

Optimalisasi Efisiensi

TURBIN ALIRAN SILANG

pada Model Pembangkit Energi
Mikrohidro Drum



③ Saluran masuk dilengkapi dengan trash rack



② Saluran Limbah →



④ Drum Penampung



⑤ Turbin



⑥ Generator

① Dudukan Pembangkit →

⑦ Saluran Keluar

Dr. Ir. Purwanto, S.T., M.Eng.
Dr. Pribadyo, S.T., M.T.
Dr. Ir. Diyanti, S.T., M.T.
Anisa Diansisti, S.T., M.T.

Editor:
Balla Wahyu Budiarto, S.T., M.Sc.

**OPTIMALISASI EFISIENSI
TURBIN ALIRAN SILANG PADA
MODEL PEMBANGKIT ENERGI
MIKROHIDRO DRUM**

OPTIMALISASI EFISIENSI TURBIN ALIRAN SILANG PADA MODEL PEMBANGKIT ENERGI MIKROHIDRO DRUM

Dr. Ir. Purwanto, S.T., M.Eng.

Dr. Pribadyo, S.T., M.T.

Dr. Ir. Diyanti, S.T., M.T.

Anisa Diansisti, S.T., M.T.



OPTIMALISASI EFISIENSI TURBIN ALIRAN SILANG PADA MODEL PEMBANGKIT ENERGI MIKROHIDRO DRUM

Penulis:

Dr. Ir. Purwanto, S.T., M.Eng.

Dr. Pribadyo, S.T., M.T.

Dr. Ir. Diyanti, S.T., M.T.

Anisa Diansisti, S.T., M.T.

Editor:

Balla Wahyu Budiarto, S.T., M.Sc.

Layouter :

Tim Kreatif PRCI

Cover:

Rusli

Cetakan Pertama : Juli 2024

Hak Cipta 2024, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151

Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2024 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2024

; 14,8 x 21 cm

ISBN : 978-623-448-932-3

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang

Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabil'alamin, Maha Suci Allah lagi Maha Terpuji sebanyak bilangan makhluk-Nya yang telah memberikan nikmat-Nya sehingga kami penulis dapat menyelesaikan buku ini, dengan judul *Optimalisasi Efisiensi Turbin Aliran Silang pada Model Pembangkit Energi Mikrohidro Drum*. Shalawat dan salam juga kami sanjungkan sajikan kepada baginda Rasulullah, Muhammad SWA.

Buku dengan judul *Optimalisasi Efisiensi Turbin Aliran Silang pada Model Pembangkit Energi Mikrohidro Drum* berisikan mengenai teori *rubin cros flow*, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan pengujian dan daya bangkit. Terwujudnya buku ini adalah berkat kontribusi banyak pihak, sehingga sangat pantas kami mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada para pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penerbitan buku ini dengan sempurna. Teriring do'a semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan atas kemurahan hatinya semua. Semoga amal baik semua pihak yang terlibat mendapat balasan pahala yang berlipat ganda, amin.

Untuk kesempurnaan buku yang masih memiliki banyak kekurangan ini, kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Hormat Kami,

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	II
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TEORI TURBIN <i>CROSS FLOW</i>	3
A. Prinsip Kerja Turbin <i>Cross Flow</i>	3
B. Kecepatan Spesifik (N_s)	5
C. Head dan debit	6
D. Karakteristik Turbin <i>Cross Flow</i>	7
E. Pengoperasian Turbin <i>Cross Flow</i>	11
F. Merakit Komponen Turbin <i>Cross-Flow</i>	13
G. Melukis Busur Sudu dengan Analisis Tiga Kecepatan	19
H. Poros <i>Runner</i> .	28
I. Pasak dan Bantalan	38
 BAB III PENGUJIAN DAN DAYA BANGKIT	 43
A. Dasar-Dasar Pengujian	43
B. Daya Bangkit Turbin	43
C. Prosedur Pengujian	43
D. Aplikasi persamaan Bernauli pada Sistem PTMMD	44
E. Spesifikasi Saluran Limbah	46
F. Pengamatan kebocoran	47
G. Regulator dan Katup	48
H. Sistem Transmisi	49
I. Runner	49
BAB IV PENUTUP	65
DAFTAR PUSTAKA	67
RIWAYAT HIDUP PENULIS	69

BAB I

PENDAHULUAN

Bangsa Indonesia mempunyai banyak potensi sumber daya alam yang belum dimanfaatkan secara maksimal, diantaranya sumber air yang mengalir (sungai-sungai) yang masih digunakan sebatas untuk irigasi, baik untuk pertanian maupun perikanan. Padahal apabila dikelola dengan baik dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil, menengah dan skala rumah tangga, maka Indonesia tidak akan terjadi krisis energi listrik seperti sekarang ini.

Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD) merupakan pembangkit tenaga listrik yang biaya investasinya murah, mudah pengoperasiannya sehingga dapat dimiliki oleh masyarakat pedesaan baik secara perorangan maupun kelompok. Disamping biaya investasi dan pengoperasiannya mudah debit yang diperlukan juga kecil (10,4 l/s) dengan head minimal 2 sampai dengan 3 m dapat menghasilkan daya 400 Watt yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga, pada malam hari berfungsi sebagai penerangan, sedangkan pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk perbengkelan elektronik, menghidupkan/ menggerakkan mesin-mesin produksi hasil pertanian pada pedesaan.

