

DESAIN ULANG TURBIN AIR KAPLAN

TUGAS AKHIR

Disusun untuk mencapai gelar Sarjana (S1)

Jurusan Mesin Peminatan Konversi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Indonesia

PORKAS SURYA RAMADHAN H.

012860006



**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
SERPONG
1995**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS SARJANA

DENGAN JUDUL

DESAIN ULANG TURBIN AIR KAPLAN

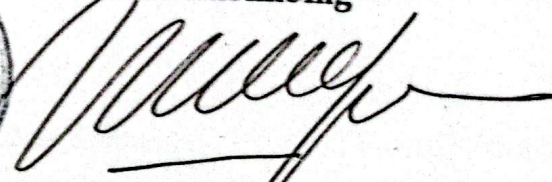
Ketua Jurusan Teknik Mesin



(Ir. Sasi Kirono M.Sc)



Dosen Pembimbing



(Ir. Houtman P. Siregar M.Sc)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan Karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Disain Ulang Turbin Air Kaplan, dimana tugas ini merupakan syarat untuk dapat mengikuti Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Indonesia.

Dalam Tugas Akhir ini penulis membahas tentang Disain Ulang Turbin Air jenis Kaplan dengan dengan poros vertikal untuk pembangkit tenaga listrik.

Adapun maksud dan tujuan penulisan Tugas Akhir ini untuk memberikan kesempatan kepada penulis agar dapat menerapkan teori-teori yang diperoleh dibangku kuliah dengan praktek yang ada dilapangan, sebagai bekal untuk terjun ke masyarakat kelak.

Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Sasi Kirono MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia.
2. Bapak Ir. M Henky Sihombing, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin dan Koordinator Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia.
3. Bapak Ir. Houtman P Siregar MSc, selaku Dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan juga pengarahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Kermite, sebagai Dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

5. Bapak Ir. G. Pandegiro, selaku Purek II serta Dosen mata kuliah Turbin Air yang telah banyak memberikan bimbingan dan semangat sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Mama dan Papa juga adik-adik Ir. Burju Martua H dan Dinda Granita atas segala-galanya yang telah kalian berikan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Segenap Dosen dan karyawan pada Jurusan Teknik Mesin yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan bantuan, petunjuk, serta saran kepada penulis.
8. Adik-adik teman satu rumah dari Jurusan Teknik Manajemen Industri, Teknik Mesin dan Teknik Elektro Institut Teknologi Indonesia atas segala bantuannya.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa yang saya hormati dan telah memberikan bantuan moril maupun materil terutama dari Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga apa yang penulis uraikan dalam Tugas Akhir ini dapat kiranya bermanfaat bagi semua pihak.

Serpong, 4 Desember 1995

Penulis

Porkas Surya Ramadhan H

ABSTRAK

Salah satu alternatif penyediaan energi adalah dengan memanfaatkan tenaga air untuk menghasilkan tenaga listrik. Pada kesempatan ini penulis mendesain ulang sebuah Turbin Air Kaplan untuk menghasilkan tenaga listrik dengan head efektif 6 m (meter) dan kapasitas 20 m³/det.

Dari kondisi itu didapatkan tenaga listrik 1,2 MW. Dengan dilakukannya perancangan ulang terhadap Turbin Air Kaplan diperoleh parameter turbin yang meliputi :

Diameter sudu jalan (D1)	2,5 m
Jumlah sudu jalan	Gottinger
Diameter sudu pengarah (Dz)	3,1 m
Jumlah sudu pengarah	22 buah
Tipe sudu pengarah	Gottinger

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	ii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Tujuan Permasalahan	2
I.3. Pembatasan Masalah.....	2
I.4. Metodologi Pengambilan Data.....	2
I.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Mesin-Mesin Fluida.....	4
II.2 Turbin Air.....	4
II.3 Akibata Pemakaian Turbin.....	7
II.4 Dasar Perencanaan dan Penelitian Turbin.....	9
II.5 Sifat-Sifat Turbin Air.....	9
II.6 Macam-Macam Konstruksi Turbin Air.....	9
II.7 Beberapa Pertimbangan Sudu Jalan.....	11
II.8 Jenis-Jenis dari Bentuk Sudu Jalan.....	11

II.9	Sfesifikasi Turbin Air.....	12
II.10	Pemilihan Tipe Turbin Air.....	12

BAB III DIAGRAM ALIR PERENCANAAN

III.1	Data Head Air.....	15
III.2	Perhitungan Dimensi Utama Turbin.....	15
III.3	Analisa Gaya.....	16
III.4	Perencanaan Rumah Siput.....	16
III.5	Kavitasi Dan Putaran Kritis.....	17
III.6	Bantalan.....	18

BAB IV PENGOLAHAN DATA

IV.1	Perhitungan Tinggi Sebenarnya.....	19
IV.2	Perhitungan Diameter luar	19
IV.3	Perhitungan Dimensi Sudu Jalan.....	21
IV.4	Perhitungan Dimensi profil Sudu jalan.....	25
IV.5	Pemilihan Letak profil	28
IV.6	Penentuan Jarak.....	30
IV.7	Penentuan panjang sudu jalan.....	31
IV.8	Penentuan fungsi profil.....	31
IV.9	Penentuan Kedudukan profil.....	32
IV.10	Angka reaksi.....	32

IV.11	Caramelukis bentuk sudu.....	33
IV.12	Perhitungan berat sudu.....	34
IV.13	Perhitungan sudu pengarah.....	34
IV.14	Gaya-gaya yang terjadi pada sudu.....	39
IV.15	Tegangan yang timbul pada sudu jalan.....	41
IV.16	Gaya-gaya yang terjadi pada sudu pengarah.....	44
IV.17	Perhitungan poros utama turbin air.....	45
IV.18	Perencanaan rumah siput.....	47
IV.19	Sistem penyaluran air.....	49
IV.20	Kavitasi dan putaran kritis.....	55
IV.21	Bantalan.....	58

BABV KESIMPULAN

Kesimpulan	66
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA.....	67
----------------------------	-----------

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Pembangunan di Indonesia hingga saat ini tergolong pesat. Pertumbuhan ekonomi Indonesia diakui dunia sangat mengesankan. Salah satu faktor penentu keberhasilan pembangunan di Indonesia adalah penyediaan energi bagi fasilitas-fasilitas penunjang seperti pabrik-pabrik, kantor-kantor, dll. Energi yang paling besar peranannya untuk keberhasilan pembangunan di Indonesia antara lain energi dari minyak bumi, gas alam, listrik, batu bara, nuklir, dsb.

Pada tulisan ini dibahas mengenai energi listrik. Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang tersebar diseluruh Indonesia. Sebagai contoh PLTA Sutami, PLTA Selorejo, PLTA Jatiluhur, PLTU Paiton, dsb. Kalau kita perhatikan secara seksama pembangkit-pembangkit listrik yang ada di Indonesia, terlihat bahwa sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia dibangkitkan dengan sarana tenaga air.

Disini dibahas secara garis besar cara kerja pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Air yang menjadi sumber tenaga dialirkan melalui ruangan yang berisi turbin. Aliran air memutar turbin tersebut. Turbin tersebut dihubungkan dengan generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Karena turbin berputar, maka generator pun bekerja. Terciptalah energi listrik sesuai dengan tenaga yang dimiliki.

Karena turbin air merupakan elemen penting untuk dapat menghasilkan energi listrik, maka penulis tertarik untuk menyumbangkan ilmu yang telah dipelajari untuk merancang

turbin air beserta ruangnya sehingga transformasi energi mekanik ke energi listrik dapat dihasilkan dengan optimal.

I.2. TUJUAN PERENCANAAN

Tujuan perencanaan ini adalah untuk menganalisis dan merancang turbin air yang membuat transformasi energi mekanik menjadi energi listrik berlangsung secara optimal.

I.3. PEMBATAAN MASALAH

Pada tulisan ini, penulis membatasi ruang lingkup permasalahan yaitu :

- Menganalisis turbin air
- Menganalisis perhitungan sudut jalan
- Menentukan spesifikasi turbin

Sedangkan materi yang bersifat mendukung direncanakan seperlunya.

I.4. METODOLOGI PENGAMBILAN DATA

Langkah penyelesaian masalah dilakukan dengan cara senagai berikut :

- a. Studi literatur, dilakukan sebagai dasar teori untuk perhitungan.
- b. Wawancara, dilakukan untuk hal-hal yang praktis dari lapangan dan sumber ilmu pengetahuan dari ahli
- c. Survey untuk mendapatkan data-data yang diperlukan untuk perencanaan.

I.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri atas :

- Bab pertama, berisi latar belakang pentingnya penelitian dilakukan, batasan masalah serta tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini.
- Bab Kedua, berisikan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan turbin air dan sudu jalan, serta pembahasan dasar perhitungan yang digunakan pada tugas akhir ini.
- Bab ketiga, berisikan metodologi perancangan dan urutan perancangan.
- Bab keempat, berisikan perhitungan-perhitungan sudu turbin air beserta perhitungan-perhitungan lain yang berguna dalam merancang turbin.
- Bab kelima, berisikan kesimpulan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Mesin mesin Fluida

Mesin- mesin fluida adalah mesin yang mengubah energi mekanis fluida menjadi kerja poros atau sebaliknya untuk mengubah kerja poros menjadi energi mekanis fluida. Jenis yang pertama, dimana mengubah mekanis fluida menjadi kerja poros biasa disebut " Mesin Tenaga", sebagai contoh Turbin air, Kincir Air, Motor Hidraulis, sedangkan jenis yang kedua sebagai contoh adalah pompa air.

2. 2. Turbin Air

Telah kita ketahui bahwa suatu tenaga tidak dapat dibangkitkan atau dimusnahkan begitu saja, satu-satunya kemungkinan yang ada hanyalah mengubah suatu bentuk tenaga menjadi bentuk tenaga lainnya.

pengubahan energi ini dilaksanakan pada sudu jalan yang dihubungkan dengan poros dan melalui poros inilah energi mekanis dapat dimanfaatkan. Didalam perencanaan ini, tenaga mekanis yang dihasilkan dipakai untuk menggerakkan generator listrik.

Mengingat cara kerja air dalam alirannya terhadap sudu-sudu turbin, maka turbin air dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu;

A. Turbin Aksi/Implus

Turbin aksi adalah turbin dimana proses ekspansi dari fluida kerjanya hanya terjadi didalam

sudu-sudu pengarahnya saja, sehingga diharapkan tidak terjadi penurunan tekanan di dalam sudu jalannya. sebagai contohnya adalah turbin Pelton.

B. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah dimana turbin dimana proses ekspansi dari fluida kerjanya terjadi baik di sudu pengarahnya maupun di sudu jalannya.

