

PERANCANGAN TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR KAPASITAS 1000 kVA

TUGAS AKHIR



Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana

Oleh :

ABRAR NURSYAHPUTRA
NIM. : 09.813.0041



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2011**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 19/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

PERANCANGAN TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR KAPASITAS 1000 kVA

TUGAS AKHIR

Oleh :

ABRAR NURSYAHPUTRA

NIM. : 09.813.0041

Disetujui :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

(Ir. Husin Ibrahim, M.T)

(Ir. H. Amru Siregar, M.T)

Mengetahui :



Dekan

(Ir. H. Haniza A. Susanto, M.T)



Ka. Program Studi,

(Ir. H. Amru Siregar, M.T)

Tanggal Lulus :

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, rahmat serta kesehatan dan kekuatan bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Skripsi yang berjudul “ PERANCANGAN TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR KAPASITAS 1000 kVA ” ini, dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir semester VIII Pendidikan Program S-1, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Dalam proses pembuatan tugas akhir ini, penulis telah mendapat arahan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik itu berupa materil, spiritual, informasi maupun dari segi administrasi. Untuk itu, sudah selayaknya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Hj. Haniza, M.T., Dekan Teknik Universitas Medan Area;
2. Bapak Ir. H. Amru Siregar, M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area;
3. Bapak Ir. Husin Ibrahim, M.T., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. H. Amru Siregar, M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan saran serta petunjuk dalam penulisan tugas akhir ini;
4. Seluruh Staf pengajar Teknik Mesin, Universitas Medan Area;
5. Bapak Ir. Ahmad Khairy, Kepala Pabrik PKS Sawit Seberang PTPN II, yang telah memberikan izin untuk melakukan riset;
6. Bapak Adi S, selaku pembimbing di lapangan yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan petunjuk dan informasi pada saat melakukan riset;
7. Kedua Orang Tua penulis, yang selama ini telah memberikan dorongan baik material, semangat, doa, serta mendidik dan membesarkan penulis sampai sekarang ini;
8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Dalam penulisan laporan ini, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dan kesilapan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan

berupa kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca atau siapa saja yang ingin melihat isi bahan atau sebagai pembanding.

Medan, Januari 2011

Hormat penulis,

Abrar Nursyahputra

NIM : 09.813.0041



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Perancangan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penulisan.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. Tinjauan Pustaka	5
2.1 Pengantar Umum.....	5
2.2 Azas Impuls dan Reaksi.....	8
2.3 Segitiga Kecepatan Pada Turbin Uap.....	10
2.4 Turbin Impuls.....	14
2.4.1 Turbin Impuls Satu Tahap (De Laval).....	15
2.4.2 Turbin Impuls Gabungan (Curtiss).....	17
2.5 Turbin Reaksi.....	18
2.6 Klasifikasi Turbin Uap.....	19
2.7 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	24
2.7.1 Prinsip Kerja Aksial-Aksi.....	24
2.7.2 Prinsip Kerja Aksial-Reaksi.....	25
2.7.3 Prinsip Kerja Radial-Reaksi.....	26
2.8 Komponen Turbin Uap.....	27
2.8.1 Nosel.....	27

2.8.2 Sudu Turbin.....	29
2.8.3 Rumah Turbin.....	31
2.8.4 Rotor.....	32
2.8.5 Bearing.....	32
2.9 Klasifikasi Kerugian Pada Turbin Uap.....	33
2.9.1 Kerugian Non Mekanik.....	33
2.10 Daya Pada Turbin Uap.....	36
BAB 3. Pembahasan.....	37
3.1 Dasar Perencanaan.....	37
3.2 Analisa Turbin Uap.....	37
3.3 Segitiga Kecepatan.....	40
3.4 Kerugian Turbin Uap.....	44
3.5 Daya Turbin Uap.....	48
BAB 4. Perhitungan Ukuran Turbin.....	49
4.1 Spesifikasi Turbin uap.....	49
4.2 Perhitungan Ukuran Poros.....	49
4.3 Perhitungan Nosel.....	52
4.4 Perhitungan Tinggi Sudu.....	55
4.4.1 Sudu Gerak Baris Pertama.....	55
4.4.2 Sudu Gerak Baris Kedua.....	56
4.4.3 Sudu Pengarah.....	56
4.5 Perhitungan Sudu.....	57
4.5.1 Lebar Sudu Gerak Baris.....	57
4.5.2 Jarak Antara Masing Sudu.....	57
4.5.3 Jumlah Sudu.....	58
4.5.4 Kekuatan Sudu.....	58
4.6 Perhitungan Cakram.....	63
4.7 Rumah Turbin.....	70
4.8 Putaran Kritis.....	71
4.9 Bantalan dan Pelumasan.....	75

BAB 5. Kesimpulan dan Saran	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	



DAFTAR NOTASI

C_1	= Kecepatan uap masuk mutlak pada tingkat pertama (m/s)
C_2	= Kecepatan uap keluar mutlak pada tingkat pertama (m/s)
C'_1	= Kecepatan uap masuk mutlak pada tingkat kedua (m/s)
C'_2	= Kecepatan uap keluar mutlak pada tingkat kedua (m/s)
U	= Kecepatan tangensial sudu (m/s)
W_1	= Kecepatan relatif uap masuk sudu pada tingkat pertama (m/s)
W_2	= Kecepatan relatif uap keluar sudu pada tingkat pertama (m/s)
W'_1	= Kecepatan relatif uap masuk sudu pada tingkat kedua (m/s)
W'_2	= Kecepatan relatif uap keluar sudu pada tingkat kedua (m/s)
α_1	= Sudut masuk mutlak pada tingkat pertama ($^\circ$)
α_2	= Sudut keluar mutlak pada tingkat pertama ($^\circ$)
α'_1	= Sudut masuk mutlak pada tingkat kedua ($^\circ$)
α'_2	= Sudut keluar mutlak pada tingkat kedua ($^\circ$)
β_1	= Sudut masuk sudu pada tingkat pertama ($^\circ$)
β_2	= Sudut keluar sudu pada tingkat pertama ($^\circ$)
β'_1	= Sudut masuk sudu pada tingkat kedua ($^\circ$)
β'_2	= Sudut keluar sudu pada tingkat kedua ($^\circ$)
H_0	= selisih enthalphi antara uap baru yang masuk ke dalam turbin dengan uap bekas yang keluar dari turbin
d	= diameter cakram yang diukur pada diameter rata sudu (m)
n	= putaran turbin (rpm)
p_0	= tekanan uap masuk
p'_0	= tekanan uap masuk turbin
C_{it}	= Kecepatan aktual uap masuk dari nosel
x	= fraksi kekeringan uap rata-rata uap didalam tingkat yang dimaksudkan
G	= Masa aliran uap kg/s
H_i	= Penurunan kalor yang dimanfaatkan setelah memperhitungkan kerugian pada turbin
η_m	= efisiensi mekanik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan modern tenaga listrik merupakan suatu unsur mutlak yang digunakan dalam industri, rumah tangga, komunikasi, instansi pemerintah lembaga pendidikan dan lain-lain. Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang semakin canggih, maka bertambah pula perkembangan industri yang semakin hari semakin meningkat perkembangan industri tersebut tidak lepas dari pemakaian energi yang digunakan untuk menjalankan proses industri tersebut, banyaknya kebutuhan energi tersebut mengakibatkan berkurangnya sumber energi tersedia. Pada pabrik kelapa sawit (PKS). Energi dibutuhkan dalam jumlah yang besar baik energi listrik untuk menggerakkan motor-motor listrik maupun energi thermal uap untuk merebus tanda buah segar (TBS), memanaskan kernel dan untuk klarifikasi pada minyak mentah (CPO).

Energi listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan mesin-mesin konversi energi yang salah satunya adalah turbin uap. Pada industri yang menggunakan pabrik pembangkit listrik sendiri sangat jelas bahwa turbin uap merupakan salah satu alat konversi utama yang menunjang proses industri karena turbin uap dan mesin-mesin penggerak lainnya merupakan salah satu alat konversi yang merubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel atau sudu pengarah dan kemudian menjadi energi mekanik pada rotor turbin yang mana besaran satuan dari kemampuan kerja atau unjuk prestasi kerja turbin uap tersebut

adalah performansi oleh karena itu penulis tertarik untuk mengangkat topik “ Perancangan Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Kapasitas 1000 kVA ” sebagai tugas sarjana.

Turbin yang dianalisa adalah turbin yang bekerja menurut aksi uap latar belakang dari tugas skripsi ini adalah untuk mengetahui besarnya daya, efisiensi-efisiensi yang dihasilkan oleh turbin uap, dan merancang bagian utama turbin uap. Dalam suatu stasiun pembangkit turbin ini baik digunakan untuk industri khususnya pabrik pks karena tekanan uap bekas turbin uap sama dengan tekanan yang dibutuhkan untuk keperluan pengolahan pada suatu kegiatan pabrik sehingga uap yang dihasilkan oleh ketel digunakan secara berganda.

1.2 Tujuan Perancangan

Perencanaan ini dimaksud untuk merencanakan sebuah turbin uap penggerak generator listrik 1000 kVA untuk sebuah unit pembangkit tenaga listrik pada sebuah pabrik kelapa sawit seberang PTPN II.

Perancangan ini didasarkan pada data spesifikasi yang diperoleh dari data survey lapangan dan besar-besaran atau koefisien – koefisien yang dibutuhkan dalam perancangan turbin uap maupun perhitungan ukuran – ukuran utama turbin uap yang tidak terdapat dalam spesifikasi teknik diambil dari referensi dan literatur yang ada.

1.3 Batasan Masalah

Dalam perancangan ini akan dibahas tentang turbin uap penggerak generator untuk dipakai pada pabrik kelapa sawit. Adapun batasan masalahnya meliputi :

Perhitungan termodinamika uap meliputi : perhitungan daya dengan pemanfaatan kalor yang akan terjadi pada turbin uap, perhitungan laju aliran massa uap.

Pemilihan jenis turbin, jumlah tingkat kecepatan turbin, dan dimensi lainnya yang berdasarkan besar daya turbin.

1.4 Metodologi Penulisan

Adapun metode yang digunakan dalam penyusunan tugas sarjana ini:

1. Survey lapangan, yakni berupa peninjauan dan mengumpulkan data pada saat berkunjung disana ke Pabrik Kelapa Sawit SAWIT SEBERANG PTPN II.
2. Study literatur, yakni berupa study kepustakaan, kajian dari buku, tulisan – tulisan yang terkait dan internet yang berhubungan dengan perancangan turbin uap.
3. Diskusi atau konsultasi pada pembimbing pada sewaktu berkunjung kesana, tanya jawab sama dosen pembimbing tentang masalah perancangan turbin uap dan masukan kekurangan didalam tulisan skripsi ini.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas sarjana ini terdiri dari beberapa bab dan setiap bab terdiri beberapa sub bab, uraian dan laporan tugas sarjana ini secara sistematis :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang perencanaan, tujuan perencanaan, batasan masalah, metodologi penulisan, sistematika penulisan

BAB 2 Tinjauan pustaka

Bab ini menguraikan tentang turbin uap

BAB 3 Pembahasan

Bab ini menguraikan tentang analisa turbin uap

BAB 4 Perhitungan ukuran utama turbin

Bab ini menguraikan tentang bagaimana perhitungan komponen turbin uap

BAB 5 Kesimpulan

Bab ini menguraikan tentang kesimpulan dari isi skripsi



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

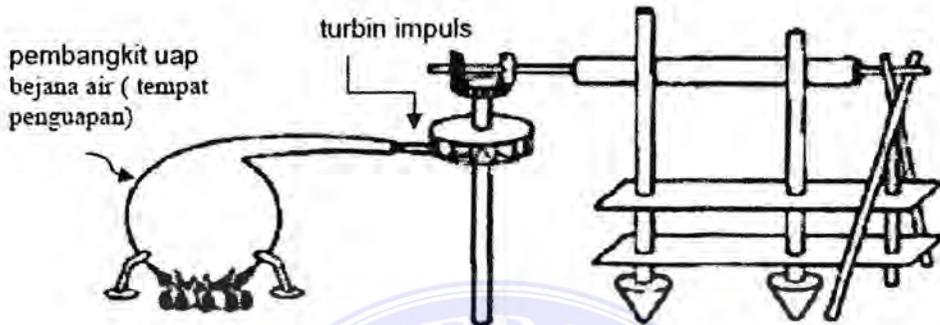
2.1 Pengantar Umum

Turbin asal katanya adalah Turbo (artinya berputar dari bahasa latin), bahasanya Indonesia adalah kincir. Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik terlebih dahulu dikonversikan menjadi energi kinetik dalam nosel (pada turbin impuls) atau dalam nosel dan sudu-sudu gerak (pada turbin reaksi). Ide untuk membuat turbin uap ini sudah lama sekali, ini ternyata dari hasil karya dari Hero seorang Alexandria yang telah membuat sebuah turbin pada tahun 120 sebelum masehi dengan prinsip reaksi, seperti terlihat (Gambar 2-1).



