

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO CROSSFLOW DI DUSUN LEMO DESA TANATORO KABUPATEN SIDRAP

Abdullah Azzam, Erianto¹

Abstrak: Dusun lemo, Desa Tanatoro, Kabupaten Sidrap merupakan salah satu Dusun di Sulawesi Selatan yang belum mendapat suplai energi listrik dari PLN karena letak geografisnya yang berada di daerah pegunungan yang sulit dijangkau. Penelitian ini dilakukan di Dusun Lemo, Desa Tanatoro, Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap). Tanatoro merupakan salah satu Desa yang memanfaatkan aliran air sungai menjadi pembangkit Tenaga Listrik atau yang biasa dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Berdasarkan hasil perancangan, di Dusun Lemo memiliki potensi energi listrik sebesar 5,9 kW dengan ketinggian (head) 2 meter dan memiliki debit sebesar 0,35 m³/det.

Kata kunci: PLTMH, Penstock, Turbin, Generator.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), menawarkan pemecahan bagi daerah-daerah pedesaan terpencil (Sidrap) yang jauh dari jangkauan PLN untuk mendapatkan sumber energi ini, diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan memacu kegiatan pembangunan setempat.

Salah satu kendala utama dalam pelistrikan pedesaan adalah letaknya yang jauh dari pusat pembangkitan dengan kondisi akses yang buruk, membuat biaya investasi sangat tinggi.

A. Pembangkitan Tenaga Air

Pembangkitan tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Pada umumnya debit yang besar membutuhkan fasilitas dengan ukuran yang besar untuk bangunan ambil air (*intake*), saluran air dan turbin. Oleh karena itu tinggi jatuh yang besar dengan sendirinya lebih murah, di hulu sungai di mana pada umumnya kemiringan dasar sungai lebih curam akan mudah diperoleh tinggi jatuh yang besar sebaliknya di sebelah hilir sungai, tinggi jatuh rendah dan debit besar.

¹ Alumni Program D4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

B. Rumus yang Digunakan dalam Perancangan Turbin.

Dalam perancangan turbin crossflow pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki perhitungan dan analisis, diantaranya:

1. Menghitung Daya Turbin

- ❖ Luas Penampang Saluran (A)

$$A = P \cdot L \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

- ❖ Debit aliran (Q)

$$Q = V \cdot A \text{ (m}^3\text{/det)} \dots\dots\dots(2)$$

- ❖ Daya turbin (P)

$$P = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g \cdot \eta_T \dots\dots\dots(3)$$

2. Menghitung Tekanan dalam Pipa

- ❖ $P = \rho \cdot g \cdot h$ (Pa).....(4)

3. Menghitung Putaran Turbin.

- ❖ Kecepatan satuan turbin (Nu)

$$Nu = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(5)$$

- ❖ Debit satuan (Qu)

$$Qu = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{H}} \dots\dots\dots(6)$$

4. Menghitung Dimensi Turbin

- ❖ Diameter luar

$$D_1^2 = \frac{4 \cdot Q}{u \cdot B / D_1 \cdot \pi / 4} \dots\dots\dots(7)$$

- ❖ Diameter dalam

$$D_2 = 0,6 \cdot D_1 \dots\dots\dots(8)$$

- ❖ Lebar runner

$$B = 0,5 \cdot D^1 \dots\dots\dots(9)$$

5. Menghitung Aliran Air yang masuk ke dalam runner

- ❖ Luas penstock (jet)

$$A_{Jet} = \frac{Q}{\bar{V}} \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(10)$$

- ❖ Jarak semburan air yang masuk ke celah sudu

$$S_1 = k \cdot D_j \text{ (cm)} \dots\dots\dots(11)$$

- ❖ Jarak antar sudu

$$t = \frac{s_1}{\sin \beta_1} \dots\dots\dots(12)$$

- ❖ Jumlah sudu

$$Z = \frac{\pi \cdot D_1}{t} \dots\dots\dots(13)$$

- ❖ Kelengkungan Sudu

$$P = 0,326 \cdot r_1 \dots\dots\dots(14)$$

- ❖ Jarak Diameter Luar dan Diameter Dalam pada Runner

$$A = 0,17 \cdot D_1 \dots\dots\dots(15)$$

6. Pengukuran Daya Listrik

❖ Menghitung daya 1 fasa
 $P = V \cdot I \cdot \cos \phi$(16)

❖ Menghitung daya 3 fasa
 $P = \sqrt{3} V \cdot I \cos \phi$ (17)

C. Prinsip Pembangkitan Tenaga Air

Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator.

