

**PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Mesin
Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan
Di Jurusan Teknik Mesin FT UNP*



Oleh:

**AHMAD NURHUDA
1203083/ 2012**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

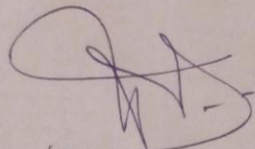
PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO

Nama : Ahmad Nurhuda
Nim : 1203083
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2016

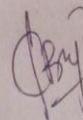
Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Drs. Hasanuddin, M.Si.
NIP: 19550520 198003 1 005

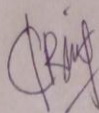
Pembimbing II



Arwizet K. S.T., M.T.
NIP: 19690920 199802 1 001

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Arwizet K. S.T., M.T.
NIP: 19690920 199802 1 001

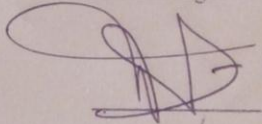
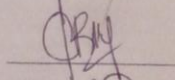
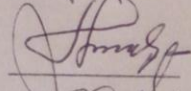
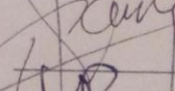
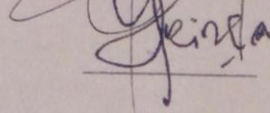
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang

Judul : Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik
Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio
Nama : Ahmad Nurhuda
Nim : 1203083
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Hasanuddin, M.Si.	
2. Sekretaris	: Arwizet K, S.T., M.T.	
3. Anggota	: Drs. Syafri Jamain, M.Pd.	
4. Anggota	: Drs. Darmawi, M.Pd.	
5. Anggota	: Drs. Yufrizal A, M.Pd.	

Bismillahirrahmanirrahim

"....niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat...."(QS. Al-Mujadilah: 11)

*Diawal tulisan ini
Izinkan aku mengucapkan syukur Alhamdulillah
Kehadirat Allah Tuhan seru sekalian alam
Berkat Rahmat dan Karunia Nya
Atas segala sesuatu yang ada di hidupku ini
"Seiring sujud syukurku padamu ya Allah"*

Ku persembahkan karya kecil ini sebagai bakti dan cinta ku untuk orang-orang yang kusayangi dan kucintai yang selalu menyertai perjalanan hidupku, memberi cinta, kasih sayang dan pengorbanan yang tak terbatas...

Orang tua tersayang Ayahanda H.Masri (Alm) dan Ibunda Azimar yang telah mengasuh dan mendidik dengan kasih sayang dan penuh kesabaran dari kecil hingga ananda mencapai perguruan tinggi. Ayahanda dan Ibunda yang selalu memotivasi dan mendoa'kan keberhasilanku, yang selalu membantuku disaat kesulitan datang, menyemangatiku disaat putus asa melanda. Cinta, kasih sayang dan pengertian yang beliau berikan membuat hidup ini menjadi lebih berarti dan penuh harapan. Semoga kebersamaan ini selalu dalam ridha Allah.

Terimakasih juga buat seluruh keluarga besarku: saudaraku tersayang Hasnah, Maria, Fitri, Elvi (rajin-rajin belajar dan jadilah anak yang saleh), Ilham, Karina dan terutama sekali buat adik ku yang kecil Fattan M.I.P.

Terimakasih ya Allah, hanya Engkau yang mampu membalas semua perjuangan mereka. Yang ku kasih, izinkan aku mempersembahkan yang terbaik buat mereka....

Terimakasih kepada :

Bapak Drs. Hasanuddin, M.Pd. dan bapak Arwizet K, S.T., M.T. terima kasih atas bimbingannya selama ini, telah bantu Ahmad munculkan karya-karya yang luar biasa ilmu dan manfaatnya dan Bapak Drs. Darmawi M.Pd. sebagai penasehat akademik serta seluruh Bapak/Ibu Dosen, Teknisi dan tata usaha Jurusan Teknik Mesin, semoga Allah memberikan kebaikan dan kemudahan kepada kita semua di dunia dan akhirat. Amin.....

Buat my Big Family, "Islamic Center Al-Quds" Bp "12 Ahmad Syarif, Eko, Jakaria, Doni, Afdal, Fahmi, Arno, Raden, dan abang-adek-adek santri semuanya. Seandainya kok ado garah nan tasingguang di hati, jarang piket, nasi nan tapakai, kok aie nan taminum tolong di maafkan yo,,,,,

Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin, bp "12, tetap semangat buat kita semua akhirnya duluan juga aku wisudanya no "1" he,,,,,, terima kasih atas bantuannya selama ini.... yang selalu memberikan warna dalam indahnya kebersamaan

Terspesial untuk KSR PMI Unit UNP bg Kapten, kak Shelvía, uni Imah, Erika, Anggi, Frestika, Ria bilo awak makan-makan basamo lai,,,,,,? Lah taragak a,,, juga u/ bg komandan bg reza, bg edi dan semuanya yang telah bantu ahmad membuka wawasan, dan lebih terspesial untuk angkatan 19'45 bilo kito ngumpua-ngumpua liak,,,? Lah taragak a,,,,,,,,,,?

Dan yang terakhir juga buat Elva Laíla (Kímia "13) yang terus beri semangat,,, kok alah terakhir pulo jumpanyo va,,, Va pun harus tetap semangat apapun bentuk hidup yang sekarang, bg tunggu gelar "Profesor" -nyo.... mohon do'a nyo semoga gelar "Profesor" bisa bg raih pulo,, biar banyak beri manfaat untuk kita semua,, biar bisa ngajar di UNP ...

Thank you so much..... Keep Solidarity Forever.....!!!!!!

By: Ahmad Nurhuda, S.Pd (Spesialis Turbin Air)

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Februari 2016

Ahmad Nurhuda
NIM: 1203083

ABSTRAK

Ahmad Nurhuda : Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio

Bukit biobio merupakan salah satu dari 14.198 desa di Indonesia yang belum mendapatkan energi listrik dari PLN. Sementara itu, Bukit biobio memiliki potensi dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dari air terjun Baburai yang memiliki debit air 200 l/s dan tinggi jatuh air 20 m. Turbin Crossflow menjadi salah satu pilihan yang tepat dalam perancangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro Bukit Biobio karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya, adalah beroperasi pada debit yang besar dengan tinggi jatuh air yang rendah dan proses pembuatan yang lebih mudah dan kokoh. Tujuan dari perancangan turbin Crossflow ini adalah untuk mendapatkan sebuah rancangan turbin Crossflow untuk Bukit Biobio yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*.

Penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian studi kasus dalam perancangan turbin Crossflow, dimana hasil data perencanaan turbin Crossflow diperoleh melalui pengukuran debit dan tinggi jatuh air menggunakan metode *float* terhadap aliran air terjun Bukit Biobio. Metode yang digunakan terdiri dari data perancangan, penganalisisan data dan pendesainan turbin Crossflow untuk mendapatkan gambaran terhadap potensi PLTMH Bukit Biobio.

Hasil analisis data perancangan menunjukkan bahwa Bukit Biobio yang memiliki debit air 200 l/s dengan mengabaikan debit air terhadap air terjun dan tinggi jatuh air 20 m, dengan diameter pipa 0,35 m, dan diameter runner 0,20 m, serta panjang pipa 28 m dapat menghasilkan daya turbin Crossflow sebesar 23,3 kW dengan efisiensi turbin crossflow yang diambil 70 %, efisiensi transmisi 97 % dan efisiensi generator 90,3 %. Sementara itu total losses yang terjadi akibat rugi-rugi aliran dari rancangan turbin Crossflow adalah 0,63 m.