Sebagai contoh turbin ini adalah Turbin Kaplan.

Untuk menentukan jenis turbin yang sesuai dengan data-data yang diberikan maka perlu mengetahui besarnya putaran spesifik (n_s) dan (n_q) yang dinyatakan oleh hubungan sebagai berikut;

$$n_q = \frac{n \cdot Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$n_s = 3,33 \cdot n_q$$

Dengan mengetahui besarnya n_s dan n_q ini, maka jenis turbin dapat ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel II.1. Putaran Spesifik Untuk Macam-macam Jenis Turbin Air⁽²⁾

No	Jenis Turbin		n_s	n_f
1.	Pelton		8 - 30	3 - 10
2.	Francis	Put. rendahnya	60 - 123	18 - 37
		Put. normal	125 - 225	37 - 67
		Put. tinggi	225 - 350	67 - 104
3.	Kaplan/Propeler			
		8 sudu	280 - 530	83 - 158
		6 sudu	380 - 650	113 - 193
		5 sudu	460 - 800	137 - 238
		4 sudu ✓	570 - 880	169 - 262
		3 sudu	670 - 1070	199 - 318

Perbedaan utama antara turbin air jenis pelton dengan jenis lainnya adalah pada cara kerja air terhadap sudu. disamping itu perbedaan antara turbin Francis dengan turbin Kaplan terutama adalah dalam hal perencanaan sudu jalannya.

Turbin Kaplan dan Turbin Propeler adalah sama, perbedaan hanya pada pengaturan sudu jalan, pada turbin Kaplan sudu jalannya dapat diatur sedangkan pada Propeler sudu jalannya tetap.

Perbedaan dengan turbin Francis ialah pada turbin Francis tidak dapat memakai tabung sedangkan untuk turbin Kaplan/Propeler dapat memakai rumah tabung ataupun rumah siput, tergantung dari kebutuhan.

2.3. Akibat Pemakaian Turbin

Pemakaian mesin tenaga dengan menggunakan tenaga potensial air ini mempunyai keuntungan-keuntungan kalau dibandingkan dengan jenis penggerak lainnya seperti turbin uap, motor bakar, mesin uap disamping kelemahan-kelemahannya.

Adapun keuntungan dari masing-masing turbin tersebut seperti yang diterangkan sebagai berikut.

Keuntungan pemakaian Turbin air;

1. Tidak membutuhkan bahan bakar, hal ini sangat menguntungkan bagi daerah-daerah pedesaan yang terpencil dimana transportasi dan komunikasi sangat sulit.
2. Konstruksi sangat sederhana dibanding dengan dengan mesin penggerak lainnya yang rumit, sehingga perawatannya mudah dan murah.
3. Mempunyai umur pemakaian yang cukup panjang karena beroperasi pada temperatur yang tidak terlampau tinggi. Biasanya satu pembangkit tenaga listrik tenaga air dapat berumur lebih kurang tiga puluh tahun.
4. Tidak menimbulkan polusi.
5. Biaya operasi murah.
6. Elemen-elemen turbin relatif kuat.

Adapun kerugian-kerugian yang dikandung jika menggunakan turbin air adalah;

1. Biaya investasi untuk yang pertama kali adalah besar (untuk pembangunan bendungan, pintu air, pipa dan lain-lain)
2. Harus mempunyai persediaan air yang kontiniu.
3. Bersifat stationer, sehingga tidak dapat di pindah-pindahkan tempatnya.
4. Tidak dapat dipasang disembarang tempat.

5. Dipengaruhi oleh iklim (curah hujan)
6. Banyak memakan tempat.

Adapun keuntungan sampingan pemakaian turbin air yaitu;

1. Waduk bendungan juga berfungsi sebagai reservoir air.
2. Dapat dipergunakan sebagai irigasi.
3. Dapat dijadikan untuk tempat perikanan.
4. Dapat mencegah bahaya banjir.

2.4. Dasar Perencanaan dan Penelitian Turbin

Dalam perencanaan sebuah turbin haruslah kita melihat kepada data-data yang ada serta situasi dan kondisi untuk menempatkan turbin tersebut.

Faktor-faktor yang penting dalam perencanaan antara lain;

- fungsi.
- pembuatan.
- pemasangan.
- pemakaian.
- perawatan.

Disamping itu juga harus mengutamakan agar efisiensi turbin semaksimal mungkin. dalam perencanaan turbin air, terutama sekali ditekankan terhadap perencanaan sudu jalannya hingga dapat memenuhi sifat-sifat aliran air dan putaran turbin yang diinginkan, serta kekuatan mekanisnya. Sebagai dasar untuk memilih macam roda jalan maka perlu diperhatikan:

- Efisiensi harus setinggi mungkin.

- Putaran yang akan dihubungkan dengan turbin.
- Bahaya kavitasi.

Dari data-data yang tersedia dan dengan pertimbangan yang telah disebutkan pada bagian sebelum ini, maka dalam perencanaan harus diusahakan sedemikian sehingga dapat menghasilkan turbin dengan efisien setinggi mungkin dan dengan pembuatan serta perawatan yang sederhana, murah dan mudah.

2. 5. Sifat-sifat Turbin Air

Adapun sifat-sifat turbin air adalah seperti yang dterangkan berikut ini:

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air, sedangkan densiti air besar maka akibatnya putaran dari turbin tidak dapat besar.
2. Pada umumnya cara kerja reaksinya lebih diutamakan untuk memperoleh putaran yang lebih tinggi.
3. Cara kerja aksi, dipergunakan bila head yang tersedia adalah sangat tinggi yaitu menggunakan roda pelton.

2. 6. Macam-macam Konstruksi Turbin Air

Dalam konstruksi turbin air terdapat bermacam-macam konstruksi, diantaranya adalah sebagai berikut;

1. Turbin Kaplan Spiral
2. Turbin Kaplan Pipa:
 - a. dengan poros vertikal
 - b. dengan poros horizontal

3. Turbin Kaplan dengan pipa miring.

Turbin ini mirip dengan jenis nomor dua, hanya letak porosnya miring.

dalam hal ini penulis menjelaskan jenis turbin air Kaplan saja, yang dikarenakan pada perencanaan tugas akhir ini penulis menggunakan turbin air kaplan.

Dengan adanya bermacam-macam konstruksi ini maka pemakaiannya juga berbeda.

Untuk Turbin Kaplan Spiral;

- a. Debit air yang besar
- b. Head yang tinggi
- c. Biaya mahal dengan turbin tertanam dibeton
- d. Saluran masuk berupa spiral sehingga terjadi kerugian belokan.

Untuk Turbin Kaplan Pipa;

- a. Head yang tidak terlalu tinggi
- b. Dipergunakan untuk debit air yang kecil maupun besar
- c. Biaya mahal dan turbin tertanam di beton

Untuk turbin kaplan dengan pipa miring penggunaannya sama dengan turbin Kaplan pipa, perbedaannya ialah pada turbin dengan pipa miring leatak porosnya miring, hal ini tergantung pada keadaan yang tersedia seperti;

- a. Turbin dapat ditanam dalam beton atau tidak.
- b. Biaya murah dan lebih kecil.

2. 7. Beberapa Pertimbangan Perencanaan Sudu Jalan

Dengan mengingat bahwa bagian yang sangat utama adalah sudu jalan, maka dalam perencanaan haruslah kita membuatnya seteliti mungkin dengan demikian dapat terwujud suatu turbin air yang mempunyai efisien kerja yang maksimal.

Ada beberapa hal bahwa tidak semua air yang mengalir kedalam turbin dapat dirubah energinya menjadi energi mekanis, penyebabnya antara lain;

- Kerugian energi kinetis ketika meninggalkan sudu jalan- kerugian gesekan antara fluida dengan permukaan dinding
- Kerugian karena tumbukan
- Kerugian mekanis
- Kerugian karena adanya turbulensi
- Kerugian lainnya

2. 8. Jenis-jenis dari Bentuk Sudu Jalan

Bentuk ini diambil untuk menentukan sifat-sifat dari bentuk sudu jalan yaitu;

- a. Roda radial untuk putaran rendah. Roda Francis, untuk putaran menengah.
- c. Roda Ulir untuk putaran tinggi.
- d. Roda Axial, untuk putaran tinggi.

Sedangkan untuk menentukan jenis turbin yang mana akan dibuat, diambil berdasarkan putaran spesifik (n_s) dan (n_q), kemudian baru ditentukan jenisnya sesuai dengan tabel yang telah diterangkan di depan.

2. 9. Spesifikasi Turbin Air

Dalam perencanaan ini akan dibahas mengenai pemilihan jenis turbin air beserta perhitungan-perhitungan dengannya, adapun data spesifikasi yang digunakan untuk perencanaan turbin air ini adalah;

$$H_n = 6,0 \text{ m}$$

$$P_n = 1200 \text{ kw}$$

$$n = 165 + 1000 \text{ rpm}$$

2. 10. Pemilihan Tipe Turbin Air

Pemilihan tipe turbin air ini, langkah pertama yang harus di ambil adalah dengan menghitung putaran sfesifik (n_s) dan (n_q), karena dengan diketahuinya putaran spesifik maka dapat ditentukan jenis turbin air yang akan dikehendaki sesuai dengan kebutuhan.

Putaran spesifik adalah kecepatan turbin model (turbin dengan bentuk sama tetapi skala berlainan) yang bekerja pada tinggi satu satuan tinggi dan dengan debit satu satuan debit serta menghasilkan daya (keluaran) satu satuan daya. Dengan data-data spesifikasi seperti telah diketahui pada bab sebelumnya maka dapat dihitung putaran spesifik tersebut.

$$P_n = Q_n \cdot \rho \cdot H_n \cdot g \quad (3)$$

dimana;

$$P_n = \text{Daya turbin air (w).}$$

$$Q_n = \text{kapasitas efektif turbin air (m}^3/\text{det).}$$

$$\rho = \text{massa jenis air (1000 kg/m}^3\text{).}$$

$$H_n = \text{head efektif (m).}$$

g = gravitasi (9,8 m/detik²).

$$1\,200.000 = Qn \cdot 1000 \cdot 6 \cdot 9,8$$

$$Qn = Q = 20\text{m}^3/\text{detik}$$

$$n_1 = \frac{n \cdot Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

dimana ;

n = putaran turbin air (rpm)

$$n_1 = \frac{165 \cdot 20^{1/2}}{6^{3/4}}$$

$$= 192$$

$$n_r = 3,33 \cdot n_1$$

$$= 3,33 \cdot 192$$

$$= 641$$

Dengan mengetahui nilai putaran spesifik dan melihat tabel putaran spesifik (telah diterangkan pada bab sebelumnya) maka jenis turbin air dapat dipilih.

