There are many different kinds of water turbines, but one of the more prevalent ones is the Pelton turbine. The performance of a pelton turbine is affected by a whole host of different elements. The height (head), flow velocity, blade angle, number of nozzles, flow velocity, and number of blades are all components that are included in this situation. In the framework of education, the provision of facilities that are necessary for the learning process in conjunction with lectures is of utmost importance. It is necessary to have a Pelton Prototype Turbine prop in order to compare the results of the tests with the theoretical findings. In order to enhance and perfect the functionality of the Pelton Turbine prototype components, the Darma Agung University Machine Testing Laboratory is responsible for further development and optimisation. In addition, the power output and operational efficiency of the turbine are impacted by variations in operation, such as the size of the nozzle opening diameter, as well as varied flow rates utilised during testing.

1. PENGANTAR

Kebutuhan energi meningkat terutama didaerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan listrik dari PLN. Penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga air menjadi sumber potensial (Putra, 2009). Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar terutama berkaitan dengan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Energi potensial air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, menunjang diversifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan penggunaan BBM, dan sebagian besar konstruksinya menggunakan material lokal (Irawan, 2014). PLTA memanfaatkan energi potensial atau energi kinetik air. Untuk merubah

energi potensial maupun kinetik air dibutuhkan peralatan misalnya turbin Pelton. Energi Potensial air dipengaruhi oleh ketinggiannya, sedangkan energi kinetik dipengaruhi oleh kecepatan air tersebut (Hadimi dkk, 2006). Pada saat ini dunia sedang mengalami krisis energi dan khususnya Indonesia mengalami krisis energi listrik secara nasional. Listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup manusia yang primer, sehingga diperlukan suatu instalasi pembangkit tenaga listrik yang efisien. Berbagai macam jenis pembangkit listrik telah banyak dibuat mulai dari turbin gas, turbin uap, turbin air, kincir air dan *solar cell* dengan berbagai keuntungan dan kelebihan (Buyung, 2016). Turbin pelton adalah jenis turbin impuls yang memanfaatkan jatuh air (*head*) yang tinggi walaupun dengan debit air yang kecil, karena jenis turbin ini menggunakan nozel dalam bentuk pancaran air dan diterima oleh sudu-sudu turbin sehingga dapat berputar yang nantinya akan memutar poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Sudu berbentuk dua buah mangkok sebagai awal penerima pancaran air dari nozel. Pengaplikasian dengan turbin pelton menghasilkan daya yang besar dari pembangkitan dan menggunakan konstruksi yang sederhana (Idscribd, 2023). Selain itu, mudah dalam perawatannya dan teknologi yang digunakan sederhana sehingga mudah untuk diterapkan di daerah terisolir (Saputra dkk, 2020). Manfaat dan tujuan dari penulisan ini pertama untuk mengetahui bagaimana unjuk kerja prototipe turbin pelton skala laboratorium dengan satu nozzle yang diposisikan 90 derajat terhadap kinerja turbin pelton yang kedua adalah untuk mencoba mengetahui daya dan efisiensi turbin dengan menggunakan berbagai diameter nozzle dan kecepatan aliran (Febryan, 2019).

1.1 Komponen Utama Turbin Pelton

Ada beberapa komponen turbin pelton, diantaranya; (1) *Runner*: Runner Turbin Pelton terdiri dari cakera dan sejumlah sudu yang terpasang di sekelilingnya. (2) *Sudu*: Sudu Turbin Pelton memiliki bentuk seperti mangkuk dengan bagian atas yang runcing dan bagian dalam yang melengkung ke arah dalam. (3) *Nozzle*: Dalam turbin, *nozzle* mengubah tekanan air menjadi kecepatan. (4) *Rumah Turbin*: *Nozzle* dan sakaligus dipasang di Rumah Turbin Pelton untuk melindungi turbin dari aktivitas fisik dan kimia di sekitarnya.