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis. Sebagaimana dapat dipahami dari rumus tersebut di atas, daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air, oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung daripada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis. Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk Runner

Berdasarkan model aliran air masuk runner, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

a. Turbin Aliran Tangensial

Pada kelompok turbin ini posisi air masuk runner dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner mengakibatkan runner berputar, contohnya Turbin Pelton dan Turbin Cross-Flow.

b. Turbin Aliran Aksial

Pada turbin ini air masuk runner dan keluar runner sejajar dengan poros runner, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.

c. Turbin Aliran Aksial - Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam runner secara radial dan keluar runner secara aksial sejajar dengan poros. Turbin Francis adalah termasuk dari jenis turbin ini.

2. Pengelompokan Turbin

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada tabel 1 menunjukkan pengelompokan turbin.

Tabel 1. Klasifikasi Jenis Turbin Air

Jenis Turbin	Head Tinggi	Head Menengah	Head Rendah
Turbin Impuls	Pelton Turgo	Cross Flow	Cross Flow
		Multi Jet Pelton Turgo	
Turbin Reaksi	-	Francis	Propeller Kaplan

Sumber :Adam Harvey et al,1993.

3. Pemilihan Turbin

Daerah aplikasi berbagai jenis turbin air relatif spesifik. Pada beberapa daerah operasi memungkinkan digunakan beberapa jenis turbin. Pemilihan jenis turbin pada daerah operasi yang overlapping ini memerlukan perhitungan yang lebih mendalam. Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut Keller dikelompokkan menjadi :

- ❖ Low head power plant
- ❖ Medium head power plant
- ❖ High head power plant

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air adalah sebagai berikut:

- Turbin Pelton : $12 \leq N_s \leq 25$
- Turbin Francis : $60 \leq N_s \leq 300$
- Turbin Cross Flow : $40 \leq N_s \leq 200$
- Turbin Propeller : $250 \leq N_s \leq 1000$

Dengan Mengetahui besaran kecepatan spesifik turbin maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

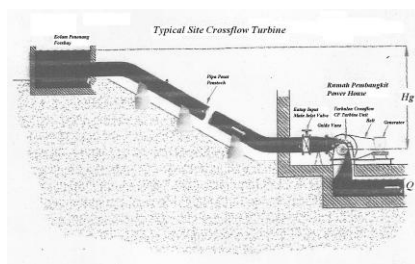
Tabel 2. Run-Away Speed Turbin

Jenis Turbin	Putaran Nominal, N (rpm)	Runaway speed
Semi Kaplan, single regulated	75-100	2-2.4
Kaplan, double regulated	75-150	2.8-3.2
Small-medium Kaplan	250-700	2.8-3.2
Francis (medium & High Head)	500-1500	1.8-2.2
Francis (Low Head)	250-500	1.8-2.2
Pelton	500-1500	1.8-2
Cross Flow	100-1000	1.8-2
Jenis Turbin	Putaran Nominal, N (rpm)	Runaway speed
Turgo	600-1000	2

Sumber : Adam Harvey et al, 1993.

D. Sistem PLTMH dengan Turbin Cross Flow

Gambar berikut menunjukkan skema dan susunan peralatan typical sebuah sistem PLTMH dan prinsip kerja dari PLTMH yang menggunakan jenis turbin *cross flow* (aliran silang).



Gambar 1. sistem PLTMH dengan turbin jenis *cross flow*
(Sumber : Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro)

Sistem PLTMH yang menggunakan jenis turbin *cross flow* memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan jenis turbin lainnya, antara lain:

- ❖ Kisaran Operasi yang Luas
- ❖ Sebagai alternatif turbin francis
- ❖ Pengaturan efisiensi yang tetap Tinggi pada debit rendah
- ❖ Mudah dan Murah Proses Pabrikasi dan Pemeliharaan
- ❖ Efisiensi

E. Komponen-komponen sistem PLTMH

Secara umum lay-out system PLTMH merupakan pembangkit yang memanfaatkan aliran air permukaan sungai (*run off river*). Komponen-komponen system PLTMH terdiri dari:

1. Bangunan Pemasok Air

Bangunan yang berfungsi untuk memasok air pada PLTMH umumnya adalah bangunan terjun dan saluran irigasi. PLTMH yang direncanakan pada perencanaan kami ini adalah menggunakan saluran irigasi.