Kata Kunci: Bukit Biobio, Debit, Tinggi air, Turbin Crossflow

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya terutama nikmat waktu dan kesehatan sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio ”*.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini, Penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, arahan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Pertama sekali khususnya kepada orang tua Penulis, dengan dukungan motivasi yang diberikan orang tua, Penulis akhirnya bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Hasanuddin, M.Si. selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Arwizet K, ST., MT. selaku pembimbing II sekaligus sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin FT UNP yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Darmawi, M.Pd selaku penasehat akademis yang mengarahkan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Syafri Jamain, M.Pd, Bapak Drs. Darmawi, M.Pd, Bapak Drs. Yufrizal A, M.Pd selaku pembahas, yang telah memberikan kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Pimpinan dan seluruh karyawan CV. Prowater Multi Teknik, yang telah mengarahkan hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh staf, dosen dan karyawan/ karyawan di lingkungan FT UNP.
8. Rekan-rekan Jurusan Teknik Mesin FT UNP dan semua pihak yang telah membantu dalam Penulisan skripsi ini.

Skripsi ini telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan skripsi. Namun, untuk kesempurnaan diharapkan kritik dan saran dari dosen penguji dan semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi Penulis dan pembaca untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Padang, Februari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
1. Bagi Penulis	7
2. Bagi Dunia Pendidikan	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Umum Turbin Air	8
B. Prinsip Kerja Turbin Air	8
C. Klasifikasi Turbin Air	9
1. Klasifikasi Berdasarkan Head	9

2. Klasifikasi Berdasarkan Kapasitas	9
3. Klasifikasi Berdasarkan Jenis Desain	10
4. Klasifikasi Berdasarkan Tipe Jaringan Listrik	10
D. Tipe-Tipe Turbin Air	11
1. Turbin Reaksi	11
2. Turbin Impuls	13
E. Manfaat dan Kekurangan PLTMH	15
1. Manfaat PLTMH	15
2. Kekurangan PLTMH	16
F. Komponen-Komponen Dasar PLTMH	16
1. Gambaran Umum	16
2. Komponen-Komponen Sipil	17
3. Peralatan elektro-mekanikal	20
4. Transmisi dan Distribusi Listrik	21
G. Dasar-Dasar Perencanaan Turbin Air	23
1. Daya Turbin	23
2. Debit Air	25
3. Kecepatan Spesifik	25
4. Tinggi Jatuh Air	26
5. Pemilihan Jenis Turbin	30
6. Kavitasi	31

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	33
B. Waktu dan Tempat	33
C. Alat penelitian	33
D. Pelaksanaan Kegiatan	34
E. Pengolahan Data	34
F. Perancangan PLTMH Turbin Crosflow	35
1. Studi Literatur	35
2. Studi Lapangan	35
3. Perancangan turbin Crosflow	35

BAB IV PEMBAHASAN

A. Perhitungan <i>Losses</i>	37
B. Perhitungan <i>Power</i>	41
C. Perhitungan Tekanan Dalam Pipa	44
D. Perhitungan Turbin Crosflow	47
E. Generator	48
F. Perhitungan <i>Pulley</i> Dan <i>Flat Belt</i>	49
G. Desain Turbin Crosflow	55

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	56
B. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Potensi energi terbarukan di indonesia	2
Tabel 2.1. Angka gesek <i>stricker</i>	28
Tabel 2.2. Angka koefisien (C) <i>Hazen-Wiliams</i>	29
Tabel 2.3. Pemilihan jenis turbin berdasarkan kecepatan spesifik	31
Tabel 2.4. Pemilihan jenis turbin berdasarkan tinggi jatuh air	31
Tabel 3.1. Jadwal pelaksanaan kegiatan	34

DAFTAR GAMBAR

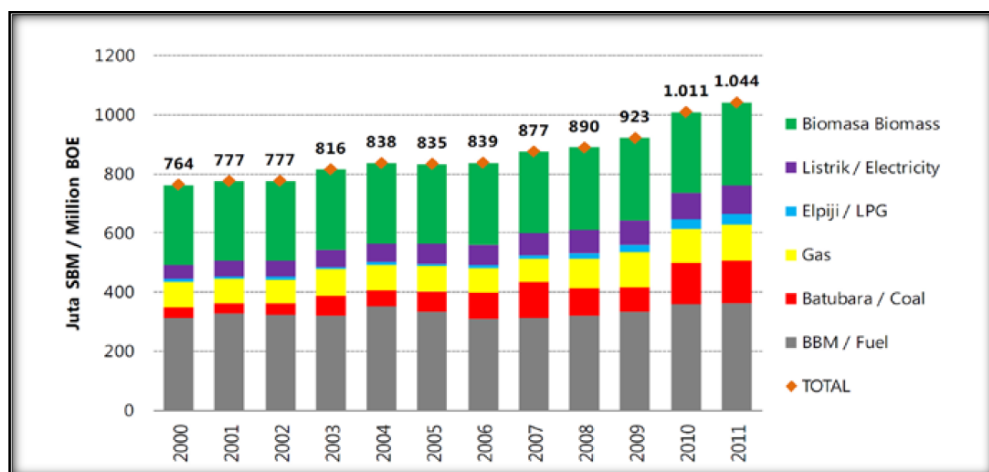
	Halaman
Gambar 1.1 Konsumsi energi final per jenis	1
Gambar 1.2. Perbandingan karakteristik turbin air	4
Gambar 2.1. Turbin air francis	12
Gambar 2.2. Turbin air propeller	13
Gambar 2.3. Turbin air pelton	14
Gambar 2.4. Turbin air crossflow	15
Gambar 2.5. Sitem PLTMH	17
Gambar 2.6. Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan sama	26
Gambar 2.7. Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan lebih	27
Gambar 2.8. Koefisien kerugian di ujung masuk pipa	29
Gambar 2.9. Koefisien kerugian pada belokan pipa	30
Gambar 3.1. Meteran, stopwatch, tali	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia sebagai salah satu Negara berkembang di dunia terus mengalami peningkatan kebutuhan energi. Peningkatan kebutuhan energi meliputi sektor industri, transportasi, rumah tangga dan lain sebagainya. Energi fosil khususnya minyak bumi, merupakan sumber energi utama dan sumber devisa Negara. Kenyataan menunjukkan bahwa cadangan energi fosil yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara, konsumsi energi terus meningkat. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan. Gambar 1.1. Menunjukkan konsumsi energi final per jenis.



Gambar 1.1. Konsumsi energi final per jenis
(Sumber. BPPT, tahun 2013)

Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang tidak ada habisnya. Secara konstan tersedia melalui siklus global, evaporasi dan pengembunan.

Panas dari sinar matahari menyebabkan air danau dan air laut menguap dan membentuk awan. Air kemudian jatuh kembali ke bumi melalui hujan dan mengalir ke sungai kemudian kembali ke laut. Melalui proses mekanik, aliran air dapat digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator yang akan menghasilkan energi listrik.

Untuk pembangkit listrik tenaga air di Indonesia memang sudah ada seperti PLTA Singkarak, PLTA Maninjau, PLTA Asam-Asam, PLTA Jelok, PLTA Lamajan, PLTA Asahan dan lain-lain. Namun, masih banyak aliran sungai yang belum dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik terutama dalam menghasilkan daya yang lebih kecil. Sementara itu, PLN belum dapat melayani distribusi listrik sampai ke desa-desa terpencil, padahal banyak desa terpencil yang memiliki potensi sumberdaya air yang dapat dikembangkan menjadi PLTMH. Pada Tabel 1.1 Menunjukkan potensi energi terbarukan di Indonesia.