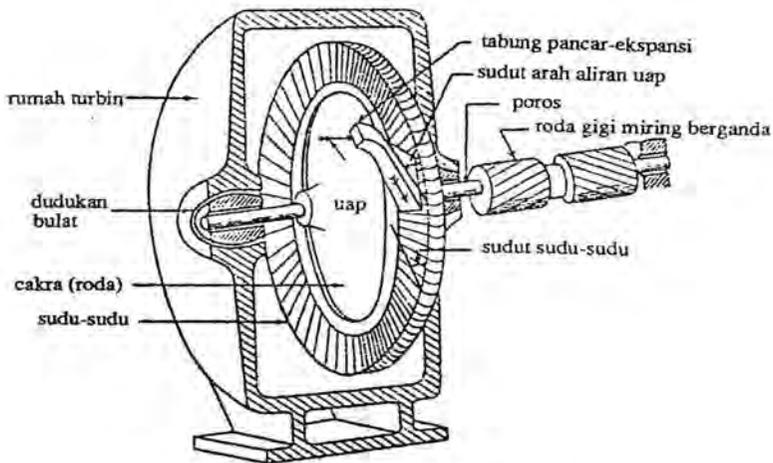
Gambar 2-1. Turbin reaksi buatan Hero

Beberapa abad kemudian yaitu pada tahun 1629 Giovani Branca membuat pula sebuah turbin dalam bentuk yang sederhana tapi lebih praktis dari ciptaan Hero, lihat (Gambar 2-2) Turbin Branca kerja menurut prinsip aksi.



Gambar 2-2. Mesin uap Branca dengan turbin impuls

Kemudian menyusul nama Polikarp Zalesov, yang ada pada tahun 1806-1813 membuat sebuah turbin uap, kemudian pada tahun 1830-an para pekerja dari pabrik Nizhny Tagil membuat pula sebuah turbin uap. Akan tetapi semua yang tersebut di atas tidak begitu kenal dalam dunia teknologi, kemungkinan ciptaan mereka tidak praktis dan ekonomis, sehingga menghilang dalam perjalanan sejarah. Tetapi bagaimana pun juga mereka tercatat sebagai perintis dalam bidang turbin uap. Begitulah dalam tahun 1883 seorang insinyur dari Swedia bernama Dr. Gutav de Laval, menciptakan sebuah turbin uap dari jenis "Turbin Tekanan Sama Bertingkat Tunggal Dengan Roda Gerak Tunggal" atau Single Stage Impuls and Single Disc Steam Turbine. Turbin ini berkapasitas 5 HP, yang berkembang dengan nama turbin De Laval, lihat (Gambar 2-3).



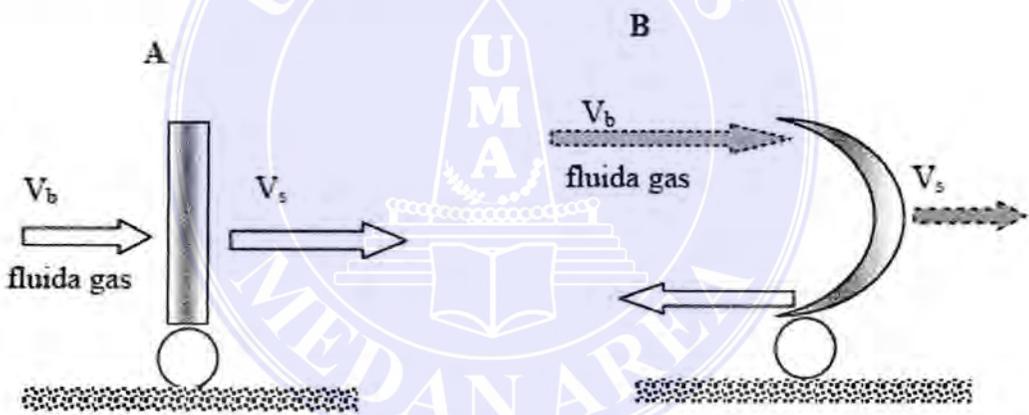
Gambar 2-3. Penampang turbin aksi

Setahun kemudian yaitu pada tahun 1884, seorang bangsa Inggris bernama Charles Algernon Parson, menciptakan pula sebuah turbin uap dari jenis "Turbin Reaksi Bertingkat Ganda" atau Multi Stage Reaction Turbine, yang kemudian berkembang dengan nama sesuai dengan nama penciptanya De Laval mengembangkan turbin dengan Prinsip Impuls dan Aksi, sedangkan Parson mengembangkan turbin dengan Prinsip Reaksi.

Kalau kita perhatikan kembali turbin-turbin pendahulu seperti turbin Hero misalnya telah menerapkan prinsip reaksi sedangkan turbin Branca telah pula menerapkan prinsip aksi. Tujuan menciptakan turbin uap ialah untuk memperoleh energi mekanik dari pemanfaatan energi potensial uap, selain dari mesin uap torak seperti yang telah dibicarakan sebelum ini. Energi mekanik diperoleh sebagai hasil kali Gaya Tangensial (F_t) dengan Kecepatan Tangensial (U). Perbedaan antara turbin dengan prinsip aksi dan turbin dengan prinsip reaksi adalah pada tipe gaya tangensial, bila gaya tangensialnya berbentuk Gaya Aksi maka turbinnya adalah Turbin Aksi dan bila gaya tangensialnya berbentuk Gaya Reaksi maka turbinnya adalah Turbin Reaksi.

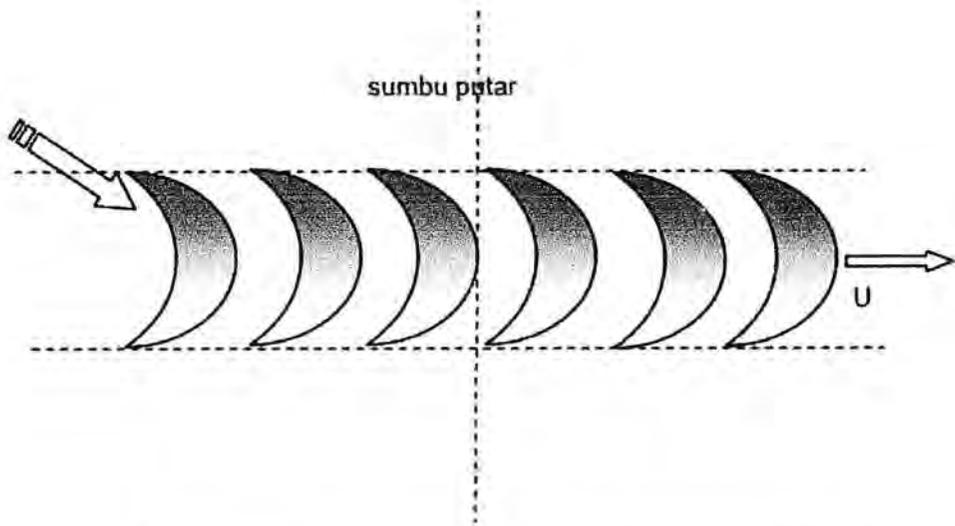
2.2 Azas Impuls dan Reaksi

Turbin uap adalah mesin rotari yang bekerja karena terjadi perubahan energi kinetik uap menjadi putaran poros turbin. Proses perubahan itu terjadi pada sudu-sudu turbin. Sebagai perbandingan dengan mesin torak yang bekerja karena ekspansi energi panas gas atau uap di dalam silinder yang mendorong torak untuk bergerak bolak balik. Pada dasarnya prinsip kerja mesin torak dengan turbin uap adalah sama. Fluida gas dengan energi potensial yang besar berekspansi sehingga mempunyai energi kinetik tinggi yang akan mendorong torak atau sudu, karena dorongan atau tumbukan tersebut, torak atau sudu kemudian bergerak. Proses tumbukan inilah yang dinamakan dengan Impuls, lihat (Gambar 2-4).



Gambar 2-4. Azas impuls pada plat datar dan sudu

Penerapan model sudu tersebut diatas pada turbin uap, penataannya kurang lebih seperti (Gambar 2-5) yaitu menata sudu-sudu tersebut sebaris mengelilingi roda jalan atau poros turbin uap, sehingga terjadi keseimbangan gaya.



Gambar 2-5. Sudu sudu impuls pada rotor turbin uap

Model turbin impuls dalam sejarahnya sudah pernah dibuat oleh Branca, pada (Gambar 2-2) prinsip kerjanya adalah dengan menyemburkan uap berkecepatan tinggi melalui nosel ke sudu-sudu impuls pada roda jalan. karena tumbukan antara semburan gas dengan sudu-sudu jalan turbin impuls, poros turbin menjadi berputar.

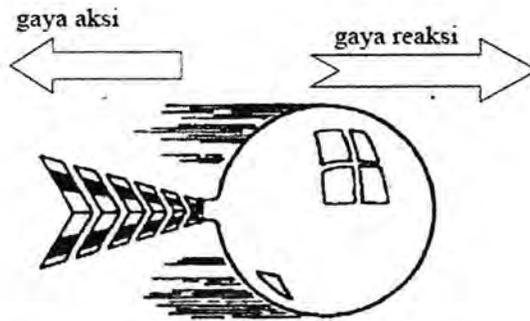
Berbeda dengan azas impuls dan azas reaksi, untuk sebagian orang lebih susah dipahami. Untuk menggambarkan azas reaksi bekerja pada (Gambar 2-6) adalah model jet uap dari Newton.



Gambar 2-6. Mesin uap newton gaya aksi reaksi

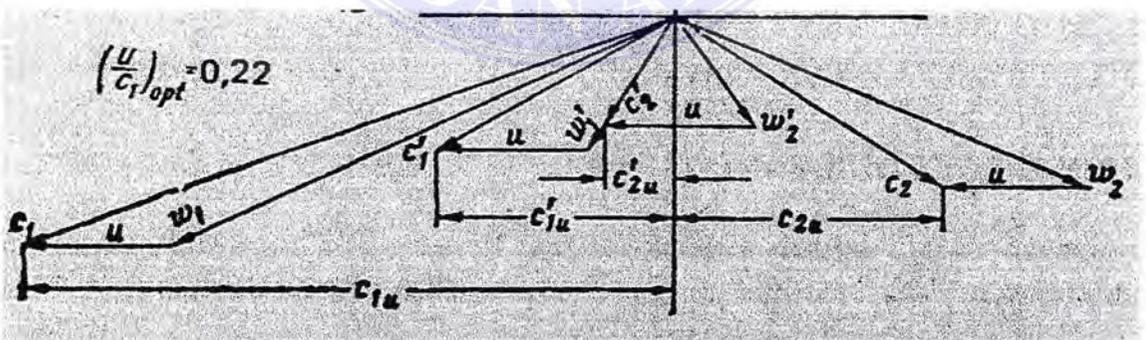
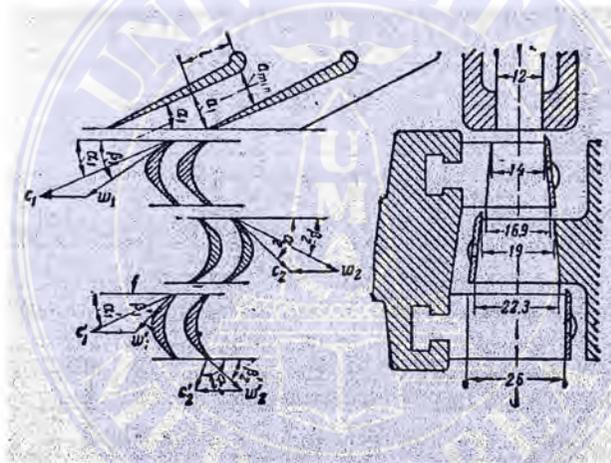
Semburan uap dari tabung mempunyai energi kinetik yang besar sehingga sepeda akan bergerak ke kiri. Dari hal tersebut bisa dipahami bahwa mesin tersebut bekerja dengan azas reaksi, yaitu semburan uap melakukan aksi sehingga timbul

reaksi pada sepeda untuk bergerak melawan aksi. Pada Gambar (2-7) adalah contoh lain dari aksi reaksi.