2. Bak Pengendap (*Settling Basin*)

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel partikel pasir dari air. Fungsi bak pengendap sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir

3. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.

4. Bak penenang (*Headtank*)

Bak penenang berfungsi menampung aliran air dari saluran irigasi sebagai cadangan kekurangan debit air yang akan digunakan, untuk kemudian dialirkan melalui pipa pesat.

5. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pada PLTMH perhitungan tinggi jatuh efektif (*head net*) dilakukan dengan memperhitungkan rugi-rugi tinggi jatuh (*head losses*) sesuai dengan desain penstock.

6. Saluran Pembuangan (*tail race*)

Saluran yang berfungsi mengalirkan/membawa air dari turbin kembali ke sungai.

7. Rumah Pembangkit (*Power house*)

Bangunan yang di dalamnya terdapat turbin, generator dan peralatan kontrol.

8. Turbin

Turbin merupakan bagian penting dari sistem mikro hidro yang menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik). Kemudian energi mekanik ini akan memutar sumbu turbin pada generator.

9. Generator

Generator berfungsi mengubah energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Dusun Lemo, Desa Tanatoro, Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap). Lokasi ini dipilih secara sengaja atau (*purposive*). Desa Tanatoro merupakan salah satu Desa yang memanfaatkan aliran air sungai menjadi pembangkit Tenaga Listrik atau yang biasa dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Pengambilan data dilakukan pada bulan April hingga September 2012.

B. Data Lokasi Penelitian

Adapun data kondisi PLTMH Lemo sebagai berikut:

Head	= 2 m
Panjang Saluran	= 125 m
Lebar saluran	= 1,20 m
Dalam Saluran	= 1,37 m
Jarak pembangkit	= 1 km
Jarak terjauh yang dilayani	= 3 km
Jumlah rumah yang dilayani	= 109 rumah.
Fasilitas umum	= Kantor Desa & Mesjid.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan turbin Croosflow pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) memiliki perhitungan dan analisis dalam perancangannya, berikut perhitungan turbin Crossflow :

A. Daya turbin

1. Luas penampang saluran (A)

$$\begin{aligned} A &= P \cdot L \\ &= 1,37\text{m} \cdot 1,20\text{m} \\ &= 1,64 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung Debit Aliran (Q)

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot A \\ &= 0,22 \text{ m/det} \times 1,64 \text{ m}^2 \\ &= 0,35 \text{ m}^3/\text{det}. \end{aligned}$$

3. Daya turbin adalah (P)

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_T \\ P &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,35 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 0,87 \\ &= 5974,29 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$= 5,97 \text{ kW}$$

B. Daya yang dihasilkan

Pengambilan data dilakukan pada beban puncak yaitu pada jam 18.30–20.00 (Wita) untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan PLTMH Lemo.

Tabel 3. Beban Puncak pada Pembangkit Listrik Lemo

NO.	Waktu (Wita)	V (volt)	R (ampere)	S (ampere)	T (ampere)
1.	21.00	220	9	7	7

- Perhitungan daya untuk 1 fasa.

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \cdot \cos \phi \\ &= 220 \text{ V} \cdot (9 \text{ A} + 7 \text{ A} + 7 \text{ A}) \cdot 0,87 \\ &= 220 \cdot (9+7+7) \cdot 0,87 \\ &= 4402,2 \text{ watt} \\ &= 4,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Perhitungan daya untuk 3 fasa.

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \cdot 220 \cdot (9+7+7) \cdot 0,87 \\ &= 7624 \text{ Watt} \\ &= 7,624 \text{ kW} \end{aligned}$$

C. Diameter pipa pesat

Pada umumnya diameter pipa pesat untuk debit 0,35 m³/det dan head 2 m biasanya menggunakan pipa penstock dengan diameter 35 cm atau 14 inch.