Tabel 1.1 Potensi energi terbarukan di Indonesia

Jenis Energi Non Fossil	Cadangan	Setara	Kapasitas Terpasang
Tenaga air	845.000 juta BOE	75.67 GW	4.2 GW
Panas bumi	219 juta BOE	27.00 GW	0.8 GW
Mini/mikro hidro	0.45 GW	0.45 GW	0.206 GW
Biomass	49.81 GW	49.81 GW	0.3 GW
Tenaga surya	-	4.80 KWH/M2/hari	0.01 GW
Tenaga angin	9,29 GW	9.29 GW	0.0006 GW

Sumber : DJLPE (2008)

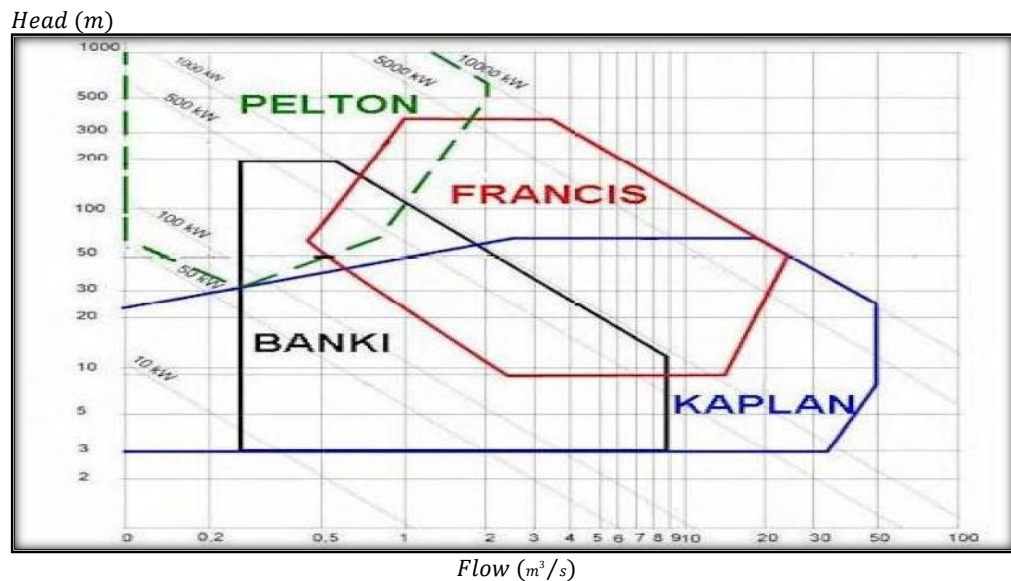
Bukit bio-bio merupakan salah satu dari 14.198 desa di Indonesia yang belum mendapatkan pasokan energi listrik dari PLN. Salah satu penyebabnya

adalah letak geografis yang tidak mendukung dan lemahnya perekonomian masyarakat untuk membangun jaringan listrik PLN. Dilihat dari potensial, Bukit bio-bio memiliki potensi dalam pengembangan di bidang pertanian dan objek wisata air terjun. Air terjun Baburai merupakan sumber mata air dalam pemenuhan kebutuhan pertanian sekitar. Sehingga belum termanfaatkan secara maksimal potensi air terjun tersebut di bidang pembangkit listrik.

Menurut Sutamo (1993) dalam bukunya sistem listrik mikrohidro untuk kelistrikan desa, mengemukakan faktor pendorong perlu dibangunnya suatu PLTMH pada suatu daerah adalah sebagai berikut:

1. Di daerah itu ada sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH.
2. Daerah tersebut sulit atau cukup jauh untuk dijangkau jaringan listrik PLN.
Kalupun akan dipasang biayanya terlalu mahal.
3. Jarak antara pembangkit dengan daerah konsumen tidak terlalu jauh.
4. Adanya minat dan keinginan dari penduduk setempat untuk menggunakan tenaga listrik. Ada kemampuan untuk berswadaya, dan lebih utama lagi apabila ada industri rumah misalnya dimungkinkan akan lebih berkembang dengan adanya tenaga listrik.

Dalam pemilihan jenis turbin yang digunakan sangat tergantung dari besarnya debit air dan tinggi jatuh air yang tersedia, besarnya harga dari debit dan tinggi jatuh air ini didapatkan dari hasil survei ke lapangan yang menunjukkan bahwa debit air terjun baburai 200 l/s dan tinggi jatuh air 20 m. Adapun perbandingan karakteristik turbin berdasarkan head (m) dengan flow (m^3/s) dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Perbandingan karakteristik turbin air

Berdasarkan gambar di atas, turbin air yang lebih cocok untuk PLTMH di Bukit Biobio adalah jenis turbin Kaplan. Namun karena proses produksi turbin Kaplan sulit, maka penulis mencoba merancang turbin Crossflow.

Turbin Crossflow merupakan turbin impuls dengan aliran radial. Awal dalam pengembangan turbin Crossflow di Nepal didasarkan pada teori Profesor Donat Bangki yang mempatenkan konsepnya sekitar tahun 1920. Turbin Crossflow sekarang ini sudah jarang dipakai, hal ini disebabkan adanya model turbin air yang modren seperti turbin Francis, turbin Pelton dan Kaplan. Tetapi bagaimanapun juga, turbin Crossflow mempunyai keunggulan dibandingkan turbin jenis lainnya yaitu lebih cocok untuk daerah yang memiliki debit yang besar dan tinggi jatuh air yang relatif rendah serta proses produksi turbin Crossflow yang mudah dan murah.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis ingin melakukan ***“Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio”***.

B. Identifikasi Masalah

Bertolak dari latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang ada yaitu:

1. Adanya air terjun yang belum termanfaatkan secara penuh dalam pembangunan PLTMH.
2. Adanya 10 rumah yang belum mendapatkan energi listrik dari PLN yang diakibatkan beberapa faktor seperti faktor ekonomi dan faktor letak geografis.
3. Bukit Biobio memiliki potensi dalam pengembangan pariwisata alam/ air terjun dan hasil pertanian seperti padi dan kelapa.

C. Batasan Masalah

Dengan mengacu pada identifikasi masalah di atas, maka agar pembahasan ini terfokus dan dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh Penulis, maka Penulis memberikan batasan masalah yaitu

1. Perancangan turbin Crossflow yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*;
2. Tidak membahas aspek sosial;

3. Tidak membahas konstruksi sipil;

Penulis akan menggunakan buku panduan energi terbarukan sebagai referensi dalam hal perancangan turbin Crossflow dan menggunakan software Autodesk Inventor dalam pembuatan desainnya.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah dan untuk lebih terarahnya penulisan ini, serta tujuan yang ingin dicapai dan terhindar dari kesimpang siuran dalam pembahasan, maka penulis memberikan rumusan masalah.

Rumusan masalah yang penulis maksud adalah bagaimana merancang turbin Crossflow dengan debit 200 l/s dan jatuh air 20 m , yang meliputi perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menghasilkan sebuah rancangan turbin Crossflow yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*. Sehingga bisa menjadi pedoman dalam pengembangan turbin Crossflow nantinya.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan setelah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis
 - a. Mengaplikasikan ilmu-ilmu yang didapat ketika perkuliahan.
 - b. Sebagai bekal dalam pengembangan energi baru dan terbarukan khususnya dalam pengembangan turbin air Crossflow.
2. Bagi dunia pendidikan
 - a. Sebagai acuan dalam upaya penerapan PLTMH turbin Crossflow.
 - b. Sebagai referensi dalam perancangan turbin Crossflow selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Umum Turbin Air

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut, air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanis, sehingga air memutar roda turbin.

B. Prinsip Kerja Turbin Air

Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerjanya mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Apabila kemudian ternyata bahwa roda turbin dapat berputar, maka ada gaya yang bekerja pada sudu tersebut. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir diantara sudu. Jadi, haruslah sudu yang dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja tersebut. Sedangkan pada turbin air secara garis besar, kerja turbin sampai menghasilkan energi listrik adalah dengan memanfaatkan air yang memiliki ketinggian yang mengalir dari tempat yang tinggi (dam/waduk) menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial dan diteruskan pada pipa energi potensial atau pipa-pipa pesat lalu masuk ke dalam rumah turbin dan di dalam turbin,

energi potensial tersebut diubah menjadi energi mekanik yaitu yang terjadi karena perubahan momentum yang diakibatkan oleh air pada *runner* sehingga menggerakkan poros turbin yang diteruskan untuk menggerakkan poros generator sehingga terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.

