

**STUDI KARAKTERISRIK TURBIN *CROSS FLOW* TYPE C4-20
PADA INSTALASI PLTMH ANDUNGBIRU**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**MOHAMMAD HELMI WICAKSONO
NIM. 0810623013 – 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI KARAKTERISRIK TURBIN *CROSS FLOW* TYPE C4-20 PADA
INSTALASI PLTMH ANDUNGBIRU**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

MOHAMMAD HELMI WICAKSONO
NIM. 0810623012-62

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng
NIP. 19541009 198303 1 002

Sugiarto, ST, MT.
NIP. 19690417 199512 1 001



LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KARAKTERISTIK TURBIN *CROSS FLOW* TYPE C4-20
PADA INSTALASI PLTMH ANDUNGBIRU

SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :
MOHAMMAD HELMI WICAKSONO
NIM. 0810623013-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 7 Agustus 2012

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

Komprehensif

Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP. 19720817 200002 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

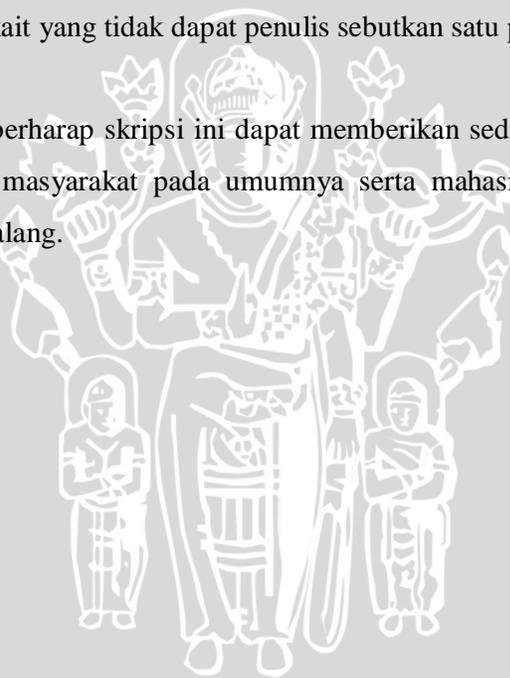
Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Studi Karakteristik Turbin Cross Flow type C4-20 pada Instalasi PLTMH Andungbiru** “ ini dengan baik dan benar. Sholawat serta salam tak lupa penulis panjatkan untuk Nabi besar Muhammad SAW.

Penyusunan skripsi ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Dr.Eng Lilis Yulianti, ST.,MT, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
4. Bapak Handono S, Ir., M.Eng.Sc, selaku Dosen Wali.
5. Ir. Djoko Sutikno, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberi masukan dan arahan yang tegas demi keberhasilan dan kesuksesan penulis dalam penyelesaian skripsi.
6. Sugiarto, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi kemudahan dan kelancaran dalam penyelesaian skripsi hingga benar-benar tuntas.
7. Bapak Teguh Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Hari Siswoyo Jurusan Teknik Pengairan yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan sedikit ilmu kepada penulis demi kelancaran penyelesaian skripsi.
8. Bapak rasid, Mas Di dan Mas Wito yang selalu membantu memberikan informasi dilapangan dan juga memberikan kemudahan pada proses pengambilan data dilapangan.
9. Warga Dusun Sumbergapung, Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo.
10. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

11. Kedua orang tua penulis, bapak tercinta Marwan Ali Masjhar dan ibunda tersayang Hendri Agustin yang tiada hentinya memberi kasih sayang secara tulus dan mengajarkan arti bagaimana untuk menghadapi hidup.
12. Kakak ku tercinta Henry Hendrawan.
13. Teman-teman seperjuangan EMPEROR'08 yang selalu memberi dukungan dan canda tawa yang tak kan pernah terlupakan.
14. Teman-teman dan staf laboratorium mesin-mesin fluida, laboratorium hidrolika Teknik Pengairan yang memberi kelancaran dalam penyelesaian skripsi.
15. Teman-teman sepenenderitaan dilapangan Teo, Hihid, Asif, Mas Alex.
16. Sahabat-sahabatku UKM UABT UB, kehadiran kalian membawa arti berbeda dalam setiap langkah hidupku.
17. Teman-teman kost MJS 11, tiada arti lebih selain persaudaraan.
18. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu diatas.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan sedikit banyak manfaat bagi para pembaca dan masyarakat pada umumnya serta mahasiswa Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.



Malang, Juni 2012

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)	4
2.2.1.Prinsip Kerja PLTMH	5
2.2.2.Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	6
2.3. Turbin Air	12
2.3.1.Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Penurunan Tekanan	13
2.4. Turbin Cross Flow	14
2.5. Teori dan Persamaan Pada Turbin	15
2.5.1.Kecepatan Spesifik	15
2.5.2.Pengertian Aliran	16
2.5.3.Head Losses	16
2.5.4.Persamaan Bernoulli	17
2.5.5.Segitiga Kecepatan	17
2.5.6.Persamaan Kontinuitas	18

2.5.7. Daya Turbin Air	18
2.6. Generator Sinkron	20
2.6.1. Generator Sinkron Kondisi Berbeban	21
2.6.2. Sifat Beban Listrik	22
2.6.3. Daya Listrik	22
2.6.4. Daya yang Dibangkitkan Generator Listrik	23
2.7. Hipotesis	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian	25
3.2. Variabel Penelitian	25
3.3. Alat-alat Penelitian	26
3.4. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	28
3.5. Gambar Instalasi Penelitian	28
3.6. Data yang Dibutuhkan	29
3.7. Metode Pengambilan Data	29
3.8. Metode Pengolahan Data	29
3.9. Rancangan Penelitian	29
3.9.1. Rancangan Tabel Penelitian	29
3.9.2. Rancangan Analisa Grafik	29
3.10. Diagram Alir	30

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data	31
4.1.1. Data Hasil Pengujian	32
4.1.2. Contoh Perhitungan Data	32
4.1.3. Data Hasil Perhitungan	37
4.2. Pembahasan Grafik	38
4.2.1. Grafik Hubungan Antara Beban Generator terhadap Daya Air (WHP)	38
4.2.2. Grafik Hubungan Antara Beban Generator terhadap Daya Poros (BHP) ...	38
4.2.3. Grafik Hubungan Antara Beban Generator terhadap Efisiensi Turbin ...	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	41
-----------------------	----



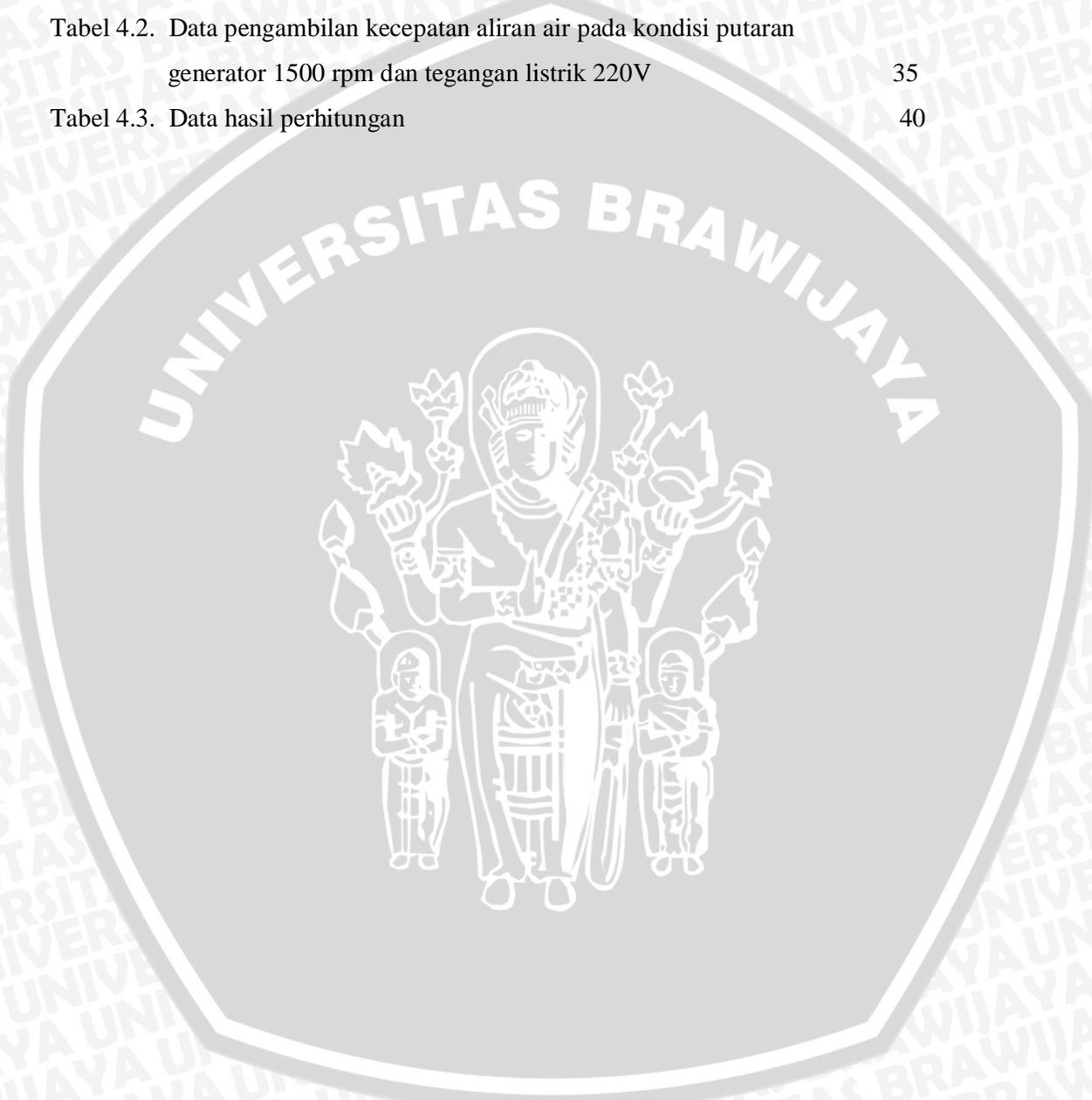
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 4.1.	Data pengambilan daya generator pada kondisi putaran generator 1500 rpm dan tegangan listrik 220V	35
Tabel 4.2.	Data pengambilan kecepatan aliran air pada kondisi putaran generator 1500 rpm dan tegangan listrik 220V	35
Tabel 4.3.	Data hasil perhitungan	40