PTMMD terdiri dari 4 komponen yang utama mudah didapatkan sehingga cocok untuk kondisi pedesaan. Komponen-komponen tersebut antara lain;

- a. Saluran masuk, saluran ini berfungsi untuk mengarahkan air masuk kedalam drum (bak penenang), dapat dibuat dari papan yang dilapisi

karet agar air tidak bocor, sehingga air dapat masuk ke dalam drum secara maksimal.

- b. Drum (bak penenang) yang berfungsi menampung air yang bersifat sementara sebelum dibuang melalui mesin (turbin) sebagai pembangkit.
- c. Mesin (turbin) sebagai pembangkit dipilih jenis *cross flow* karena mempunyai karakteristik yang cocok (debit, *head* dan *power house*). Turbin *cross flow* ini dapat dibuat di bengkel-bengkel sekitar lingkungan kita atau bahkan dapat dibuat oleh siswa-siswa SMK jurusan mesin.
- d. Saluran buang, saluran ini berfungsi untuk mengarahkan air yang keluar turbin agar tidak merusak lokasi pembangkit.

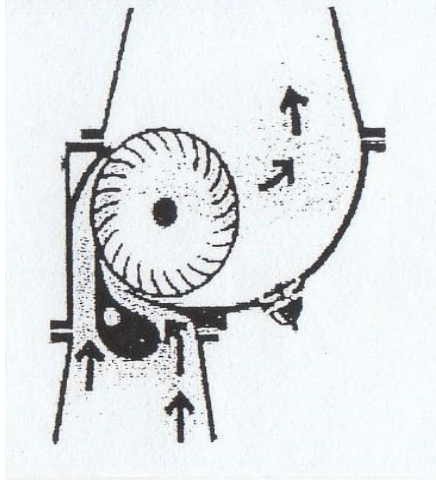
BAB II

TEORI TURBIN *CROSS FLOW*

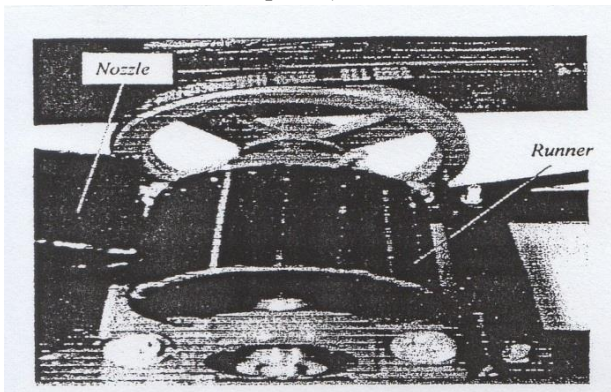
A. Prinsip Kerja Turbin *Cross Flow*

Berdasarkan Sumber energi air yang cukup banyak tersedia dipedesaan dan kemajuan ilmu mekanika hidrolika maka timbulah perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia maka turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi obyek penelitian untuk mencari sistem, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan turbin yang maksimum.

Prinsip kerja dari turbin *cross flow* adalah air yang keluar dari pipa pancar masuk ke roda jalan menumbuk sudu sudu tingkat pertama dan kemudian air tersebut keluar melewati sela-sela sudu sudu tingkat pertama lalu melewati ruang kosong dalam roda jalan yang selanjutnya menumbuk sudu-sudu tingkat kedua menuju kolam bawah (Sutikno,1992) sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Turbin Cross Flow



Gambar 2.2. Runner dan Nozzle

Komponen utama turbin *cross flow* adalah runner dan *nozzel* (Mockmore and Meryfield F, 1949), IBEKA (2002) menerangkan komponen utama turbin *cross flow* terdiri dari pipa adapter, rotor, sudu pengarah (*guide vane*) dengan pengatur (*hand regulator*) dan rumah turbin (*casing*).

1. Pipa Adapter

Air dari pipa pesat (*penstock*) masuk ke turbin melewati pipa adapter. Penampang inlet turbin berbentuk persegi panjang sedangkan penampang pipa pesat berbentuk lingkaran sehingga perlu ada daerah perubahan bentuk lingkaran ke persegi panjang yang disebut pipa adapter. Aliran air yang tadinya berpenampang lingkaran berubah menjadi persegi setelah melewati pipa adapter.

2. Guide Vane

Guide Vane berfungsi untuk menutup dan membuka aliran air masuk ke runner. Untuk mengatur debit air yang masuk ke roda jalan dapat diatur menggunakan *hand regulator*.

3. Runner

Runner adalah bagian utama turbin yang terdiri dari bilah-bilah tipis (*blade*) atau sudu-sudu yang terpasang pada piringan yang menyatu dengan poros. Poros ini pada bagian ujung-ujungnya ditumpu oleh dua buah bantalan (*bearing*). Aliran air dari pipa adapter memasuki runner menumbuk sudu-sudu sehingga poros berputar. Energi kinetik yang terjadi pada poros runner kemudian diteruskan melalui suatu tranmisi mekanik ke poros generator sehingga dapat berputar dan menghasilkan listrik.