C. Klasifikasi Turbin Air

Klasifikasi terhadap turbin utama pada sebuah PLTA didasarkan atas beberapa segi-segi hidraulik seperti tekanan, ketinggian aliran jatuh, arah aliran, jarak, kecepatan, daya yang dihasilkan dan lain-lain.

Berdasarkan penggolongan turbin atas berbagai segi di atas, maka dapat disimpulkan jenis-jenis turbin yang umum digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Klasifikasi berdasarkan head

- a. Head tinggi : > 100 m
- b. Head menengah : 30 - 100 m
- c. Head rendah : 2 - 30 m

2. Klasifikasi berdasarkan kapasitas

- a. PLTA pico : < 500 W
- b. PLTA mikro : 0.5 - 100 KW
- c. PLTA mini : 100 - 1000 KW
- d. PLTA kecil : 1 MW - 10 MW
- e. PLTA skala penuh : > 10 MW

3. Klasifikasi berdasarkan jenis desain

a. *Run of the river*

Bentuk yang paling sederhana dalam konteks PLTA mikro dan mini. Skema ini tidak memanfaatkan bendungan untuk mengarahkan air ke bangunan penyalur, melainkan mengubah lajur aliran air menuju turbin melalui pipa atau penstock.

b. Sistem penyimpanan

Dalam penggunaan sistem ini, air ini akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu (beberapa jam atau beberapa bulan) dan akan digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan.

c. Sistem pompa penyimpanan

Ketika terjadi kebutuhan listrik yang rendah atau kelebihan kebutuhan listrik secara tiba-tiba, maka pompa secara otomatis akan mengisi penuh tangki penyimpanan. Namun jika terjadi lonjakan kebutuhan listrik yang tinggi, maka tangki yang ada akan segera dikosongkan menuju turbin untuk memenuhi kebutuhan produksi yang mencukupi.

4. Klasifikasi berdasarkan tipe jaringan listrik

a. Sistem jaringan listrik tersambung

Jika jaringan listrik sudah terpasang, energi hidro dapat langsung disambungkan dengan jaringan listrik nasional.

b. Sistem jaringan berdiri sendiri atau tidak tersambung dengan jaringan

Pembangkit listrik tenaga air tidak tersambung dengan jaringan listrik nasional.

D. Tipe-Tipe Turbin Air

1. Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang benar-benar terendam air, sehingga head efektif bekerja pada kedua sisi turbin, tekanan dapat positif (mendorong) atau negatif (menghisap). Gambar 2.1. memperlihatkan bentuk turbin Francis.

a. Turbin Francis

- 1) Jenis turbin reaksi
- 2) Komponen *runner* tenggelam dalam air sepenuhnya
- 3) Terdiri dari deretan bilah melengkung
- 4) Regulasi aliran dilakukan melalui deretan bilah yang dapat diatur
- 5) Prakondisi
 - a) Mulai operasi antara $25 \text{ m} < H < 350 \text{ m}$
 - b) H : head atau ketinggian air terjun
- 6) Keuntungan
 - a) Operasi yang handal
 - b) Konstruksi yang sederhana
 - c) Tingginya efisiensi
- 7) Kerugian
 - Tidak cocok untuk lokasi dengan head yang tinggi



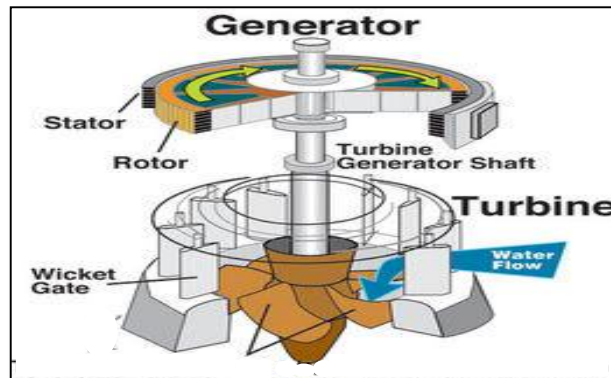
Gambar 2.1. Turbin air francis

b. Turbin kaplan

- 1) Jenis turbin reaksi
- 2) Kaplan adalah jenis turbin tertua dengan konfigurasi sebuah gulir dan gerbang kecil radial untuk pengaturan aliran. Gambar 2.2. memperlihatkan bentuk turbin Kaplan
- 3) Turbin Kaplan memiliki pisau yang dapat diatur dan disesuaikan melalui gerbang kecil dan menghasilkan efisiensi terbaik atas berbagai laju aliran
- 4) Prakondisi
 - a) Mulai operasi antara $2 \text{ m} < H < 40 \text{ m}$
 - b) Memerlukan sistem yang tinggi alirannya
- 5) Keuntungan
 - a) Turbin Propeller dapat berjalan dengan kecepatan tinggi dan head yang rendah
 - b) Turbin Kaplan sangat efisien

6) Kerugian

- a) Mahalnya pemeliharaan dan investasi
- b) Tidak cocok untuk lokasi dengan head yang tinggi



Gambar 2.2. Turbin air kaplan

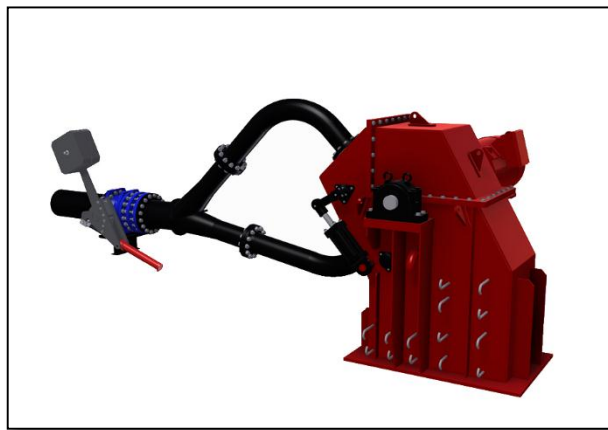
2. Turbin impuls

Di dalam sebuah turbin impuls Pelton, air menerjang saluran turbin di bawah tekanan, setelah air menerjang pisau turbin, tidak ada energi yang tersisa dalam aliran sehingga tidak ada efek hisap. Tekanan air tidak berubah karena mengalir melalui turbin. Gambar 2.3. memperlihatkan bentuk turbin Pelton.

a. Turbin pelton

- 1) Sebuah turbin impuls
- 2) Turbin yang terdiri dari sejumlah ruang penampung untuk menangkap aliran air
- 3) Untuk arus yang lebih tinggi jumlah ruang penampung dapat ditingkatkan
- 4) Turbin yang sangat efisien
- 5) Prakondisi
 - a) Mulai operasi antara $50 \text{ m} < H < 1300 \text{ m}$

- b) Membutuhkan sistem aliran air yang rendah
- 6) Keuntungan
 - a) Konstruksi yang kompak
 - b) Stabil dijalankan
 - c) Mudah dioperasikan
- 7) Kerugian
 - a) Tidak cocok untuk lokasi yang headnya rendah
 - b) Tidak cocok untuk sistem aliran airnya tinggi