1.2 Parameter yang Mempengaruhi Kinerja Turbin Pelton

a. Menentukan Head Turbin

Untuk menghitung head turbin dengan berbagai pengaturan bukaan nozzle, gunakan rumus berikut:

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad (\text{m/s}^2) \quad (1)$$

Dimana:

p = tekanan terukur pada pressure gauge (N/m^2)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = koefisien gravitasi bumi (m/s^2)

b. Menentukan Kecepatan Aliran

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung kecepatan mutlak semburan atau jet:

Besarnya kecepatan air masuk nozzle dapat dihitung:

$$Q = A_1 \cdot V_1 \quad (2)$$

Dimana:

Q = kapasitas aliran (m^3/s)

A_1 = luas penampang pipa (m^2)

$$= \frac{\pi}{4} d_1^2 \quad (\text{m}^2)$$

D_1 = diameter dalam pipa (m)

c. Kecepatan air keluar nozzle V_2

$$V_2 = \eta_{\text{nozzle}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_a} \quad (3)$$

Dimana:

η_{nozzle} = efisiensi nozzle (0,96 - 0,98)

g = koefisien gravitasi bumi (9,806 m/s^2)

H_a = Head total tekan, $= \frac{P_1}{\rho} + V_1/2gh$

Untuk head konstan

$$H_a = p_1/g \quad (4)$$

d. Menghitung Daya pada Turbin

Daya hidraulik sebelum keluar nozzle, P_1

$$P_1 = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (5)$$

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (\text{watt}) \quad (6)$$

Dimana:

P_1 = Daya Air (Watt)

γ = Berat spesifik fluida (N/m^3)

$$= \rho \cdot g$$

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = koefisien gravitasi bumi (m/s^2)

Q = debit/kapasitas aliran (m^3/s)

H = head Turbin (m)

Daya mekanis turbin

$$P_m = \rho \cdot g \cdot H \quad (7)$$

Daya yang dihasilkan Generator

$$P_g = V \cdot I \cos \varphi \quad (8)$$

Dimana:

P_m = Daya Mekanis Turbin (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = koefisien gravitasi bumi (m/s^2)

H = head Turbin (m)

V = tegangan listrik

I = kuat Arus (Amper)

φ = factor daya diambil 0.9

e. Putaran Spesifik Turbin

Putaran standar turbin dapat menghasilkan 1 HP untuk setiap tinggi jatuh air 1 kaki, yang mendefinisikan putaran spesifik sebagai persamaan berikut:

$$N_s = \frac{n\sqrt{H}}{H^{5/4}} \quad (9)$$

f. Efisiensi Turbin

Efisiensi Nozzle

Perbandingan antara daya hidrolis sesudah keluar nozzle dengan daya hidrolis sebelum keluar nozzle disebut efisiensi nozzle:

$$\eta_{\text{nozzle}} = \frac{P_1}{P_2} \quad (10)$$

Efisiensi Generator

Perbandingan antara daya yang dihasilkan generator dengan daya mekanik turbin:

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_m} \quad (11)$$

Efisiensi ini diperoleh setelah kehilangan daya pada roda turbin dimana hidrolis setelah keluar nozzle, P_2 digunakan memutar roda turbin. Poros yang berhubungan dengan roda turbin berputar sehingga menghasilkan daya mekanis P_m . Ini tidak sama dengan P_2 yang disebabkan oleh gesekan dan penyebab-penyebab lainnya pada roda turbin, maka efisiensi roda turbin dapat dirumuskan:

$$\eta_{rt} = \frac{P_m}{P_2} \quad (12)$$

g. Beberapa Persamaan Bernouli

Dalam suatu aliran air yang mengalir melalui pipa, besar energi aliran menurut bernouli adalah:

$$w = m \cdot g \cdot z + m \cdot \frac{p}{\rho} + m \cdot \frac{c^2}{2} \quad (13)$$

"Spesifik Energi" didefinisikan sebagai satuan dalam Nm/kg ketika jumlah air pada aliran diambil tiap 1 kg untuk dihitung. Hasilnya adalah:

$$W = g \cdot z + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = \text{konstan Nm/kg} \quad (14)$$