4. Housing

Rumah turbin dapat berfungsi untuk menempatkan bantalan guide vane dan bantalan runner. Di samping itu juga berfungsi untuk memandu aliran air yang memasuki sudu-sudu pada runner dan melindungi runner agar aman.

B. Kecepatan Spesifik (Ns)

Kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran runner yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP

untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis (Jagdish, 1975);

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4} \quad (2.1)$$

dengan;

- n_s = Kecepatan spesifik turbin
- n = Kecepatan putaran turbin (rpm)
- H_{efs} = tinggi jatuh efektif (m)
- N_e = daya turbin efektif (kW)

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik yang berbeda beda untuk beberapa turbin konvensional, lihat tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kecepatan Spesifik Turbin konvensional

No	Jenis Turbin	Kecepatan spesifik
1	Pelton dan kincir air	10 - 35
2	Cross-Flow	70 - 80
3	Francis	60- 300
4	Kaplan dan propeller	300- 1000

(Jagdish, 1975)

C. Head dan debit

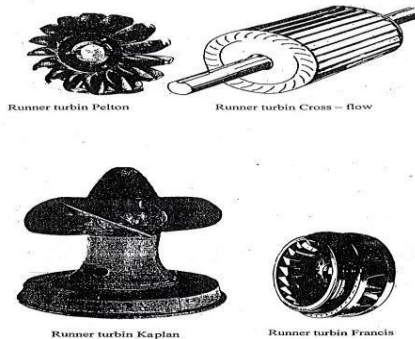
Pengoprasian turbin air disesuaikan dengan potensi head dan debit yang tersedia yaitu;

1. *Head* rendah dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka cocok digunakan turbin kaplan atau propeller.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 m dan debit relatif cukup, maka cocok menggunakan turbin cross

flow atau francis.

3. *Head* yang tinggi antara 200 m dan debit sedang maka menggunakan turbin Impuls jenis Pelton.

Empat Macam Bentuk Konstruksi Runner
(Haimerl,1960)



Gambar 2.3. Menjelaskan empat bentuk konstruksi runner turbin konvensional.

D. Karakteristik Turbin *Cross Flow*

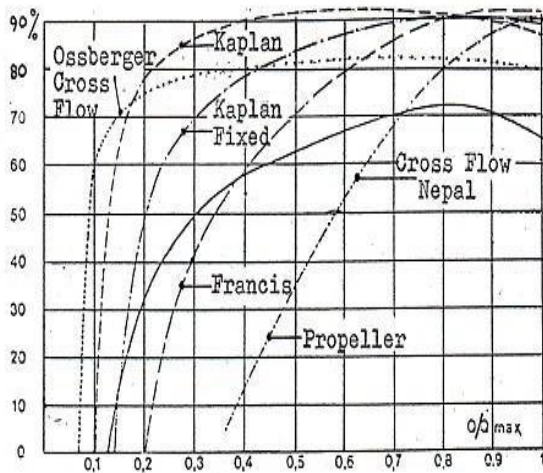
Turbin *cross flow* memiliki karakteristik yang spesifik dibanding jenis penggerak turbin yang lain. Turbin *cross flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903,. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Osberger (Haimerl,1960).

Pemakaian jenis turbin *cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan

kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin *cross flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air biasanya mencapai 2 m, tetapi untuk turbin *cross flow* dapat dibuat dengan diameter 100 mm sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, maka biayanya lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya kincir air. Hasil Pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Osberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi turbin *cross flow* mencapai 82% (Haimerl,1960).

Tingginya efisiensi turbin *cross flow* ini akibat pemanfaatan energi air 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 memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan yang tinggi pada sistem pengeluaran air dari runner. Kurva dibawah ini akan menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional.



Gambar 2.4. Kurva efisiensi beberapa turbin dengan Pengurangan Debit sebagai variable (sumber : Haimerl,1960)

Dari gambar kurva tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya. Untuk turbin *cross flow* dengan $Q/Q_{mak} = 1$ menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80 % disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan $Q/Q_{mak} = 0,2$ menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap (Meier, Ueli, 1981).

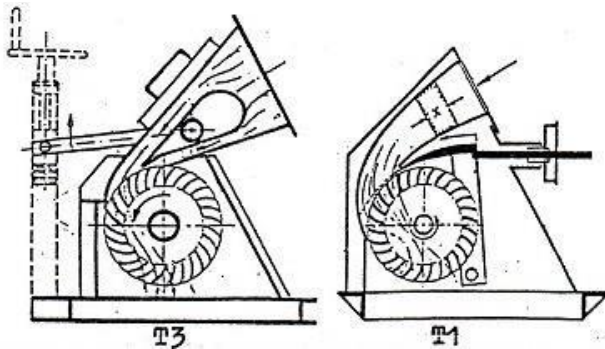
Dari kesederhanaannya jika dibanding dengan jenis turbin yang lain, maka turbin *cross flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu turbin Pelton bentuknya sangat rumit sehingga untuk pembuatan harus dengan metode tuang. Demikian juga runner turbin Francis, Kaplan dan Propeller pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang. Tetapi untuk turbin *cross flow* konstruksinya sederhana dan dapat dibuat bengkel bengkel, atau di sekolah menengah

kejuruan yang membuka program teknik mesin dan mempunyai peralatan mesin las listrik, asetelin, mesin bor, mesin gerinda, mesin bubut dan peralatan kerja bangku.