Gambar 2-7. Gaya aksi reaksi pada balon

2.3 Segitiga Kecepatan Pada Turbin Uap



Gambar 2-8. Segitiga kecepatan pada sudu turbin impuls

Segitiga kecepatan adalah dasar kinematika dari aliran fluida gas yang menumbuk sudu turbin. Dengan pemahaman segitiga kecepatan akan sangat membantu dalam

pemahaman proses konversi pada sudu-sudu turbin uap atau pada jenis turbin yang lain. Adapun notasi dari segitiga kecepatan adalah sebagai berikut :

C_1 = Kecepatan uap masuk mutlak pada tingkat pertama (m/s)

C_2 = Kecepatan uap keluar mutlak pada tingkat pertama (m/s)

C'_1 = Kecepatan uap masuk mutlak pada tingkat kedua (m/s)

C'_2 = Kecepatan uap keluar mutlak pada tingkat kedua (m/s)

U = Kecepatan tangensial sudu (m/s)

W_1 = Kecepatan relatif uap masuk sudu pada tingkat pertama (m/s)

W_2 = Kecepatan relatif uap keluar sudu pada tingkat pertama (m/s)

W'_1 = Kecepatan relatif uap masuk sudu pada tingkat kedua (m/s)

W'_2 = Kecepatan relatif uap keluar sudu pada tingkat kedua (m/s)

α_1 = Sudut masuk mutlak pada tingkat pertama ($^\circ$)

α_2 = Sudut keluar mutlak pada tingkat pertama ($^\circ$)

α'_1 = Sudut masuk mutlak pada tingkat kedua ($^\circ$)

α'_2 = Sudut keluar mutlak pada tingkat kedua ($^\circ$)

β_1 = Sudut masuk sudu pada tingkat pertama ($^\circ$)

β_2 = Sudut keluar sudu pada tingkat pertama ($^\circ$)

β'_1 = Sudut masuk sudu pada tingkat kedua ($^\circ$)

β'_2 = Sudut keluar sudu pada tingkat kedua ($^\circ$)

Dari segitiga kecepatan diatas, segitiga untuk kecepatan untuk turbin curtis dengan dua tingkat kecepatan dan dua pasang segitiga kecepatan dari tingkat dua yang digambar menjadi satu.

Kecepatan uap masuk aktual (C_1)

$$C_1 = 91,5 \times \varphi \sqrt{H_o}$$

H_0 = selisih enthalphi antara uap baru yang masuk ke dalam turbin dengan uap bekas yang keluar dari turbin

Kecepatan uap masuk sudu teoritis (C_{it})

$$C_{it} = C_1 / \varphi$$

φ = faktor kecepatan atau angka kualitas dari nosel yang tergantung pada material dan kualitas dari nosel

- dituang secara kasar $= 0,93 \div 0,94$

- dikerjakan dengan teliti mesin $= 0,95 \div 0,96$

- dikerjakan dengan halus $= 0,96 \div 0,97$

Kecepatan tangensial sudu (U)

$$U = \frac{\pi d n}{60}$$

d = diameter cakram yang diukur pada diameter rata sudu (m)

n = putaran turbin (rpm)

Kecepatan relatif uap masuk (W_1)

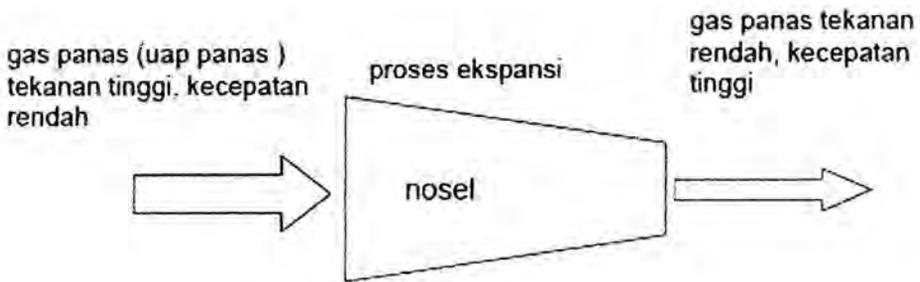
$$W_1^2 = C_1^2 + U^2 - 2 C_1 U \cos \alpha_1$$

α_1 = sudut masuk mutlak

Kecepatan relatif uap keluar

$$W_2 = \psi \times W_1$$

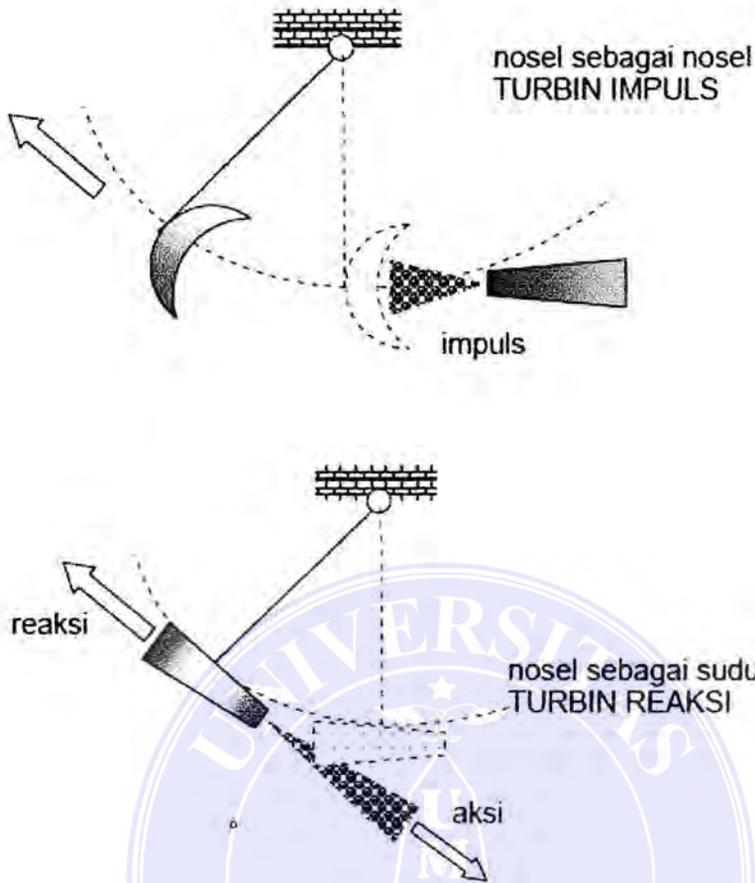
ψ = koefisien kecepatan sudu-sudu (0,75-0,85)



Gambar 2-9. Proses ekspansi pada nosel

Pada turbin, proses perubahan energi mulai terjadi di nosel, yaitu ekspansi fluida gas pada nosel. Pada proses ekspansi di nosel, energi fluida mengalami penurunan, demikian juga tekanannya. Berbarengan dengan penurunan energi dan tekanan, kecepatan fluida gas naik, dengan kata lain energi kinetik fluida gas naik karena proses ekspansi. Kemudian, fluida gas dengan energi kinetik tinggi menumbuk sudu turbin dan memberikan sebagian energinya ke sudu, sehingga sudu pun bergerak. Perubahan energi dengan tumbukan fluida di sudu adalah azas impuls.

Untuk perubahan energi dengan azas reaksi, sudu turbin reaksi berfungsi seperti nosel. Hal ini berarti, pada sudu turbin reaksi terjadi proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan fluida gas dengan dibarengi kenaikan kecepatan. Karena prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami dengan kenaikan kecepatan fluida gas pada sudu turbin reaksi, sudu turbin pun akan bergerak sebesar nilai kecepatan tersebut dengan arah yang berlawanan.



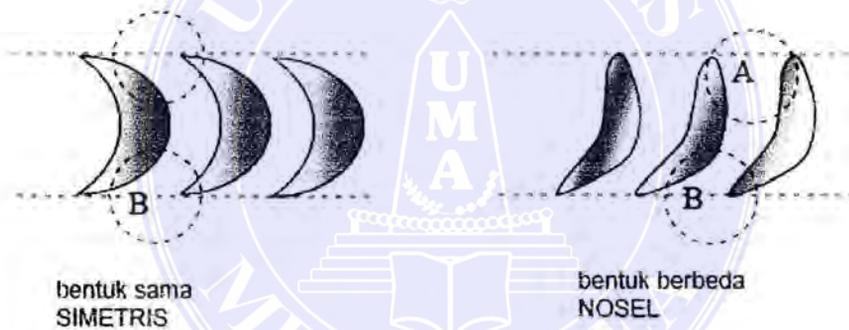
Gambar 2-10. Fungsi nosel

2.4 Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin yang mempunyai roda jalan atau rotor dimana terdapat sudu-sudu impuls. Sudu-sudu impuls mudah dikenali bentuknya, yaitu simetris dengan sudut masuk (β_1) dan sudut keluar (β_2) yang sama, pada turbin biasanya ditempatkan pada bagian masuk dimana uap bertekanan tinggi dengan volume spesifik rendah. Bentuk turbin impuls pendek dengan penampang yang konstan. Ciri yang lain adalah secara termodinamika penurunan energi terbanyak pada nosel, dimana pada nosel terjadi proses ekspansi atau penurunan tekanan. Sudu-sudu turbin uap terdiri dari sudu tetap dan sudu gerak. Sudu tetap berfungsi sebagai nosel dengan energi kinetik yang naik, sedangkan pada sudu bergerak

tekanan adalah konstan atau tetap. dari karakteristik tersebut, turbin impuls sering disebut turbin tekanan sama.

Bentuk dari sudu tetap turbin impuls ada dua macam yaitu bentuk simetris dan bentuk tidak simetris. Pada bentuk sudu tetap simetris, profile kecepatan dan tekanan adalah sama, tidak ada perubahan kecepatan dan tekanan. Sedangkan pada sudu tetap yang berfungsi sebagai nosel mempunyai bentuk seperti nosel yaitu antara penampang sudu membentuk penampang yang menyempit pada ujungnya. Karena bentuknya nosel, kecepatan akan naik dan tekanan turun. Bentuk pertama simetris dipakai pada turbin uap Curtis dan bentuk yang kedua dipakai turbin uap Rateau.