Kemudian jika dibagi lagi dengan percepatan gravitasi g , akan didapat salah satu rumus dari persamaan bernouli yang mempunyai arti ketinggian:

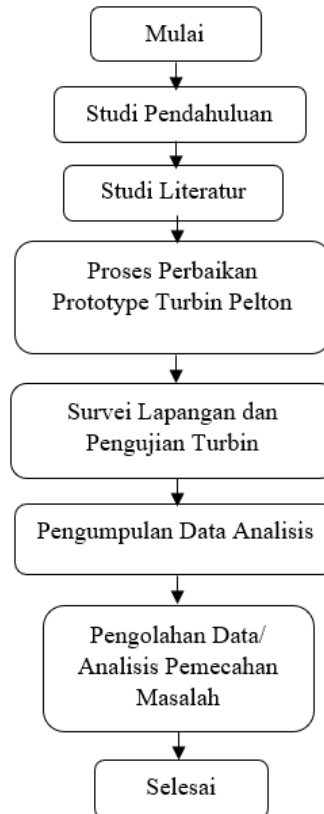
$$E = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{c^2}{2g} = \text{konstan } m \quad (15)$$

2. METODE

2.1 Desain Penelitian

Adapun jenis penelitian yang dilakukan penulis adalah metode studi kasus berdasarkan survei lapangan. Sehubungan dengan itu, untuk memperkuat analisis yang penulis lakukan, penulis melakukan observasi langsung dari Laboratorium Teknik Mesin Universitas Darma Agung, yaitu Prototype Turbin Pelton. Analisis yang dilakukan penulis akan lebih akurat, karena diambil langsung dari sumbernya. Penulis tentunya membutuhkan berbagai macam sumber bacaan, guna menunjang skripsi yang sangat baik dan berdasarkan fakta, dengan cara membaca beberapa buku, jurnal ilmiah, skripsi orang lain, artikel-artikel bacaan baik dari buku maupun internet.

2.2 Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Teknik analisis data ini, dimaksudkan untuk mempermudah bagi pembaca dalam memahami isi dari penelitian yang dilakukan penulis. Pembahasan ini penulis menggambarkan peta pengerjaan (*mind map*) analisis yang dilakukan penulis, dengan sebuah gambar peta yang terstruktur seperti gambar di atas. Berikut dibawah ini adalah keterangan gambar flowchart yang telah dibuat: **Studi Pendahuluan**, tahap awal penelitian yaitu studi pendahuluan untuk menunjukkan masalah yang ditemukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Darma Agung yaitu optimasi Prototype Turbin Pelton yang sudah lama tidak dioperasikan. **Studi Literatur**, kemudian memperkuat argument dan analisis yang dibuat. Tentunya selaku penulis Studi Literatur/Studi Kepustakaan dari berbagai sumber bacaan ataupun artikel-artikel yang dibutuhkan guna menunjang pengetahuan penulis mengenai analisis yang akan dibuat. **Proses Perbaikan Prototype Turbin Pelton**, penulis melakukan proses perbaikan prototype turbin pelton, mengingat tidak dapat dapat beroperasi dengan baik yang dimaksud sumber dari yang akan diteliti.

Survei Lapangan dan Pengujian Turbin, selaku penulis penting untuk melakukan survei lapangan dan pengujian turbin, tentunya akan menguatkan data untuk analisis yang penulis lakukan ini, karena bersifat faktual berdasarkan penelitian yang dilakukan. **Pengumpulan Data Analisis**, berdasarkan hal diatas, penulis tiba saatnya untuk mengumpulkan data-data yang akan dibutuhkan guna mendukung penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap turbin. Data yang didapat harus harus diolah dengan baik dan benar, agar sesuai dengan apa yang diharapkan penulis. **Pengolahan Data/Analisis Pemecahan Masalah**, hasil dari pengumpulan data yang berupa perhitungan akan dianalisis, dan dilakukan pemecahan masalah, lalu diberikan kesimpulan terhadap hasil pengujian terhadap prototype turbin pelton. Pada tahap ini data benar-benar sudah matang, dengan demikian penyusunan laporan dikerjakan hingga tuntas dan sesuai prosedur. **Selesai**, langkah terakhir menarik kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang diberikan dari hasil penelitian. Pada tahap ini penulis sudah benar menyelesaikan tugas akhir dan siap untuk dipertanggungjawabkan.