Turbin *Cross Flow* dibedakan dalam dua tipe yaitu:

- a. Tipe T1, yaitu Turbin *Cross flow* kecepatan rendah.
- b. Tipe T3, yaitu Turbin *Cross flow* kecepatan tinggi

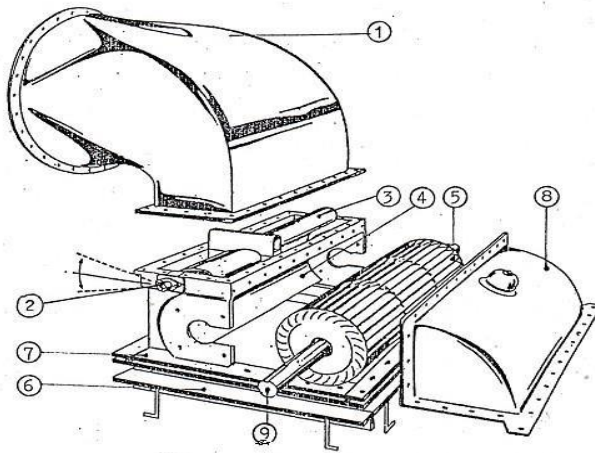
Kedua tipe tersebut sebagai berikut;



Gambar 2.5. Dua Tipe Turbin *Cross Flow* (Haimer, 1960)

Komponen komponen turbin *Cross flow* sebagai berikut:

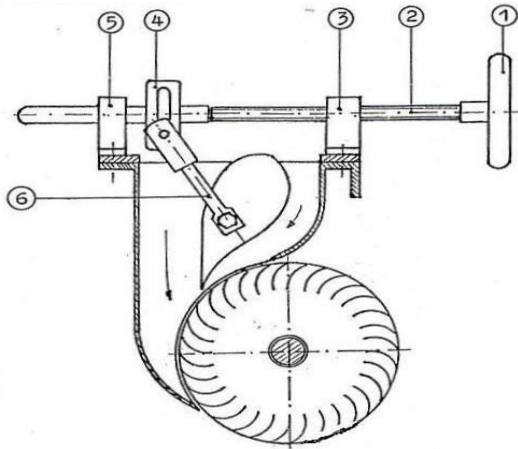
- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. Elbow | 6. Rangka pondasi |
| 2. Poros katup | 7. Rumah turbin |
| 3. Katup | 8. Tuup turbin |
| 4. Nozel | 9. Poros runner |
| 5. Runner | |



Gambar 2.6. Komponen turbin *Cross flow* (Haimmer, 1960)

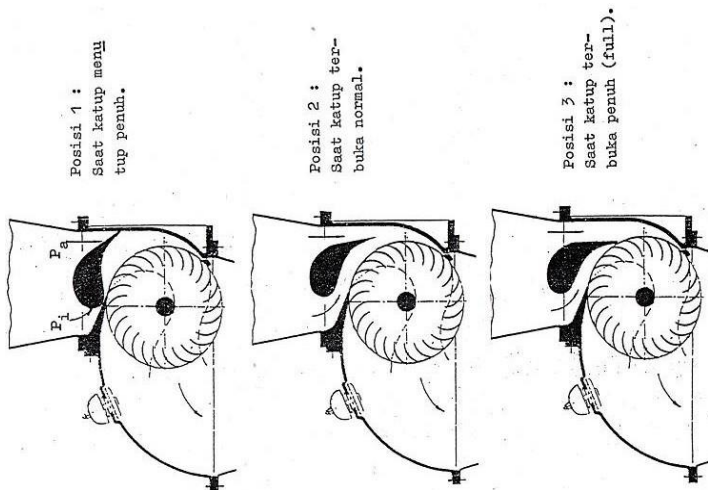
E. Pengoperasian Turbin *Cross Flow*

Buka pintu utama disekitar bendungan agar air dapat mengalir melalui kanal ke bak penenang, setelah permukaan air naik setinggi 2,5 meter diatas mulut pipa pesat hingga air mulai ada yang terbuang melimpah melalui saluran limpah, maka pada saat itu pula pintu dimulut pipa pesat dibuka hingga pipa pesat penuh terisi namun pada saat air tidak dapat masuk turbin sebab katup tertutup penuh, kemudian buka katup secara berkala dengan perantara regulator tangan sampai air dapat keluar dari *nozzel* dan akhirnya memutar *runner*, setelah *runner* berputar normal lepaskan pasak penghubung katup regulator, proses pengaturan katup ini selanjutnya dilakukan oleh governor mekanis. Selama pengoperasian awal ini generator jangan dahulu dihubungkan dengan beban. Untuk selanjutnya jika kondisi sudah stabil baru beban dihidupkan. Regulator Sebagai Komponen Kontrol Turbin *Cross Flow*.