- a. Tekanan dalam pipa

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 2 \text{ m} \\ &= 19,620 \text{ pa} \end{aligned}$$

D. Putaran turbin

Putaran maksimal turbin cross flow 100 – 1000 rpm, maka dengan daya turbin 5,97 kW dipilih putaran 500 rpm.

- a. Kecepatan Satuan Turbin

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}} \\ &= \frac{500 \cdot 0,35}{\sqrt{2}} \\ &= 123,7 \phi \end{aligned}$$

- b. Debit Satuan

$$\begin{aligned} Qu &= \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{H}} \\ &= \frac{0,35}{0,35^2 \cdot \sqrt{2}} \end{aligned}$$

$$= 2,02 \text{ m}^3/\text{det}$$

E. Perencanaan mesin turbin

1. Diameter Turbin

a. Diameter Luar

$$D_1^2 = \frac{4 \cdot Q}{U \cdot B / D_1 \cdot \pi / 4}$$

$\therefore B / D_1$ adalah aspek ratio = 0,5

Dimana :

❖ Putaran turbin diambil 500 rpm

$$U = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}$$

$$= \frac{\pi \cdot D_1 \cdot 500}{60}$$

$$= 26,166$$

$$D_1^2 = \frac{4 \cdot 0,35}{26,166 \cdot 0,5 \cdot D_1 \cdot \pi / 4}$$

$$D_1^2 = \frac{1,4}{10,27 D_1}$$

$$D_1^2 \cdot D_1 = 0,14$$

$$D_1^3 = 0,14$$

$$D_1 = \sqrt[3]{0,14}$$

$$= 0,51 \text{ m} = 51 \text{ cm}$$

b. Diameter Dalam

$$D_2 = 0,6 \cdot D_1$$

$$= 0,6 \cdot 51 \text{ cm}$$

$$= 30,6 \text{ cm} \approx 31 \text{ cm.}$$

Jadi, diameter rata-rata adalah :

$$\frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{51 + 31}{2} = 41 \text{ cm}$$

c. Lebar Runner

$$B / D_1 = 0,5$$

$$B = 0,5 \cdot D_1$$

$$= 0,5 \cdot 51$$

$$= 25,5 \text{ cm.}$$

2. Perhitungan aliran air yang masuk kedalam runner

a. Luas Penstock (*jet*)

$$A_{\text{jet}} = \frac{Q}{V}$$

Dimana : $V = c \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$

c : Efisiensi Nozzle = 0,95-0,98

V : Kec. Absolute air (m/s)

Q : Debit air (m³/det).

$$A_{\text{Jet}} = \frac{0,35}{0,98 \sqrt{2.9,81 \cdot 2}}$$

$$= \frac{0,35}{6,1}$$

$$= 0,057 \text{ m}^2$$

- b. Jarak Semburan Air yang Masuk ke celah sudu

$$S_1 = k \cdot D_1$$

Dimana: S_1 = Tebal semburan jet yang masuk kedalam celah sudu.

D_1 = Diameter luar runner (cm)

K = konstanta celah sudu = 0,087

$$\text{Maka, } S_1 = 0,087 \text{ cm} \cdot 51 \text{ cm}$$

$$= 4,43 \text{ cm}$$

- c. Jarak antar sudu

$$t = \frac{S_1}{\sin \beta_1}$$

$$= \frac{4,43}{\sin 45^\circ}$$

$$= \frac{4,43}{0,70} = 6,26 \text{ cm}$$

- d. Jumlah sudu

$$Z = \frac{\pi \cdot D_1}{t}$$

$$= \frac{3,14 \cdot 51}{6,26}$$

$$= 25,58 \approx 25 \text{ Buah.}$$

- e. Kelengkungan Sudu

$$\rho = 0,326 \cdot r_1$$

Dimana : r_1 = lebar runner (cm)