Gambar 2.3. Turbin air Pelton

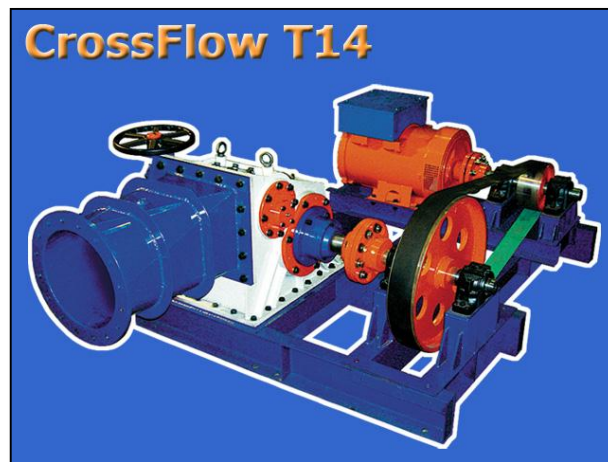
- b. Turbin CrossFlow
 - 1) Jenis turbin impuls
 - 2) Ketika air masuk ke turbin akan diarahkan oleh satu atau lebih baling-baling yang terletak dihilu *runner* dan melintas dua kali sebelum meninggalkan turbin. Gambar 2.4. memperlihatkan bentuk turbin Crosflow.
 - 3) Prakondisi
 - Mulai operasi dengan kepala antara $5\text{ m} < H < 200\text{ m}$

4) Keuntungan

- a) Desain sederhana sehingga menyebabkan produksi yang baik dan terstandarisasi
- b) Murah dan kuat
- c) Dibandingkan turbin lainnya, turbin CrossFlow biayanya lebih rendah
- d) Sangat dianjurkan untuk kondisi seperti di Indonesia

5) Kerugian

- Turbin CrossFlow memiliki efisiensi hingga 80 % lebih rendah dibandingkan dengan jenis turbin yang lain.



Gambar 2.4. Turbin air CrossFlow

E. Manfaat dan Kekurangan PLTMH

1. Manfaat PLTMH

- a. Indonesia memiliki potensi energi air yang besar;
- b. Ramah lingkungan;

- c. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin;
- d. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit pelatihan;
- e. Meningkatkan kegiatan perekonomian daerah terpencil yang tidak tersentuh jaringan PLN.

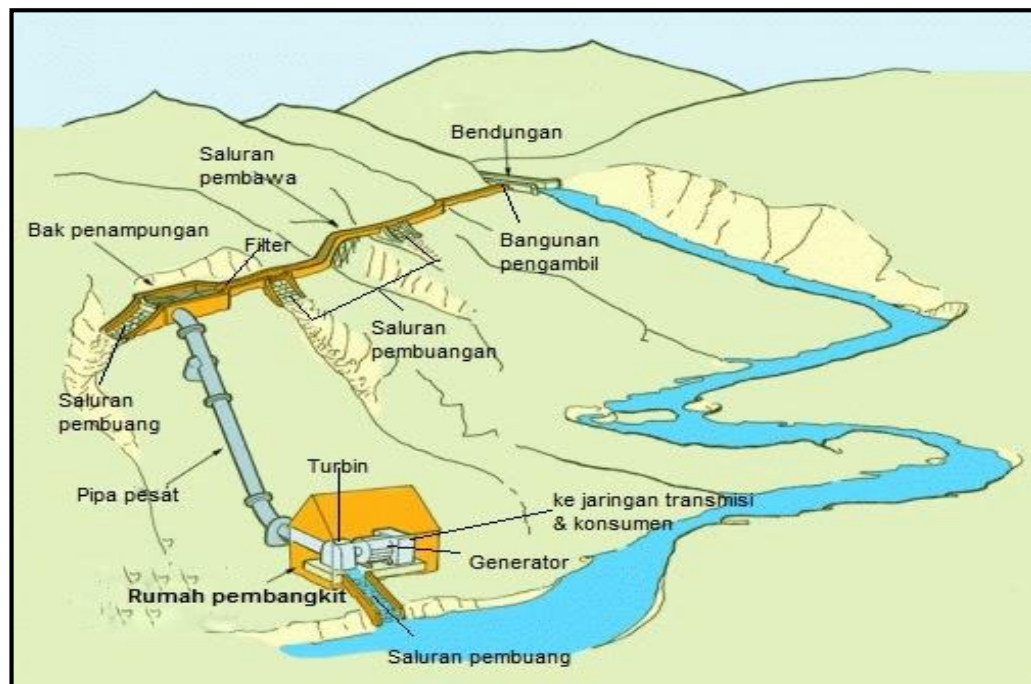
2. Kekurangan PLTMH

- a. Tidak semua aliran air dapat digunakan untuk pembangunan PLTMH, faktor debit aliran sangat menentukan;
- b. Beberapa jenis turbin air sangat sensitif terhadap fluktuasi debit air;
- c. Perlu konservasi daerah tangkapan air, terutama di daerah hulu sungai;
- d. Biaya inventasi pembangunan masih relatif mahal;
- e. Biaya perijinan sebagai syarat untuk memperoleh *power purchase agreement (PPA)* dalam membangun PLTMH juga masih relatif tinggi. Padahal PPA merupakan syarat untuk memperoleh kredit dari perbankan.

F. Komponen- Komponen Dasar PLTMH

1. Gambaran umum

Gambaran umum sebuah PLTMH di perlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sistem PLTMH

Komponen utama yang dapat terlihat pada gambar di atas kebanyakan struktur sipil dan jaringan transmisi. Komponen mekanikal, sistem control dan peralatan elektrik berada di dalam rumah pembangkit.

2. Komponen-komponen sipil

Komponen sipil utama dan kegunaannya:

a. Dam/ bendung pengalih *intake (diversion weir and intake)*

Bendung pengalihan berfungsi untuk mengalihkan aliran yang dibutuhkan untuk pembangkitan daya dari sungai melalui intake ke dalam sistem penyaluran air pada sebuah PLTMH.

b. Lubang *intake/ intake orifice*

Intake merupakan pintu masuk menuju saluran pembawa.

c. Pintu *intake/ intake gate*

Pintu intake berfungsi untuk mengatur aliran masuk dari sungai ke sistem pembawa air. Pintu air juga memungkinkan untuk menutup sama sekali aliran masuk selama periode perawatan dan selama banjir.

d. Bak pengendap pasir/ *settling basin-sandtrap*

Bak pengendap pasir (*sandtrap*) pada dasarnya merupakan saluran dengan potongan melintang yang diperbesar yang mengakibatkan kecepatan aliran menurun. Karena penurunan kecepatan, batu kerikil, pasir dan sedimen akan mengendap dalam bak ini sehingga tidak akan masuk ke dalam saluran pembawa dan yang terpenting tidak akan masuk ke turbin, dimana partikel-partikel ini dapat menyebabkan abrasi pada *runner*.

e. Saluran pembawa/ *headrace channel*

Saluran pembawa mengalirkan air dari *intake* ke bak penenang dengan kehilangan ketinggian yang minimum. Kadang-kadang diperlukan saluran pembawa yang melintasi sungai kecil atau saluran *drainase*, biasanya harus dipersiapkan sebuah saluran penyeberangan atau jembatan pipa.

f. Pelimpah dan saluran pelimpah/ *spillway and spillway channels*

Melalui saluran pelimpah, kelebihan air dikembalikan ke sungai melalui saluran pelimpah. Sistem pelimpah ini juga sangat penting, jika sistem saluran pembawa air tertutup (sebagai contoh apabila saringan di bak penenang terhalang) untuk mencegah aliran berlebihan yang tidak terkontrol, yang dapat menimbulkan konsekuensi yang fatal (erosi dan tanah longsor).

g. Bak penenang/ *forebay*

Penenang membentuk transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat.

Dalam beberapa kasus baknya diperbesar dengan tujuan:

- 1) Berfungsi sebagai bak penampungan pada saat beban puncak.
- 2) Sebagai bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air suction*) oleh penstock.