Gambar 2.7. Regulator dan Perlengkapannya (Bachtiar, 1988)

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. Roda tangan | 4. Engsel |
| 2. Poros berulir | 5. Bantalan Penghantar |
| 3. Bantalan berulir | 6. Tuas Perantara |



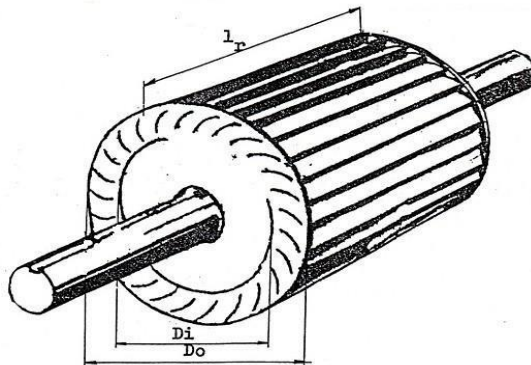
Gambar 2.8 Tiga Model Posisi Katup (Haimerl, 1960)

F. Merakit Komponen Turbin *Cross-Flow*

Komponen penggerak mula turbin *cross flow* adalah *nozzel*, katup, *runner*, poros *runner*, tutup turbin dan rangka pondasi, berikut ini akan dijelaskan proses pembuatan dan perakitan komponen-komponen penggerak mula.

1. Runner

Runner turbin *cross flow* terdiri dari tiga macam komponen yaitu piringan (disc) kanan dan kiri, sudu-sudu dan poros. Setelah dirakit runner turbin *cross flow* berbentuk sebuah tabung (*drum shape*) yang di sekelilingnya dipasang sejumlah sudu-sudu. Sudu-sudu tersebut berbentuk segi empat yang bagian lebarnya dilengkungkan dengan sudut busur tertentu. Kedua ujung sudu-sudu ini melekat pada piring kiri dan kanan yang disambung dengan konstruksi las untuk diameter besar (diatas 320 mm di las dalam dan luar) tetapi untuk diameter kecil (kurang dari 200 mm di las bagian luar), demikian juga hubungan antara poros dengan piringan disambungkan dengan konstruksi las. Gambar 2.9. memperlihatkan konstruksi runner secara utuh.



Gambar 2.9. Runner (Bachtiar, 1988)

2. Ukuran Runner.

Telah direncanakan sebelumnya bahwa diameter luar runner $D_o = 80$ mm, direncanakan perbandingan diameter dalam dan diameter luar adalah $D_i/D_o = 2/3$, hal ini sesuai dengan perencanaan Pabrik Turbin Ossberger yang merumuskan bahwa dengan perbandingan diameter seperti di atas akan didapatkan efisiensi turbin terbesar (Haimerl, 1960), dengan demikian maka:

$$D_i = 2/3 \cdot 80 \text{ mm} \quad D_i = 54 \text{ mm}$$

Runner dipasang diluar *nozzel*, dengan demikian panjang runner direncanakan 5 mm lebih panjang dari panjang penampang masuk/keluar *nozzel* yaitu:

$$L_r = 12 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm} \quad L_r = 12,5 \text{ cm}$$

Dengan demikian perbandingan panjang runner dengan diameter luar runner adalah:

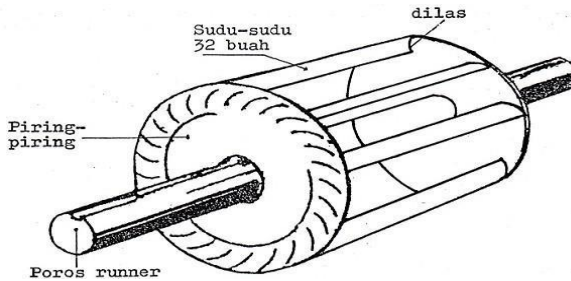
$$L_r/D_o = 12,5 \text{ cm} / 8 \text{ cm} \quad L_r/D_o = 1,56$$

Sedangkan perbandingan L_r/D_o yang dianjurkan maksimal sampai 3,5 (Haimerl, 1960), maka untuk kasus ini masih dalam batas-batas toleransi.