Adapun jenis turbin air yang dipilih adalah turbin jenis kaplan dengan 4 sudu jalan.

Melalui referensi II Hal. 894 dan 895 (terlampir) dapat diketahui bahwa jenis Turbin itu adalah Turbin air Kaplan kelas menengah dan berdasarkan ref. I hal 81 kita dapat menentukan; $\eta = 0,85$ (efisiensi turbin air)

$$\eta_v = 0,97 \text{ (efisiensi volumetrik)}$$

$$\eta_h = 0,92 \text{ (efisiensi hidrolik)}$$

$$\eta_m = 0,98 \text{ (efisiensi mekanik)}$$

$$\sigma_s = 1,2 + 1,6 \text{ di ambil } 1,4$$

BAB III
DIAGRAM ALIR PERANCANGAN



III.1. DATA HEAD AIR, KAPASITAS AIR, KECEPATAN SPESIFIK, SPESIFIKASI

Tinggi air jatuh, $H = u \cdot C_u/g_T$ digunakan untuk memperoleh daya spesifik yang dihasilkan turbin. Kapasitas aliran air akan menentukan luas penampang salurannya. Dari persamaan kontinuitas $A = V/C$ dimana pada roda turbin $A = D \cdot b$, yang berhubungan dengan diameter roda turbin dan berpengaruh juga terhadap besarnya U .

Dimana : C = Kecepatan Mutlak.

U = Kecepatan tangensial roda turbin.

A = Luas penampang saluran.

Kecepatan spesifik n_q dipakai sebagai tanda batasan untuk membedakan tiap roda turbin dan dipakai sebagai besaran yang penting dalam merencanakan turbin air.

Kecepatan spesifik adalah dasar untuk menentukan besaran-besaran selanjutnya yaitu mendapatkan tinggi air jatuh yang maksimum, jumlah sudu roda turbin, perbandingan b/D , rendemen yang diharapkan, kondisi kerja turbin dan lain-lain.

III.2. PERHITUNGAN DIMENSI UTAMA TURBIN

Pada bagian ini tahap perencanaan memasuki bagian yang banyak menggunakan operasi matematis dengan data yang diperoleh dari bagian pertama ditambah dengan ketentuan-ketentuan dan tabel-tabel serta persamaan-persamaan.

Besaran yang harus diperoleh pada bagian ini adalah sbb:

- Tinggi air sebenarnya.
- Diameter luar roda jalan.
- Ukuran sudu jalan.
- Kecepatan keliling (tangensial).

- Sudut pada penampang sudu jalan.
- Dimensi profil sudu jalan dan lain-lain.

III.3. ANALISA GAYA-GAYA DAN TEGANGAN

Pada tahap ini perencanaan menganalisa gaya yang terjadi pada turbin berikut tegangan-tegangannya. Gaya yang dianalisa antara lain pada:

- a. Sudu jalan.
- b. Sudu pengarah.
- c. Poros utama.

Sedangkan tegangan yang dianalisa adalah tegangan pada:

- a. Sudu jalan.
- b. Sudu pengarah.
- c. Poros utama.

Dengan menganalisa gaya dan tegangan yang akan terjadi akan didapatkan kemudahan dalam pemilihan material yang sesuai. Manfaat lainnya antara lain yaitu:

- a. Dapat menentukan faktor keamanan konstruksi turbin.
- b. Dapat memprediksi kekuatan dan kehandalan turbin dan lain-lain.

III.4. PERENCANAAN RUMAH SIPUT

Pada bagian ini perencanaan mendisain rumah siput sebagai saluran dan pembagi air untuk memutar turbin.

Pada bagian ini variabel besaran yang sangat penting adalah kapasitas air yang akan digunakan untuk memutar turbin sehingga dapat diperoleh daya yang efektif untuk memutar

turbin.

Perhitungan dan perencanaan pada rumah siput akan memberi keuntungan antara lain yaitu:

- Konstruksi dapat dibuat kokoh.
- Efisiensi maksimum dari distribusi tekanan air dan kecepatan aliran air.
- Dapat mengantisipasi fluktuasi akibat perubahan atau gerakan sudu pengarah.

Dimensi-dimensi yang diperoleh antara lain:

- Jari-jari rumah siput.
- Seksi isap pada rumah siput.
- Kekuatan rumah siput.
- Tegangan akibat tekanan air dan lain-lain.

III.5. KAVITASI DAN PUTARAN KRITIS

Pada bagian ini dilakukan perencanaan sistim pada turbin untuk menghindari kavitasi dan putaran kritis. Untuk menghindari bertambahnya kavitasi maka perlu:

1. Memilih sudu jalan yang tepat bentuknya, pembuatannya secara teliti dan pengerjaan permukaan yang baik.
2. Memasang sudu jalan pada posisi yang rendah terhadap permukaan air sebelah bawah.
3. Memberi udara dalam jumlah yang tepat pada bagian atas dari pipa lepas.
4. Melapisi bahan sudu jalan dengan bahan tahan karat atau membuat sudu jalan dari bahan yang tahan karat/korosi.

Sedangkan untuk menghindari putaran kritis maka dilakukan perhitungan-perhitungan pada putaran normal turbin. Dimana bila kecepatan putaran normal turbin lebih kecil dari

pada putaran kritis turbin maka poros utama turbin cukup aman dan memenuhi syarat.

III.6. BANTALAN

Untuk merencanakan bantalan pada turbin ini maka parameter yang mendasari pemilihan bantalan adalah tempat dan besarnya konstruksi turbin. Turbin beroperasi pada kelembaban udara yang tinggi sehingga bantalan mudah terkorosi, selain itu konstruksi turbin cukup besar, sehingga besar kemungkinan terjadi tidak seimbang konstruksinya. Maka dengan pertimbangan tersebut diatas, bantalan yang direncanakan adalah bantalan luncur aksial dan bantalan luncur radial untuk membawa beban aksial dan beban radial pada poros.

Dalam perencanaan turbin ini direncanakan bantalan luncur dengan pelumasan oli.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

4. 1. Perhitungan Tinggi Sebenarnya (H_e)

Dari data-data yang diperoleh maka dapat dihitung bagian yang lain dari turbin air ini adalah⁽⁴⁾

$$P_n = Q_n \cdot \rho \cdot H_e \cdot g \cdot \eta$$

$$1\,200\,000 = 20 \cdot 1000 \cdot H_e \cdot 9,8 \cdot 0,85$$

$$H_e = 7,2\text{m}$$

4. 2. Perhitungan Diameter Luar Roda Jalan (D_1)

Untuk penentuan diameter luar roda jalan (D_1) turbin, maka harus diperoleh harga-harga sebagai berikut:⁽¹⁾

$$c_{m0} = 0,34 \text{ (m/detik)}$$

$$c_{m1} = 0,58 \text{ (m/detik)}$$

$$u_{m0} = 0,72 \text{ (m/detik)}$$

$$u_{m1} = 1,8 \text{ (m/detik)}$$

maka,⁽¹⁾

$$u_1 = \frac{u_2}{2 \cdot c_{m1}}$$

dimana;

u_1 = kecepatan masuk tangensial rata-rata turbin

c_{u1} = kecepatan masuk mutlak rata-rata

$$1,8 = \frac{0,92}{2 \cdot c_{u1}}$$

$$c_{u1} = \frac{0,92}{2 \cdot 1,8} \\ = 0,26 \text{ m/detik}$$

$$D_1 = \frac{60 \cdot (2 \cdot g \cdot H_e)^{1/2}}{n \cdot \pi} \cdot u_1$$

dimana;

n = putaran turbin (rpm), diambil 165 rpm

$$D_1 = \frac{60 \cdot (2 \cdot 9,8 \cdot 7,2)^{1/2}}{n \cdot 165} \\ = 2,5 \text{ m}$$

Dengan diketahui D_1 maka dapat dihitung diameter hub (D_h)

$$D_h = \frac{u_h}{u_1} \cdot D_1 \text{ (m)}$$

dimana;

u_h = kecepatan tangensial rata-rata roda turbin

$$= \frac{0,72 D_h}{1,8} \cdot 2,5$$

$$D_h = 1 \text{ m}$$

setelah didapat harga D_1 dan D_h maka dapat dihitung tinggi sudu pengarah (b_0)⁽¹⁾.

11111 111

111

11

111 111

1111

1. Berapakah jumlah mobil yang ada pada waktu berangkat

2. Berapakah jumlah mobil yang ada pada waktu tiba

11

111 111

1111

1111 111

111 111

1111

4.4. Perkembangan Bentuk Suhu Jalan

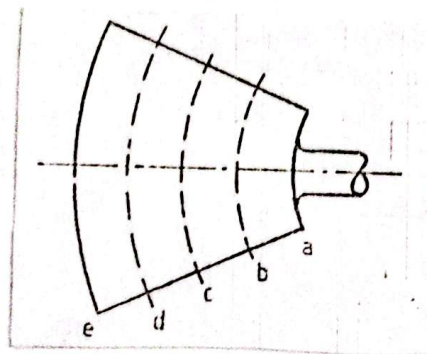
Suhu jalan yang digunakan untuk tujuan ini adalah mempunyai bentuk yang berapapun, dimana perannya terdiri dari susunan profil profil.

Untuk dapat melaksanakan dimana bentuk suhu jalan, maka suhu jalan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu dengan pembagian per, per, per suhu jalan, yang mana masing masing ini akan dilaksanakan guna menghasilkan tenaga yang maksimal dan efisien. Dalam susunan suhu jalan ini di ambil pada suatu hasil penelitian yang berlandaskan atas penelitian, maka bentuk dari suhu jalan berupa dengan bentuk profil ac, misalnya dari seri

4.3.1. Perhitungan Kecepatan Yang terjadi

Dalam suatu perencanaan yang cukup teliti haruslah membagi jari-jari yang lebih banyak, yaitu antara r_h (r_{min}) dan r_1 (r_{max}), yang termasuk daerah sudu jalan dalam perhitungan ini adalah antara lain D_h (1 m) dan D_1 (2,5 m) sudu jalan di bagi menjadi 4 bagian penampang, maka;

Jadi jari-jari penampang terletak di antara r_h dan r_1 .