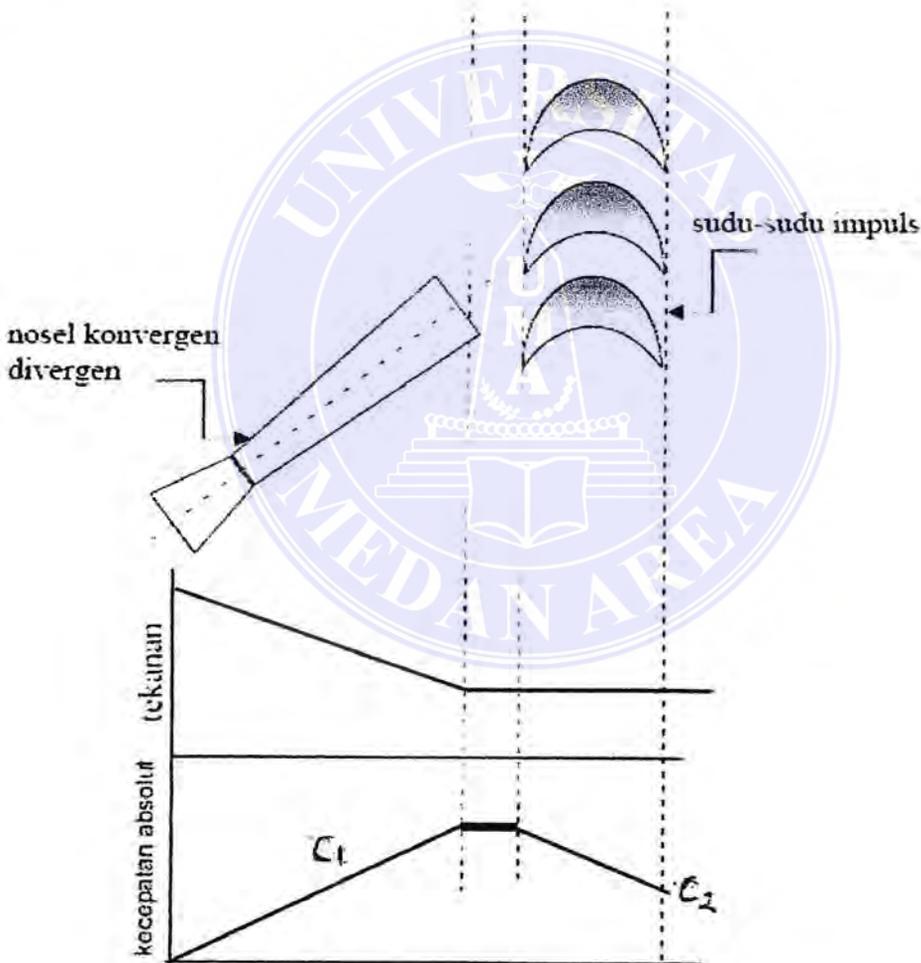


Gambar 2-11. Bentuk sudu tetap turbin impuls

2.4.1 Turbin Impuls Satu Tahap (Turbin De Laval)

Pada (Gambar 2-12) adalah skema turbin De laval atau turbin impuls satu tahap. Turbin terdiri satu atau lebih nosel konvergen divergen dan sudu-sudu impuls terpasang pada roda jalan (rotor). Tidak semua sudut terkena semburan uap panas dari nosel, hanya sebagian saja. Pengontrolan putaran dengan jalan menutup satu atau lebih nosel konvergen divergen. Adapun cara kerjanya adalah sebagai berikut. Aliran uap panas masuk nosel konvergen divergen, di dalam nosel uap berekspansi sehingga tekanannya turun. Berbarengan dengan penurunan

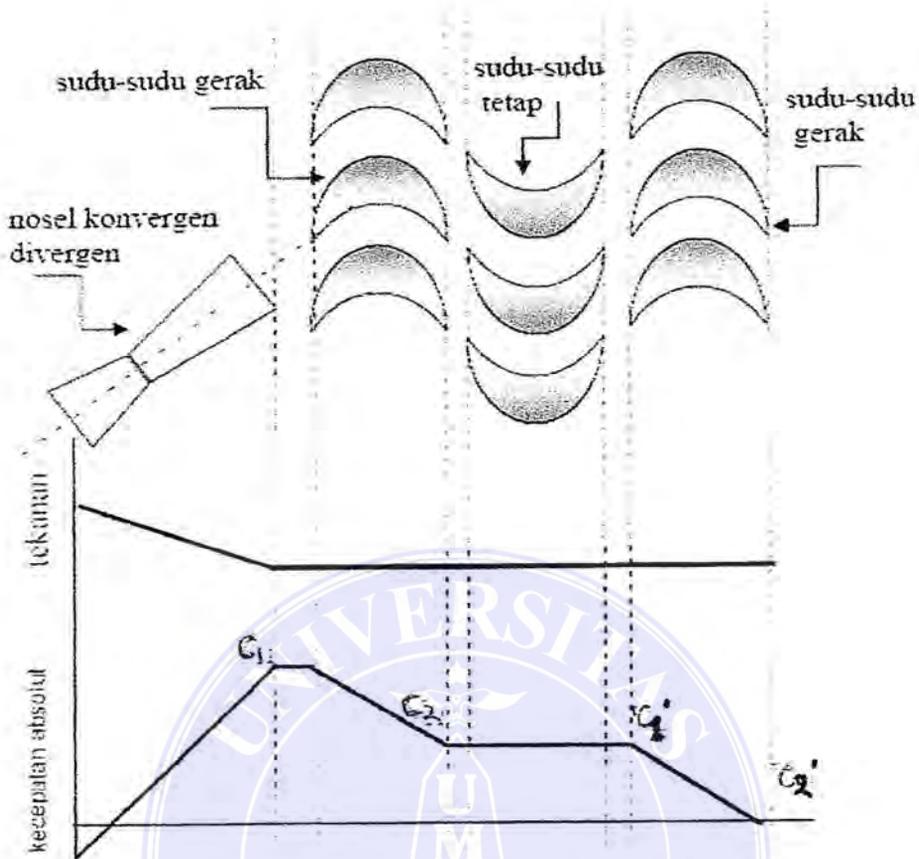
tekanan, kecepatan uap panas naik, hal ini berarti terjadi kenaikan energi kinetik uap panas. Setelah berekspansi, uap panas menyembur keluar nosel dan menumbuk sudu-sudu impuls dengan kecepatan absolut C_1 . Pada sudu-sudu impuls uap panas memberikan sebagian energinya ke sudu-sudu, dan mengakibatkan sudu-sudu bergerak dengan kecepatan U . Tekanan pada sudu-sudu turbin adalah konstan atau tetap, sedangkan kecepatan uap keluar sudu berkurang menjadi C_2 .



Gambar 2-12. Turbin uap impuls satu tahap

2.4.2 Turbin Impuls Gabungan (Curtis)

Turbin uap Curtis adalah turbin yang bekerja dengan prinsip impuls secara bertahap. Berbeda dengan turbin satu tahap, turbin Curtis mempunyai beberapa baris sudu bergerak dan baris sudu tetap. Pada (Gambar 2-13) adalah susunan turbin uap Curtis, proses ekspansi uap panas pada nosel, dimana kecepatan uap panas naik (C_1) dan tekanan turun. Uap panas yang mempunyai kecepatan tinggi masuk baris pertama sudu bergerak, pada tahap ini uap memberikan sebagian energinya sehingga kecepatannya turun (C_2). Selanjutnya, sebelum masuk baris sudu bergerak tahap kedua, terlebih dahulu melewati sudu tetap. Pada sudu-sudu tetap yang berbentuk simetris, uap tidak kehilangan energinya, kecepatan (C'_1) dan tekanannya konstan. Uap dengan kecepatan C'_1 setelah melewati sudu tetap masuk baris sudu bergerak tahap kedua, uap memberikan energinya yang tersisa ke sudu-sudu bergerak, karena itu kecepatannya turun kembali menjadi C'_2 .



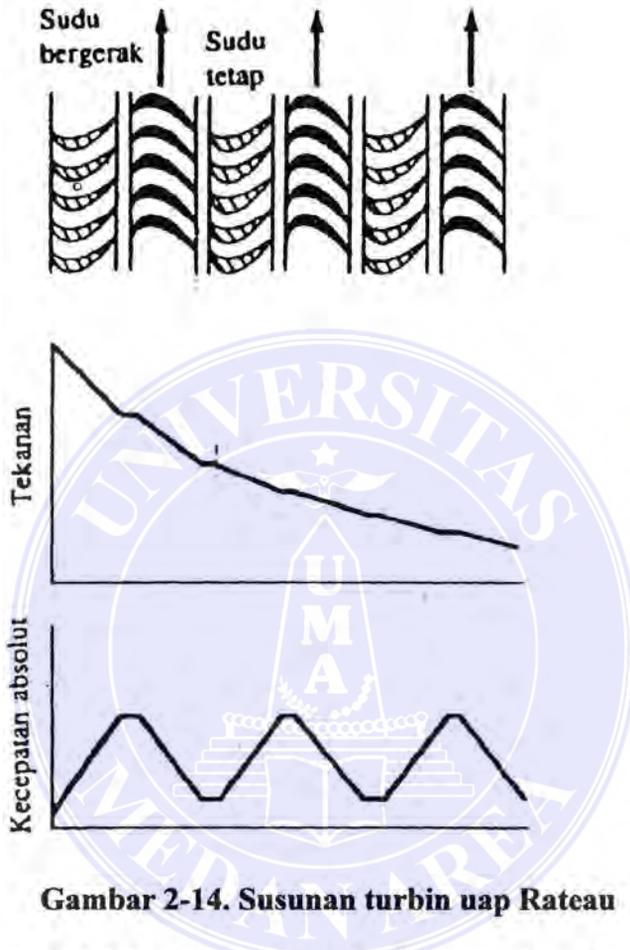
Gambar 2-13. Susunan turbin uap Curtis

Pada turbin Curtis penurunan uap terjadi dengan sempurna pada nosel sehingga tidak ada penurunan tekanan lagi pada sudu-sudu, dan energi kinetik dari nosel dipakai oleh dua baris sudu bergerak tidak hanya satu baris saja. Ciri khas dari turbin ini adalah kecepatan akan turun setelah melewati sudu bergerak, dan kecepatannya konstan pada sudu tetap.

2.5 Turbin Reaksi

Turbin reaksi pertama kali dikenalkan oleh Parson, pada (Gambar 2-14) adalah contoh turbin reaksi tiga tahap, terdiri dari 3 baris sudu tetap dan 3 baris sudu bergerak. Sudu tetap dibuat sedemikian rupa sehingga fungsinya sama dengan nosel. Sedangkan sudu bergerak dapat dibedakan dengan jelas dengan

sudu impuls karena tidak simetris. Sudu bergerak pun difungsikan sebagai nosel, karena fungsinya yang sama dengan sudu tetap, maka bentuknya sama dengan sudu tetap, tetapi arah lengkungannya berlawanan.



Gambar 2-14. Susunan turbin uap Rateau

Penurunan tekanan adalah sinambung dari tahap satu ke tahap berikutnya, dari sudu tetap dan sudu bergerak. Kecepatan absolutnya setiap melewati sudu tetap akan naik dan setelah melewati sudu bergerak akan turun, selanjutnya akan berulang sampai akhir tahap.

2.6 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap dapat diklasifikasikan kedalam kategori yang berbeda yang tergantung pada konstruksinya, penurunan kalor, kondisi-kondisi awal dan akhir uap dan pemakaiannya di bidang industri sebagai berikut :

Menurut Metode Pengaturan :

1. Turbin dengan pengaturan pengecilan (throttling) yang uap segarnya masuk melalui satu atau lebih (yang tergantung pada daya yang dihasilkan) katup pengecil yang dioperasikan serempak.
2. Turbin dengan pengaturan nosel yang uap segarnya masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka (opening regulator) yang berurutan.
3. Turbin dengan pengaturan langkau (by pass governing) yang uap segarnya di samping dialirkan ke tingkat pertama juga langsung dialirkan ke satu, dua atau bahkan tiga tingkat menengah turbin tersebut.

Menurut Prinsip Aksi Uap :

1. Turbin impuls, yang energi potensial uapnya diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel atau laluan yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan, dan di dalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap diubah menjadi energi mekanis, menurut praktek turbin impuls yang dilakukan sekarang ini, pengklasifikasikan ini adalah relative, karena turbin ini beroperasi dengan derajat reaksi yang agak membesar pada sudu gerak tingkat-tingkat yang berikutnya (pada turbin kondensasi).
2. Turbin reaksi aksial yang ekspansi uap di antara lalu sudu baik pengarah maupun sudu gerak tiap-tiap tingkat berlangsung hampir pada derajat yang sama.
3. Turbin reaksi radial tanpa sudu pengarah yang diam.
4. Turbin reaksi aksial dengan sudu pengarah yang diam.

Menurut jumlah tingkat tekanan :

1. Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan yang biasanya berkapasitas kecil, turbin ini kebanyakan dipakai untuk menggerakkan compressor sentrifugal dan mesin-mesin lain yang serupa.
2. Turbin impuls dan reaksi nekatingkat, turbin ini dibuat dalam jangka kapasitas yang luas mulai dari yang kecil hingga yang besar.

Menurut arah aliran uap :

1. Turbin aksial, yang uapnya mengalir dalam arah yang sejajar terhadap sumbu turbin, tegak lurus terhadap sumbu turbin satu atau lebih tingkat kecepatan rendah pada turbin itu dibuat aksial.
2. Turbin radial, yang uapnya mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin.

Menurut Jumlah Silinder :

1. Turbin silinder tunggal (single cylinder steam).
2. Turbin silinder ganda (two cylinder steam).
3. Turbin tiga silinder (three cylinder steam).
4. Turbin empat silinder (four cylinder steam).