3. Bahan dan Pembuatan Runner.

Sesuai dengan perencanaan maka runner dibuat dengan 4 variasi sudu yaitu 12 blades, 16 blades, 20 blades, dan 24 blades. Untuk membuat sebuah runner, ada dua macam komponen yang terlebih dahulu harus disiapkan yaitu piring-piring dan sudu-sudu. Piring-piring yang dibutuhkan berjumlah dua buah yang dibuat dari plat baja carbon sedang ST.37 tebal 4 mm dibentuk menggunakan mesin las potong. Diameter luar piringan tersebut 80 mm dan di tengah-tengahnya dibuat lubang berdiameter 19 mm yang merupakan lubang masuk dari poros runner. Sedangkan sudu-sudu dibuat dari plat baja mutu tinggi seperti ST 50

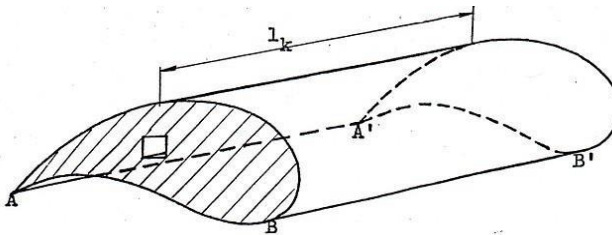
yang diharapkan mampu dan tahan menerima tekanan-tekanan air. Plat bahan sudu tadi tebalnya sekitar 2 mm tetapi sisi dari kedua tepi panjangnya dibuat lonjong yang berguna untuk mengurangi rugi-rugi tahanan dan untuk memperlancar kerja air masuk ke dalam/keluar runner. Pelat sudu tadi kemudian dilengkungkan sesuai dengan busur sudu yang telah direncanakan. Untuk memudahkan pengerjaan, dapat juga sudu-sudu tadi dibuat dari pipa baja tebal 2 mm berdiameter dalam 26 mm atau sekitar 1 inchi dari bahan baja mutu tinggi (sesuai dengan hasil perencanaan busur sudu seperti yang akan dijelaskan pada bab uji efisiensi sudut masuk $\theta = 15^\circ$). Hal ini di pasaran tidak sulit untuk mendapatkannya, dengan melihat kondisi warna, ketahanan karatnya, permukaan yang licin, maka dengan gejala-gejala seperti itu kita akan mendapatkan bahan yang berkualitas. Pipa tersebut setelah dipotong sesuai dengan panjang runner yang direncanakan, lalu dibelah menggunakan las karbit menjadi beberapa bagian bahan sudu. Jumlah sudu-sudu yang diperlukan berjumlah 12, 16, 20, 24 blades sesuai dengan sudu-sudu yang dipakai untuk turbin *cross flow* tipe T_3 yaitu Turbin *cross flow* putaran cepat (Meier, 1981). Pekerjaan selanjutnya adalah merakit elemen-elemen itu menjadi sebuah runner menggunakan las listrik, prosesnya adalah piring-piring dipasang di kiri dan kanan pada sebuah poros pembantu, kemudian sudu-sudu dipasang diantara keduanya dengan posisi kemiringan yang tepat. Untuk sementara penyambungan sudu dengan piringan sekedar untuk memposisikan seluruh sudu pada piringan, jadi tidak terlalu kuat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar berikut ini.



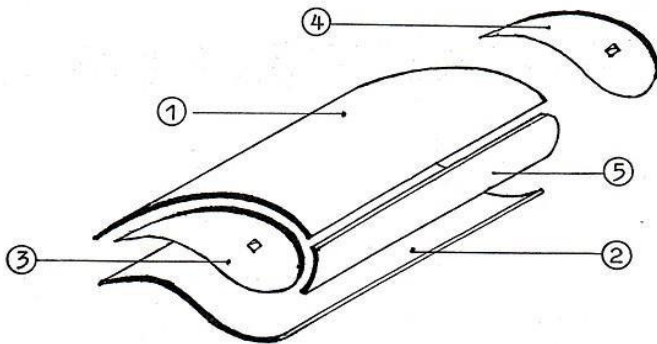
Gambar 2.10. Proses Merakit Runner (Bachtiar, 1988)

4. Katup

Katup turbin *cross flow* berfungsi untuk mengatur debit air yang masuk ke runner dan sekaligus berfungsi sebagai rem yaitu memperlambat atau menghentikan sama sekali kerja turbin dengan cara merubah posisi katup melalui perantara regulator yang dioperasikan secara manual.



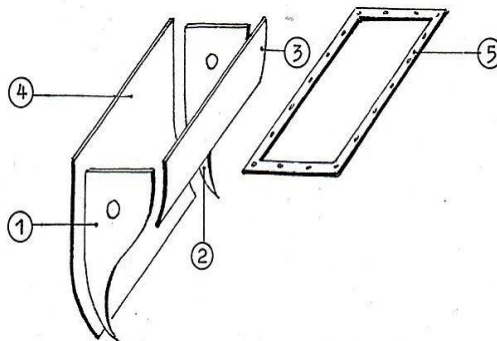
Gambar 2.11. Katup (Bachtiar, 1988)



Gambar 2.12. Komponen Rakitan Katup (Bachtiar, 1988)

5. Nozzel

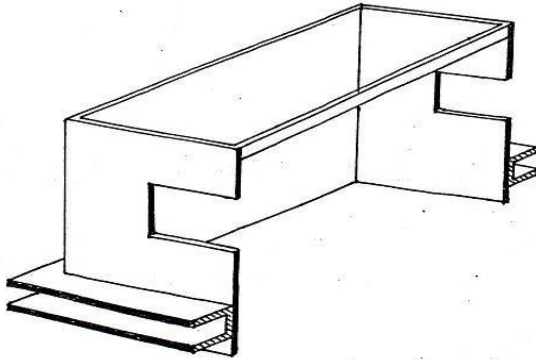
Nozzel berfungsi untuk menaikkan kecepatan air masuk ke runner. *Nozzel* terdiri dari lima komponen berbentuk plat yang masing masing memiliki ukuran panjang, lebar, dan kelengkungan spesifik yang dibuat sedemikian rupa. Kelima komponen itu ialah komponen 1 dan 2 adalah dinding nozzle, 3 dan 4 adalah dinding depan dan belakang, komponen ke 5 adalah klem penyambung. Seperti terlihat pada gambar 2.13.