Gambar IV.1. Jari-jari penampang

Jarak antara garis aliran sama besar yaitu r , sehingga:

$$r = \frac{r_1 - r_h}{4} \quad (\text{m})$$

$$= \frac{1,25 - 0,5}{4}$$

$$= 0,1875 \text{ m}$$

maka;

$$r_a = r_h = 0,5 \text{ m}$$

$$r_b + e = r_a + n \cdot r \quad (\text{m})$$

Tabel IV.1. Pembagian jari-jari sudut jalan

r_a	r_b	r_c	r_d	r_e
0,5	0,6875	0,875	1,0625	1,25

4.3.2. Kecepatan Keliling (Tangensial) Tiap Penampang⁽⁴⁾

$$= \frac{2 \cdot n \cdot r_a + e \cdot u_a + e}{60}$$

$$= \frac{2 \cdot n \cdot 165}{60} \cdot r_a + e$$

$$= 17,28 r_a + e$$

dimana;

u = kecepatan keliling/tangensial (m/detik)

Tabel IV.2. Kecepatan keliling tiap penampang

u_a	u_b	u_c	u_d	u_e
8,64	11,88	15,12	18,36	21,6

4.3.2. Kecepatan Absolut Komponen Tangensial Pada Sisi Masuk Sudu Jalan (c_{u1})

Dari ref. V hal. 127 diterangkan bahwa untuk $\alpha = 90^\circ$ maka $c_{u1} = 0$, sehingga dari rumus Euler turbin didapat;

$$= \frac{Hn \cdot g \cdot c_{u1} (a + e)}{u_a + e}$$

$$= \frac{6,092 \cdot 9,81}{u_{a+e}}$$

$$= \frac{54,15}{u_{a+e}} \text{ (m/detik)}$$

Tabel IV.3. Kecepatan absolut komponen tangensial pada sisi masuk sudu jalan

$c_{u1}(a)$	$c_{u1}(b)$	$c_{u1}(c)$	$c_{u1}(d)$	$c_{u1}(e)$
6,27	4,56	3,58	3	2,5

4.3.3. Kecepatan Relatif Rata-rata

Dari referensi V halaman 121 maka didapat rumus;

$$(w_{a..e})^2 = \left[c_m^2 - \frac{c_{ul}}{2} \right]^2 \text{ (m}^2\text{/detik)}$$

dimana;

c_m = kecepatan masuk mutlak pada sudu jalan.

Tabel IV.4. Kecepatan relatif rata-rata

w_a	w_b	w_c	w_d	w_e
7,3	10,8	13,3	16,7	20,4

4.3.4. Perhitungan Sudut β pada tiap penampang sudu jalan

Dari referensi V halaman 121 di peroleh rumus ;

$$\text{tg } \beta_{a..e} = \frac{c_m}{\left(u - \frac{c_{ul}}{2} \right)} \text{ (o)}$$

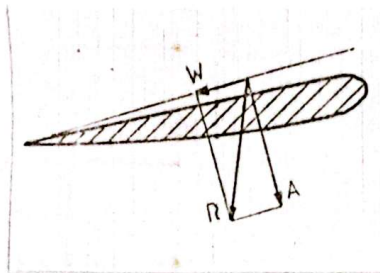
Tabel IV.5. Perhitungan sudut β

$\text{tg } \beta_a$	$\text{tg } \beta_b$	$\text{tg } \beta_c$	$\text{tg } \beta_d$	$\text{tg } \beta_e$
51,4	35	27,4	22,2	18,7

4.4. Perhitungan Dimensi Profil Sudu Jalan

Penampang (profil) dari sudu jalan direncanakan untuk mendapatkan tenaga maksimal yang efisien, untuk itu maka harus diusahakan bentuk profilnya mendekati stream line dan pemasangannya dengan sudut yang tepat, dan seperti yang telah di ketahui bila suatu benda profil dipasangkan pada suatu aliran fluida maka akan timbul gaya-gaya;

- gaya tekan (W) yang bekerja menurut arah aliran



Gambar IV.2. Profil sudu jalan.

- gaya tekan keatas (A) yang menggeser benda ber profil tegak lurus terhadap arah aliran

Gaya itu dapat dihitung dengan rumus;⁽²⁾

$$A = \Gamma_a \cdot \rho \frac{w_{a+e}}{2} L \cdot b$$

$$W = \Gamma_w \cdot \rho \frac{w_{a+e}}{2} L \cdot b$$

dimana;

Γ_a = nilai tekanan ke atas dari profil tersebut atau koefisien angkat

Γ_w = nilai tekana dari profil, koefisien tahanan

ρ = massa jenis fluida

L = panjang profil sudu jalan

$\delta = Y$ = tinggi profil untuk mendapatkan bentuk sudu jalan yang baik maka diperlukan perkiraan pendahuluan dalam menghitung dimensi sudu jalan dan dilakukan dengan mencoba-coba.

4.4.1. Perhitungan Harga Γ_s

$$\Gamma_s \left(\frac{1}{t} \right) = \frac{2 \cdot Y_{\text{sud}} \cdot C_m}{w_{(\text{ave})}^2 \cdot u \cdot \sin(\beta + \Lambda)}$$

dimana;

$$\left(\frac{1}{t} \right) = \frac{\text{panjang profil sudu}}{\text{pitch}} < 1$$

Y_{sud} = head pada sudu roda turbin

$$= n_p \cdot g \cdot H_n$$

$$= 0,92 \cdot 9,81 \cdot 6 = 54,15 \text{ m}^2/\text{detik}^2$$

Λ = sudu peluncuran/gesekan

$$= (1 + 2)^\circ, \text{ disambil } 1,5^\circ$$

Diperumpanakan : $\left[\Gamma_s \cdot \left(\frac{1}{t} \right) \right] = J$ maka dengan menge-

nilai harga-harga variabel di atas didapat :

J_a	J_b	J_c	J_d	J_e
1,15	0,76	0,45	0,31	0,22

Selanjutnya dengan pertolongan grafik pada halaman berikut;

dapat diketahui harga-harga $\left(\frac{1}{t}\right)$ sebagai dasar perhitungan sementara.

$\left(\frac{1}{t}\right)_a$	$\left(\frac{1}{t}\right)_b$	$\left(\frac{1}{t}\right)_c$	$\left(\frac{1}{t}\right)_d$	$\left(\frac{1}{t}\right)_e$
0,9	0,75	0,66	0,64	0,60

Dengan diketahui harga-harga $\left(\frac{1}{t}\right)$ maka dapat dicari

harga Γ_a melalui tabel dibawah ini.

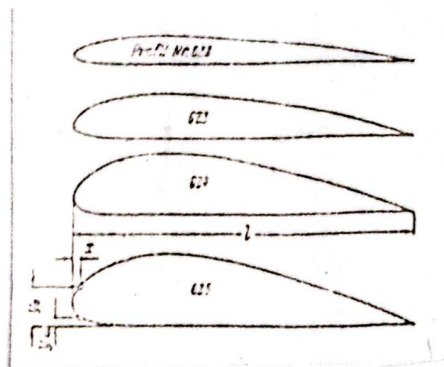
Tabel IV.6. Perhitungan harga Γ_a

Γ_a	Γ_b	Γ_c	Γ_d	Γ_e
1,33	1,01	0,68	0,48	0,37

4. 5. Pemilihan Bentuk Profil Sudu Jalan

Bentuk profil yang digunakan pada perencanaan turbin air ini adalah jenis Gottinger (Go), Nr 622 sampai Nr 625 maka dapat dipilih bentuk profil sudu jalan tersebut.

- Penampang a - a dengan profil Go Nr 624
- Penampang b - b dengan profil Go Nr 624
- Penampang c - c dengan profil Go Nr 623
- Penampang d - d dengan profil Go Nr 623
- Penampang e - e dengan profil Go Nr 622



Gambar IV.3. Bentuk profil sudu jalan

Langkah selanjutnya adalah mencari δ pada tiap penampang sudu jalan dengan rumus;

$$\Gamma_a = 4,0 \cdot \frac{Y_{max}}{l} \cdot 0,092 \cdot \delta \text{ (ref. V hal 113)}$$

dimana;

δ = angka tahanan

harga δ terletak antara harga 0 - 5°

Dengan mempergunakan tabel pada halaman 28 maka didapat harga

$$\frac{Y_{max}}{l}$$

setelah didapat harganya maka langkah selanjutnya adalah menghitung δ pada setiap penampang sudu jalan melalui rumus diatas.

	a - a	b - b	c - c	d - d	e - e
$\frac{Y_{max}}{l}$	0,22	0,18	0,15	0,11	0,09
δ	4,9 ^o	3,15 ^o	0,87 ^o	0,43 ^o	0,11 ^o

4. 6. Penentuan Jarak Antara Sudu Jalan Atau Pitch (t)

Harga t dapat dicari melalui rumus;

$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{z}$$

$$= 1,57 \cdot r \text{ (m)}$$

dimana;

z = jumlah sudu

r = jarak antara garis aliran penampang a sampai e

Tabel IV.7. Penentuan jarak antara sudu jalan

t_a	t_b	t_c	t_d	t_e
0,785	1,079	1,374	1,668	1,960

4. 7. Penentuan Panjang Sudu Jalan

Penentuan panjang sudu jalan dapat dihitung dengan rumus;

$$l = \left(\frac{1}{t}\right)_{\text{max}} \cdot t \text{ (m)}$$

dengan melihat harga $\left(\frac{1}{t}\right)$ pada halaman 19 maka didapat harga

panjang sudu jalan.

Tabel IV.8. Penentuan panjang sudu jalan

l_a	l_b	l_c	l_d	l_e
0,706	0,809	0,907	1,067	1,176

4. 8. Penentuan Tinggi Profil Maksimum (Y_{max})

Untuk tinggi profil maksimum dapat dihitung dengan rumus;

$$Y_{\text{max}} = \frac{Y_{\text{max}}}{1} \text{ l (m)}$$

dengan melihat harga $\frac{Y_{\text{max}}}{1}$ pada halaman 21 maka harga Y_{max} dapat

diketahui;

Tabel IV.9. Penentuan tinggi profil maksimum

$Y_{\max a}$	$Y_{\max b}$	$Y_{\max c}$	$Y_{\max d}$	$Y_{\max e}$
0,15	0,14	0,13	0,12	0,10

4. 9. Penentuan Kedudukan Profil (δ)

Kedudukan profil adalah sudut $\delta = \beta - \delta$ pada setiap penampang sudu jalan, maka didapat;

Tabel IV.10. Penentuan kedudukan profil

δ_a	δ_b	δ_c	δ_d	δ_e
$46,5^\circ$	$31,85^\circ$	$26,53^\circ$	$21,8^\circ$	$18,6^\circ$

4. 10. Angka Reaksi (Y)

Angka reaksi untuk turbin Kaplan lebih besar dari $0,6^{(2)}$, hal ini untuk memperkecil kerugian akibat ruangan mati (ruangan dimana cairan tidak dapat ber gerak) pada sudu jalan, untuk ini dipakai rumus⁽³⁾

$$Y = 1 - \frac{Y_{sch}}{2 \cdot u^2}$$

$$= 1 - \frac{n_b \cdot g \cdot Hn}{2 \cdot u_2} = 1 - \frac{27,07}{u^2}$$

maka didapat harga;

Tabel IV.11. Angka reaksi

Y_a	Y_b	Y_c	Y_d	Y_e
0,15	0,14	0,13	0,12	0,10

jadi penampang-penampang di atas dapat memenuhi syarat karena harga angka reaksinya lebih besar dari 0,6.