Pada bak penenang harus juga dipasang saringan untuk mencegah benda-benda yang tidak diinginkan masuk ke dalam pipa pesat.

h. Pipa pesat/ *penstock*

Pipa pesat (pipa tekanan) menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit. Pada kebanyakan kasus biasanya pipa baja yang digunakan, tetapi juga plastic (PE, PVC, HDPE) atau beton, juga material yang dapat digunakan.

Pipa pesat didukung oleh sliding bloks dan Angkor, *ekspansion joint* (sambungan) memungkinkan jika terjadi pemuaian pipa secara memanjang (umumnya akibat pengaruh temperatur).

i. Rumah pembangkit/ *power house*

Rumah pembangkit harus dapat menjaga peralatan pembangkit dan kontrol dari kondisi cuaca yang buruk dan mencegah akses masuk bagi orang-orang yang tidak berkepentingan.

j. Saluran pembuang/ *Tailrace channel*

Saluran pembuang mengalirkan air kembali ke sungai setelah melalui turbin.

3. Peralatan elektro-mekanikal

Peralatan elektro-mekanikal adalah semua peralatan yang sebenarnya dipergunakan untuk merubah energi air menjadi energi listrik. Peralatan utamanya terdiri dari:

a. Turbin

Terdiri dari *runner* yang terhubung ke *shaft* yang merubah energi potensial dalam air yang jatuh menjadi daya mekanikal atau daya *shaft*. Kebanyakan kasus, listrik dibangkitkan, turbin disambungkan secara langsung ke generator atau disambungkan melalui roda gigi atau belt dan *pully*. Tergantung pada kecepatan yang dibutuhkan oleh generator. Pemilihan jenis turbin tergantung pada tinggi jatuh dan debit desain.

b. Transmisi mekanik

Untuk mentransmisikan daya putaran dari turbin ke alat yang dikehendaki (biasanya generator, tetapi dalam banyak kasus juga terdapat alat mekanikal seperti penggilingan atau alat pengupas padi).

Untuk dapat membangkitkan tenaga listrik pada tegangan dan frekuensi yang stabil, sistem transmisi harus mentransmisikan daya dari turbin ke *shaft* generator dengan arah dan kecepatan yang dibutuhkan. Jenis *drive* sistem pada aplikasi PLTMH adalah sambungan langsung (*direct drive*), *belt drive* (dengan *flat belt* atau *V-belt*) atau *gearbox* (jarang digunakan karena harganya mahal, spesifikasinya sulit, aligment dan perawatannya sulit).

c. Sistem kontrol

Sistem kontrol pada dasarnya mengontrol kecepatan turbin, yang memiliki pengaruh langsung terhadap tegangan dan frekuensi dari listrik yang dibangkitkan.

d. Generator

Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikrohidro ada dua tipe generator yang digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase dan 3 fase.

1) Generator sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, desainnya telah mengalami penyempurnaan yang bertujuan untuk meningkatkan performan, efisiensi dan perawatannya.

2) Generator asinkron (induksi)

Mesin induksi adalah merupakan mesin arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaanya berdasarkan pada kenyataan bahwa arus motor rotor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, melainkan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus rotor.

4. Transmisi dan distribusi listrik

Jika listrik dibangkitkan (apabila daya mekanika tidak di gunakan secara langsung) listrik harus dikirimkan dan didistribusikan ke konsumen. Untuk jaringan dengan tegangan rendah (LV) secara langsung dapat di distribusikan,

tetapi untuk jaringan yang lebih besar maka transformasi ke tegangan tinggi (HV) harus dilakukan untuk mengurangi kehilangan daya di perjalanan. Cara yang paling umum untuk mentransmisikan listrik dari rumah pembangkit ke rumah-rumah adalah melalui jaringan listrik atas tanah (*overhead*).

a. Konfigurasi lokasi (*site configuration*)

Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dan prinsip-prinsip dasar. Pada umumnya desain dan penerapan sistem *run-of-the-river* pada sistem mini dan mikro hidro. Bendung pengalihan dipasang di sungai yang mempunyai pengaruh minimum terhadap sungai dan juga tidak mempengaruhi pola aliran musiman.

b. Sistem penampungan (*storage system*)

Sistem penampungan biasanya dam yang besar. Sistem ini tidak biasa digunakan pada PLTMH. Kebanyakan karena sistem ini desainnya kompleks dan lebih mahal. Sebuah dam menyebabkan akumulasi air yang besar dengan membanjiri lembah dibagian hulu yang mempunyai akibat besar terhadap ekologi sungai dengan merubah pola aliran musiman. Tujuan utama sistem ini adalah untuk penampung musiman. Pada beberapa kasus PLTMH diintegrasikan ke dalam dam yang besar, dimana dam ini dibangun untuk tujuan penampungan air untuk irigasi atau mencegah banjir.

c. *Pumped-storage power plants*

Pumped-storage power plants sebagai tipe ketiga sistem pembangkit tenaga air. Tujuan pembangkit ini adalah untuk menyimpan listrik dengan cara memompa air ke dalam penampungan yang lebih tinggi selama beban non

puncak dan airnya dialirkan kembali untuk membangkitkan listrik selama periode puncak (*peak load*). Pembangkit-pembangkit ini biasanya tergabung dalam jaringan (besar) yang dipasok oleh sumber yang lain yang reaksinya lebih lambat, (seperti PLTU, PLTGU atau pembangkit nuklir). Keuntungan utama dari *pumped power plants* ini dapat disesuaikan dengan permintaan aktual dalam waktu singkat (pembangkit tenaga air modern dapat di start-up hanya dalam waktu kurang dari 1 menit). Sistem pembangkit ini tidak relevan dengan pembahasan dalam modul ini, karena tidak ada fasilitas pembangkitan sebenarnya dan hampir selalu dalam jumlah yang relatif besar (beberapa MW sampai GW).

G. Dasar-Dasar Perencanaan Turbin Air

Dalam merencanakan sebuah turbin air, ada beberapa hal mendasar yang perlu diketahui, sehingga dengan didapatnya harga-harga ini barulah perencanaan konstruksi turbin air bisa dilakukan.

1. Daya turbin

Dengan adanya gaya tangensial yang bekerja pada *runner* turbin, maka *runner* turbin akan mengalami momen puntir.

$$M_t = F_u \cdot r$$

$$M_t = Q \cdot \rho (r_1 \cdot w_1 \cdot \cos \beta_1 - r_2 \cdot w_2 \cdot \cos \beta_2 \dots\dots\dots) \quad \text{Pers. 2.1.}$$

Atau

$$M_t = Q \cdot \rho (r_1 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - r_2 \cdot c_2 \cdot \cos \alpha_2 \dots\dots\dots) \quad \text{Pers. 2.2.}$$

Apabila kecepatan tangensial yang bekerja (u) = $\pi \cdot D \cdot n$ dan kecepatan sudut (w) = u / r maka daya yang dihasilkan oleh turbin adalah:

$$p = M_t \cdot w \dots\dots\dots \text{Pers. 2.3.}$$

$$p = Q \cdot \rho (u_1 \cdot w_1 \cdot \cos \beta_1 - u_2 \cdot w_2 \cdot \cos \beta_2 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4.}$$

$$p = Q \cdot \rho (u_1 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u_2 \cdot c_2 \cdot \cos \alpha_2 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5.}$$

Keterangan:

P	= Daya turbin	(Watt)
w	= Kecepatan sudut	(m/s)
Q	= Debit air yang digunakan	(m ³ /s)
ρ	= Massa jenis air	(kg/m ³)
M_t	= Momen puntir	(Nm)
F_u	= Gaya tangensial yang dihasilkan turbin	(N)
c_1	= Kecepatan mutlak air masuk sudu turbin	(m/s)
c_2	= Kecepatan mutlak air keluar sudu turbin	(m/s)
w_1	= Kecepatan relatif air masuk sudu turbin	(m/s)
w_2	= Kecepatan relatif air keluar sudu turbin	(m/s)
u_1	= Kecepatan tangensial air keluar sudu turbin	(m/s)
u_2	= Kecepatan tangensial air keluar sudu turbin	(m/s)
r_1	= Jari-jari diameter luar <i>runner</i> turbin	(m)
r_2	= Jari-jari diameter dalam <i>runner</i> turbin	(m)

Apabila ditinjau dari kapasitas dan tinggi air jatuh, daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan pers. 2.6.

$$p = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \cdot \eta_t \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6.}$$

Keterangan:

P = Daya turbin (*Watt*)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

h = Tinggi jatuh air efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin, berkisar antara 84 % - 94 % (Wiranto, 1997:1)

2. Debit air

Debit air merupakan hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin air, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dalam pipa bertekanan dapat ditentukan dengan pers. 2.7.