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Bendung	7
Gambar 2.2.	Intake	7
Gambar 2.3.	Saluran Pembawa	8
Gambar 2.4.	Bak Penenang	8
Gambar 2.5.	Pipa Pesat	9
Gambar 2.6.	Rumah Pembangkit	9
Gambar 2.7.	Transmisi Mekanik	11
Gambar 2.8.	Generator Sinkron	11
Gambar 2.9.	Turbin Kaplan	13
Gambar 2.10.	Turbin <i>Cross Flow</i>	14
Gambar 2.11.	Turbin <i>Cross Flow</i> C4-20	15
Gambar 2.12.	Segitiga Kecepatan	18
Gambar 2.13.	Generator Sinkron	20
Gambar 2.14.	Karakteristik Generator Berbeban	21
Gambar 3.1.	Turbin <i>Cross Flow</i>	26
Gambar 3.2.	Generator Sinkron	26
Gambar 3.3.	<i>Tachometer</i>	27
Gambar 3.4.	Panel Kontrol	27
Gambar 3.5.	<i>Current meter</i>	28
Gambar 3.6.	Meteran	28
Gambar 3.7.	Instalasi PLTMH Andungbiru	28

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1	Tabel pengambilan daya generator pada kondisi putaran generator 1500 rpm dan tegangan listrik 220V.
Lampiran 2	Tabel pengambilan kecepatan aliran air pada kondisi putaran generator 1500 rpm dan tegangan listrik 220V.
Lampiran 3	Tabel hasil perhitungan.
Lampiran 4	Tabel sifat-sifat mekanik air pada tekanan atmosfer.
Lampiran 5	Tabel harga-harga k
Lampiran 6	Tabel Viskositas Kinematik Air

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

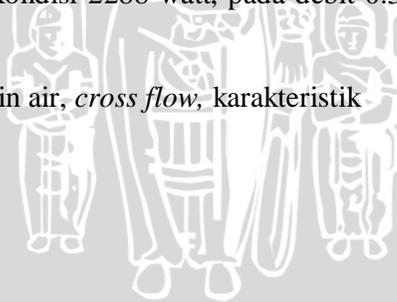
M. Helmi Wicaksono, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, Studi Karakteristik Turbin Cross Flow Type C4-20 pada Instalasi PLMH Andungbiru. Dosen Pembimbing : Djoko Sutikno dan Sugiarto.

Pada pengoperasian PLTMH sebagai pembangkit listrik tidaklah luput dari permasalahan, salah satunya adalah ketika pembebanan generator berubah-ubah maka akan mempengaruhi karakteristik turbin. Sehingga perlu kiranya diketahui karakteristik turbin apabila pembebanan dari generator tersebut berubah-ubah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui hubungan pembebanan generator terhadap karakteristik turbin yang meliputi daya air, daya poros dan efisiensi. Generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator sinkron dengan kapasitas terpasang: 22,6 kVA; 3 fasa; Tegangan: 220/380 volt; frekuensi 50 Hz; arus nominal: 34,2 ampere ; putaran: 1500 rpm; factor daya: 0,8.

Metode Penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yang secara langsung dikenakan pada obyek yang akan diteliti. Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu pukul 05.00 – 21.00. Data yang diambil pada penelitian ini adalah putaran turbin, putaran generator, tegangan listrik, arus listrik dan kecepatan aliran air keluar turbin dengan mengacu pada variabel-variabel yang telah ditetapkan diantaranya variabel bebas yaitu variasi beban generator yang diambil pada rentang waktu 05.00-21.00, variabel terikat yaitu daya poros, daya air, efisiensi turbin dan variabel terkontrol yaitu putaran generator 1500 rpm, tegangan listrik 220 V, head sistem 16 m dan suhu air 20°C.

Dari hasil penelitian didapatkan dengan semakin meningkatnya beban generator maka nilai daya poros, daya air dan efisiensi juga meningkat. Nilai optimum didapatkan ketika operasi pembebanan generator pada kondisi 17160 watt, pada debit 0.354 m³/s, dan pada head turbin 15.653 m serta nilai minimum didapatkan ketika operasi pembebanan generator pada kondisi 2288 watt, pada debit 0.359 m³/s , dan pada head turbin 15.680 m.

Kata kunci : *mikro hidro*, turbin air, *cross flow*, karakteristik



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemenuhan kebutuhan hidup sehari-hari terutama listrik masih menjadi permasalahan bagi beberapa daerah di kawasan pegunungan yang tidak terjangkau oleh listrik PLN. Contoh saja Dusun Sumbergapung, Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, masyarakat setempat yang bermukim di daerah perbukitan di lereng gunung Argopuro mengalami kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Kawasan ini sulit dijangkau oleh PLN guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat setempat.

Dengan berkembangnya teknologi, masyarakat Dusun Sumbergapung memanfaatkan potensi sumber daya air di daerahnya untuk membangun sebuah instalasi sebagai pemenuhan kebutuhan mereka akan listrik, instalasi tersebut dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang memanfaatkan potensi air untuk diubah menjadi energi listrik. Secara tidak langsung instalasi PLTMH tersebut sangat menunjang kegiatan-kegiatan masyarakat Dusun Sumbergapung di dalam aktivitas mereka. Pembangunan pembangkit listrik mikro hidro dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk penyedia energi listrik di daerah terpencil yang tidak dapat terjangkau oleh PLN.

Pada dasarnya sumber energi dilakukan untuk peningkatan taraf hidup yang berkesinambungan bagi masyarakat. Bagaimana mendapatkan sumber energi yang terbarukan tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menjadi tantangan tersendiri bagi masyarakat Indonesia.

Indonesia adalah negara yang kaya akan potensi sumber daya alam termasuk sumber daya energi listrik yang tersebar hampir di seluruh negeri. Namun disamping itu juga masih terdapat desa-desa yang tidak dapat terjangkau oleh aliran listrik, terutama daerah pedalaman atau daerah pegunungan. Salah satu usaha demi menunjang pemenuhan kebutuhan listrik melalui pembangunan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro atau PLTMH. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro merupakan suatu instalasi sistem pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan aliran fluida yaitu air dari ketinggian tertentu untuk membangkitkan energi listrik.

Mengingat tenaga listrik pada sistem ini tidak dapat disimpan maka perlu dijamin agar daya yang dihasilkan atau dibangkitkan oleh generator sama dengan kebutuhan (beban). Tetapi pada umumnya beban selalu berubah-ubah sehingga daya yang dihasilkan oleh generator harus disesuaikan dengan beban yang berubah-ubah tersebut. Beban pada suatu sistem tenaga terjadi ketika ada permintaan tenaga yang sifatnya berbeda karena karakteristik beban tergantung dari beberapa kondisi lainnya seperti jumlah pengguna, peralatan listrik yang dimiliki pengguna dan lain-lain.

Dengan adanya perubahan pembebanan generator listrik tersebut akan mempengaruhi unjuk kerja sistem PLTMH dan juga berpengaruh terhadap besar kecilnya efisiensi turbin yang akan dihasilkan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah tersebut, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

“ Bagaimanakah karakteristik turbin *cross flow* type C4-20 pada instalasi PLTMH Andungbiru ? “

1.3. Batasan Masalah

Agar tidak menyimpang dari tujuan penulisan semula, maka perlu kiranya penulis membuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Data yang diambil langsung dari data Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru.
2. Head sistem yang digunakan konstan 16 m.
3. Fluida kerja yang digunakan adalah air (fluida *Incompressible*).
4. Aliran dalam keadaan tunak (*steady state*).
5. Putaran dan tegangan generator yang digunakan pada kondisi 1500 rpm dan 220 V.
6. Bahan pipa pesat yang digunakan adalah PVC (*smooth pipe*) berdiameter 50 cm.
7. Pengukuran beban generator diambil pada rentang waktu pukul 05.00 – 21.00.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik turbin *cross flow* C4-20 pada instalasi PLTMH Andungbiru.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan makalah ini adalah :

1. Bagi mahasiswa menambah wacana pengetahuan mengenai proyek yang sedang dilirik oleh pemerintah sebagai proyek masa depan yaitu tentang mikro hidro.
2. Memberikan pengetahuan yang lebih mendalam mengenai instalasi PLTMH, tidak hanya terbatas pada lingkup yang sedang dipelajari saja namun mempelajari ilmu baru yang berhubungan dengan PLTMH.
3. Sebagai masukan bagi proyek PLTMH Andungbiru mengenai efisiensi maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin type C4-20 pada PLTMH Andungbiru.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Sri (2000) menganalisa tentang perubahan pembebanan generator listrik terhadap efisiensi turbin Kaplan pada sistem PLTA. Diperoleh kondisi optimum pembebanan pada 4800 kW, debit air 24,4 m³/s dan head 22,34 m kemudian kondisi minimum pembebanan pada 3000 kW, debit air 15,1 m³/s dan head 25,5 m. Sehingga efisiensi turbin sangat ditentukan oleh besar kecilnya head dan debit aliran air.

Olgun (2000) mengatakan, pada penggunaan awal turbin Banki komponen utamanya antara lain *nozzle*, *runner* dan *casing*. Dalam pengoperasiannya aliran air dari *nozzle* akan menuju sudu tingkat pertama. Setelah ditumbuk oleh aliran air, *runner* akan bergerak memutar. Air dari sudu tingkat satu akan bergerak menuju tingkat kedua. Air ini arah jatuhnya tidak beraturan. Hal ini dikhawatirkan akan mengganggu putaran *runner*. Air yang jatuh dari sudu tingkat pertama tidak semua energinya terkonversi. Sebagian energinya yang terdapat dalam air akan dimanfaatkan pada sudu tingkat dua.