4. 11. Cara Melukis Bentuk Sudu

Bentuk profil sudu jalan dari a sampai e dapat digambar berdasarkan perhitungan di atas dan disesuaikan dengan bentuk profil Gottinger melalui tabel pada halaman 21 dan hasil akhir mengenai dimensi sudu jalan untuk turbin Kaplan ini seperti terlampir.

4. 12. Perhitungan Berat Sudu Jalan

Dari lukisan profil sudu jalan dapat menghitung luas penampang setiap bagian jalan secara pendekatan dengan jalan membagi-bagi penampang setiap profil dalam kotak empat persegi sepanjang pada kertas milimeter sehingga di dapat hasil sebagai berikut;

Penampang	a-a	b-b	c-c	d-d	e-e
luas (Cm ²)	135	150	165	175	160

Jarak antara penampang adalah 0,1875m = 18,75 cm, sedang untuk mencari volume sudu jalan melalui rumus⁽⁶⁾

$$V = r \cdot \left[\frac{Aa + Ae}{2} + Ab + Ac + Ad \right] \text{ (cm}^3\text{)}$$

maka volume sudu jalan adalah;

$$\begin{aligned} v &= 18,75 \cdot \left[\frac{135 + 160}{2} + 150 + 165 + 175 \right] \\ &= 11\,953,125 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Bahan sudu jalan adalah baja chrom nikel dengan berat jenis baja tersebut $76,49 \cdot 10^{-3} \text{ N/cm}^3$

berat untuk satu sudu jalan adalah;

$$\begin{aligned} G_1 &= 76,49 \cdot 10^{-3} \cdot 11\,953,125 \\ &= 914,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka untuk empat sudu jalan adalah;

$$\begin{aligned} G_{\text{total}} &= 4 \cdot 914,3 \\ &= 3657,2 \text{ N} \end{aligned}$$

1.13. Perhitungan Sudu Pengarah

Fungsi sudu pengarah antara adalah mengarahkan aliran air yang akan masuk ke sudu, disamping itu juga berfungsi untuk mengatur kecepatan aliran air yang masuk kedalam sudu

jalan. Aliran air dalam rumah supit harus memenuhi arah aliran yang diperlukan oleh sudu jalan, dengan demikian kerugian akibat tumbukan air dapat dikurangi. Karena salah satu fungsi sudu pengarah ini untuk mengatur kecepatan aliran air maka dalam perencanaan turbin air ini sudu jalan dapat diatur kedudukannya. Dengan dapatnya diatur kedudukan sudu pengarah maka selain tumbukan air dapat dikurangi sudu jalan dapat memberikan efisiensi yang maksimum.

4. 13. 1. Penentuan Jumlah Sudu Pengarah

Dalam pemilihan jumlah sudu pengarah agar dapat memenuhi persyaratan yang dibutuhkan, maka berdasarkan referensi II hal. 915 tabel 4 dapat dipilih sudu pengarah, maka jumlahnya harus selalu berbeda dengan jumlah sudu jalan, hal ini dimaksudkan untuk mencegah adanya gejala periodik (perulangan) dimana apabila jumlah sudunya sama pada suatu saat seolah-oleh sudu pengarah yang dibuat tidak berfungsi lagi. Ini akan menimbulkan beban impact (tiba-tiba) terhadap sudu jalan, yang mana hal ini harus dihindarkan.

Semakin besar dimensi dari sudu jalan turbin, semakin banyak pula jumlah sudu pengarahnya sehingga didapat keuntungan sebagai berikut;

1. dapat dihindarkan terjadinya aliran air yang periodik, dengan demikian gejala kejutan pada sudu jalan dapat di perkecil.
2. dimensi sudu pengarah lebih kecil dan lebih pendek sehingga diameter poros dan komponen lainnya pada sudu pengarah adalah lebih kecil dibandingkan sudu jalan.

Untuk turbin kaplan ini dimana diameter luar sudu jalan adalah 2500 mm maka berdasarkan referensi tersebut di atas jumlah sudu pengarahnya adalah 22 buah.

4. 13. 2. Dimensi Sudu Pengarah

Perencanaan sudu pengarah tidak jauh berbeda dengan perencanaan sudu jalan yaitu mendekati bentuk stream line dengan bentuk sumbunya ditentukan oleh suatu lengkungan dengan jari-jari (mm atau m)

$$\delta = K_o \cdot D_o^{(2)}$$

dimana;

$$K_o = 1, 1, 00 \text{ untuk } n_s$$

$$= 60 + 1000 \text{ rpm maka } K_o \text{ diambil } 1,2$$

$$D_o = D_1 = 2500 \text{ mm}$$

$$D_z = a + (a^2 + b)^{1/2}$$

$$p = 1,2 \cdot 2500$$

$$= 3000 \text{ mm}$$

D_z diameter tepat kedudukan poros-poros dari sudu pengarah (mm)

$$a = \frac{2 \cdot D_o \cdot K_1 \cdot \sin(180/z) \cdot \sin \alpha_2}{V_1 + V_2} \quad (\text{m})$$

$$b = \frac{D_o^2}{V_1 + V_2} \quad (\text{m})$$

$$V_1 = 1 - 4 \cdot K_1^2 \cdot \sin(180/2)$$

$$V_2 = \frac{2}{K_o} \cdot K_1^2 \cdot \cos(\alpha_2) \cdot \sin_2(180/2)$$

esarnya sudut air masuk pada sudu pengarah diambil 90°

udut keluar (α_2) adalah;

$$\alpha_2 = \text{arc tg } \frac{c_m}{c_{u1}} \quad (\text{m/detik})$$

dimana;

c_m = kecepatan masuk mutlak pada sudu pengarah

$$= c_{m1} \cdot (2 \cdot g \cdot H_e)^{1/2}$$

$$= 0,58 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 7,2)^{1/2}$$

$$= 6,9 \text{ m/detik}$$

sedangkan;

$$c_{u1} = \frac{n \cdot g \cdot H_n}{u} \quad (\text{m/detik})$$

$$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_m}{60} \quad (\text{m/detik})$$

$$r_m = 0,5 \text{ dm}$$

$$= 0,5 \cdot [(D1 - Dh)/2] + Dh$$

$$= 0,875 \text{ mm}$$

sehingga;

$$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,875}{80}$$

$$= 15 \text{ m/detik}$$

$$c_{u1} = \frac{0,85 \cdot 9,81 \cdot 6}{15}$$

$$= 3,3 \text{ m/detik}$$

maka;

$$\alpha_2 = \arctan \frac{6,9}{3,3}$$
$$= 7,7^\circ$$

$$K_1 = \frac{1}{1 + K_2}, K_2 = 1/1,7 \dots 1/1,4$$

maka harga K2 diambil 1/1,5, sehingga;

$$K_1 = 0,6^{(2)}$$

z = jumlah sudu penggerak

$$= 22 \text{ buah}$$

Maka dengan memasukkan harga-harga tersebut diatas didapat;

$$a = 0,5\text{m}$$

$$b = 6,4\text{m}$$

sehingga;

$$D_z = 3,1 \text{ m} \quad r_z = 1,55 \text{ m}$$

panjang sudu pengarah (L);

$$L = 0,3 \cdot D_1$$

$$= 0,3 \cdot 2500 \text{ mm}$$

$$= 750 \text{ mm}$$

4. 13. 3. Penentuan Jenis Profil Sudu Pengarah

Dengan memperhatikan fungsi-fungsi dari sudu pengarah seperti telah diterangkan di atas, maka dipilih profil sudu pengarah jenis Go Nr 624⁽⁶⁾

4. 14 GAYA-GAYA YANG TERJADI PADA SUDU JALAN

4. 14. 1 Gaya sentrifugal (P_c)

Gaya sentrifugal ditentukan melalui rumus⁽⁶⁾:

$$P_e = \frac{G}{g} (\omega q)^2 R_t (N)$$

dimana :

G = berat satu sudu jalan

g = gaya gravitasi

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$= \frac{\pi \cdot 165}{30}$$

$$= 17,28 \text{ rad/detik}$$

$$R_t = 0,5 \cdot (r_1 + r_2)$$

$$= 0,875 \text{ m}$$

q = runaway speed yaitu suatu kejadian dimana turbin berputar tanpa ada beban pada poros turbin sedangkan air tetap mengalir dengan debit yang tetap.

$$= 2 + 2,4^{(2)}$$

maka harga q diambil 2,2

sehingga :

$$P_c = \frac{914,3}{9,81} (2,2 \cdot 17,28)^2 \cdot 0,875$$

$$= 117.979 \text{ N}$$

4.14.2. Gaya Tangensial (P_t)

Gaya tangensial yang timbul akibat air ini disebabkan karena bentuk profil sudu jalan. Harga P_t terbesar adalah bila kedudukan sudu jalan pada posisi optimum dan besarnya P_t pada posisi ini adalah⁽⁴⁾ :

$$P_t = D\pi Bc_m\rho(w_{u2} - w_{u1})$$

dimana:

$$\begin{aligned} D &= (D_1 + D_2)/2 \\ &= (2,5 + 1)/2 \\ &= 1,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= D_1/2 - D_2/2 \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$w_{u2} - w_{u1}$ didapat dari segitiga kecepatan

maka:

$$\begin{aligned} P_t &= 11,75 \cdot \pi \cdot 0,75 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 1000 \cdot 3,58 \\ &= 101.855 \text{ N} \end{aligned}$$

4.14.3. Gaya Aksial (P_a)

Gaya aksial dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$P_a = \pi/4 \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot Hn \cdot \rho \cdot 1/2 \quad (\text{ref. VI hal. 358})$$

$$\begin{aligned} P_a &= \pi/4 \cdot (2,5^2 - 1^2) \cdot 6 \cdot 1000 \cdot 1/4 \\ &= 60.613 \text{ N} \end{aligned}$$

4.14.4. Momen Puntir (Mp)

Karena sudu jalan dapat diatur, maka apabila dilakukan pengaturan akan timbul momen puntir (Mp) pada sudu jalan yang besarnya⁽⁴⁾ :

$$M_p = 9,81 \cdot (1200 + 1500) \cdot H_n \cdot D_1^3 \text{ (Ncm)}$$

$$M_p = 9,82 \cdot 1350 \cdot 6 \cdot 2,5^3$$

$$= 1.240.312 \text{ Ncm}$$

4.15. TEGANGAN-TEGANGAN YANG TIMBUL PADA SUDU JALAN

Tegangan yang timbul pada sudu jalan akibat gaya-gaya di atas adalah sebagai berikut:

4.15.1 Tegangan Tarik Akibat Gaya Sentrifugal (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{P_c}{F} \quad (\text{N cm}^2)$$

dimana:

F = luas penampang bidang poros

dimisalkan d poros sudu jalan adalah 5 cm

$$F = (\pi \cdot d^2)/4$$

$$= 176 \text{ cm}^2$$

maka:

$$\sigma_t = \frac{117.979}{176}$$

$$= 670 \text{ N/cm}^2$$

4.15.2. Tegangan Geser (τ_g)

Tegangan geser ini terjadi akibat resultante dari gaya-gaya P_a dan P_t .

$$\tau_g = \frac{P_r}{F}$$

dimana:

$$\begin{aligned} P_r &= [(P_a)^2 + (P_t)^2]^{1/2} \\ &= [(117.979)^2 + (101.855)^2]^{1/2} \\ &= 155.884 \text{ N} \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} \tau_g &= \frac{155.884}{176} \\ &= 885 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

4.15.3. Tegangan Lentur (τ_{res})

Tegangan lentur ini terjadi akibat gaya P_r dan M_p .

$$\sigma_{res} = \frac{M_{res}}{Pasar} \quad (\text{N cm}^2)$$

sedangkan

$$[(M_1)^2 + k.(M_p)^2]^{1/2}$$

dimana

$$\begin{aligned} M_1 &= \text{momen lentur} \\ &= P_r \cdot (r_1 - r_b) \\ &= 155884 \cdot (1.25 - 0.5) \end{aligned}$$

$$= 116.896 \text{ Ncm}$$

maka:

$$\begin{aligned} M_{res} &= [(116898)^2 + 1 \cdot (1240312)^2]^{1/2} \\ &= 1.245.808 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

Penampang profil kita anggap sebagai empat persegi panjang, maka:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

dimana:

W = momen tahanan

maka:

$$W = \frac{15 \cdot (70,6)^2}{6}$$

$$= 12.461 \text{ Ncm}^3$$

sehingga:

$$\sigma_{res} = \frac{1.245.808}{12.461}$$

$$= 99 \text{ N/cm}^2$$

menurut ref. II hal 98 didapat rumus:

$$\sigma_v [(\sigma)^2 + a \cdot (\tau_v)^2]^{1/2}$$

dimana:

$$a = \sqrt{3}$$

maka:

$$\begin{aligned} \sigma_v &= [(669)^2 + \sqrt{3} \cdot (885)^2]^{1/2} \\ &= 1.342 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan diketahuinya tegangan-tegangan yang terjadi pada sudu jalan, maka bahan sudu jalan dapat dipilih yaitu:

- baja chrom nikel
- tegangan maksimum = 8.200 N/cm²
- faktor keamanan, Sf = 5

maka:

$$\sigma \text{ (yang diizinkan)} = \frac{8200}{5}$$
$$= 1.640 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau \text{ (yang diizinkan)} = \frac{1640}{\sqrt{3}}$$
$$= 948 \text{ N/cm}^2$$

Ternyata $\sigma_v = 1.342 \text{ N/cm}^2 < 1.640 \text{ N/cm}^2$, sehingga bahan ini dapat digunakan.

4.16. GAYA-GAYA YANG TERJADI PADA SUDU PENGARAH

Sudu pengarah maupun porosnya harus mampu menahan gaya tekanan air yang bekerja padanya, gaya tekanan air yang terbesar adalah dimana sudu pengarah dalam keadaan tertutup, yang besarnya:

$$P = Hn \cdot \rho \cdot g \cdot bo \cdot t \text{ (N)}$$

dimana

bo = tinggi sudu pengarah

t = tebal sudu pengarah

maka:

$$P = 6 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,65 \cdot 0,12$$

$$= 4.586 \text{ N}$$

Dimisalkan d poros untuk sudu pengarah adalah 8 cm, maka:

$$\begin{aligned} F &= \pi/4 \cdot d^2 \\ &= \pi/4 \cdot 8^2 \\ &= 50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga tegangan geser (τ_g) yang terjadi :

$$\begin{aligned} \tau_g &= \frac{0,5 \cdot P}{F} \\ &= \frac{0,5 \cdot 4586}{50} \\ &= 45,86 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan diketahuinya tegangan yang terjadi, maka bahan sudu pengarah dapat dipilih yaitu sama dengan bahan sudu jalan.

4.17. PERHITUNGAN POROS UTAMA TURBIN AIR

Poros utama yang direncanakan adalah berkedudukan vertikal dan dibuat berlubang.

Fungsi lobang ini adalah tempat cairan hidrolis penggerak poros sudu jalan.

Poros utama ini harus dapat menanggung beban aksial dari air dan momen puntir yang terjadi.

Melihat perhitungan-perhitungan di atas bahwa untuk satu sudu jalan $\sigma = 342 \text{ N/cm}^2$, maka untuk empat sudu jalan:

$$\sigma_v = 5.368 \text{ N/cm}^2$$

Sedangkan momen puntirnya sebesar:

$$Pt = \frac{Hp}{Rt \cdot z}$$

maka:

$$Mp = 358.492 \text{ Nm}$$

Poros yang direncanakan adalah:

$$D = 40 \text{ cm}$$

$$d = 6 \text{ cm}$$

Sehingga tegangan akibat adanya momen puntir:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{16 \cdot Hp \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} \\ &= \frac{16 \cdot 356492 \cdot 40}{\pi \cdot (40^4 - 6^4)} \\ &= 28,4 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

Dengan diketahui tegangan-tegangan yang terjadi, maka bahan untuk poros utama turbin dapat dipilih, yaitu:

$$\text{Fe 370 dengan } \sigma = 37000 \text{ N/cm}^2$$

$$Sf = 5$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}\sigma \text{ (yang diizinkan)} &= 37.000/5 \\ &= 7.400 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

$$\tau \text{ (yang diizinkan)} = \frac{7.400}{\sqrt{3}}$$

$$= 4.277 \text{ N/cm}^2$$

Dengan melihat bahwa $\sigma_v < \sigma$ (yang diizinkan), maka bahan ini dapat digunakan.

4.18. PERENCANAAN RUMAH SIPUT

Rumah siput dipergunakan sebagai saluran air untuk memutar turbin. Pada perencanaan rumah siput ini yang harus diperhatikan adalah kapasitas air yang masuk, untuk itu rumah siput harus diatur sedemikian rupa, sehingga rumah siput dibagi dalam beberapa seksi yang masing-masing mempunyai jari-jari tersendiri.

Pada perencanaan rumah siput turbin yang besar untuk turbin aksial yang besar dimana H dan Q besar, maka penggunaan rumah siput sangat menguntungkan daripada rumah tabung lurus.

Keuntungan-keuntungan memakai rumah siput:

1. Konstruksi dapat lebih kokoh
2. Distribusi dan kecepatan aliran air masuk sudu jalan melalui lorong sudu pengarah dapat lebih baik
3. Apabila sudu pengarah tiba-tiba ditutup, maka kejutan akibat tekanan air dapat dialihkan ke rumah siput

Untuk memenuhi persyaratan ini maka rumah siput direncanakan merupakan suatu saluran dengan penampang lingkaran yang mengecil.

Sebagai penjelasan, pada halaman berikut digambarkan rumah siput untuk merencanakan turbin air ini.

4.18.1. Dimensi Rumah Siput

Untuk perencanaan ini rumah siput perlu dibagi menjadi beberapa seksi (penampang), dimana masing-masing dihitung jari-jarinya yang sesuai bagi setiap penampang. Dalam hal ini dibagi menjadi 8 bagian yang masing-masing perbedaan sudutnya $\varphi = 45^\circ$.

4.18.2. Pemeriksaan Kekuatan Rumah Siput.

Gaya tekan air yang terbesar terhadap rumah siput terjadi pada bagian ujung/terkecil dari rumah siput, dimana pada bagian ini adalah air yang terakhir yang menuju sudu jalan. Pada bagian ini saluran dimisalkan berbentuk pipa dengan jari-jari penampang 630 mm (lihat tabel). Bahan rumah siput dipilih :

Besi tuang 18 dengan $\sigma = 170 \text{ N/mm}$

Faktor keamanan, Sf, diambil 4.

maka:

$$\begin{aligned}\sigma \text{ (yang diizinkan)} &= 17.000/4 \\ &= 4.250 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau \text{ (yang diizinkan)} &= \frac{4.250}{\sqrt{3}} \\ &= 2.454 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

Tebal rumah siput direncanakan adalah 5 cm.

TABEL IV.12. HASIL PERHITUNGAN RUMAH SIPUT

No. Seksi	ρ	$\frac{\rho}{C}$	$2 \cdot R' \cdot \frac{\rho}{C}$	$\sqrt{2 \cdot R' \cdot \frac{\rho}{C}}$
I	45	128	396.800	630
II	90	257	796.700	893
III	135	386	1.196.600	1.094
IV	180	514	1.593.400	1.262
V	225	643	1.993.300	1.412
VI	270	771	2.390.100	1.546
VII	315	900	2.790.000	1.670
VIII	360	1029	3.189.900	1.786

No. Seksi	$2 \cdot \rho$	$R=R+2 \cdot \rho$
I	1.260	2.810
II	1.786	3.336
III	2.188	3.736
IV	2.524	4.047
V	2.824	4.374
VI	3.092	4.642
VII	3.340	4.890
VIII	3.572	5.122

SISTEM PENYALURAN AIR DAN PENYALURANNYA

Yang dimaksud dengan sistem penyaluran air adalah meliputi keseluruhan yaitu dari air sampai air itu keluar. Sistem penyaluran air ini dapat dibagi menjadi:

- Bagian intake/masuk.

- Bagian rumah turbin.
- Bagian keluar/buang.

4.19.1. Bagian Intake/Masuk

Pada bagian ini harus diperhatikan tentang pencegahan pengaturan aliran air sebagai berikut:

1. Mencegah atau mengurangi aliran pusaran.
2. Mencegah masuknya kotoran.
3. Pengaturan masuknya air.
4. Katup pemasukan.

4.19.1.1. Mencegah Atau Mengurangi Aliran Pusaran

Untuk memperkecil aliran pusaran diusahakan sedemikian rupa, sehingga pembesaran atau pengecilan penampang saluran sebaik mungkin, demikian pula dengan lekukan-lekukannya.