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7.}$$

Keterangan:

Q = Debit air (m^3/s)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas penampang sungai (m^2)

(Suryono, 1991:1)

3. Kecepatan spesifik

Bila tinggi jatuh air h , laju aliran volume air Q , dan putaran poros turbin n , diketahui, maka kecepatan spesifik n_q dapat dihitung melalui persamaan: (Astu Pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2012:208).

$$n_q = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8.}$$

Keterangan :

Q = Debit air (m^3/s)

n_q = Kecepatan spesifik (rpm)

n = putaran poros turbin (rpm)

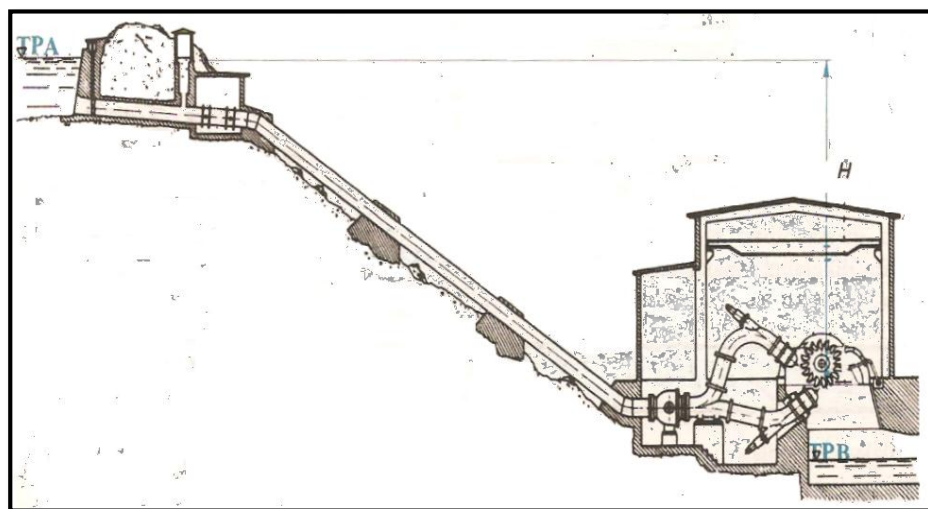
H = tinggi jatuh air efektif (m)

Harga dari kecepatan putaran turbin, biasanya berkisar antara 300 - 1000

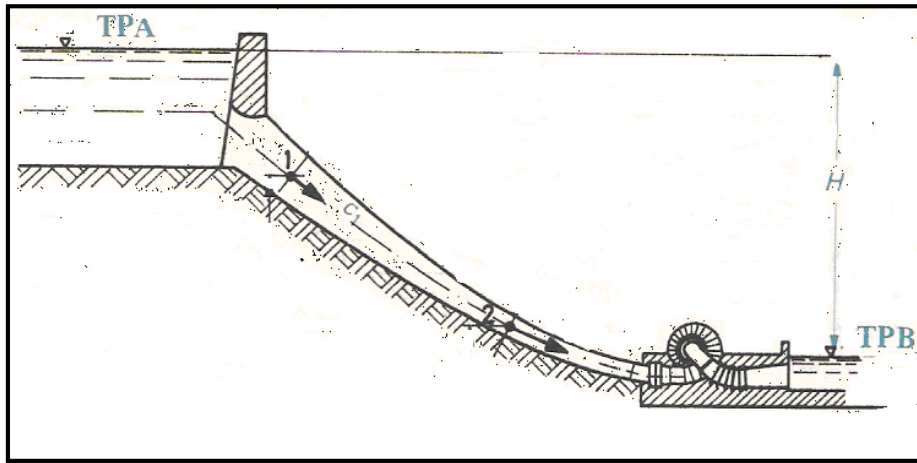
(Sumber : R.S Khurmi, 1982:616).

4. Tinggi jatuh air

Ada dua macam tinggi jatuh air pada suatu instalasi pembangkit listrik yaitu tinggi jatuh air aktual dan tinggi jatuh air efektif. Untuk jenis turbin air tekanan samatinggi jatuh air aktualnya dihitung dari permukaan air di kolam penampung sampai ke tengah-tengah pancaran air dari nozzle. Sedangkan untuk jenis air tekanan lebih tinggi jatuh air aktual dihitung dari permukaan air kolam penampung sampai ke permukaan air bawah. Dapat dilihat pada gambar 2.6. dan 2.7.



Gambar 2.6. Tinggi jatuh air aktual untuk tubin tekanan sama



Gambar 2.7. Tinggi jatuh air aktual untuk turbin tekanan lebih

Yang dimaksud dengan tinggi jatuh air efektif adalah tinggi jatuh air aktual dikurangi total kerugian energi (*Head losses*) disepanjang saluran.

Dapat dinyatakan dalam pers. 2.9.

$$H_e = H_a - \Sigma H_1 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9.}$$

Keterangan:

H_e = Tinggi jatuh air efektif (m)

H_a = Tinggi Jatuh air aktual (m)

ΣH_1 = *Head losses* (m)

Kerugian energi (*Head losses*) yang terjadi di dalam pipa dapat di kelompokkan atas dua bagian:

- a. Kerugian terjadi sebagai akibat dari gesekan air disepanjang pipa (*Head losses mayor*), menurut *Stickler* kerugian ini dapat dihitung dengan pers.

2.10.

$$H_{lf} = 10,249 \times \frac{Q^2}{k^2} \times \frac{L}{D^{5,33}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.10.}$$

Keterangan:

H_{lf} = Head losses mayor (m)

Q = Debit air (m^3/s)

k = Angka gesek Strickler

D = Diameter dalam pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

(Suryono, 1991:34)

Tabel 2.1. Angka gesek stricker

Macam bahan	Angka Gesek, k							
Pipa Pesat	70	80	90	100	110	120	130	140
Beton								
Baja bersambungan keling								
Besi tuang dilapisi tir								
Baja bersambungan las								
Asbes semen								
Plastik								

(Sumber : Suryono, 1991:39)

Secara empiris *head losses mayor* ini dapat dicari dengan pers. 2.11.

$$H_{lf} = \frac{10,666 \times Q^{1,85}}{C^{1,85}} \times L \dots\dots\dots \text{Pers. 2.11.}$$

Keterangan:

H_{lf} = Head losses mayor (m)

Q = Debit air (m^3/s)

C = Angka gesek Strickler

D = Diameter dalam pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

(Sularso, 1987:31)

Tabel 2.2. Angka koefisien (C) *Hazen-Wiliams*

No	Bahan pipa	C
1	Beton (tidak terpengaruh oleh umur)	130
2	Besi tuang baru	130
3	Besi tuang baru umur 5 tahun	120
4	Besi tuang baru umur 10 tahun	100
5	Baja las, baru (tidak terpengaruh oleh umur)	120
6	Lempung, baja keling, baru	110
7	Gorong-gorong beton	100
8	Semen asbes	140