$$= 0,326 \cdot 25,5$$

$$= 8,31 \text{ cm.}$$

- f. Jarak Diameter Luar dan Diameter Dalam pada Runner

$$A = 0,17 \cdot D_1$$

$$= 0,17 \cdot 51$$

$$= 8,67 \text{ cm.}$$

Tabel 4. Dimensi Perancangan PLTMH Turbin Crossflow

No	Perancangan	Hasil perancangan
1	Daya turbin	5,97 kW

2	Diameter pipa pesat	35 cm
3	Tekanan dalam pipa	19,620 P _a
4	Kec. satuan turbin	123,7 rpm
5	Debit satuan	2,03 m ³ /det
6	Diameter luar	51 cm
7	Diameter dalam	31 cm
8	Lebar runner	25,5 cm
9	Luas penstock	0,057 m ²
10	Jarak semburan air	4,43 cm
11	Jarak antar sudu	6,26 cm
12	Jumlah sudu	25 buah
No	Perancangan	Hasil perancangan
13	Kelengkungan sudu	8,31 cm
14	Jarak diameter luar & dalam	8,67 cm

F. Bahan Pembuatan Turbin

Bahan yang digunakan dalam pembuatan poros adalah JIS G 4102 (baja Khrom Nikel) dengan kekuatan tarik $\sigma_b = 58 \text{ kg/mm}^2$, (JIS G 4102 Tabel Lampiran). Bahan dipilih berdasarkan parameter sebagai berikut :

- ❖ Ketahanan terhadap korosi
- ❖ Ketahanan terhadap benturan
- ❖ Ketahanan terhadap gesekan.
- ❖ Memiliki kekuatan tarik yang kuat.

Bahan pembuatan poros dan pembuatan turbin disamakan bahannya dengan tujuan agar memiliki umur yang sama.

G. Karakteristik pembebanan

Langkah pertama dari perencanaan diperlukan terlebih dahulu suatu perkiraan beban yang harus dilayani, karena sifat dari energi Listrik itu sendiri tidak dapat disimpan melainkan langsung habis digunakan oleh konsumen. Oleh karena itu daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang digunakan konsumen.

Tabel 5. Dusun yang Dilayani Pembangkit dan Memiliki Data

Dusun III Lemo	Dusun II Tabaro	Dusun IV Cilallang
Mesjid	Mesjid	Mesjid
-	Kantor desa	-
SD/SMP	-	-
Jumlah KK = 47 KK	Jumlah KK = 35 KK	Jumlah KK = 27 KK

Pembebanan masing-masing beban dilakukan sebagai berikut:

Beban tiap dusun.

Daya untuk rumah penduduk. Dengan masing-masing rumah terpasang daya sebesar

$$\begin{aligned}
 V &= 220 \text{ Volt} \\
 I &= 0.5 \text{ Ampere} \\
 \mathbf{P} &= \mathbf{V \cdot I} \\
 &= 220 \text{ Volt} \times 0.5 \text{ A} \\
 &= 110 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Pembagian pembebanan rumah tiap dusun adalah :

- ❖ Dusun III Lemo = 47 KK x 110 watt = 5.170 watt
- ❖ Dusun II Tabaro = 35 KK x 110 watt = 3.850 watt
- ❖ Dusun IV Cilallang = 27 KK x 110 watt = 2.970 watt

Jadi, rekapitulasi pembebanan rumah keseluruhan dusun adalah:

109 KK x 110 watt = 11.990 watt.

IV. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan hasil perancangan yang telah kami dapatkan bahwa dengan Debit sebesar $0,35 \text{ m}^3/\text{det}$, Head sebesar 2 m, Daya yang dihasilkan dengan penggunaan turbin Crossflow sebesar 5,97 kW, sedangkan daya maksimum operasi pada PLTMH Lemo sebesar 4,4 kW dengan penggunaan turbin Propeller.
- b. Dengan daya perencanaan yang dihasilkan turbin Crossflow sebesar 5,97 kW mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.

V. DAFTAR PUSTAKA

Adam Harvey et al, 1993. *Microhydro Design Manual, Intermediate Technology Publications*, London.

Fritz Dietzel, 1980, *Turbin Pompa Dan Kompresor*. Erlangga, Jakarta.

Patty O.F, 1995, *Tenaga Air*. Erlangga, Jakarta.

Rifai B, 2007, *Redesain Turbin pada Pembangkit Listrik Mikrohidro dengan $Q = 0,0086 \text{ m}^3/\text{dt}$* , Tugas Akhir, Fakultas Teknik, UMM, Malang.