2.3 Alat dan Bahan

Ada beberapa alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah; (1) *Prototype* turbin, (2) Pompa atau sumber air, (3) Instrumentasi pengukuran laju aliran, tekanan dan suhu air, (4) *Dynamometer*, (5) Generator, (6) Panel *control*. Adapun bahan-bahan yang disiapkan, antara lain: Air, sensor dan kabel pengukuran, material konstruksi turbin, instrument pengukuran listrik, perangkat

pengukur kecepatan putar, catatan dan buku petunjuk serta kelengkapan keselamatan. Alat dan bahan tersebut digunakan untuk menunjang kegiatan penelitian ini, sehingga diharapkan tidak ada kendala yang berarti ketika penelitian sudah dijalankan.

2.4 Prosedur Percobaan

Pada tahap ini sangat diperlukan supaya data yang akan dicari dan diteliti didapatkan, serta memastikan kondisi alat berfungsi dengan normal. Beberapa tahap pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Prosedur Percobaan I Turbin Pelton dengan Debit Naik dan Tekanan Naik.
- Prosedur Percobaan II Turbin Pelton dengan Debit Konstan dan Tekanan Konstan
- Prosedur Percobaan III Turbin Pelton dengan Debit Konstan dan Tekanan Naik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan analisis *prototype* turbin pelton dengan variasi operasional, maka didapatkan hasil seperti di bawah ini:

3.1 Data Percobaan Prototype Turbin Pelton dengan Debit (Q_1) Naik dan Tekanan (P_1) Naik

Tabel 1: Data Hasil Percobaan 1

P_1 (bar)	Q_1 (m ³ /h)	n (rpm)	V (volt)	I (Amp)	P_2 (bar)
0,88	4,94	480	47	1,3	0,030
1,28	5,67	700	66	1,8	0,045
1,51	6,00	810	76	2,0	0,050
1,77	6,45	910	88	2,25	0,075
2,26	7,18	1.130	109	2,65	0,100

3.2 Data Percobaan Prototype Turbin Pelton dengan Debit (Q_1) Konstan dan Tekanan (P_1) Konstan

Tabel 2: Data Hasil Percobaan 2

n (rpm)	V (volt)	I (Amp)	P_2 (bar)
1620	146	3,6	0,2
1570	146	3,6	0,3
1200	146	3,5	0,35
1160	141	3,4	0,365
1080	139	3,3	0,375

3.3 Data Percobaan III Prototype Turbin Pelton dengan Debit (Q_1) Konstan dan Tekanan (P_1) Naik

Tabel 3: Data Hasil Percobaan 3

P_1 (bar)	Q_2 (m ³ /h)	n (rpm)	V (volt)	I (Amp)	P_g (bar)
3,03	8,00	830	120	3,0	0,325
3,84	8,00	1030	148	3,6	0,400
4,41	8,00	1070	169,5	4,1	0,450
4,48	8,00	1270	185	4,45	0,550
5,08	8,00	1320	192,5	4,6	0,600