(Sumber : Ray K. Linsley, 1985:270)

- b. Kerugian yang terjadi diawal pipa, belokan pipa, perubahan penampang, dan lain-lain (*Head losses minor*). Kerugian ini dapat dinyatakan dengan pers. 2.12.

$$H_{lm} = \Sigma f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.12.}$$

Keterangan:

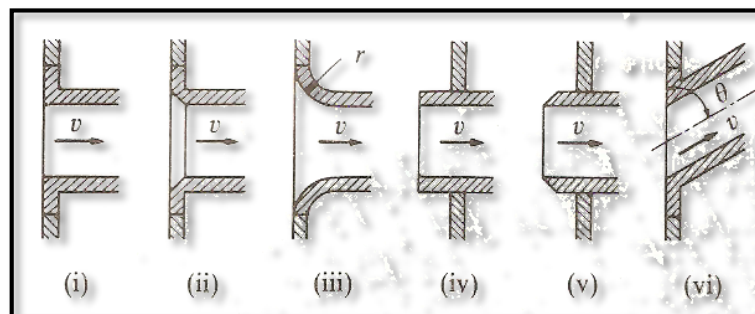
H_{lm} = Head losses minor (m)

Σf = Total koefisien kerugian

V = Kecepatan air dalam pipa (m/s)

g = Gravitasi (m/s²)

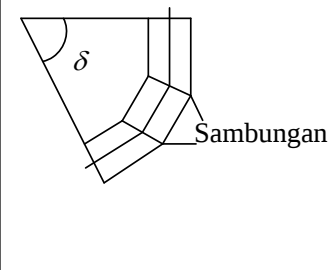
(Suryono, 1991:40)



Gambar 2.8. Koefisien kerugian di ujung masuk pipa

(Sumber : Sularso, 1987:34)

- (i) $f = 0.5$
- (ii) $f = 0.25$
- (iii) $f = 0.06$ (untuk r kecil) sampai $0,005$ (untuk r besar)
- (iv) $f = 0,56$
- (v) $f = 4,0$ (untuk sudut tajam) sampai $1,3$ (untuk sudut 45°)
- (vi) $f = f_1 + 0,3 \cos \theta + 0,2 \cos^2 \theta$



The diagram shows a pipe bend with an angle δ . The bend is labeled 'Sambungan'. To the right of the diagram is a table with three rows and seven columns. The first row contains the angle δ and its values: 15° , $22,5^\circ$, 30° , 45° , 60° , and 90° . The second row contains the number of welds ('Jumlah sambungan') and its values: 1, 1, 2, 2, 3, and 3. The third row contains the loss coefficient values: 0,08, 0,10, 0,12, 0,18, 0,25, and 0,31.

δ	15°	$22,5^\circ$	30°	45°	60°	90°
Jumlah sambungan	1	1	2	2	3	3
	0,08	0,10	0,12	0,18	0,25	0,31

Gambar 2.9. koefisien kerugian pada belokan pipa
(Sumber : Suryono, 1991:41)

5. Pemilihan jenis turbin

Jenis turbin yang digunakan sangat tergantung dari besarnya debit air (Q) dan tinggi jatuh air yang tersedia, besarnya harga dari debit dan tinggi jatuh air ini didapat dari hasil survei ke lapangan. Secara teoritis dalam perencanaan pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan kecepatan spesifik (n_s) dan tinggi jatuh air efektif (h_e).

a. Pemilihan berdasarkan kecepatan spesifik

Kecepatan spesifik adalah kecepatan turbin dimana dapat dihasilkan 1Hp untuk setiap tinggi jatuh air (h) = 1 ft. Kecepatan spesifik dari suatu turbin dapat diketahui dengan mempergunakan pers. 2.8. dan kondisi yang diketahui.

Setelah dihitung atau didapatkan nilai n_s dengan mempergunakan pers. 2.8., maka dapat dipilih jenis turbin dengan menggunakan Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Pemilihan jenis turbin berdasarkan kecepatan spesifik

No	Kecepatan spesifik (rpm)	Jenis turbin
1	10 - 35	Turbin pelton dengan nozzel tunggal
2	35 - 60	Turbin pelton dengan nozzel ganda atau lebih
3	60 – 300	Turbin francis
4	300 – 1000	Turbin kaplan

(Sumber : R.S. Khurmi, 1982:616)

b. Pemilihan berdasarkan tinggi jatuh air

Pemilihan dengan berdasarkan tinggi jatuh air diperoleh, maka dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Pemilihan jenis turbin berdasarkan tinggi jatuh air

No	Tinggi jatuh air (m)	Jenis turbin
1	0 – 25	Kaplan atau francis (lebih cocok kaplan)
2	25 – 50	Kaplan atau francis (lebih cocok francis)
3	50 – 150	Francis
4	150 – 250	Francis atau pelton (lebih cocok francis)
5	250 – 300	Francis atau pelton (lebih cocok pelton)
6	Di atas 3000	Pelton

(Sumber : R.S. Khurmi, 1982:617)

6. Kavitasi

Kavitasi adalah suatu peristiwa gelembung-gelembung uap di dalam cairan (air) yang mengalir apabila di tempat tersebut sama dengan tekanan uapnya. Bila gelembung-gelembung tersebut terjadi, maka akan bersama-sama terbawa aliran dan pada daerah yang lebih tinggi tekananya, gelembung-gelembung tersebut akan pecah dengan tiba-tiba. Pecahnya gelembung-gelembung ini akan menghasilkan tekanan yang sangat tinggi bisa mencapai 100 atm.

Dengan tekanan yang begitu tinggi akan mudah merusak material atau komponen-komponen yang dipakai pada instalasi turbin. Akibat kavitasi adalah sebagai berikut:

- a. Menimbulkan suara yang sangat bising dan getaran-getaran;
- b. Mengikis bagian dalam pipa-pipa dan permukaan propeller;
- c. Menurunkan efisiensi dan daya turbin.

Untuk mencegah terjadinya kavitasi ini, maka perlu diambil langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Meletakkan turbin pada tempat yang sebaik-baiknya antara *runner* dan *draft tube*;
- b. Memperkecil jarak vertikal antara roda turbin dan permukaan air bawah (tinggi isap diperkecil);
- c. Memperbaiki konstruksi atau menggunakan material yang kuat;
- d. Mengurangi belokan-belokan atau bentuk-bentuk tajam.

(Syahril, 1970:65)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dalam perancangan turbin Crossflow dapat disimpulkan bahwa dari data perancangan menunjukkan Bukit Biobio yang memiliki debit air 200 l/s dengan mengabaikan debit air terhadap air terjun dan tinggi jatuh air 20 m , dengan diameter pipa 0,35 m , dan diameter runner 0,20 m , serta panjang pipa 28 m dapat menghasilkan daya turbin Crossflow sebesar 23,3 kW dengan efisiensi turbin crossflow yang diambil 70 %, efisiensi transmisi 97 % dan efisiensi generator 90,3 %. Sementara itu total losses yang terjadi akibat rugi-rugi aliran dari rancangan turbin Crossflow adalah 0,63 m .

B. Saran

1. Dalam merencanakan penerapan sebuah turbin Crosflow, hendaklah untuk lebih menguasai segala bidang ilmu terkhususnya ilmu teknik mesin. Karena banyak yang belum menjelaskan dalam re-desain turbin Crosflow dalam skripsi ini.
2. Dalam mengambil kesimpulan dari sebuah re-desain turbin Crosflow, hendaklah di sesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan.

3. Segala material dan komponen yang direncanakan untuk turbin Crosflow, hendaklah untuk mempertimbangkan material dan komponen yang ada di pasaran, sehingga dapat menekan pembiayaan produksi.