Turbin nekatingkat yang rotornya dipasang pada satu dan poros yang sama dan dikopel dengan generator tunggal yang dikenal sebagai turbin poros tunggal, turbin dengan poros rotor yang terpisah untuk masing-masing silinder yang dipasang sejajar dengan yang lainnya dikenal sebagai turbin neka aksial.

Menurut Proses Penurunan Kalor :

1. Turbin kondensasi (condensing turbine) dengan generator, pada turbin jenis ini uap pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dialirkan ke kondenser, di samping itu uap juga dicerat dari tingkat-tingkat menengahnya untuk memanaskan air pengisian ketel, jumlah penceratan yang demikian itu biasanya 2-3 hingga sebanyak 8-9. Kalor laten uap buang selama proses kondensasi semuanya hilang pada turbin ini. Turbin kapasitas kecil pada desain yang terdahulu sering tidak mempunyai pemanasan air pengisian yang regeneratif.
2. Turbin kondensasi dengan satu atau dua penceratan dari tingkat menengahnya pada tekanan tertentu untuk keperluan-keperluan industri dan pemanasan.
3. Turbin tekanan lawan (back pressure turbine), uap buang dipakai untuk keperluan-keperluan industri dan pemanasan, ke dalam turbin jenis ini dapat juga ditambahkan (dalam artian yang relatif) turbin dengan kevakuman yang dihilangkan (deteriorated), yang uap buangnya dapat dipakai untuk keperluan-keperluan pemanasan dan proses.
4. Turbin tumpang, turbin ini juga adalah jenis turbin tekanan lawan dengan perbedaan bahwa uap buang dari turbin jenis ini lebih lanjut masih dipakai untuk turbin-turbin kondensasi tekanan menengah dan rendah. Turbin ini, secara umum, beroperasi pada kondisi tekanan dan temperatur uap awal yang tinggi, dan dipakai kebanyakan untuk membesarkan kapasitas pembangkit pabrik, dengan maksud untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik.

5. Turbin tekanan lawan (back pressure turbine) dengan penerasan uap dari tingkat-tingkat menengahnya pada tekanan tertentu, turbin ini jenis dimaksudkan untuk mensuplai uap kepada konsumen pada berbagai kondisi tekanan dan temperatur.
6. Turbin tekanan rendah (tekanan buang) yang uap buang dari mesin-mesin uap, palu uap, mesin tekan, dan lain-lain, dipakai untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik.
7. Turbin tekanan campur dengan dua atau tiga tingkat tekanan-tekanan, dengan suplai uap buang ke tingkat-tingkat menengahnya.
8. Turbin-turbin yang disebutkan pada b sampai e biasanya mempunyai tekanan penerasan untuk pemanasan air pengisian ketel secara regeneratif, di samping penerasan uap pada tekanan-tekanan tertentu untuk keperluan-keperluan lainnya.

Menurut Kondisi-Kondisi Uap Pada Sisi Masuk Turbin :

1. Turbin tekanan rendah, yang memakai uap tekanan 1,2 sampai 2 ata.
2. Turbin tekanan menengah, yang memakai uap tekanan sampai 40 ata.
3. Turbin tekanan tinggi, yang memakai uap tekanan di atas 40 ata.
4. Turbin tekanan yang sangat tinggi, yang memakai uap pada tekanan 170 atau lebih dan temperatur di atas 550°C atau lebih.

Menurut Pemakaiannya di Bidang Industri :

1. Turbin stasioner dengan kecepatan putar yang konstan dipakai terutama untuk menggerakkan alternator.

2. Turbin uap stasioner dengan kecepatan yang bervariasi dipakai untuk menggerakkan blower turbo, pengedar udara (air circulator), pompa dan lain-lain.
3. Turbin yang tidak stasioner dengan kecepatan yang bervariasi, turbin jenis ini biasanya dipakai pada kapal-kapal uap, kapal, lokomotif kereta api (lokomotif – turbo).

2.7 Prinsip Kerja Turbin Uap

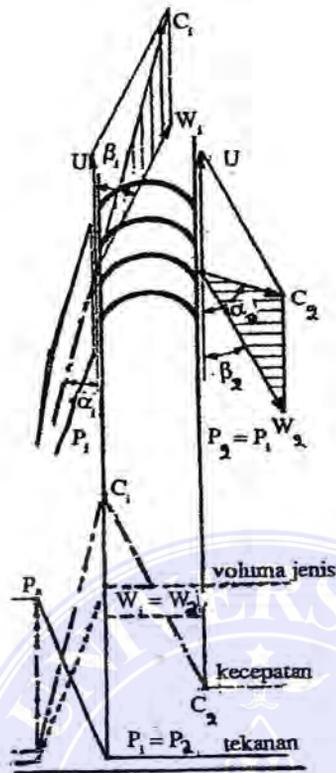
Prinsip kerja turbin uap secara umum ada tiga macam yaitu :

1. Prinsip aksial-aksi
2. Prinsip aksial-reaksi
3. Prinsip radial-reaksi

2.7.1 Prinsip Kerja Aksial-Aksi

Bila pada sebuah turbin uap, uap dari ketel uap diekspansikan dalam pipa pancar (nosel) dari tekanan ketel ($P_a \text{ kg/cm}^2$) ke tekanan tertentu ($P_1 \text{ kg/cm}^2$), maka akan terjadi penurunan tekanan uap sehingga akan mengakibatkan terjadinya kenaikan kecepatan uap dari kecepatan uap meninggalkan ketel atau memasuki nosel ($C_a \text{ m/s}$) ke kecepatan uap meninggalkan nosel atau memasuki sudu gerak ($C_1 \text{ m/s}$).

Dalam sudu-sudu gerak (moving blade) terjadi penurunan kecepatan uap, dari kecepatan masuk mutlak $C_1 \text{ m/s}$ menjadi $C_2 \text{ m/s}$, dan selama uap melalui sudu-sudu gerak tidak terjadi perubahan tekanan. Jadi tekanan uap masuk turbin sama dengan tekanan uap meninggalkan turbin ($P_1 = P_2$). Prinsip kerja dari turbin tersebut adalah prinsip kerja impuls.



Gambar 2-15. Diagram sistem kerja aksi

2.7.2 Prinsip Kerja Aksial-Reaksi

Pada turbin dengan prinsip kerja reaksi, uap dari ketel diekspansikan dalam nosel dan sudu-sudu gerak. Pada nosel uap akan mengalami penurunan tekanan dari P_a ke P_1 dan terjadi kenaikan kecepatan dari C_a ke C_1 . Dalam sudu tekanan uap turun dari P_1 ke P_2 dan kecepatan turun dari C_1 ke C_2 .

Jadi pada turbin reaksi, ekspansi uap terjadi dalam nosel atau sudu-sudu gerak. Sudu-sudu reaksi berbentuk airfoil dan ini menghasilkan suatu saluran aliran uap yang berbentuk nosel konvergen divergen. Pada tiap tingkat reaksi pada turbin reaksi, profil sudu-sudu gerak dikonstruksikan dengan sudu masuk nisbi sama dengan sudu keluar mutlak ($\alpha_2 = \beta_1$) dan sudu keluar nisbi sama dengan kecepatan masuk mutlak ($W_2 = C_1$) dan kecepatan uap masuk nisbi sama dengan kecepatan

keluar mutlak ($W_1 = C_2$).

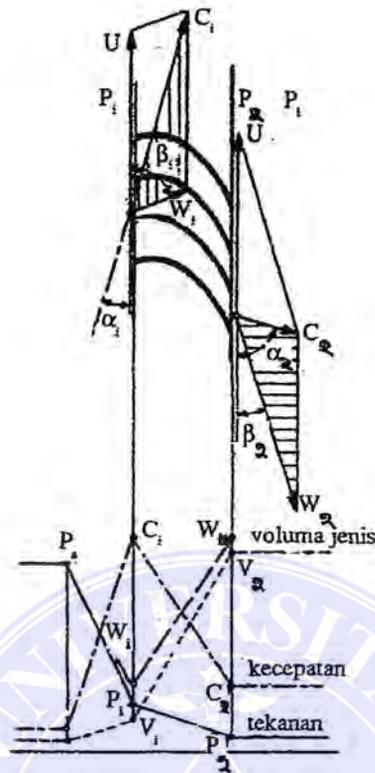
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



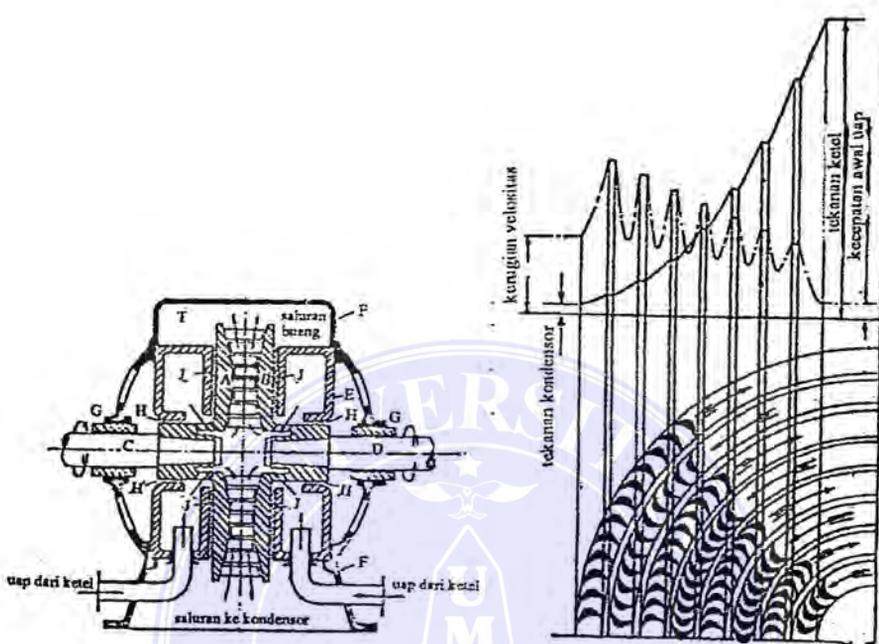
Gambar 2-16. Prinsip kerja reaksi

2.7.3 Prinsip Kerja Radial-Reaksi

Pada dasarnya baik turbin impuls maupun turbin reaksi bekerja dengan aliran aksial, artinya uap masuk turbin mendekati sejajar dengan poros turbin. Tetapi lain halnya dengan turbin radial, karena uap masuk turbin dalam arah radial. Selanjutnya turbin ini berkerja dengan prinsip reaksi.

Turbin ini mempunyai dua rotor A dan B yang padanya dipasangkan sudu-sudu jalan, yang sekaligus berfungsi sebagai sudu-sudu tetap terhadap pasangan sudu-sudu jalan lainnya. Turbin ini mempunyai dua poros C dan D yang terpisah dengan putaran yang berlawanan, karena kedua rotor berputar berlawanan arah. Uap masuk dari dua belah sisi ke kotak pengumpul uap E, kemudian memasuki sudu-sudu dalam arah radial. Uap mengekspansi masing-masing sudu jadi sesuai

dengan prinsip reaksi, jadi turbin ini dengan prinsip radial-reaksi, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2-17. Penampang memanjang (kiri) dan melintang (kanan) sebuah turbin radial-reaksi dengan diagram sistem

2.8 Komponen Turbin Uap

Komponen turbin uap terdiri dari :

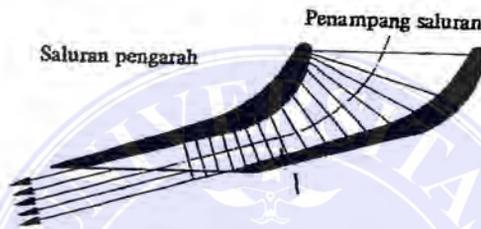
2.8.1 Nosel

Nosel ialah sebuah peralatan untuk mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dengan jalan mengembangkan (mengeksansi) uap dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah dalam sebuah turbin.