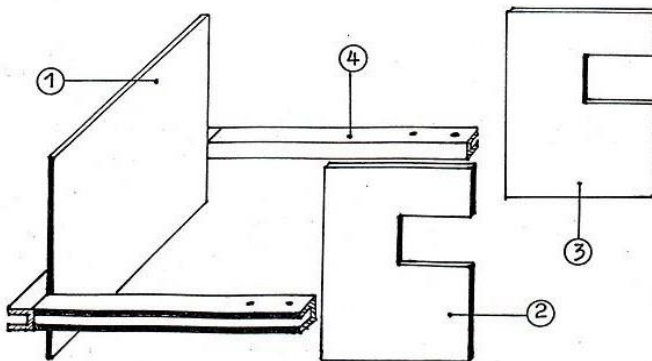
Gambar 2.13. Nozzel (Bachtiar, 1988)

6. Tutup Turbin

Tutup turbin berfungsi untuk melindungi, mengamankan komponen-komponen turbin yang bergerak/dinamis, disamping untuk mendukung konstruksi turbin secara keseluruhan sehingga bangunan turbin kuat dan kokoh.



Gambar 2.14 Tutup Turbin (Bachtiar, 1988)



Gambar 2.15. Rakitan Tutup Turbin (Bachtiar, 1988)

G. Melukis Busur Sudu dengan Analisis Tiga Kecepatan

Variabel-variabel awal yang dibutuhkan dalam analisis segi tiga kecepatan antara lain:

1. Kecepatan air masuk runner (V_r)

Dalam hal ini kecepatan air masuk runner = kecepatan air keluar nozzle V_n yaitu : $V_r = V_n$

$$V = K (2gH)^{1/2}$$

$$r \text{ n efs (2.2)}$$

dengan;

K_n	= koefisien tahanan nozel = 0,96
g	= Percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/det ²
H_{efs}	= head efektif sebenarnya

2. Kecepatan keliling diameter luar runner (U_o)

Dalam hal ini diameter luar runner U_o dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$U_o = 0,5V_r \text{ (2.3)}$$

Hasil percobaan para ahli menyimpulkan bahwa dengan menentukan diameter luar $U_o = 0.5.V_r$ ternyata didapatkan efisiensi turbin yang paling besar, kebenaran tentang kesimpulan ini akan di uji pada uraian nanti dengan memasukkan macam macam nilai perbandingan U_o/V_r ke dalam analisis segitiga kecepatan seperti yang dimaksud.

3. Kecepatan Keliling diameter dalam runner (U_i)

Dalam hal ini nilai U_i dapat ditentukan dari perbandingan diameter dalam dan diameter luar runner yaitu;

$$U_i = (D_i/D_o)U_o.....(2.4)$$

dengan;

D_o = diameter luar runner

D_i = diameter dalam runner

θ = Sudut air masuk sudu

Hasil pengujian Pabrik turbin Osberger Jerman Barat, untuk mendapatkan efisiensi turbin yang tertinggi direkomendasikan sudut air masuk 15° hal ini disebabkan energi kecepatan air masuk sudu runner lebih banyak termanfaatkan terbukti dari hasil perbandingan kecepatan air keluar dari runner dengan kecepatan air masuk jauh lebih kecil dibanding apabila sudut air masuk sudu lebih besar atau lebih kecil dari 15° kebenaran tentang kesimpulan ini dibuktikan dengan memvariasi sudut θ (Haimerl, 1960).

Selanjutnya dengan data data di atas dapat di tentukan model busur sudu sekaligus dapat diketahui berapa persen energi kecepatan air yang dimanfaatkan oleh runner. Untuk memudahkan analisis, nilai-nilai variabel diatas skala perbandingan.

Dengan analisis segi tiga kecepatan dapat ditentukan dengan dua tahap yaitu;

Tahap 1, Air masuk runner

V_r = Kecepatan air masuk sudu rim luarrunner

U_o = Kecepatan keliling diameter luar runner

U_i = Kecepatan keliling diameter dalam runner

V_f = kecepatan relative air keluar

V_{fi} = Kecepatan relatif air keluar sudu rim dalam

V_i = kecepatan air keluar sudu rim dalam.