Leigh (2007), secara tidak langsung meneliti tentang efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Dalam penelitian ini yang diamati adalah rendahnya listrik yang dihasilkan oleh sebuah PLTM. Kajian rendahnya produksi listrik ini adalah berdasarkan rumus $P = Q \cdot H \cdot \gamma \cdot \eta$, seharusnya dari head (H) dan kapasitas (Q) yang tertentu akan menghasilkan daya (P) tertentu, ternyata dari sekian PLTM yang dipasang rata-rata mempunyai efisiensi (η) yang rendah. Menurut pendapat peneliti ini, PLTM sangat prospektif, tetapi harus dilakukan penelitian lanjut agar PLTM ini menjadi tumpuan utama penghasil listrik untuk suatu daerah tertentu. Karena PLTM merupakan pembangkit yang bersih dan sifatnya *renewable*.

2.2. PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik berskala kecil (100 kW) yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH dipandang sebagai teknologi terbaru yang ramah lingkungan dan juga memiliki konstruksi sederhana, mudah dalam perawatan dan juga bila dilihat dari segi ekonomi dapat bersaing dengan pembangkit listrik lainnya.

2.2.1. Prinsip Kerja PLTMH

Prinsip kerja PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

Pembangunan PLTMH diawali dengan pembangunan bendung untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendung ini dapat berupa bendung beton atau bendungan beronjong dan dilengkapi dengan pintu air serta saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur. Bendung sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

Di dekat bendung dibangun bangunan pengambilan (*intake*). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari intake. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Bak penenang (*forebay*) juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat (*penstok*).

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di bak penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol, lalu dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan flens. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya.

Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran.

Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Di dalamnya terdapat *guide vane* untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner* atau *blade* (komponen utama turbin). Aliran air akan memutar runner dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator.

Seluruh sistem ini harus seimbang. Turbin perlu dilengkapi *chasing* yang berfungsi mengarahkan air ke runner. Pada bagian bawah casing terdapat pengunci

turbin. Bantalan (*bearing*) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar.

Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Generator yang dapat digunakan pada mikrohidro adalah generator sinkron dan generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan kopling), atau sistem transmisi daya tidak langsung, yaitu menggunakan sabuk atau belt untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin.

Masalah ketidaklurusan sumbu dapat diatasi dengan bantuan kopling fleksibel. Gearbox dapat digunakan untuk mengoreksi rasio kecepatan putaran. Sistem transmisi tidak langsung memungkinkan adanya variasi dalam penggunaan generator secara lebih luas karena kecepatan putar poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putar poros turbin. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt*, sedang *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley*, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang-tiang listrik menuju rumah konsumen.

2.2.2. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Beberapa komponen yang digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro baik komponen utama maupun bangunan pendukung lainnya, yaitu :

1. Bangunan Sipil

a. Bendung

Bendung adalah bangunan yang berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air di sungai sehingga air dapat mengalir ke arah *intake* untuk selanjutnya dialirkan ke arah saluran pembawa khususnya pada musim kemarau. Bendung dilengkapi pintu air penguras yang berfungsi mengendalikan jumlah air yang masuk ke dalam *intake* sekaligus sebagai pintu penguras untuk menggelontorkan endapan-endapan lumpur yang cepat atau lambat akan berkumpul di hulu bendung. Pada musim hujan bendungan dilengkapi pelimpas (*spill way*) untuk membuang kelebihan air yang

masuk pada saluran pembawa dan pintu bendungan harus dalam keadaan terbuka agar tekanan air yang menimpa badan bendungan dapat dikurangi



Gambar 2.1. Bendung
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

b. *Intake*

Merupakan bangunan disisi kiri atau kanan bendungan yang berfungsi untuk mengalirkan air ke saluran pembawa, sesuai dengan debit yang telah direncanakan. *Intake* dirancang agar selalu mampu mengalirkan air sesuai dengan debit perencanaan pada kondisi sungai yang bagaimanapun.



Gambar 2.2. *Intake*
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

c. Saluran Pembawa (*Head Race*)

Merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari *intake* ke bak penenang sehingga pada bak penenang selalu akan diperoleh air sesuai dengan debit yang telah direncanakan.



Gambar 2.3. Saluran Pembawa
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

d. Bak Penenang (*Fore Bay*)

Berfungsi untuk menampung air sekaligus mengendalikan kecepatan air yang masuk dari saluran pembawa sehingga tidak terjadi turbulensi pada saat air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*) untuk membangkitkan daya yang optimal.



Gambar 2.4. Bak Penenang
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

e. Pipa Pesat (*Penstock*)

Penstock berfungsi untuk menghantarkan air dari bak penenang ke turbin tanpa kehilangan massa maupun tekanan sehingga tenaga air dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menggerakkan turbin.



Gambar 2.5. Pipa Pesat
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

f. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Berfungsi untuk melindungi alat-alat pembangkit serta merupakan pusat kontrol dari sistem pembangkit.



Gambar 2.6. Rumah Pembangkit
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

2. Peralatan Mekanikal

a. Turbin Air

Turbin air yang digunakan dalam PLTMH adalah Turbin *Cross Flow* yang mana merupakan turbin impuls yang berporos horisontal bekerja dengan cara tekanan air dikonversikan menjadi energi kinetik di *inlet* adaptor. Aliran air yang menyebabkan berputarnya *runner* (roda jalan) setelah benturan pertama dengan sudu turbin, kemudian menyilang mendorong sudu tingkat kedua.

Untuk membuka dan menutup turbin dan mengatur kapasitas air yang masuk ke turbin digunakan *guide vane*. Poros berulir bertumpu pada UKF bearing untuk

memudahkan gerakannya. Sementara poros *guide vane* bertumpu pada plain bearing yang dilengkapi dengan 2 buah *hydraulic seal* pada sisi DE dan 1 buah *hydraulic seal* pada sisi NDE yang berfungsi mencegah kebocoran.

Runner terdiri dari 20 sudu jalan (*blade*), disc samping disc tengah yang berfungsi untuk mentransmisikan daya poros turbin ke generator. Kanan-kiri poros diletakkan *bearing* yang berfungsi untuk menyangga poros dan agar poros dapat berputar dengan lancar.

Hubungan antara turbin dan penstock dilalui melalui adaptor. Adaptor merupakan transmisi dari panampang lingkaran pada *penstock* ke penampang segi empat pada turbin. Pada adaptor terdapat *pressure gauge* indikator untuk mengetahui tekanan air atau *head*. Pada saat *guide vane* dalam posisi tertutup atau turbin tidak berputar, maka angka yang terbaca pada *pressure gauge* indikator menyatakan tekanan hidrostatik atau *head* statis.

b. Transmisi Mekanik

Transmisi mekanik terdiri dari pulley turbin, *flat belt*, *plummer block*, *flexible couplings* dan pulley generator. Pulley dikunci pada poros dengan keyway dimana pulley berfungsi untuk menaikan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putaran daerah kerjanya. *Belt* berfungsi untuk mentransmisikan daya poros turbin ke poros generator.



Gambar 2.7. Transmisi Mekanik
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

3. Peralatan Elektrikal

a. Generator Sinkron

Generator merupakan alat untuk mengubah daya poros turbin menjadi daya listrik. Secara sederhana prinsip kerja generator sinkron yaitu arus DC yang mengalir pada kumparan rotor akan menciptakan medan magnetik homogen, apabila rotor yang dihubungkan dengan as generator tersebut diputar dengan kecepatan konstan, maka pada kumparan statornya akan dibangkitkan tegangan AC.



Gambar 2.8. Generator Sinkron
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

b. Electronic Load Controller (ELC)

Sistem control ELC merupakan suatu kesatuan unit yang terdiri dari panel kontrol ELC dan ballast load. Pada prinsipnya pengontrolan dengan ELC bertujuan agar daya yang dibangkitkan oleh generator sinkron selalu sama besar dengan daya yang diserap sehingga dapat dibangkitkan tegangan dan frekuensi yang stabil dengan cara membuang kelebihan daya yang tidak digunakan oleh konsumen ke ballast load

c. Generating Power, Ballast Load dan Main Load

Prinsip kerja dari *load control* yaitu menyeimbangkan beban generator terhadap perubahan main load. Dengan demikian output generator akan tetap stabil meskipun terjadi perubahan pada main load, sehingga tegangan maupun frequency stabil.

d. Pentanahan

Pentanahan merupakan bagian yang paling penting bagi pembangkit. Pentanahan adalah titik referensi tegangan nol bagi pembangkit. Pentanahan juga berfungsi juga berfungsi untuk mencegah terjadinya kejutan listrik pada manusia jika terjadi kebocoran arus atau kegagalan fungsi alat.

e. Panel Switch Gear

Berfungsi untuk mendistribusikan arus listrik dari mikrohidro ke masing-masing jaringan. Panel ini berfungsi untuk menyalakan dan mematikan konsumen serta untuk menjaga dari arus hubung singkat tidak sampai pada generator.

f. Jaringan Distribusi

Jaringan kabel untuk menghantarkan arus listrik dari rumah pembangkit ke konsumen memiliki standart yaitu Aluminium *Twisted Insulated Cable* (TIC) dengan besar kabel yang tergantung dari besarnya daya yang hendak disalurkan.

g. Instalasi Konsumen

Standart kabel untuk menyalurkan listrik dari jaringan distribusi ke konsumen adalah TIC aluminium $2 \times 10 \text{ mm}^2 / 2 \times 6 \text{ mm}^2$. Harus digunakan pembatas daya sebelum masuk ke konsumen sesuai dengan permintaan dayanya.