4.19.1.2. Mencegah Masuknya Kotoran

Untuk mencegah masuknya kotoran yang ikut bersama air, dimana air masih ada kemungkinan membawa benda-benda padat kecil, maka pada bagian sebelah depan pipa intake/masuk dipasang saringan.

4.19.1.3. Pengaturan Masuknya Air

Untuk mengatur banyaknya air yang mengalir ke pipa masuk dan mengatur ketinggian

air, maka pada saluran sebelum pipa masuk, dipasang pintu pengatur yang dapat diatur.

4.19.1.4. Katup Pemasukan

Katup ini dipasang pada bagian masuk turbin air, oleh karena itu dinamakan katup pemasukan, yang berguna untuk:

- Bila turbin air berhenti, katup masuk mengurangi kebocoran air dari turbin air.
- Katup ini juga berfungsi sebagai pengaman dalam menghentikan turbin.

Dengan melihat kegunaan dari pada katup pemasukan, maka harga katup tersebut relatif mahal.

4.19.2. Bagian Rumah Turbin

Rumah turbin yang direncanakan adalah bentuk siput karena bentuk ini lebih efisien dari bentuk lain, untuk itu perlu direncanakan tebal dari rumah siput serta kelengkungan yang baik agar tidak terjadi losses akibat gesekan.

4.19.3. Bagian Keluar/Buang

Pada bagian ini perlu mendapatkan perhatian karena kesalahan penempatan turbin terhadap level air akan mengakibatkan timbulnya kavitasi. Oleh karena itu yang sangat perlu diperhatikan adalah perencanaan tinggi isap dan pipa lepas.

4.19.3.1. Perencanaan Tinggi Isap

Tinggi isap adalah jarak antara sumbu sudu jalan terhadap batas level permukaan air jatuh.

Semakin tinggi jarak tinggi isap semakin mudah terjadi kavitasi, oleh karena itu tinggi isap diatur sedemikian rupa agar kavitasi dapat dihindari.

Tinggi isap dapat dihitung melalui rumus⁽²⁾:

$$H_s = A - H_v - \sigma \cdot H_n \quad (m)$$

dimana:

A = tekanan atmosfer (m)

H_v = tekanan uap air di sebelah bawah sudu jalan (m)

σ = faktor kavitasi

H_n = tinggi air jatuh efektif (m)

sedangkan⁽²⁾:

$$A = 10,3 - 0,0012 \cdot h$$

dimana:

h = ketinggian turbin air dari permukaan air laut diambil h = 500

maka:

$$\begin{aligned} A &= 10,3 - 0,0012 \cdot 500 \\ &= 9,7 \text{ m} \end{aligned}$$

sedangkan:

$$\begin{aligned} H_v &= \text{tekanan uap air pada suhu } 25^\circ\text{C} \\ &= 0,32 \text{ m kolom air}^{(7)} \end{aligned}$$

Untuk faktor kavitasi dengan spesifikasi turbin air dalam perencanaan ini adalah:

$$\sigma = 1,2 \dots 1,6, \text{ maka diambil } \sigma = 1,4$$

maka:

$$H_s = 9,7 - 0,32 - 1,4 \cdot 6$$

$$= 0,98 \text{ m}$$

Jadi turbin berada 9,8 m di atas permukaan air yang keluar dari turbin tersebut.

4.19.3.2. Perencanaan Pipa Lepas

Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa fungsi dari pipa lepas adalah mencegah terjadinya kavitasi. Fungsi lain dari pada pipa lepas ini adalah memperkecil kecepatan keluar sudu jalan.

Oleh karena semakin tinggi putaran turbin air, semakin besar kemungkinan terjadinya kavitasi, maka penggunaan pipa lepas ini dengan memperhatikan tinggi isap yang harus direncanakan sebaik mungkin.

Dalam perencanaan pipa lepas harus memenuhi syarat bagi aliran air yang keluar tersebut, yang mana saluran buangnya berbentuk konis dengan sudut divergensi, $\delta_s < 4^\circ \dots 5^\circ$, dan kecepatan aliran air keluar (c_4) dapat ditulis melalui rumus sebagai berikut⁽²⁾:

$$c_4 = 0,1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}$$

Sedangkan pengambilan sudut δ_s , yang terlalu kecil menyebabkan saluran buang menjadi panjang dan jika pengambilan sudut δ_s terlalu besar ($\delta_s > 5^\circ$), maka aliran air menjadi turbulen.

4.19.3.3. Dimensi Pipa Lepas

Adapun dimensi utama dari pipa lepas itu adalah:

$$D_3 = 0,975 \cdot D_1$$

dimana:

D_3 = diameter masuk pipa lepas

sedangkan diameter keluar pipa lepas (D_4) adalah⁽¹⁾

$$D_4 = 1,2 \cdot D_3$$

Panjang dari pipa lepas itu adalah⁽¹⁾

$$L_o = 5 \cdot D_3$$

maka:

$$c_4 = 0,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6}$$

$$= 1,1 \text{ m/detik}$$

$$D_3 = 0,975 \cdot 2,5$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$D_4 = 1,2 \cdot 2,4$$

$$= 2,9 \text{ m}$$

$$L_o = 5 \cdot 2,4$$

$$= 12 \text{ m}$$

Karena dalam perencanaan ini dipilih jenis pipa lepas bentuk elbow maka ada beberapa dimensi tambahan, yaitu:

$$J_1 = 0,8 \cdot D_3$$

$$J_2 = 2 \cdot D_3$$

$$l = 1,3 \cdot D_3$$

$$h = 0,8 \cdot D_3$$

maka:

$$J_1 = 1,92 \text{ m}$$

$$J_2 = 4,8 \text{ m}$$

$$l = 3,1 \text{ m}$$

$$h = 1,44 \text{ m}$$

4.20. KAVITASI DAN PUTARAN KRITIS

Kavitasi adalah suatu gejala terbentuknya gelembung-gelembung uap udara dalam aliran fluida.

4.20.1. Terjadinya Kavitasi

Apabila tekanan statis absolut di suatu titik di dalam aliran fluida adalah lebih kecil atau sama dengan tekanan uapnya, maka akan terjadi penguapan dari cairan yang sedang mengalir. Kavitasi pada suatu keadaan tertentu terjadi di bagian belakang sudu jalan.

Biasanya gelembung-gelembung uap timbul pada dinding saluran, yaitu dimana terdapat aliran fluida laminer dekat dinding. Akibat dari pada kenaikan tekanan statis dalam aliran, maka gelembung uap akan kempis dengan cepat dan serempak yaitu pada saat tekanan uapnya dilebihi oleh tekanan statis. Ketika pecahnya gelembung-gelembung uap tersebut, diiringi dengan kerusakan permukaan dimana gelembung-gelembung uap tersebut berada, secara sepiantas lalu pada waktu terjadinya kavitasi terdengar suara fluida seperti bercampur dengan pasir menggesek dinding.

4.20.2. Bahaya Kavitasi

Jika kavitasi timbul pada saat turbin sedang berjalan, maka akan terjadi gejala yang berbahaya terhadap turbin itu sendiri, diantaranya ialah menurunkan efisiensi, timbul getaran, terdengar berisik dan lain-lain.

Jadi kavitasi sangat merugikan karena :

1. Jika kavitasi terjadi, maka gelembung-gelembung uap yang terbentuk akan memperkecil kapasitas aliran
2. Gelembung-gelembung uap yang pecah akan mengakibatkan kerusakan pada bahan.
3. Jika kavitasi menjadi keras dan tersebar pada permukaan yang lebih luas maka akan menimbulkan keadaan tidak stabil seperti getaran (vibrasi) dan berisik. Kavitasi yang relatif kecil dapat terdengar seperti aliran yang berpasir dan kavitasi yang besar terdengar seperti pukulan palu pada dinding saluran.

4.20.3 CARA MENGINDARI KAVITASI

Untuk menghindari bertambahnya kavitasi, maka perlu :

1. Memilih sudu jalan yang tepat bentuknya, pembuatannya secara teliti dan pengerjaan permukaan yang baik.
2. Memasang sudu jalan pada posisi yang rendah terhadap permukaan air sebelah bawah.
3. Memberi udara dalam jumlah yang tepat pada bagian atas dari pipa lepas.
4. Melapisi bahan sudu jalan dengan bahan tahan karat atau membuat sudu jalan dari bahan yang tahan karat/korosi.

4.20.4 PUTARAN KRITIS

Pada kecepatan tertentu sebuah poros motor atau rotor diketahui memberikan getaran lateral yang berlebihan. Kecepatan sudut dari suatu poros dimana hal itu terjadi disebut *putaran kritis*.

Pada suatu kecepatan putaran kritis, lenturan dari poros, menjadi berlebihan dan dapat menyebabkan reaksi bantalan yang besar dan dapat menyebabkan kerusakan pada bantalan atau

kerusakan pada struktur dari pendukung bantalan. Gejala ini dapat terjadi bahkan pada rotor-rotor yang telah dibuat seimbang secara teliti. Sebuah mesin tidak akan pernah dapat beroperasi dalam suatu lama waktu tertentu pada suatu kecepatan yang dekat dengan kecepatan putaran kritis.

Adapun putaran kritis itu dapat dihitung melalui rumus:

$$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I \cdot L^3}{M a^3 \cdot b^3}}$$

dimana:

ω = kecepatan putaran kritis (rad/detik)

E = modulus kekenyalan dari poros (Pa)

I = momen kelembaman dari poros

L = jarak antara bantalan (m)

M = massa beban (kg)

a dan b = jarak antara massa beban dengan bantalan satu dan bantalan lainnya.

Dengan diketahuinya berat jenis dari bahan sudu jalan maupun bahan hub, maka beban yang bekerja pada poros dapat dihitung. Massa beban sudu jalan adalah 373 kg, sedang massa beban untuk hub adalah 2396 kg, maka massa beban keseluruhan adalah penjumlahan dari dua massa tersebut di atas ditambah dengan massa beban peralatan/komponen lain.

Massa beban peralatan/komponen lain diperkirakan 50% dari jumlah dari kedua massa tersebut di atas, sehingga massa beban keseluruhan adalah 4153,5 kg.

Dengan diketahuinya bahan poros maka modulus kekenyalan dari bahan itu didapat yaitu sebesar $0,82 \cdot 10^6$ kg/cm², sedangkan momen kelembaman dari poros sebesar⁽⁸⁾:

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$$

maka:

$$I = \frac{\pi \cdot (40^4 - 6^4)}{64}$$
$$= 0,0256 \text{ cm}^4$$

Panjang poros yang direncanakan adalah 3 m, dan jarak bantalan satu dengan yang lain sebesar 1 m. Dengan demikian, kecepatan putaran kritis dapat dihitung:

$$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,82 \cdot 10^6 \cdot 0,0256 \cdot 3^3}{4153 \cdot 5 \cdot 0,5^3 \cdot 2,5^3}}$$
$$= 45,8 \text{ rad/detik}$$

sedangkan:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

maka:

$$n \text{ putaran kritis} = \frac{45,8 \cdot 30}{\pi}$$
$$= 437,3 \text{ rpm}$$

Ternyata putaran normal turbin (dalam perencanaannya putaran tersebut sebesar 165 rpm) << putaran kritis turbin, sehingga poros utama turbin cukup aman dan memenuhi syarat.