Syarat-syarat utama sebuah nosel adalah sebagai berikut :

1. Dapat menghindari perubahan tiba-tiba dari arah aliran uap, khususnya untuk kecepatan-kecepatan tinggi.

2. Sisi keluar nosel harus dirancang, supaya dari energi tingkat sebelumnya dapat dipakai pada tingkat yang sebanyak mungkin.
3. Permukaan saluran haruslah sehalus mungkin, untuk mereduksi friksi antara uap dan saluran nosel, khususnya untuk kecepatan uap tinggi.
4. Rancangan harus mudah untuk diproduksi dan penghalusan, untuk memungkinkan saluran yang seteliti mungkin khususnya pada temperatur akhir yang tinggi.

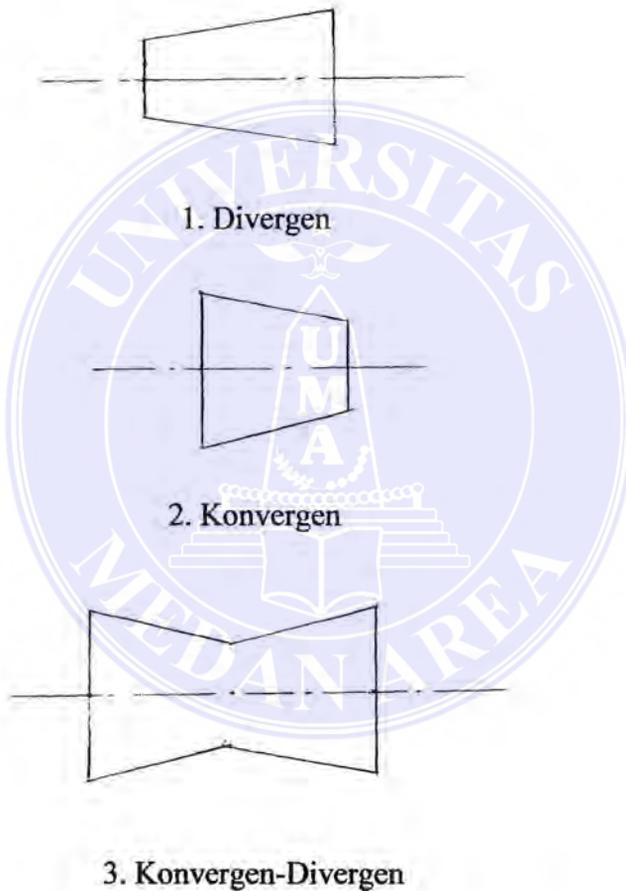


Gambar 2-18. Saluran pengarah

Terdapat 3 jenis nosel, yaitu :

1. Nosel Divergen : yang memungkinkan mengekspansi didalamnya sehingga tekanan, temperatur, dan entalphi turun sehingga terjadi penurunan energi thermal sedangkan volume jenis, kecepatan aliran uap naik sehingga menimbulkan energi kinetis. Jadi jelas di sini bahwa bahwa kehilangan energi thermal diimbuh oleh energi kinetik.
2. Nosel Konvergen : yang cocok untuk mengekspansikan uap dari tekanan-tekanan tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih tinggi dari tekanan kritis yang bersangkutan, yaitu :
 - Sampai tekanan lebih tinggi dari 0,577 tekanan awal ekspansi, untuk uap saturasi

- Sampai tekanan yang lebih tinggi dari 0,546 tekanan awal ekspansi, untuk uap adi panas
3. Nosel Konvergen-Divergen : yang cocok untuk mengekspansikan uap dai tekanan-tekanan awal tertentu, ke tekanan-tekanan yang lebih rendah dari tekanan kritis yang bersangkutan.

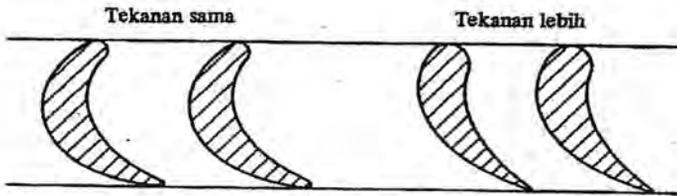


Gambar 2-19. Nosel Divergen(1), Nosel Konvergen(2), Nosel Konvergen-Divergen(3)

2.8.2 Sudu turbin

Sudu turbin disebut juga sudu jalan atau sudu gerak, dimana sudu tersebut dipasang melingkar melalui rotor sumbu roda turbin. Apabila uap masuk ke dalam

sudu lalu menekan sudu-sudu tersebut hingga berputarlah rotor. Apabila rotor turbin berputar pada kecepatan tinggi terjadi gaya sentrifugal yang berusaha melepas sudu-sudu rotor dari kedudukannya.



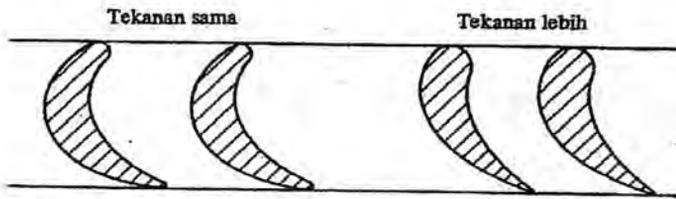
Gambar 2-20. Profil sudu jalan

Sudu-sudu merupakan bagian utama dari sebuah turbin, di dalam sudu-sudu daya kerja uap harus ekonomis mungkin diubah menjadi kerja keluar. Bentuk atau cara pembuatan sudu yang kurang baik dapat menimbulkan kerugian.



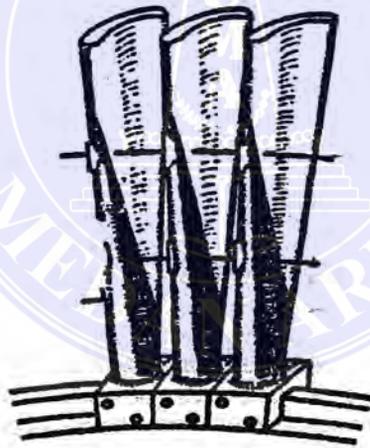
Gambar 2-21. Sudu-sudu panjang

sudu lalu menekan sudu-sudu tersebut hingga berputarlah rotor. Apabila rotor turbin berputar pada kecepatan tinggi terjadi gaya sentrifugal yang berusaha melepas sudu-sudu rotor dari kedudukannya.

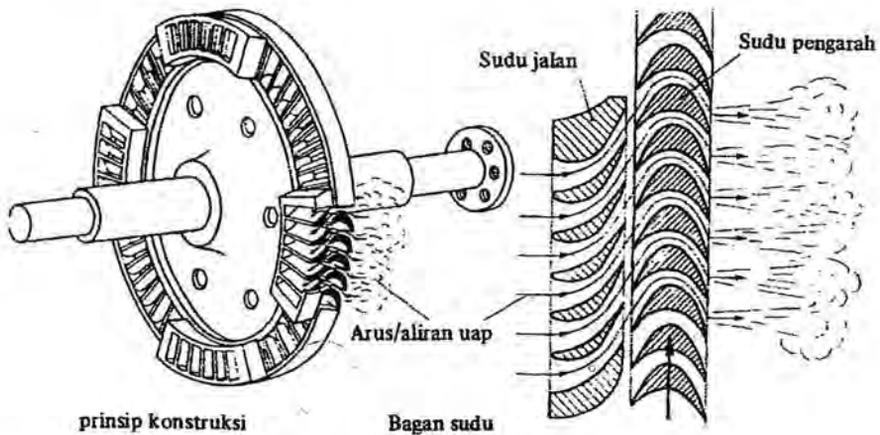


Gambar 2-20. Profil sudu jalan

Sudu-sudu merupakan bagian utama dari sebuah turbin, di dalam sudu-sudu daya kerja uap harus ekonomis mungkin diubah menjadi kerja keluar. Bentuk atau cara pembuatan sudu yang kurang baik dapat menimbulkan kerugian.



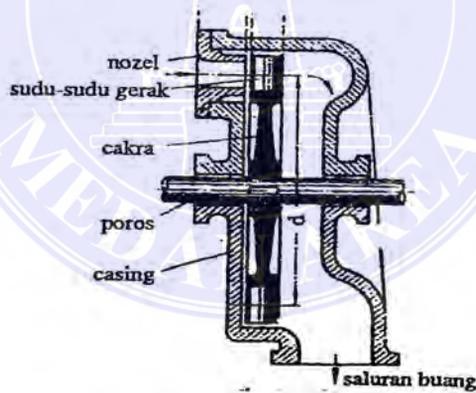
Gambar 2-21. Sudu-sudu panjang



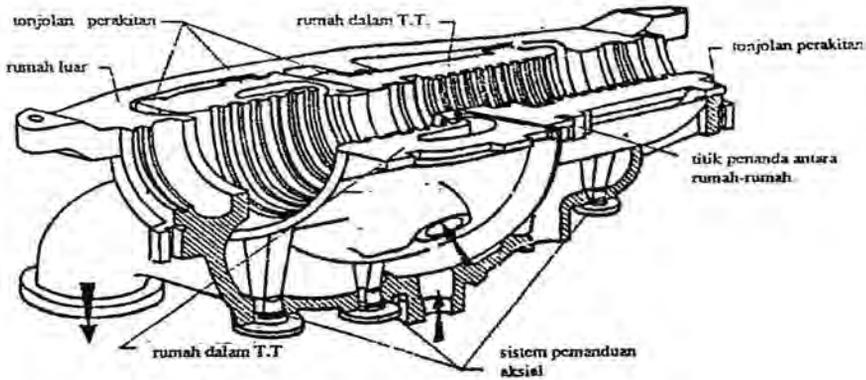
Gambar 2-22. Bagan cara kerja uap ketika sedang melewati sudu-sudu

2.8.3 Rumah turbin (casing)

Rumah turbin merupakan komponen yang berfungsi untuk membungkus atau menutupi konstruksi turbin uap yang telah selesai dibuat, dengan maksud agar terjaga dari pengaruh luar.



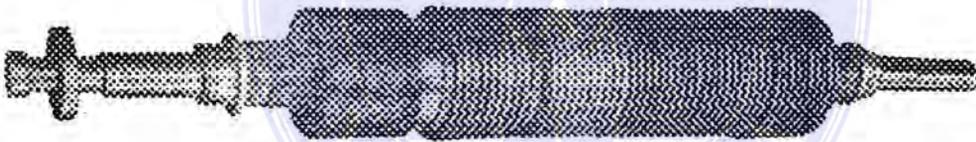
Gambar 2-23. Casing De Laval



Gambar 2-26. Rumah turbin

2.8.4 Rotor

Rotor merupakan alat untuk memindahkan kerja yang dihasilkan oleh uap pada sudu-sudu jalan ke poros mesin atau melalui transmisi reduksi roda gigi. Ataupun Rotor adalah bagian dari turbin yang berputar akibat pengaruh gesekan uap terhadap sudu-sudu gesek.



Gambar 2-27. Rotor

2.8.5 Bearing

Bearing adalah suatu elemen mesin yang sangat penting yaitu sebagai tempat dudukan poros sehingga putaran dapat lancar dan putaran berlangsung dengan baik dengan koefisien gerak kecil.

Bearing juga berfungsi sebagai penyangga rotor yang membuat rotor dapat stabil/lurus pada posisi di dalam casing sehingga rotor dapat berputar dengan aman/bebas.

Bearing terbagi atas dua jenis :

1. Jurnal Bearing berfungsi sebagai bantalan poros turbin atau penahan gaya radial.
2. Thrust Bearing berfungsi sebagai penahan gaya aksial poros turbin.

2.9 Klasifikasi Kerugian Turbin Pada Turbin Uap

Semua kerugian yang timbul pada turbin aktual dapat dibagi menjadi beberapa kelompok :

2.9.1 Kerugian Non Mekanik

Kerugian non mekanik yaitu kerugian yang dapat mempengaruhi kondisi uap sewaktu uap tersebut mengalir melalui turbin. Kerugian ini dapat diklasifikasikan menjadi :

a. Kerugian Kalor Pada Katup Pengatur

Adalah suatu hal yang perlu bahwa uap sebelum masuk kedalam turbin haruslah melalui katup penutup (stop valve) dan katup pengatur tanpa kecuali yang merupakan bagian terpadu turbin tersebut.