2.3. Turbin Air

Turbin air adalah salah satu jenis mesin konversi energi yang berfungsi mengkonversikan atau mengubah bentuk energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi energi mekanik pada poros turbin. Turbin air merupakan salah satu dari bermacam-macam mesin konversi energi yang prinsip kerjanya menggunakan energi kinetik fluida. Turbin air lebih ramah lingkungan dan sumbernya sangat tersedia di alam karena bumi kita dua sepertiga bagiannya adalah perairan, maka pantaslah jika sumber energi yang tersedia juga melimpah.

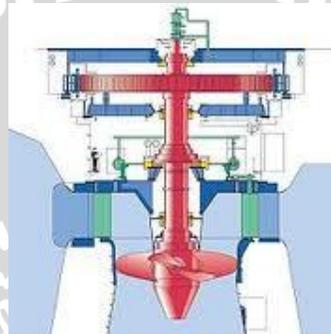
Saat bekerja, energi potensial air (*head*) yang dikonversikan menjadi energi kinetik, kemudian diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin diketahui perbedaan tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar dari turbin.

2.3.1. Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Penurunan Tekanan.

Pengklasifikasian turbin air menurut perubahan bentuk energi yang terjadi pada turbin air, maka dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu:

1. Turbin reaksi

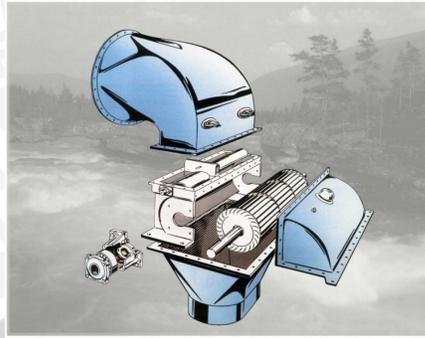
Turbin air dimana ekspansi dari fluida kerjanya terjadi pada sudu tetap dan sudu gerak. Pada sudu tetap, sebagian energi tekan akan dirubah menjadi energi kinetik. Pada runner juga terjadi perubahan tekanan. Sebagian energi tekanan dirubah menjadi energi kinetik karena terjadi pengecilan luas penampang di *runner*. Tekanan air pada saat memasuki *runner* lebih besar dari pada tekanan sewaktu keluar *runner*, kemudian *runner* akan memutar poros.



Gambar 2.9. Turbin Kaplan
Sumber : <http://en.wikipedia.org>

2. Turbin Impuls

Turbin air dimana perubahan tekanan adalah sama dengan nol, sehingga turbin impuls disebut juga turbin tekanan konstan, dimana tekanan masuk *runner* sama dengan tekanan keluar *runner*. Proses ekspansi fluida turbin impuls terjadi pada sudu tetapnya saja. Seluruh energi tinggi air dirubah menjadi energi kinetik dan kemudian menjadi energi mekanik untuk menggerakkan poros.



Gambar 2.10. Turbin *Cross Flow*
Sumber : <http://aseppadang.wordpress.com>

2.4. Turbin *Cross Flow*

Turbin *cross flow* merupakan turbin impuls yang berporos horisontal bekerja dengan cara tekanan air dikonversikan menjadi energi kinetik di *inlet* adaptor. Aliran air yang menyebabkan berputarnya runner setelah berbenturan pertama dengan sudu turbin, kemudian menyilang (*cross flow*) mendorong sudu tingkat kedua. Runner tidak pernah terendam dalam air secara keseluruhan, tenaga yang dimiliki air pada saat meninggalkan *inlet guide vane* dan mendorong runner adalah tenaga kinetis seluruhnya. Selama aliran melalui *runner*, kecepatan absolut air berkurang karena energi kinetik air diberikan pada runner menjadi energi mekanis.

Pada prinsipnya turbin *cross flow* terdiri dari sebuah nozzle dan runner. Runnernya berbentuk drum yang memiliki sejumlah sudu yang dipasang tetap di antara kedua piringan yang disangga oleh poros. Permukaan sudunya memiliki kelengkungan busur. Sedangkan *nozzlenya* memiliki penampang segi empat pada sisi masuknya dan memiliki atap dengan bentuk lengkungan busur lingkaran.

Pemakaian jenis turbin *Cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *Cross Flow* mencapai 82% (Haimerl, L.A, 1960).

Tingginya efisiensi Turbin *Cross Flow* ini akibat pemanfaatan energi pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air

mulai masuk dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberi keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*.



Gambar 2.11. Turbin *Cross Flow* C4-20
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

2.5. Teori dan Persamaan Pada Turbin

2.5.1. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik adalah kecepatan turbin yang bekerja pada satuan tinggi jatuh dengan debit satu satuan debit dan menghasilkan daya (*output*) satu satuan daya. Rumusnya adalah sebagai berikut :

(Arismunandar , 1982,65)

$$N_s = n \cdot \frac{\sqrt{BHP}}{H^{5/4}} \quad (2.1)$$

Dimana :

N_s = Kecepatan spesifik turbin (rpm)

n = Putaran turbin (rpm)

BHP = Daya poros (kW)

H = Tinggi jatuh yang tersedia (m)

2.5.2. Pengertian Aliran

Aliran di dalam fluida dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Aliran Turbulen

Aliran yang partikel-partikel fluidanya bergerak tak beraturan ke segala arah.

2. Aliran Laminer

Aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara teratur pada saluran lurus.

Menurut Steeter dibedakan menjadi tiga yaitu aliran yang $Re < 2000$ disebut aliran laminar, untuk $Re > 4000$ disebut aliran turbulen dan untuk $2000 < Re < 4000$ disebut aliran transisi. Bilangan Reynold merupakan besaran yang tidak berdimensi, dapat dirumuskan :

(Schaum, 1991, 99)

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.2)$$

Dimana :

- V = Kecepatan Fluida (m/s)
 D = Diameter Pipa (m)
 ν = Viskositas Kinematik (m^2/s)

2.5.3. Head Losses

Head losses disebut juga kehilangan tekanan yang terjadi karena adanya gesekan fluida dan permukaan dinding dalam pipa, belokan ataupun alat yang terpasang pada pipa pesat.

- a. Besar head losses karena gesekan dapat dirumuskan :

(Schaum, 1991, 102)

$$Hl_1 = f \frac{L}{Dp} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Dimana :

- f = Koefisien Gesekan Pipa
 L = Panjang Pipa (m)
 Dp = Diameter Pipa (m)
 V = Kecepatan Air (m/s)
 g = Gravitasi Bumi (m/s^2)

- b. Besar head losses karena adanya belokan, dapat dirumuskan :

(Schaum, 1991, 104)

$$Hl_2 = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.4)$$

Dimana :

- k = Koefisien Belokan

$V =$ Kecepatan air (m/s)

- c. Besar head losses karena adanya nozzle, dapat dirumuskan :
(Schaum,1991,104)

$$Hl_3 = \left(\frac{1}{c_v} - 1 \right) \times \frac{v^2}{2.g} \quad (2.5)$$

Dimana:

$c_v =$ Koefisien kecepatan

2.5.4. Persamaan Bernoullie

Pada suatu aliran, maka menurut Bernoullie besar energi aliran di pipa pada ketinggian h antara tinggi air diatas dan tinggi air dibawah dapat dinyatakan :
(Fritz Dietzel,1984,4)

$$W = m. g. h + m. \frac{P}{\rho} + m. \frac{v^2}{2} \quad (2.6)$$

Bila pada aliran diatas, diambil jumlah air per 1 kg untuk diperhitungkan energi spesifik, maka persamaan menjadi :

$$w = g. h + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (2.7)$$

Kemudian dibagi lagi dengan percepatan gravitasi, akan didapat salah satu dari hukum persamaan Bernoullie yang mempunyai air ketinggian (H).

$$H = h + \frac{P}{\rho.g} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

Dimana:

$m =$ Massa air (kg)

$g =$ Percepatan Gravitasi (m/s^2)

$V =$ Kecepatan aliran air (m/s)

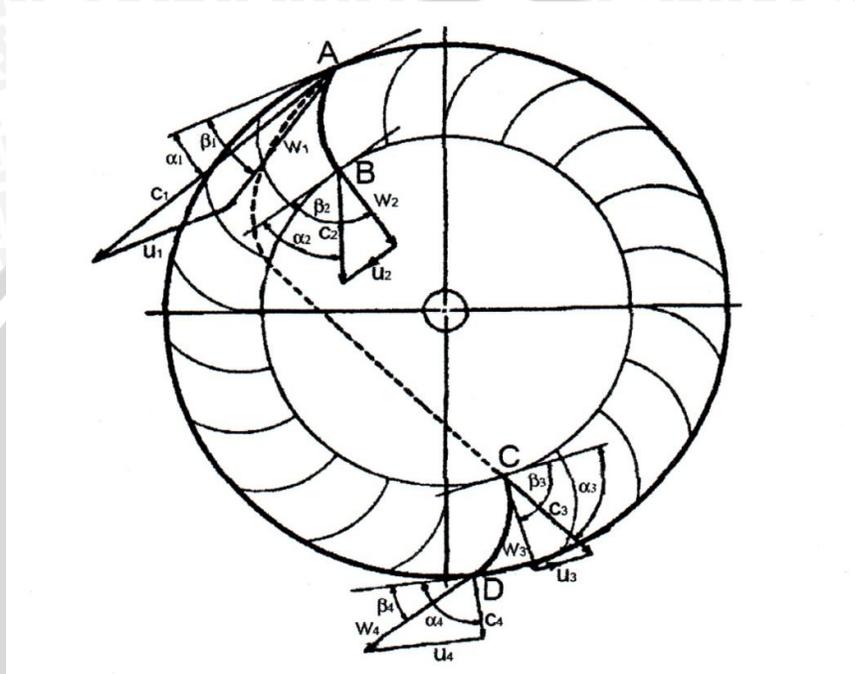
$P =$ Tekanan (kg/m^2)

$\rho =$ Massa Jenis Air (kg/m^3)

2.5.5. Segitiga Kecepatan

Pada turbin-turbin, air mengalir melalui penggerak dimana penggerak itu sendiri berputar dengan kecepatan tertentu. Air mengalir melalui penggerak dan meninggalkannya pada titik terluarnya. Kita bisa bicara tentang kecepatan mutlak dari

aliran sebelum alirannya ke penggerak, kecepatan relatif air (ketika air mengalir di atas penggerak) berkenaan dengan penggerak dan lagi kecepatan mutlak dari air setelah meninggalkan penggerak. Dalam usaha untuk mengetahui dengan pasti hubungan antara kecepatan-kecepatan tersebut, diagram-diagram vektor kecepatan harus dibuktikan yang sangat berguna dalam pemakaian.