Dari data analisis dan grafik, untuk Data Hasil Percobaan I, Percobaan II, dan Percobaan III diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Pembebanan rotasi turbin terhadap generator tetap/Beban tetap 20%, debit dan Tekanan Naik berbanding lurus dengan kenaikan Head (H) Turbin, kecepatan air keluar nozzle (V2) dan Tegangan Listrik maupun Arus Listrik yang dihasilkan Generator (effisiensi generator (η_g)) semakin besar. Dari Data Percobaan I dengan Beban tetap 20%, Debit dan Tekanan Naik dengan Debit (Q_1) = 7.18 m³/h dan Tekanan (P_1) = 2,26 bar diperoleh Head (H) = 23,1 m. Dari Data Percobaan I dengan Beban tetap 20%, Debit dan Tekanan Naik diperoleh rata-rata Efisiensi Prototype Turbin Pelton (η_t) di Laboratorium Prestasi Teknik Mesin Universitas Darma Agung sebesar 98%. Pada Data II dengan Pembebanan Naik, Debit air dan Tekan Tetap dari analisis perhitungan yang dilakukan didapat Head Prototype Turbin Peton Kecepatan air keluar nozzle (V2) dan efisiensi turbin relative konstan konstan, dan Tegangan listrik maupun Arus Listrik tidak berubah jauh. Dari Data Percobaan II dengan Pembebanan Naik, Debit air dan Tekan Tetap dengan Pembebanan rotasi turbin terhadap Generator sebesar 36% Debit (Q_1) = 8,56 m³/h dan Tekanan (P_1) = 3,28 bar diperoleh Head (H) = 33,69 m. Pada Data Percobaan III dengan Beban Tetap 40% dengan Debit air (Q) dan Tekanan (P) berubah-ubah dengan Debit (Q_1) yang besar 10 m³/h berbanding lurus dengan Tekanan (P_1) yang terbaca pada pressure gauge 5,09 bar dengan Head Turbin yang diperoleh dari perhitungan sebesar 52,01 m dan kecepatan air yang keluar nozzle (V2) = 31 m/s.

4. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa, jika kapasitas air dinaikkan dan daya pompa tetap maka kecepatan air dalam pipa berkurang, Pertambahan putaran roda turbin selalu disebabkan oleh bertambahnya daya pompa. Semakin besarnya putaran roda turbin maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator semakin besar pula. Kesimpulan lainnya yang bisa diambil adalah putaran turbin yang semakin cepat, berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan, sehingga sangat berpengaruh terhadap output yang dihasilkan oleh turbin itu sendiri, akan tetapi perlu secara rutin dilakukan perawatan supaya turbin yang digunakan selalu siap untuk digunakan dalam berbagai beban yang akan diterapkan pada turbin tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dukungan, dan inspirasi yang diberikan selama proses penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada team di laboratorium dan mahasiswa yang sedang mengikuti pengujian alat yang memberikan kontribusi berharga dalam pelaksanaan eksperimen. Penulis juga mengakui dukungan dari universitas darma agung. Semua dukungan ini berperan penting dalam kesuksesan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Buyung, S. (2016). Analisis Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton. *Garuda Kemdikbud*. 6, 1-8.
- Febryan, D. (2019). Rancang Bangun Turbin Pelton Skala Lab untuk Mahasiswa. Sriwijaya: Perpustakaan Polsri.
- Hadimi, Supandi, & Rohermanto, A. (2006). Rancang Bangun Model Turbin Pelton Mini Sebagai Media Simulasi/Praktikum Mata Kuliah Konversi Energi Dan Mekanika Fluida. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 9,1, 16 – 24.
- Id.scribd.com. (2023). Turbin Pelton Diakses pada tanggal 05 Agustus 2023 dari (<https://www.slideshare.net/nevikurniasari/turbin-pelton-49668018>).
- Irawan, D. (2014). Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro Di Lampung. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin: Turbo*, 3, 1, 1-6.
- Putra, A.A.G. (2009). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohydro Menggunakan Turbin Pelton. Tugas Akhir Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Purta, A.B.E. (2018). Analisis Perhitungan Efisiensi Daya dengan Mengukur Besarnya Ketinggian (Head) Air yang Jatuh di PLTA Saguling . Bandung: Perpustakaan UPI.
- Saputra, I.G.N., Jasa, L., Wijaya, I.W.A. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype Pltmh Dengan Menggunakan Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Yang Dihasilkan. *Jurnal SPEKTRUM* . 7, 4, 162-171.