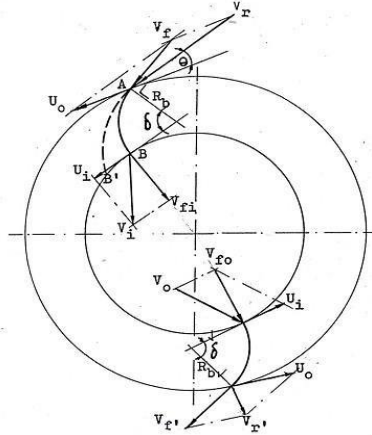
Tahap 2, Air Keluar Runner

V_o = Kecepatan air masuk sudu rim dalam runner

V_{fo} = kecepatan relative air masuk sudu rim dalam

V_{r1} = Kecepatan relatif air keluar sudu rim luar

V_{f1} = kecepatan relatif air keluar sudu rim luar.



Gambar 2.16. Analisis Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta = 15^\circ$ (Bachtiar, 1998)

Busur A-B yang dijadikan mal untuk menentukan kelengkungan dan posisi sudu-sudu yang dipasang diantara dua buah piringan. Hal ini tidak begitu sulit dipraktikkan dilapangan yang lebih diutamakan ialah ketelitian dan keuletan dalam bekerja. Titik B seperti pada gambar diatas merupakan titik ujung dari busur sudu A-B pada saat runner berputar kekiri, titik B akan mengalami perpindahan relatif sejauh B-B' dan waktu yang diperlukan untuk perpindahan relatif dari B ke B' sama dengan waktu yang diperlukan oleh suatu titik air guna menempuh busur dari titik A ke titik B dengan kecepatan relatif.

4. Diameter luar runner (D_o) Diameter luar runner $D_o = 80$ mm Diameter dalam $D_i = 54$ mm Sudut air masuk sudu (θ)

Hasil pengujian pabrik turbin Ossberger Jerman Barat, untuk mendapatkan efisiensi turbin yang tertinggi direkomendasikan besar sudut air masuk sudu $\theta = 150^\circ$. Hal ini disebabkan energi kecepatan air masuk sudu runner lebih banyak termanfaatkan terbukti dari hasil perbandingan kecepatan air keluar dari runner dengan kecepatan air masuk runner jauh lebih kecil dibanding dengan apabila sudut air masuk sudu lebih besar atau lebih kecil dari 150° (Haimerl, 1960). Kebenaran tentang kesimpulan ini akan dibuktikan pada pembahasan nanti dengan memvariabelkan sudut θ . Dalam perencanaan turbin seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, penulis memilih harga sudut $\theta = 150^\circ$

Selanjutnya dengan data-data di atas dapat ditentukan model busur sudu sekaligus dapat diketahui berapa persen energi kecepatan air yang dimanfaatkan oleh runner. Untuk memudahkan analisa, nilai-nilai dari variabel di atas diskalakan yakni,

$$1 \text{ mm} = 0,22 \text{ m/det}$$

Maka:

$$V_r = 6,8 \text{ m/det} = 31 \text{ mm}$$

$$U_o = 3,4 \text{ m/det} = 15,5 \text{ mm}$$

$$U_i = 2,26 \text{ m/det} = 10,3 \text{ mm}$$

Dan skala untuk panjang adalah 1 : 1 maka:

$$D_o = 80 \text{ mm}$$

$$D_i = 54 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa segi tiga kecepatan pada sudut masuk $\theta = 15^\circ$ seperti dijelaskan Gambar 2.16 diketahui kecepatan air keluar dari sudu tahap 2 ialah:

$$V_r = 8,5 \text{ mm skala}$$

Maka,

$$V_r = 1,85 \text{ m/det}$$

Setelah kecepatan air keluar dari runner (V_r) diketahui, maka perbandingan kecepatan air keluar runner tahap 2 dengan kecepatan air masuk runner tahap 1 dapat diketahui yaitu:

$$Z = V_r / V_r \quad (2.5)$$

$$Z = 1,85 \text{ m/det} / 6,8 \text{ m/det}$$

$$Z = 0,27$$

Semakin kecil harga perbandingan Z , maka perencanaan busur sudu akan semakin baik, artinya banyak energi kecepatan air dimanfaatkan oleh runner sehingga prestasi turbin lebih maksimum. Dari analisa gambar 2.16 terlihat busur A-B dengan jari-jari R_b ,

$$R_b = 13 \text{ mm skala}$$

$$R_b = 13 \text{ mm}$$

Busur A-B dengan jari-jari R_b inilah yang dijadikan mal untuk menentukan kelengkungan dan posisi sudu-sudu yang dipasang diantara dua buah piringan. Hal ini tidak begitu sulit dipraktekkan di lapangan yang lebih diutamakan ialah ketelitian dan keuletan dalam bekerja. Bahan sudu dipilih pipa baja ST. 50 diameter 26 mm atau sekitar 1 inci, besar sudut yang membentuk busur sudu adalah $\delta = 75^\circ$. Dengan cara membelah menggunakan las busur asetilin-oksigen, setiap pipa 1 inci panjang 125 mm dapat dibuat sudu sebanyak 4 buah dan ada bagian pipa yang terbuang, jumlah sudu seluruhnya yang dibutuhkan sebanyak 20 buah, maka pipa 1 inci yang diperlukan sekitar 60 cm.