Gambar 2.12. Segitiga Kecepatan
Sumber : Djoko Sutikno, 1997:6

Dimana :

C_1 dan C_2 : kecepatan mutlak air pada pemasukan dan keluaran dari penggerak (m/s)

u_1 dan u_2 : kecepatan penggerak pada titik 1 dan 2 (m/s)

W_1 dan W_2 : kecepatan relatif air pada titik 1 dan titik 2 berturut-turut (m/s)

β_1 dan β_2 : sudut-sudut yang dibuat oleh sudu

α_1 dan α_2 : sudut yang dibentuk oleh kedatangan dan pengeluran air dengan arah dari perputaran α_1 .

2.5.6. Persamaan Kontinuitas

Persamaan dasar berpangkat satu dari persamaan kontinuitas mempunyai bentuk.

(M.M Dandekar K.N Sharma, 1991, 427)

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.9)$$

$$A_1.V_1 = A_2.V_2$$

Dimana :

A = Luas potongan permukaan dari aliran (m^2)

v = Kecepatan rata-rata berturut-turut pada titik 1 dan 2 (m/s)

2.5.7. Daya Turbin Air

Turbin air memanfaatkan tinggi air jatuh akan menghasilkan daya yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan :

(Arismunandar,1982,19)

$$P = \gamma.Q.H.\eta_t \quad (\text{kW}) \quad (2.10)$$

Dimana :

γ = Berat Jenis Air (kg/m^2s^2)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Head (m)

η_t = Effisiensi turbin air (%)

2.6. Generator Sinkron

Generator yang dimanfaatkan sebagai pembangkit pada PLTMH Andungbiru adalah generator sinkron dengan kapasitas keluaran: 22,6 kVA; 3 fasa (4 kawat); Tegangan: 220/380 volt; frekuensi 50 Hz; arus nominal: 34,2 ampere ; putaran: 1500 rpm; factor daya: 0,8. Kapasitas generator sesuai name plate: 30 kVA, tapi yang dihasilkan generator adalah 22,6 kVA.



2.13. Generator Sinkron

Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

Generator sinkron merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron satu fasa dan generator sinkron tiga fasa. Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor.

Generator sinkron mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (*prime mover*) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

$$f = \frac{n_s \cdot p}{120} \quad (2.11)$$

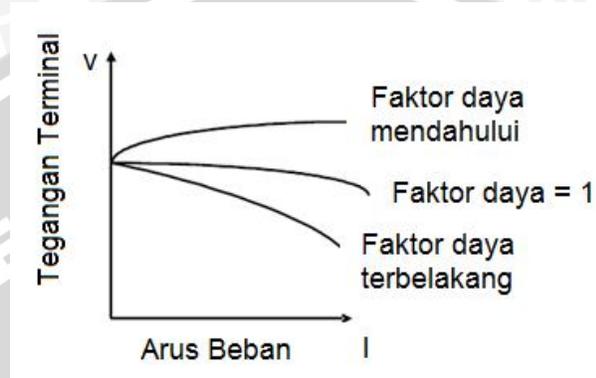
dimana : f = Frekuensi listrik (Hz)
 n_s = Kecepatan putar medan magnet atau kecepatan putar rotor (rpm)
 p = Jumlah kutub

Generator sinkron digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Misalnya, pada PLTA, PLTU, PLTD, dan lain-lain. Selain generator dengan kapasitas besar, terdapat juga generator dengan kapasitas yang relatif kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut *Generator-Set* atau generator cadangan.

2.6.1. Generator Sinkron kondisi bebaban

Tiga macam sifat beban jika dihubungkan dengan generator, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembeban ini akan berpengaruh terhadap

tegangan beban dan faktor dayanya. Gambar 2.14 menunjukkan jika beban generator bersifat resistif mengakibatkan penurunan tegangan relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (*lagging*). Sebaliknya, Jika beban generator bersifat kapasitif akan terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (*leading*).



Gambar 2.14. Karakteristik Generator Berbeban

Sumber:

<http://staff.ui.ac.id/internal/040603019/material/Page1SynchronousGenerators.pdf>

2.6.2. Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni karena frekuensi sumber DC adalah nol.

Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa indikator tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut open circuit. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC, maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

a. Beban Resistif.

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni contoh lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus sefasa.

b. Beban Induktif.

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi contoh motor-motor listrik, inductor dan transformator. Beban ini mempunyai factor daya antara 0 – 1 “ *Lagging* ”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ° .

c. Beban kapasitif.

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai factor daya antara 0 – 1 “ *leading* “. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ° .

2.6.3. Daya Listrik

Daya adalah energy yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam system tenaga listrik, daya merupakan jumlah energy yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan watt atau *Horsepower* (HP), Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 watt. Sedangkan watt merupakan unit daya listrik dimana 1 watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan melalui perkalian arus (I) ampere dengan tegangan (V) volt.

Daya dinyatakan dalam P, tegangan dinyatakan dalam V dan arus dalam I, sehingga besar daya dinyatakan :

$$P = V \times I \quad (2.12)$$

2.6.4. Daya yang Dibangkitkan Generator Listrik

Generator listrik pada instalasi PLTMH merupakan beban dari turbin air. Dimana daya yang dihasilkan generator dapat dinyatakan :

(Arismunandar, 1982, 19)

$$P_G = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_G \cdot \eta_T \quad (\text{kW}) \quad (2.13)$$

Dimana :

Q = Debit air (m^3/s)

H = Head (m)

η_G = efisiensi generator

η_T = efisiensi turbin

γ = Berat jenis air ($kg/m^2 \cdot s^2$)

Sehingga daya yang dihasilkan generator akan sebanding dengan daya yang dihasilkan oleh turbin :

$$P_t = \frac{P_G}{\eta_G} \text{ (kW)} \quad (2.14)$$

Pada perumusan diatas terlihat dengan peningkatan beban generator menghendaki peningkatan kerja turbin. Peningkatan kerja turbin dapat dilakukan dengan meningkatkan nilai H dan Q. Namun nilai H tidak dapat ditingkatkan karena dibatasi oleh desain instalasi. Sehingga salah satu cara yang digunakan adalah dengan meningkatkan nilai Q (debit air).

Dapat dijelaskan dengan rumus :

$$Q = A \cdot V \quad (m^3/s) \quad (2.15)$$

Untuk harga A yang tetap, maka nilai V (kecepatan aliran fluida) harus ditingkatkan. Peningkatan nilai V akan meningkatkan gesekan fluida dengan pipa-pipa saluran, sehingga kerugian energi total akibat gesekan fluida kerja semakin meningkat.

Output listrik dari generator memiliki frekuensi 50 Hz sesuai dengan standart frekuensi listrik di indonesia, terlepas dari pembebanan sehingga putaran turbin yang menggerakkan generator listrik untuk semua kondisi beban haruslah sebesar 500 rpm. Apabila beban meningkat tanpa ada peningkatan kerja turbin maka putaran generator akan menjadi turun. Hal ini tidak diperbolehkan karena akan mempengaruhi peralatan listrik yang lain.

Naik atau turunnya efisiensi akibat adanya perubahan pembebanan ini akan bergantung pada perubahan faktor tersebut. Nilai efisiensi ini akan mempengaruhi besarnya operasi yang harus dikeluarkan. Dengan efisiensi dan efektivitas yang lebih baik akan didapatkan kondisi kerja yang akan lebih baik pula.

2.7. Hipotesis

Perubahan pembebanan daya generator akan setara dengan perubahan debit air masuk turbin, sehingga pembebanan daya generator dan perubahan debit air berpengaruh terhadap efisiensi turbin.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.11. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian secara eksperimental nyata. Studi kasus yang akan diselidiki dari metode ini adalah karakteristik Turbin *Cross-Flow* type C4-20 pada instalasi PLTMH Andungbiru. Disamping itu literatur berupa buku dan jurnal ilmiah yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti juga diperlukan sebagai bahan pendukung.

3.12. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel, bebas diubah-ubah atau konstan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Dalam penelitian ini, ada satu variabel bebas yang digunakan, yaitu Variasi beban generator yang diambil pada rentang waktu pukul 05.00 – 21.00

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini :

- Daya poros (watt)
- Daya air (watt)
- Efisiensi (%)

3. Variabel terkontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel terkontrol yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah :

- Putaran generator sebesar 1500 rpm
- Tegangan Listrik yang dihasilkan generator sebesar 220 V
- Head sistem 16 m

- Suhu air 20 ° C

3.3. Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Turbin *Cross Flow*

Turbin yang digunakan adalah turbin *cross flow* type C4-20.



Gambar 3.1. Turbin *Cross Flow*
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

2. Generator Sinkron.

Generator yang digunakan adalah generator sinkron type STC – 30



Gambar 3.2. Generator Sinkron
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

3. Tachometer

Alat yang digunakan untuk mengukur putaran poros turbin. Satuan yang digunakan adalah rpm.



Gambar 3.3. Tachometer

Sumber : Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknis Mesin FT-UB

4. Panel Kontrol

Alat yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tegangan atau arus yang dihasilkan generator.