2.1. BANTALAN

Pada perencanaan turbin air ini tidak dipergunakan bantalan peluru, hal ini disebabkan karena bantalan yang direncanakan beroperasi pada kelembaman udara yang tinggi sehingga

bantalan peluru yang terbuat dari baja akan mudah mengalami korosi seperti karat dan cepat aus. Selain itu karena konstruksi turbin cukup besar kemungkinan terjadi hal-hal yang tak terduga seperti tidak balancenya konstruksi.

Dengan pertimbangan tersebut di atas, maka kebanyakan turbin memakai bantalan luncur axial dan bantalan luncur radial untuk membawa beban axial dan beban radial pada poros.

Dalam perencanaan turbin ini direncanakan bantalan luncur dengan pelumasan oli.

4.21.1 BANTALAN LUNCUR AKSIAL

Besar gaya aksial yang bekerja pada turbin adalah sebesar 60613 N.

Dimensi bantalan luncur yang direncanakan :

$$D_1 = 40 \text{ cm} = 400 \text{ mm}$$

$$D_2 = 75 \text{ cm} = 750 \text{ mm}$$

Jumlah segment 6 buah

Bantalan bantalan luncur ini dipakai standar Sonder Messing⁽²⁾ dengan tekanan yang diijinkan :

$$P \text{ yang diijinkan} = 245 \dots 392 \text{ N/cm}^2$$

Untuk tekanan kontak yang terjadi pada permukaan (tekanan bidang) akibat adanya gaya aksial sebesar⁽⁹⁾:

$$P = \frac{4 \cdot P_a}{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)} \cdot \psi$$

di mana :

ψ = konstanta yang besarnya ditentukan oleh jumlah segment = 0,9

dan

$$P = \frac{4 \cdot 60613}{\pi \cdot (750^2 - 400^2)}$$

$$= 2113,4 \text{ N/cm}^2$$

Terlihat bahwa $P \ll P$ yang diijinkan, sehingga dimensi bantalan memnuhi syarat.

4.21.2 BAHAN PELUMAS

Pelumasan pada bantalan ini memakai sistem hidrodinamik dengan meredamkan bantala: didalam minyak pelumas. Bahan minyak pelumas yang dipakai adalah Industrial Oil 45 dengan temperatur kerja 50°C .

Viskositas minyak pelumas ini (μ) = $0,0038 \text{ kg. det/m}^2$

Gaya hidrodinamik dari oli :

$$P = \frac{z \cdot \mu \cdot D_m \cdot n \cdot B^2 \cdot S}{12,8 \cdot h_{\min}^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{B}{S}\right)^2\right]}$$

dimana::

z = jumlah segment

B = panjang busur segment

D_m = diameter rata-rata dari permukaan tekan

S = lebar segment

h_{\min} = tebal lapisan oli yang terkecil

ditanyakan:

$$D_m = \frac{D_1 + D_2}{2} = 57,5 \text{ cm} = 0,575 \text{ m}$$

$$S = \frac{D_2 - D_1}{2} = 17,5 \text{ cm} = 0,175 \text{ m}$$

$$\frac{B}{S} = 0,5 + 1^{(10)}$$

diambil 1 sehingga $B = S = 0,175 \text{ m}$

$$\text{maka } z < \frac{\pi \cdot (D_m - S)}{B}$$

$z < 7,2$, diambil $z = 8$ buah

$$h_{\min} = 10 + 30 \text{ mc}$$

diambil $h_{\min} = 30 \text{ mc} = 0,03 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

maka:

$$P = \frac{6 \cdot 0,0038 \cdot 0,575 \cdot 165 \cdot 0,1175^2 \cdot 0,175}{12 \cdot 6 \cdot (3 \cdot 10^{-5})^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{0,175}{0,175}\right)^2\right]}$$

$$= 511.023 \text{ kg} = 5.013.135 \text{ N}$$

Disini terlihat bahwa tekanan hidrodinamik (P) adalah jauh lebih besar dari gaya aksial. Menurut ref.IX, gaya P hidrodinamis harus $> P_a$, jadi bahan pelumas ini memenuhi syarat untuk dipakai.

2.1.3. BANTALAN LUNCUR RADIAL

Bantalan ini digunakan untuk menjaga atau menahan gaya radial pada poros turbin air yang terjadi karena gaya sentrifugal sebagai akibat kemungkinan tidak balancenya konstruksi dari komponen turbin air yang berputar.

Dalam perencanaan turbin air ini digunakan dua buah bantalan luncur radial yang

fungsinya saling mendukung satu sama lain. Dimensi bantalan pertama yang direncanakan:

$$D \text{ poros} = 40 \text{ cm} = 400 \text{ mm}$$

$$L = \text{panjang bantalan} = 80 \text{ cm} = 800 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

Bahan bantalan menurut ref.II yaitu GG 21 (DIN 1691), tekanan yang diijinkan untuk bahan i sebesar:

$$P = 490 \text{ N/cm}^2$$

Sedangkan P yang bekerja adalah :

$$P = \frac{W}{g} \cdot \omega^2 \cdot e$$

dimana:

$$W = \text{berat total peralatan} = 4153,5 \text{ kg} = 40746 \text{ N}$$

$$\omega = 17,28 \text{ rad/dtk}$$

maka:

$$\begin{aligned} P &= \frac{P}{D_{\text{poros}} \cdot L_{\text{bantalan}}} \\ &= \frac{37207}{40 \cdot 80} \\ &= 11,83 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Terlihat bahwa $P < P$ yang diijinkan, sehingga bantalan ini memenuhi syarat.

Dimensi bantalan yang direncanakan:

$$L = 40 \text{ cm} = 400 \text{ mm}$$

Perbedaan dengan bantalan luncur pertama hanya pada tekanan bidang yang terjadi . Pada bantalan luncur kedua tekanan bidang yang terjadi sebesar :

$$P' = \frac{P}{D_{poros} \cdot L_{bantalan}}$$

$$= \frac{37207}{40 \cdot 40}$$

$$= 23,25 \text{ N/cm}^2$$

Terlihat bahwa $P' < p$ yang diijinkan, sehingga bantalan ini memenuhi syarat.

4.21.4. BAHAN PELUMAS

Bahan pelumas yang dipakai sama dengan bahan pelumas untuk bantalan aksial.

Beban radial = 37207 N.

Tekanan bidang bantalan luncur radial I = 11,63 N/cm²

Tekanan bidang bantalan luncur radial II = 23,25 N/cm²

Relative Clearence (φ):

$$\varphi = 0,0005 + 0,002$$

diambil $\varphi = 0,0008$

h_{min} diambil 10 mc = 0,01 mm

Relative Eccentricity (χ):

$$\chi - 1 = \frac{2 \cdot h_{min}}{D \varphi}$$

maka:

$$\chi - 1 = \frac{2 \cdot 0,01}{400 \cdot 0,0008}$$

$$= 0,94$$

untuk $\chi = 0,94$

Untuk bantalan luncur radial pertama:

$$\frac{L}{D} = \frac{800}{400} = 2$$

didapat $\varnothing = 22$

Tekanan rata-rata (K):

$$\begin{aligned} K &= \frac{\Phi \cdot \mu \cdot n}{19,11 \cdot \varnothing^2} \\ &= \frac{22 \cdot 0,0038 \cdot 185}{19,111 \cdot 0,0008^2} \\ &= 1.127.845 \text{ N/m}^2 \\ &= 1112,78 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Tekanan hidrodinamik (P')

$$P' = K \cdot L \cdot D$$

maka:

$$\begin{aligned} P' &= 1112,78 \cdot 80 \cdot 40 \\ &= 360.896 \text{ N} \end{aligned}$$

Terlihat bahwa $P' > P$ yang bekerja, maka pelumas memenuhi syarat untuk dapat dipakai.

Untuk bantalan luncur radial kedua:

$$\frac{L}{D} = \frac{400}{400} = 1$$

didapat $\varnothing = 117$

Tekanan rata-rata (K):

$$K = \frac{17 \cdot 0,0038 \cdot 165}{19,11 \cdot 0,0008^2}$$

$$= 87,15 \text{ N/cm}^2$$

Tekanan hidrodinamik (P)

$$P'' = 87,115 \cdot 40 \cdot 40$$
$$= 139.440 \text{ N}$$

Terlihat bahwa $P'' > P$ yang bekerja, maka pelumas memenuhi syarat untuk dapat dipakai.

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan perencanaan diambil kesimpulan bahwaturbin air yang direncanakan mempunyai perincian sebagai berikut;

- Type turbin air : Kaplan Vertikal
- Putaran : 165 rpm
- Head Effektif : 6 m
- Kapasitas Air Optimum : 20 m³/det
- Effisiensi : 0,85
- Daya pada head efektif : 1,2 MW
- Diameter sudu jalan (D_1) : 2,5m
- Jumlah sudu jalan : Gottinger
- Diameter sudu pengarah (D_2) : 3,1 m
- Jumlah sudu pengarah : 22 buah
- Type sudu pengarah : Gottinger

DAFTAR PUSTAKA

1. Quantz/Meerwarth, **Wasserkraftmaschinen**, Berlin 1963
2. Hotte, **Wasserkraftmaschinen**, Berlin 1954
3. Igor J. Karasik, William C. Krutzch, Warren H. Frasser and Joseph P. Messina, **Pump Hand Book**, New York. McGraw-Hill Book Company, New York 1976
4. Fritz Dietzel, Dakso Sriyono, **Turbin Pompa Dan Kompresor**, Erlangga, Jakarta 1990
5. Helmuth Schulz, **Die Pumpen**, Springer-Verlag Berlin, New York 1977
6. G.I. Krivchenko, **Hydraulic Machines**, Mir Publishers, Moscow 1986
7. DR.A. Arismunandar, DR.S. Kuwahara, **Teknik Tenaga Listrik**, P.T. Pradnya Paramita 1975
8. George H. Martin, Ir. Setyobakti, **Kinematika dan Dinamika Teknik**, Erlangga 1985
9. V. Dobrovolsky, K. Zablonsy, S. Mak, A. Radchik, L. Erlikh, **Machine Elements**, Peace Publishers Moscow