Jadi, kondisi - kondisi uap sebelum masuk turbin langsung dikaitkan dengan kondisi - kondisi uap segar sebelum memasuki katup penutup (dan katup pengatur). Aliran uap melalui katup - katup penutup dan pengatur disertai oleh kerugian energi akibat proses pencekikkan kandungan kalor total uap per kilogram akan tetap sama, dengan kata lain, $i_0 = \text{konstan}$.

$$\Delta p_v = (0,03 - 0,05) p_0$$

$$p_0 = \text{tekanan uap masuk}$$

$$p'_0 = \text{tekanan uap masuk turbin}$$

b. Kerugian Pada Nosel

Kerugian - kerugian energi kinetik uap sewaktu mengalir melalui laluan nosel atau sudu pengarah adalah akibat kerugian energi uap sebelum memasuki nosel, tahanan gesek dinding - dinding nosel, gesekan akibat viskositas partikel, penyimpangan aliran, penebalan lapisan batas, turbulensi pada olakan (kerugian olakan) dan kerugian - kerugian pada dinding atas dan bawah sudu (nosel), dan lain - lain.

$$h_n = \frac{C_{it}^2 - C_1^2}{8378} \text{ (kkal/kg)}$$

C_{it} = Kecepatan aktual uap masuk dari nosel

c. Kerugian Pada Sudu Gerak

Kerugian pada sudu gerak disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

- Kerugian akibat olakan pada ujung belakang sudu.
- Kerugian akibat tubrukan.
- Kerugian akibat kebocoran uap melalui ruang melingkar.
- Kerugian akibat gesekan.
- Kerugian akibat pembelokan semburan pada sudu.
- Kerugian akibat penyelubungan.

$$h^*_b = \frac{W_1^2 - W_2^2}{8378} \text{ (kkal/kg)}$$

d. Kerugian Aliran Keluar

Waktu meninggalkan turbin, uap masih mempunyai kecepatan keluar mutlak C_2 . Tentu saja uap dengan kecepatan sebesar itu masih mempunyai energi kinetik sebesar :

BAB 3

PEMBAHASAN

3.1 Dasar Perencanaan

Data-data turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit Seberang PTPN II :

Tekanan uap masuk	: 20 bar
Tekanan uap keluar	: 3,5 bar
Temperatur uap masuk	: 250°C
Max cont	: 5000 rpm
Cos φ	: 0.8

Generator yang akan dipakai berkapasitas 800 kW dan faktor daya Cos φ sebesar 0,8 (hasil survey) maka daya semu yang diperoleh pada generator sebesar :

$$N_s = \frac{N_{gen}}{\cos \varphi}$$

$$N_s = \frac{800kW}{0,8}$$

$$N_s = 1000kVa$$

3.2 Analisa Data Turbin Uap

Dari data survey dapat dilihat :

- Tekanan uap masuk(P_o) = 20 bar
- Temperatur uap masuk (T_o) = 250°C

Dari tabel uap superheat diperoleh :

- Enthalpy uap masuk (h_o) = 2902,5 kJ/kg
- Entropi uap masuk (S_o) = 6,5453 kJ/kg k

Dimana $S_0 = S_1$ (isentropis)

- Tekanan uap keluar (P_1) = 3,5 bar

Dari tabel uap secara interpolasi diperoleh :

$$S_{g1} = \left[\frac{3,5-3}{4-3} (6,8951 - 6,9911) + 6,9911 \right]$$

$$= 6,9431 \text{ kJ/kg k}$$

$$S_{f1} = \left[\frac{3,5-3}{4-3} (1,7755 - 1,6710) + 1,6710 \right]$$

$$= 1,72325 \text{ kJ/kg k}$$

$$S_{fg1} = \left[\frac{3,5-3}{4-3} (5,1196 - 5,3201) + 5,3201 \right]$$

$$= 5,21985 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{k}$$

Dimana $S_{g1} > S_0$ sehingga uap basah. Maka kualitas uap adalah :

$$X_1 = \frac{S_1 - S_{f1}}{S_{fg1}}$$

$$= \frac{6,5453 - 1,72325}{5,21985}$$

$$= 0,92$$

Sehingga diperoleh Entalpy uap keluar

$$h_{it} = h_{f1} + X_1 \cdot h_{fg1}$$

Secara interpolasi diperoleh :

$$h_{f1} = \left[\frac{3,5-3}{4-3} (604,3 - 561,2) + 561,2 \right]$$

$$= 582,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg1} = \left[\frac{3,5-3}{4-3} (2133,8 - 2163,7) + 2163,7 \right]$$

$$= 2148,75 \text{ kJ/kg}$$

maka dapatlah :

$$\begin{aligned} h_{it} &= h_{f1} + X_1 \cdot h_{fg1} \\ &= 582,75 + 0,92 \cdot 2148,75 \\ &= 2559,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Drooping energi termal (H_0) :

$$\begin{aligned} H_0 &= h_0 - h_{it} \\ H_0 &= 2902,5 - 2559,6 = 342,9 \text{ kJ/kg} \\ &= 81,90 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Dari kondisi diatas menetapkan kerugian (kehilangan) tekanan pada katup-katup pengatur sebesar 5% maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \Delta p_v &= 0,05 \times P_0 \\ \Delta p_v &= 0,05 \times 20 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta p_v &= 1 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Maka tekanan sebelum nosel adalah :

$$\begin{aligned} P'_0 &= P_0 - \Delta p_v \\ P'_0 &= 20 \text{ kg/cm}^2 - 1 \text{ kg/cm}^2 \\ P'_0 &= 19 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Tekanan uap masuk (P'_0) = 19 bar
- Temperatur uap masuk (T'_0) = 250°C

Drooping energi termal (H'_0) :

$$\begin{aligned} H'_0 &= h_0 - h'_{it} \\ H'_0 &= 2902,5 - 2580,6 = 321,9 \text{ kJ/kg} \\ &= 76,88 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Masa aliran uap :

$$G = \frac{860 \cdot N_e}{3600 \cdot H_o \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_\gamma \cdot \eta_g}$$

$$G = \frac{860 \cdot 1000}{3600 \cdot 76,88 \cdot 0,58 \cdot 0,970 \cdot 0,945}$$

$$G = 5,84 \text{ kg/s}$$

3.3 Segitiga Kecepatan

- Kecepatan uap masuk aktual (C_1) :

$$C_1 = 91,5 \times \varphi \sqrt{H'_o}$$

$$C_1 = 91,5 \times 0,95 \sqrt{76,88}$$

$$C_1 = 762,17 \text{ m/s}$$

- Kecepatan uap masuk sudu teoritis (C_{it}) :

$$C_{it} = C_1 / \varphi$$

$$C_{it} = 762,17 / 0,95$$

$$C_{it} = 802,28 \text{ m/s}$$

- Kecepatan tangensial sudu (U) :

$$U = (u/C_l) \cdot C_1$$

$$U = 0,22 \cdot 762,17 \text{ m/s}$$

$$U = 167,68 \text{ m/s}$$

- Kecepatan relatif uap masuk sudu gerak baris pertama (W_1) :

$$W_1^2 = C_1^2 + U^2 - 2 C_1 U \cos \alpha_1$$

$$W_1 = \sqrt{C_1^2 + U^2 - 2 C_1 U \cos \alpha_1}$$

$$W_1 = \sqrt{762,17^2 + 167,68^2 - 2 \times 762,17 \times 167,68 \times \cos 16^\circ}$$

$$W_1 = 602,76 \text{ m/s}$$

- Sudut sisi keluar sudu gerak baris pertama :

$$C_1 \sin \alpha_1 = W_1 \sin \beta_1$$

$$\beta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{C_1}{W_1} \sin 16^\circ \right)$$

$$\beta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{762,17}{602,76} \sin 16^\circ \right)$$

$$\beta_1 = 20,40^\circ$$

$$\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$$

$$\beta_2 = 20,40^\circ - 3^\circ$$

$$\beta_2 = 17,40^\circ$$

- Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak baris pertama (W_2) :

$$W_2 = \psi \times W_1$$

$$W_2 = 0,80 \times 602,76 \text{ m/s}$$

$$W_2 = 482,21 \text{ m/s}$$

- Kecepatan mutlak uap keluar sudu gerak baris pertama (C_2) :

$$C_2^2 = W_2^2 + U^2 - 2 W_2 U \cos \beta_2$$

$$C_2 = \sqrt{W_2^2 + U^2 - 2 W_2 U \cos \beta_2}$$

$$C_2 = \sqrt{482,21^2 + 167,08^2 - 2 \times 482,21 \times 167,68 \times \cos 17,40^\circ}$$

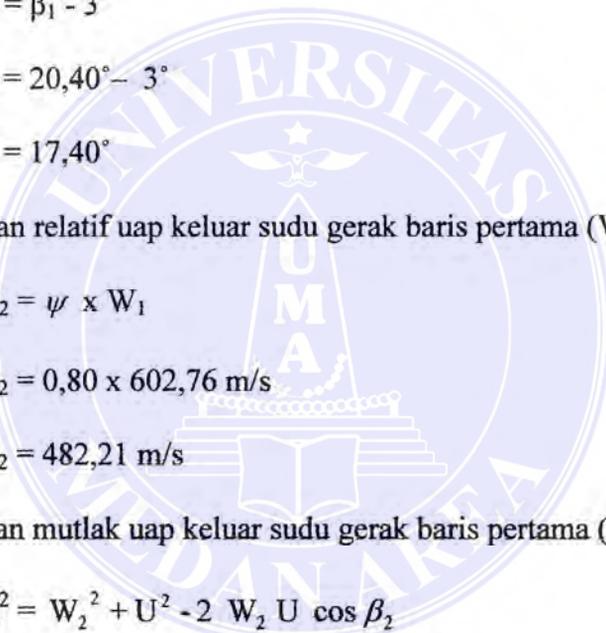
$$C_2 = 326,08 \text{ m/s}$$

- Kecepatan mutlak uap masuk sudu-sudu gerak baris kedua (C'_1) :

$$C'_1 = \psi_{gh} \times C_2$$

$$C'_1 = 0,83 \times 326,08 \text{ m/s}$$

$$C'_1 = 270,65 \text{ m/s}$$



- Sudut mutlak sisi keluar sudu gerak baris pertama :

$$W_2 \sin \beta_2 = C_2 \sin \alpha_2$$

$$482,21 \sin 17,40^\circ = 326,08 \sin \alpha_2$$

$$\alpha_2 = \sin^{-1} \left(\frac{482,21}{326,08} \sin 17,40^\circ \right)$$

$$\alpha_2 = 26,25^\circ$$

- Sudut pengarah pada sisi keluar :

$$\alpha'_1 = \alpha_2 - 3^\circ$$

$$\alpha'_1 = 26,25^\circ - 3^\circ$$

$$\alpha'_1 = 23,25^\circ$$

- Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak baris kedua (W'_1) :

$$W'_1 = \sqrt{C_1'^2 + U^2 - 2 C_1' U \cos \alpha'_1}$$

$$W'_1 = \sqrt{270,65^2 + 167,68^2 - 2 \times 270,65 \times 167,68 \times \cos 23,25^\circ}$$

$$W'_1 = 134,07 \text{ m/s}$$

- Kecepatan relatif uap keluar sudu gerak baris kedua (W'_2) :

$$W'_2 = \psi \times W'_1$$

$$W'_2 = 0,85 \times 134,07 \text{ m/s}$$

$$W'_2 = 113,96 \text{ m/s}$$

- Sudut sisi keluar sudu gerak garis kedua :

$$C_1' \sin \alpha'_1 = W'_1 \sin \beta'_1$$

$$\beta'_1 = \sin^{-1} \left(\frac{C_1'}{W'_1} \sin 22,06^\circ \right)$$

$$\beta'_1 = \sin^{-1} \left(\frac{270,65}{134,07} \sin 23,25^\circ \right)$$

$$\beta'_1 = 52,83^\circ$$

$$\beta'_2 = \beta'_1 - 3^\circ$$

$$\beta'_2 = 52,83^\circ - 3^\circ$$

$$\beta'_2 = 49,83^\circ$$

- Kecepatan mutlak uap keluar sudu gerak baris kedua (C_2) :

$$C_2'^2 = W_2'^2 + U^2 - 2 W_2' U \cos \beta'_2$$

$$C_2' = \sqrt{W_2'^2 + U^2 - 2 W_2' U \cos \beta'_2}$$

$$C_2' = \sqrt{113,96^2 + 167,68^2 - 2 \times 113,96 \times 167,68 \times \cos 49,83^\circ}$$