Gambar 3.4. Panel Kontrol

Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

5. Current meter

Digunakan untuk mengetahui kecepatan air pada beberapa titik di sungai.



Gambar 3.5. *Current meter*

Sumber : Laboratorium Hidrolika, Teknik Pengairan FT-UB

6. Meteran

Digunakan untuk mengukur lebar dan panjang bak penenang dan juga saluran keluar turbin.



Gambar 3.6. Meteran

Sumber : Laboratorium Mesin Pendingin, Teknik Mesin FT-UB

3.4. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian tentang karakteristik turbin *cross flow* type C4-20 dimulai pada bulan April 2012 hingga selesai di Dusun Sumbergapung, Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo.

3.5. Gambar Instalasi Penelitian

Terlampir

3.6. Data yang Dibutuhkan

1. Spesifikasi generator yang digunakan.
2. Spesifikasi turbin yang digunakan.
3. Daya yang dihasilkan generator (P_G) akibat terjadi pembebanan.
4. Debit aliran air yang digunakan.
5. Diameter pipa pesat.
6. Head yang digunakan.

3.7. Metode Pengambilan Data

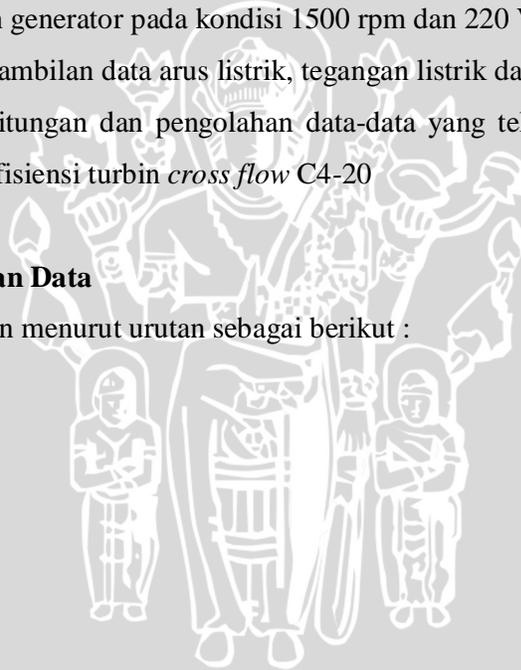
1. Mempersiapkan dan melakukan pengecekan kondisi alat ukur yang akan digunakan.
2. Untuk mendapatkan data yang diinginkan maka pastikan putaran dan tegangan yang dihasilkan generator pada kondisi 1500 rpm dan 220 V.
3. Dilakukan pengambilan data arus listrik, tegangan listrik dan kecepatan air.
4. Dilakukan perhitungan dan pengolahan data-data yang telah diperoleh untuk mendapatkan efisiensi turbin *cross flow* C4-20

3.8. Metode Pengolahan Data

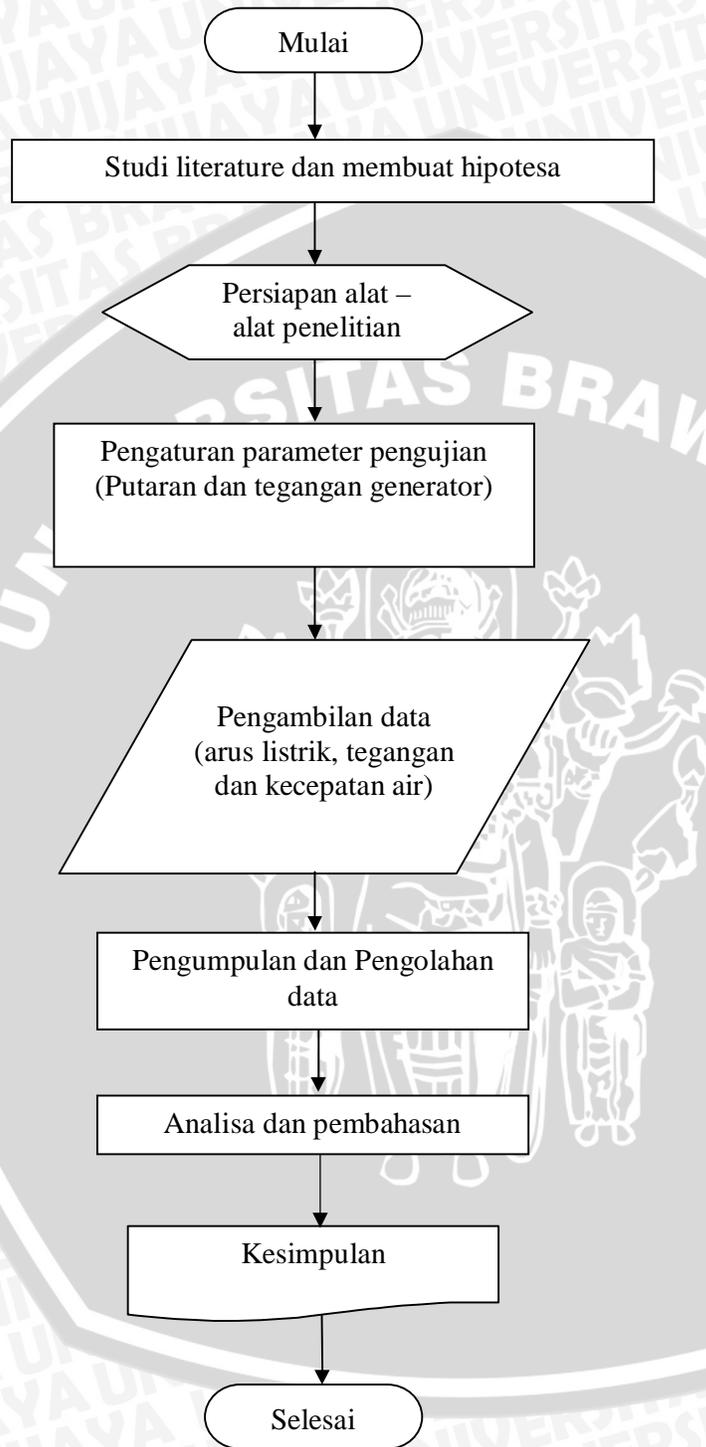
Analisa perhitungan menurut urutan sebagai berikut :

A. Data proses :

- Generator
- Debit air
- Head losses
- Turbin



3.9. Diagram Alir



BAB IV

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.3. Analisa Data

Data yang diperoleh dari lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru (PLTMH) Dusun Sumbergapung, Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo yang terdiri dari spesifikasi :

A. Data Generator :

- Type : Kavea, STC - 30
- Output : 30 kW
- Voltage : 380 V
- Arus : 57 A
- Frekuensi : 50 Hz
- Putaran : 1500 Rpm/min
- Nomer : 909282
- Excit.Volt : 120 V
- Excit.Curr : 10 A
- Standart : JBT/T8981 – 1999
- Date : 2009.09
- Diameter pulley generator : 20 cm

B. Data Turbin Air :

- Type : Cross Flow, C4 - 20
- Diameter runner : 40 cm
- Panjang runner : 75 cm
- Luasan nozzle : 75 cm x 33 cm
- Diameter pulley turbin : 60 cm

C. Data Adaptor :

- Panjang : 90 cm
- Luasan sisi masuk nozzle : 75 cm x 33 cm
- Luasan sisi masuk pipa (Diameter) : 50 cm

D. Data Pipa Pesat :

- Panjang : 175 m
- Diameter : 50 cm
- Material : PVC (smooth pipe)

E. Data Luasan Keluar Air dari Turbin :

- Lebar luasan bagian kiri : 26,25 cm
- Lebar luasan bagian as : 52,5 cm
- Lebar luasan bagian kanan : 78,75 cm
- Tinggi luasan bagian kiri atas : 48 cm
- Tinggi luasan bagian kiri tengah : 32 cm
- Tinggi luasan bagian kiri bawah : 16 cm
- Tinggi luasan bagian as atas : 51 cm
- Tinggi luasan bagian as tengah : 35 cm
- Tinggi luasan bagian as bawah : 17 cm
- Tinggi luasan bagian kanan atas : 32 cm
- Tinggi luasan bagian kanan tengah : 28 cm
- Tinggi luasan bagian kanan bawah : 17 cm

F. Head Sistem :

- Tinggi head sistem : 16 m

4.3.1. Data Hasil Pengujian

Terlampir

4.3.2. Contoh Perhitungan Data

Sebagai contoh perhitungan yang diambil dari data ketika kondisi PLTMH

Andungbiru beroperasi :

A. Daya generator (P)

- Jalur R :
$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$= 220 V \times 5 A \times 0.8 = 880 VA$$
- Jalur S :
$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$= 220 V \times 4 A \times 0.8 = 704 VA$$
- Jalur T :
$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$= 220 V \times 4 A \times 0.8 = 704 VA$$

$$\begin{aligned} - P_{total} &= P_R + P_S + P_T \\ &= 1100 VA + 880 VA + 880 VA = 2288 VA \end{aligned}$$

B. Kecepatan Aliran Air (v)

$$\begin{aligned} - \text{Kiri} &: v = (0.832 \text{ m/s} + 0.465 \text{ m/s} + 0.399 \text{ m/s}) / 3 = 0.565 \text{ m/s} \\ - \text{As} &: v = (0.981 \text{ m/s} + 0.509 \text{ m/s} + 0.244 \text{ m/s}) / 3 = 0.578 \text{ m/s} \\ - \text{Kanan} &: v = (1.196 \text{ m/s} + 0.917 \text{ m/s} + 0.746 \text{ m/s}) / 3 = 0.953 \text{ m/s} \\ - V_{total} &= V \text{ kiri} + V \text{ as} + V \text{ kanan} \\ &= 0.565 \text{ m/s} + 0.578 \text{ m/s} + 0.953 \text{ m/s} \\ &= 2.096 \text{ m/s} \end{aligned}$$

C. Luasan Keluar Aliran Air dari Turbin

$$\begin{aligned} - \text{Kiri} &: L = p \times l \\ &= 35 \text{ cm} \times 50.5 \text{ cm} = 1767.5 \text{ cm}^2 = 0.177 \text{ m}^2 \\ - \text{As} &: L = p \times l \\ &= 35 \text{ cm} \times 54 \text{ cm} = 1890 \text{ cm}^2 = 0.189 \text{ m}^2 \\ - \text{Kanan} &: L = p \times l \\ &= 35 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} = 1575 \text{ cm}^2 = 0.158 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

D. Debit Air (Q)

$$\begin{aligned} - \text{Kiri} &: Q = A \times V \\ &= 0.17675 \text{ m}^2 \times 0.565333333 \text{ m/s} = 0.999 \text{ m}^3/\text{s} \\ - \text{As} &: Q = A \times V \\ &= 0.189 \text{ m}^2 \times 0.578 \text{ m/s} = 0.109 \text{ m}^3/\text{s} \\ - \text{Kanan} &: Q = A \times V \\ &= 0.1575 \text{ m}^2 \times 0.953 \text{ m/s} = 0.150 \text{ m}^3/\text{s} \\ - Q_{total} &= Q \text{ kiri} + Q \text{ as} + Q \text{ kanan} \\ &= 0.999 \text{ m}^3/\text{s} + 0.109 \text{ m}^3/\text{s} + 0.150 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.359 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

E. Bilangan Reynold

Pada suhu 20° C kekentalan kinematis dapat diketahui melalui tabel pada lampiran 4, sehingga ν diketahui sebesar $9.96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\begin{aligned} - \text{ Kiri} : Re &= V \times D / \nu \\ &= (0.565 \text{ m/s} \times 0.5 \text{ m}) / 9.96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}. \\ &= 28380.187 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ As} : Re &= V \times D / \nu \\ &= (0.578 \text{ m/s} \times 0.5 \text{ m}) / 9.96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}. \\ &= 29016.064 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Kanan} : Re &= V \times D / \nu \\ &= (0.593 \text{ m/s} \times 0.5 \text{ m}) / 9.96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}. \\ &= 47841.365 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Re total} &= Re \text{ kiri} + Re \text{ as} + Re \text{ kanan} \\ &= 28380.187 + 28380.187 + 47841.365 \\ &= 105327.617 \end{aligned}$$

F. Koefisien Kecepatan Aliran Air (Cv)

a. V teoritis

$$- \text{ Kiri} : v = (0.832 \text{ m/s} + 0.465 \text{ m/s} + 0.399 \text{ m/s}) / 3 = 0.565333333 \text{ m/s}$$

$$- \text{ As} : v = (0.981 \text{ m/s} + 0.509 \text{ m/s} + 0.244 \text{ m/s}) / 3 = 0.578 \text{ m/s}$$

$$- \text{ Kanan} : v = (1.196 \text{ m/s} + 0.917 \text{ m/s} + 0.746 \text{ m/s}) / 3 = 0.953 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Vtotal} &= V \text{ kiri} + V \text{ as} + V \text{ kanan} \\ &= 0.565 \text{ m/s} + 0.578 \text{ m/s} + 0.953 \text{ m/s} \\ &= 2.096 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. V riil

$$- \text{ Kiri} : v = (0.574 \text{ m/s} + 0.0506 \text{ m/s} + 0.525 \text{ m/s}) / 3 = 0.535 \text{ m/s}$$

$$- \text{ As} : v = (0.880 \text{ m/s} + 0.762 \text{ m/s} + 0.193 \text{ m/s}) / 3 = 0.612 \text{ m/s}$$

$$- \text{ Kanan} : v = (1.285 \text{ m/s} + 0.922 \text{ m/s} + 0.516 \text{ m/s}) / 3 = 0.908 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Vtotal} &= V \text{ kiri} + V \text{ as} + V \text{ kanan} \\ &= 0.535 \text{ m/s} + 0.612 \text{ m/s} + 0.908 \text{ m/s} \\ &= 2.054 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Koefisien Kecepatan } (C_v) &= V/V_t \\
 &= 2.054 \text{ m/s} / 2.096 \text{ m/s} \\
 &= 0.979
 \end{aligned}$$

G. Head Losses karena gesekan air dengan dinding pipa, nilai $f = 0.0015$ dapat diketahui melalui tabel pada lampiran 4 dengan kondisi suhu air 20° .

$$\begin{aligned}
 Hl_1 &= f \times \frac{L}{D_p} \times \frac{v^2}{2.g} \\
 &= 0.0015 \times \left(\frac{265 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} \right) \times \left(\frac{4.395 \text{ m/s}}{18.36} \right)^2 \\
 &= 0.190 \text{ m}
 \end{aligned}$$

H. Head Losses karena adanya belokan dengan nilai k dapat diketahui melalui tabel pada lampiran 5.

$$\begin{aligned}
 Hl_2 &= k \times \frac{v^2}{2.g} \\
 &= 0.5 \times \left(\frac{4.395 \text{ m/s}}{18.36} \right)^2 \\
 &= 0.119679015 \text{ m}
 \end{aligned}$$

I. Head Losses karena nozzle, dapat dilihat melalui tabel pada lampiran 5.

$$\begin{aligned}
 Hl_3 &= \left(\frac{1}{C_v} - 1 \right) \times \frac{v^2}{2.g} \\
 &= 0.041 \times \left(\frac{4.395 \text{ m/s}}{18.36} \right)^2 \\
 &= 0.0098 \text{ m}
 \end{aligned}$$

J. Head Turbin.

$$\begin{aligned}
 \text{Head turbin} &= \text{Head sistem} - (Hl_1 + Hl_2 + Hl_3) \\
 &= 16 \text{ m} - (0.190 \text{ m} + 0.119 \text{ m} + 0.009 \text{ m}) \\
 &= 15.68 \text{ m}
 \end{aligned}$$

K. Water Horse Power (WHP)

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= \gamma \times Q \times H \\
 &= \eta \times g \times Q \times H \\
 &= 998.2 \times 9.81 \times 0.359 \text{ m}^3/\text{s} \times 15.680 \text{ m} \\
 &= 56288.288 \text{ Watt} \\
 &= 56.288288 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

L. Brake Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= \frac{P_G}{(\eta_G \times \eta_{transmisi})} \\
 &= 2288 \text{ VA} / (0.9 \times 0.86) = 2956.072 \text{ Watt} = 2.956072 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

M. Efisiensi Turbin

$$\begin{aligned}
 \eta_{turbin} &= \left(\frac{\text{BHP}}{\text{WHP}} \right) \times 100\% \\
 &= (2.956 \text{ kWatt} / 56.288 \text{ kWatt}) \times 100 \% \\
 &= 5.359 \%
 \end{aligned}$$

4.3.3. Data Hasil Perhitungan

Tabel 4.3. Data hasil perhitungan

No	Pg	BHP	WHP	Efisiensi Turbin
1	2288	2956.072	55157.503	5.359
2	2376	3069.767	48299.563	6.355
3	2464	3183.462	46561.832	6.837
4	2552	3297.157	43949.799	7.502
5	2640	3410.852	49456.075	6.896
6	2904	3751.937	47328.140	7.927
7	3168	4093.023	50925.256	8.037
8	3344	4320.413	49182.083	8.784
9	3520	4547.803	46680.858	9.742

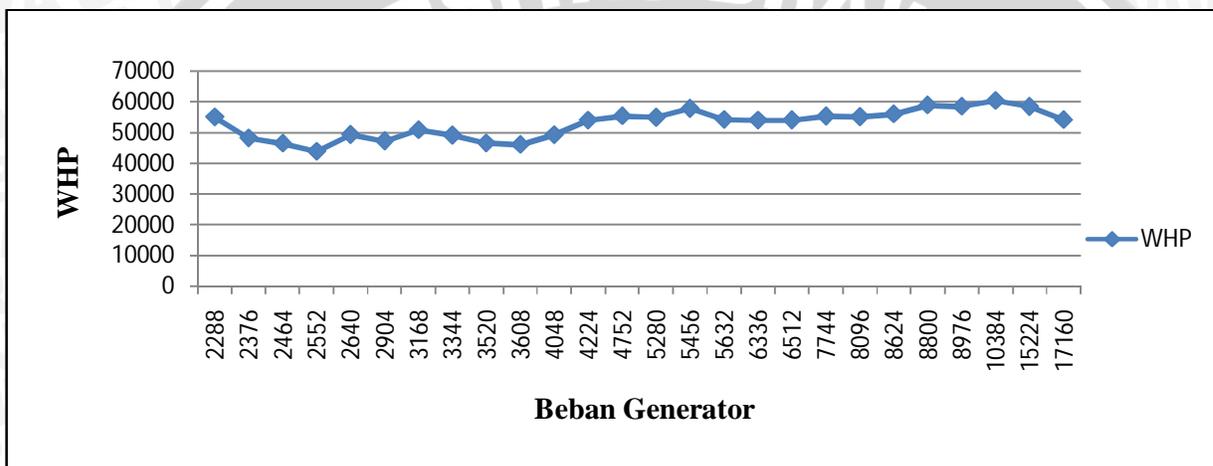
10	3608	4661.498	46184.425	10.093
11	4048	5229.974	49383.825	10.590
12	4224	5457.364	54113.223	10.085
13	4752	6139.534	55532.333	11.055
14	5280	6821.705	55008.464	12.401
15	5456	7049.095	57917.690	12.170
16	5632	7276.485	54372.121	13.382
17	6336	8186.046	54123.579	15.124
18	6512	8413.436	54201.232	15.522
19	7744	10005.167	55466.506	18.038
20	8096	10459.948	55247.471	18.932
21	8624	11142.118	56147.778	19.844
22	8800	11369.509	59028.111	19.261
23	8976	11596.899	58669.365	19.766
24	10384	13416.020	60548.074	22.157
25	15224	19669.250	58594.647	33.568
26	17160	22170.542	54279.184	40.845

4.4. Pembahasan Grafik

4.4.1. Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Daya Air (WHP)

Dari gambar 4.1 grafik hubungan antara beban generator terhadap daya air (WHP) dapat dinyatakan bahwa semakin meningkat beban generator, daya air yang dihasilkan memiliki kecenderungan naik.