$$C_2' = 128,26 \text{ m/s}$$

- Sudut mutlak sisi keluar sudu gerak garis kedua :

$$W_2' \sin \beta'_2 = C_2' \sin \alpha'_2$$

$$115,80 \sin 50,54^\circ = 134,50 \sin \alpha'_2$$

$$\alpha'_2 = \sin^{-1} \left(\frac{113,96}{128,26} \sin 49,83^\circ \right)$$

$$\alpha'_2 = 42,76^\circ$$

$$C_1 = 762,17 \text{ m/s} \quad C_1' = 270,65 \text{ m/s}$$

$$C_2 = 326,08 \text{ m/s} \quad C_2' = 128,26 \text{ m/s}$$

$$W_1 = 602,76 \text{ m/s} \quad W_1' = 134,07 \text{ m/s}$$

$$W_2 = 482,21 \text{ m/s} \quad W_2' = 113,96 \text{ m/s}$$

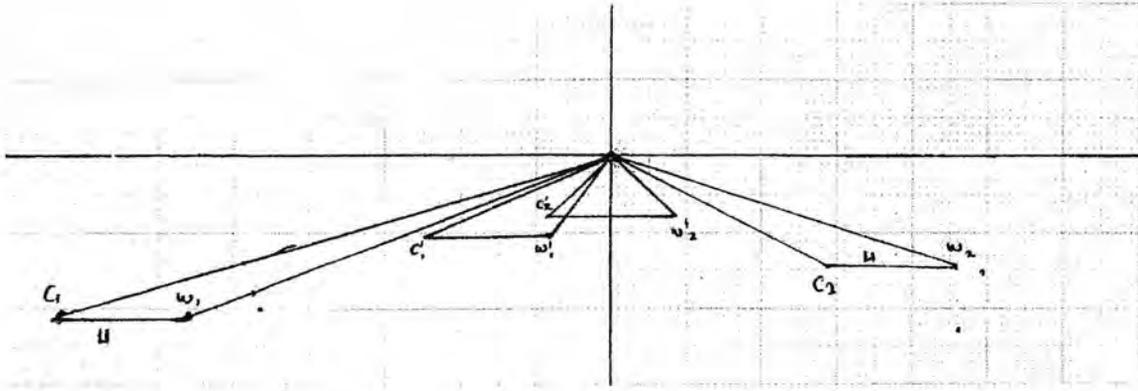
$$U = 167,68 \text{ m/s} \quad U = 167,68 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 16^\circ \quad \alpha_1' = 23,25^\circ$$

$$\alpha_2 = 26,25^\circ \quad \alpha_2' = 42,76^\circ$$

$$\beta_1 = 20,40^\circ \quad \beta_1' = 52,83^\circ$$

$$\beta_2 = 17,40^\circ \quad \beta_2' = 49,83^\circ$$



Gambar 3.1 Segitiga kecepatan turbin uap

3.4 Kerugian turbin uap :

- Kerugian pada nozel (h_n)

$$h_n = \frac{C_{it}^2 - C_1^2}{8378}$$

$$h_n = \frac{802,28^2 - 762,17^2}{8378}$$

$$h_n = 7,50 \text{ kkal/kg}$$

- Kerugian pada sudu gerak baris pertama (h'_b)

$$h'_b = \frac{W_1^2 - W_2^2}{8378}$$

$$h'_b = \frac{602,76^2 - 482,21^2}{8378}$$

$$h'_b = 15,61 \text{ kkal/kg}$$

- Kerugian pada sudu pengarah (h_{gb})

$$h_{gb} = \frac{C_2^2 - C'_1{}^2}{8378}$$

$$h_{gb} = \frac{326,08^2 - 270,65^2}{8378}$$

$$h_{gb} = 3,95 \text{ kkal/kg}$$

- Kerugian pada sudu gerak baris kedua (h''_b)

$$h''_b = \frac{W_1'^2 - W_2'^2}{8378}$$

$$h''_b = \frac{134,07^2 - 113,96^2}{8378}$$

$$h''_b = 0,60 \text{ kkal/kg}$$

- Kerugian pada aliran keluar (h_e)

$$h_e = \frac{C_2'^2}{8378}$$

$$h_e = \frac{128,26^2}{8378}$$

$$h_e = 1,96 \text{ kkal/kg}$$

- Kerugian kelembapan (h_x)

$$h_x = (1 - x) h_x$$

$$h_x = (1 - 1) h_x$$

$$h_x = 0 \text{ kkal/kg}$$

untuk memeriksa ketepatan kerugian-kerugian kalor yang diperoleh di atas, kita akan mencari nilai efisiensi relatif sudu (η_u)

$$\eta_u = \frac{H'_o - h_n + h'_b + h_{gb} + h''_b + h_e + h_x}{H'_o}$$

$$\eta_u = \frac{76,88 - 7,50 + 15,61 + 3,95 + 0,60 + 1,96 + 0}{76,88}$$

$$\eta_u = 0,61$$

- Kerugian Akibat Gesekan Cakra dan Ventilasi (h_{gea})

$$h_{gea} = \frac{102N_{gea}}{427G}$$

Dimana :

$$N_{gea} = \beta_0 \cdot 10^{-10} \cdot d^4 \cdot n^3 \cdot l_1 \cdot \gamma \text{ (kW)}$$

β = koefisien untuk cakram baris dua sebesar 2,06

d = diameter cakram yang diukur pada diameter rata-rata sudu

n = putaran turbin = 5000 rpm

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

$$= \frac{60 \cdot 167,68}{3,14 \cdot 5000}$$

$$= 0,641 \text{ m}$$

l_1 = tinggi sudu ditetapkan sebesar 20 mm

γ = bobot spesifik uap didalam mana cakram tersebut berputar

harganya sebanding dengan $1/v$.

$$\gamma = 1,70 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0,58823 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Maka diperoleh :

$$N_{gea} = \beta_0 \cdot 10^{-10} \cdot d^4 \cdot n^3 \cdot l_1 \cdot \gamma$$

$$N_{gea} = 2,06 \cdot 10^{-10} \cdot 0,641^4 \cdot 5000^3 \cdot 2 \cdot 1,7$$

$$N_{gea} = 17,96 \text{ kW}$$

Sehingga kerugian akibat gesekan cakram dan kerugian pengadukan

diperoleh :

$$h_{gea} = \frac{102 N_{gea}}{427 G}$$

$$h_{gea} = \frac{102 \times 17,96}{427 \times 5,84}$$

$$h_{gea} = 0,73 \text{ kkal/kg}$$

penurunan kalor yang dimanfaatkan dalam turbin sebesar (H_i)

$$H_i = H'_o - (h_n + h'_b + h_{gb} + h''_b + h_e + h_x + h_{gea})$$

$$H_i = 76,88 - (7,50 + 15,61 + 3,95 + 0,60 + 1,96 + 0 + 0,73)$$

$$H_i = 46,53 \text{ kkal/kg}$$

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H'_o}$$

$$\eta_{oi} = \frac{46,53}{76,88}$$

$$\eta_{oi} = 0,60$$

yang mendekati nilai η_{oi} yang diperoleh dari grafik dengan memperhitungkan kerugian-kerugian yang terjadi pada katup pengatur :

$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_o}$$

$$\eta_{oi} = \frac{46,53}{81,90}$$

$$\eta_{oi} = 0,57$$

dari nilai η_{oi} ini dapat dicari nilai masa aliran yang tepat melalui turbin :

$$G_o = \frac{860.N_e}{3600.H_o.\eta_{oi}.\eta_m.\eta_r.\eta_g}$$

$$G_o = \frac{860.1000}{3600.76,88.0,60.0,970.0,945}$$

$$G_o = 5,65 \text{ kg/s}$$

Perbedaan antara masa aliran uap yang diperoleh dari perhitungan pendahuluan dan dari perhitungan akhir adalah :

$$\Delta G = \frac{G - G_o}{G} \times 100$$

$$\Delta G = \frac{5,84 - 5,65}{5,84} \times 100$$

$$\Delta G = 0,03 \%$$

Karena ketidak sesuaian masih pada batas-batas yang diijinkan tidak lebih dari 2%, oleh karena itu perhitungan tidak perlu diulang lagi.

3.5 Daya Turbin Uap

Daya dalam turbin uap (N_i)

$$N_i = \frac{427 G_o H_i}{102}$$

$$N_i = \frac{427 \times 5,65 \times 46,53}{102}$$

$$N_i = 1100,55 \text{ (kW)}$$

Daya turbin uap ideal (N_o)

$$N_o = \frac{427 G_o H_o}{102}$$

$$N_o = \frac{427 \times 5,65 \times 81,90}{102}$$

$$N_o = 1937,13 \text{ kW}$$

Daya efektif yang dihasilkan sudu (N_{efektif})

$$N_{\text{efektif}} = \eta_m \cdot N_i$$

$$N_{\text{efektif}} = 0,970 \cdot 1100,55$$

$$N_{\text{efektif}} = 1067,53 \text{ kW}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan yang dilakukan maka dapatlah dibuat kesimpulan yaitu :

A. Spesifikasi turbin uap

1. Daya turbin (N_{ef}) = 1067,53 kW
2. Putaran turbin uap (n) = 5000 rpm
3. Jumlah tingkat tekanan turbin = 1
4. Tekanan uap masuk turbin (P_o) = 20 kg/cm²
5. Temperatur uap masuk turbin (T_o) = 250 °C
6. Tekanan uap keluar turbin (P_1) = 3,5 kg/cm²
7. Massa aliran uap turbin (G_o) = 5,65 kg/s

B. Dimensi bagian utama turbin

a. Poros

- Diameter : 10 cm
Panjang : 150 cm
Bahan : JIS G 4102 SNC2

b. Nosel

- Jenis nosel : Konvergen
Lebar nosel pada bagian leher: 8,83 mm
Lebar nosel pada sisi keluar : 18 mm

c. Sudu

Sudu gerak baris pertama

Jumlah	: 123
Tinggi sisi masuk	: 17,75 mm
Jari busur sudu gerak	: 10,57 mm

Sudu gerak baris kedua

Jumlah	: 196
Tinggi sisi masuk	: 29,74 mm
Jari busur sudu gerak	: 16,01 mm

Sudu pengarah

Jumlah	: 134
Tinggi sisi masuk	: 24,09 mm
Jari busur sudu gerak	: 10,76 mm

d. Cakram

Lebar hub	: 80 mm
Lebar cakram	: 45 mm
Jari-jari hub	: 90 mm
Jari-jari cakram	: 295,5 mm

e. Bantalan dan pelumasan

Jenis	: Bantalan luncur
Minyak pelumas	: TZOUT (GOST 32 – 53)
Viskositas	: $0,3 \times 10^{-6} \text{ kg/det/cm}^2$

5.2 Saran

Disini penulis menyadari akan kekurangan yang terdapat dalam menyelesaikan tugas akhir ini akibat keterbatasan buku dan waktu.

Untuk ini penulis menyarankan kepada rekan-rekan Mahasiswa yang akan merancang turbin uap untuk memilih buku-buku dengan aturan yang memadai sebagai referensi dalam perancangan tubin uap sehingga dapat menghasilkan yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

A Muin, Syamsir. 1993. Pesawat-Pesawat Konversi Energi II (Turbin Uap)

Jakarta: Rajawali Pers.

Dietzel, Fritz dan Sriyono Dakso. 1996. Turbin Pompa dan Kompresor

Jakarta: Erlangga.

Shlyakhin, P. 1999. Turbin Uap (steam turbines), Teori dan Rancangan.

Jakarta: Erlangga.

Wakil, EL. 1992. Instalasi Pembangkit Daya. Jakarta: Erlangga

Sularso dan Kyokatsu Suga, 1983, Dasar Perencanaan dan Pemilihan

Elemen Mesin, Jakarta : P.T. Pradya Paramitha

<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/12021>

<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/12019>

<http://kurniawankaptendop.blogspot.com/2009/05/turbin-uap-chapter-1.html>

[http://www.scribd.com/doc/16559861/Buku-Ajar-PTM307-Mesin-Konversi-](http://www.scribd.com/doc/16559861/Buku-Ajar-PTM307-Mesin-Konversi-Energi)

[Energi](http://www.scribd.com/doc/16559861/Buku-Ajar-PTM307-Mesin-Konversi-Energi)