Hal ini disebabkan karena untuk mendapatkan karakteristik listrik yang ideal, dibutuhkan putaran generator dan turbin yang konstan. Untuk itu pada kondisi dilapangan dibutuhkan penyesuaian kecepatan putaran dari generator. Dalam pengkondisian putaran tersebut, diperlukan penambahan atau pengurangan debit air yang disesuaikan terhadap beban yang diberikan pada generator, dikarenakan semakin tinggi beban generator, kebutuhan debit air untuk memenuhi peningkatan beban tersebut semakin tinggi dan juga semakin tinggi atau semakin rendahnya beban generator akan mempengaruhi putaran generator dan juga putaran turbin. Jadi semakin meningkatnya nilai beban generator, dengan head instalasi yang tetap maka dibutuhkan debit air masuk turbin yang semakin tinggi pula.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Daya Air (WHP)

4.4.2. Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Daya Poros (BHP)

Dari gambar 4.2 grafik hubungan antara beban generator terhadap daya poros (BHP) dapat dinyatakan bahwa dengan meningkatnya beban generator, maka daya poros turbin juga semakin meningkat.

Peningkatan beban generator akan setara dengan peningkatan debit air yang masuk turbin. Sesuai dengan formula berikut :

$$P_t = \frac{P_G}{\eta_G \times \eta_{transmisi}} \text{ (kW) } \text{ atau } P_G = \eta_G \times BHP_{Turbin} \times \eta_{transmisi}$$

$$= \eta_G \times \eta_t \times H \times Q \times \gamma \times \eta_{transmisi}$$

Pada perumusan diatas terlihat dengan peningkatan beban generator, menghendaki juga peningkatan kerja turbin. Peningkatan kerja turbin dapat dilakukan

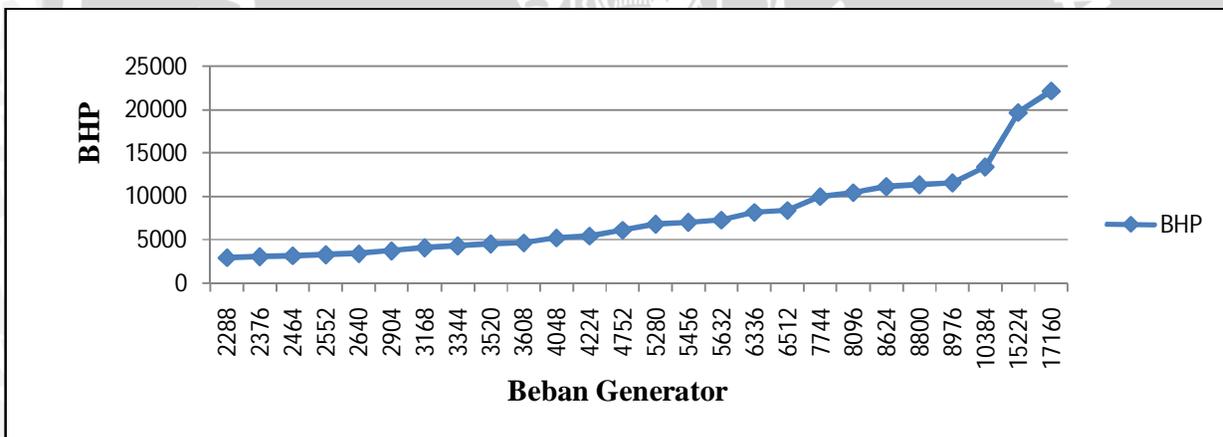
dengan meningkatkan debit air (Q) dan head (H). Namun head (H) tidak dapat dinaikan karena dibatasi desain instalasi, sehingga hanya dapat meningkatkan nilai debit air (Q).

Dapat dijelaskan pula melalui perubahan kapasitas aliran (debit) diformulasikan sebagai berikut :

$$Q = A.V$$

Untuk mengubah jumlah debit air (Q) yang masuk turbin dapat dilakukan dengan cara menambah atau mengurangi luas penampang aliran, untuk kecepatan (V) relative tetap. Peningkatan debit air (Q) akan meningkatkan gesekan fluida dengan pipa, maka akan berpengaruh terhadap nilai H turbin itu sendiri.

Peningkatan debit air (Q) dipengaruhi oleh peningkatan luas penampang aliran (A) dikarenakan peningkatan debit air (Q) setara dengan peningkatan beban generator, hal ini yang mengakibatkan grafik BHP turbin semakin meningkat dengan peningkatan beban generator.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Daya Poros (BHP)

4.4.3. Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Efisiensi Turbin

Dari gambar 4.3 grafik hubungan antara beban generator terhadap efisiensi turbin dapat dinyatakan bahwa semakin meningkatnya beban generator, maka efisiensi turbin akan semakin meningkat.

Rumus efisiensi turbin merupakan perbandingan antara BHP dengan WHP.

Dengan rumus BHP :

$$BHP = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T$$

Namun karena daya yang dihasilkan generator akan sebanding dengan daya yang dihasilkan turbin, maka BHP juga dapat dirumuskan :

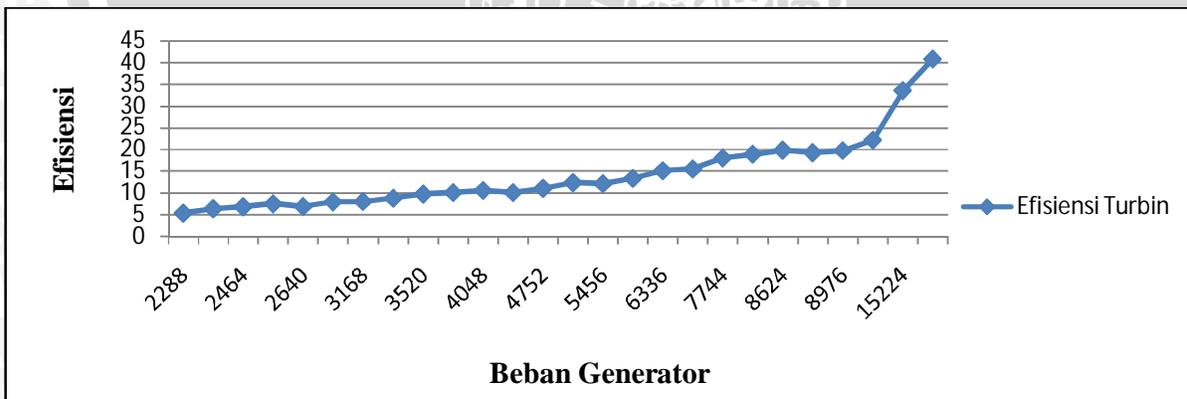
$$BHP = \frac{P_G}{\eta_G \times \eta_{transmisi}}$$

Daya turbin sangat dipengaruhi oleh daya yang dikeluarkan oleh generator. Daya yang dihasilkan oleh generator dapat diketahui melalui perkalian arus listrik dengan tegangan listrik. Sehingga daya generator dipengaruhi oleh perkalian tersebut.

Untuk nilai WHP diperoleh dari rumus :

$$WHP = \gamma \cdot Q \cdot H$$

Nilai WHP dipengaruhi oleh debit air (Q) dan head (H). peningkatan nilai Q akan diikuti juga oleh penurunan head turbin sehingga WHP menurun. Namun demikian perkalian antar keduanya menghasilkan nilai efisiensi yang relative semakin naik dengan naiknya beban generator. Besar kecilnya efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh BHP dan WHP.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Beban Generator terhadap Efisiensi Turbin

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.3. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan pembebanan generator mempengaruhi WHP, BHP dan efisiensi turbin air

- Operasi pembebanan generator pada kondisi 17160 watt, debit 0.354160333 m³/s dan head turbin 15.65273872 m didapatkan operasi pembebanan dan efisiensi turbin yang maksimum.
- Operasi pembebanan generator pada kondisi 2288 watt, debit 0.359262167 m³/s dan head turbin 15.68014415 m didapatkan operasi pembebanan dan efisiensi turbin yang minimum.
- Kinerja operasi turbin optimum didapatkan ketika waktu menunjukkan pukul 20.00 dengan kondisi pembebanan yang diberikan generator pada tegangan 220 V ; arus fasa R 35 A ; arus fasa S 31,5 A ; arus fasa T 31 A.
- Semakin meningkatnya nilai beban generator, dengan head instalasi yang tetap maka dibutuhkan debit air masuk turbin yang semakin tinggi pula. Sehingga hal tersebut yang mengakibatkan daya air (WHP) turbin semakin meningkat.
- Debit air (Q) dipengaruhi oleh luas penampang aliran (A) dikarenakan debit air (Q) setara dengan beban generator sehingga hal ini yang mengakibatkan daya poros (BHP) turbin semakin meningkat dengan peningkatan beban generator.
- Nilai BHP turbin sangat dipengaruhi oleh daya yang dikeluarkan oleh generator dan juga nilai WHP dipengaruhi oleh debit aliran air dan head, sehingga perbandingan antara BHP dan WHP berpengaruh terhadap efisiensi turbin.

5.4. Saran

1. Pada skripsi ini daya generator diperoleh melalui data dari control panel di *power house*. Disarankan untuk penelitian selanjutnya perlu diketahui daya yang masuk ke masing-masing rumah warga, agar diketahui losses-losses yang terjadi ketika proses pengiriman daya pada jalur masing-masing fasa. Sehingga akan dihasilkan kinerja generator dan karakteristik turbin yang lebih optimal dengan kualitas listrik yang diterima konsumen memenuhi karakteristik yang ditetapkan.