

**ANALISIS SUDUT SUDU-SUDU TURBIN
IMPULS TERHADAP DAYA TURBIN
SEBAGAI PEMBANGKIT TENAGA
UAP PADA PKS KAPASITAS
30 TON TBS/JAM**

TUGAS AKHIR

Oleh :

M. HIDAYAT
NIM : 09.813.0047



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2012

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

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
- Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

ANALISIS SUDUT SUDU – SUDU TURBIN IMPULS TERHADAP DAYA TURBIN SEBAGAI PEMBANGKIT TENAGA UAP PADA PKS KAPASITAS 30 TON TBS/JAM

TUGAS AKHIR

Oleh :

M. HIDAYAT
NIM : 09.813.0047

Disetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II



(Ir. Husin Ibrahim, MT.)



(Ir. H. Amru Siregar, MT.)

Mengetahui :

Dekan

Ka. Program Studi



UNIVERSITAS MEDAN AREA

(Ir. H. Hariza, MT.)

(Ir. H. Amru Siregar, MT.)

Document Accepted 7/12/23

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

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Simbol	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	x
Abstrak	
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Turbin	5
2.2 Analisa Thermodinamika	9
2.3 Komponen Instalasi Turbin	11
2.4 Klasifikasi Turbin Uap	17
2.5 Bagian – bagian Turbin	21
2.6 Kerugian Energi Pada Turbin Uap	23
2.6.1 Kerugian Energi Kalor Pada Katup Pengatur	23
2.6.2 Kerugian Energi Pada Nosel	24
2.6.3 Kerugian Energi Kalor Pada Sudu – sudu Gerak	25
2.7 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.1 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.2 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.3 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.4 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.5 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.6 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.7 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.8 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.9 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.10 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.11 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.12 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.13 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.14 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.15 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.16 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.17 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.18 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.19 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.20 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.21 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.22 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.23 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.24 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.25 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.26 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.27 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.28 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.29 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.30 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.31 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.32 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.33 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.34 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.35 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.36 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.37 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.38 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.39 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.40 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.41 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.42 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.43 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.44 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.45 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.46 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.47 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.48 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.49 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26
2.7.50 Analisis Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar	26



2.7.1 Prinsip Impuls dan Momentum	26
2.7.2 Asas Impuls Pada Turbin	28
2.7.3 Prinsip Turbin Impuls	30
2.8 Perubahan Energi Thermal Menjadi Energi Kinetis	31
2.9 Transformasi Energi Pada Suhu	32
2.10 Analisa Kecepatan Aliran Uap	34
2.11 Gaya Tangensial Turbin	37
2.12 Daya Mekanis yang dihasilkan Turbin	38
2.13 Efisiensi Turbin Impuls	39
BAB III. METODE PENELITIAN	41
3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.1.1 Pengajuan Judul Penelitian	42
3.1.2 Tinjauan Pustaka	42
3.1.3 Pengambilan Data dan Analisa Data	43
3.1.4 Kesimpulan	43
BAB IV. ANALISA PERHITUNGAN	44
4.1 Prinsip Aksi Aliran Uap Melalui Sudu	44
4.2 Analisis Aliran Uap Melalui Penampang Sudu yang Bervariasi	45
4.3 Perhitungan Data Survey	51
4.3.1 Data Hasil Survey Study	51
4.3.2 Perhitungan Data	53
4.4 Perhitungan Kerja Turbin Berdasarkan Prinsip Aksi Uap	56
4.5 Analisis Variasi α_1 terhadap F_u dan P_u	59
4.6 Hubungan u/c dengan besar sudut α_1 dan pengaruhnya terhadap	

Efisiensi Turbin	62
4.7 Menentukan Sudut α_1 Optimal	64
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67



ABSTRAK

Turbin memiliki peran yang sangat penting pada pabrik, terutama pada pabrik kelapa sawit, agar diperoleh daya sedemikian rupa sesuai yang dibutuhkan untuk itu diperlukan efektifitas dan efisiensi dalam pengoperasian turbin tersebut. Selain efektifitas dan efisiensi dalam operasi, hal yang penting juga yang harus diperhatikan ialah efisiensi dan efektifitas dari komponen turbin itu sendiri, artinya dalam merancang instalasinya harus menggunakan komponen yang paling efektif dan efisien.

Bagian turbin yang berperan sangat penting dalam hal ini ialah sudu turbin. Sudu tersebut berfungsi sebagai saluran laluan uap yang mengalir. Memposisikan sudu secara tepat akan mampu mendayagunakan uap secara efisien untuk menghasilkan daya turbin yang maksimal. Artinya posisi atau arah sudu tersebut akan menentukan besar kecilnya daya yang akan ditransmisikan ke poros turbin.

Dalam penulisan skripsi ini akan dilakukan pengambilan data terlebih dahulu lalu akan dilakukan analisa pembahasan yang menjadi pokok pembahasan dalam skripsi ini ialah prinsip turbin uap impuls, prinsip dan analisa aliran uap melalui sudu turbin, dan analisis sudut sudu – sudu yang paling optimal untuk memperoleh daya putaran poros yang maksimal dan akan dilakukan perhitungan menggunakan rumus – rumus yang berhubungan dengan penulisan skripsi ini. Dan juga akan dilakukan komparasi dari berbagai posisi sudut sudu – sudu turbin impuls sehingga dapat ditentukan posisi sudut yang paling optimal untuk menghasilkan daya turbin yang efektif dan efisien.

Dari hasil analisis penelitian maka dapat disimpulkan bahwa gaya tangensial dan daya mekanisme turbin akan semakin besar jika sudut uap masuk (α_1) semakin kecil, gaya tangensial dan daya turbin yang besar belum tentu akan memperoleh efisiensi dan efektifitas turbin yang baik dan maksimal, besar sudut (α_1) yang paling optimal untuk mendapatkan performa turbin yang paling baik dan maksimal yakni pada sudut 15° .

ABSTRACT

Turbine have a very important role in the plant, especially in palm oil mills, in order to obtain in such a way power as needed for the required effectiveness and efficiency in the operation of the turbine. In addition to effectiveness and efficiency in operations, it is important also to note is that the efficiency and effectiveness of the components of the turbine itself, which means that in designing the installation should use components that are most effective and efficient.

Turbine parts whose role is crucial in this regard is the turbine blades. The blade serves as a channel of flowing vapor passes. Precisely position the blades will be able to efficiently utilize the steam turbine to generate maximum power. This means that the position or direction of the blade will determine the size of the power to be transmitted to the turbine shaft.

In writing this thesis will be done in advance of data collection and analysis will be conducted into the subject of discussion in this thesis is the principle of impulse steam turbines, principles and analysis of flow through the steam turbine blades, and blade angle analysis - the most optimal blade to obtain the rotation the maximum axle and will do the calculation using the formula - a formula associated with the writing of this thesis. And will also do a comparison of different blade angle positions - an impulse turbine blades so that it can be determined at an optimum angle position to power turbines that produce effective and efficient.

From the analysis of the study it can be concluded that the tangential force and power turbine mechanism will be even greater if the point of steam entry (α_1) is getting smaller, tangential force and power of the turbine is not necessarily going to get the efficiency and effectiveness of both the turbine and the maximum of the angle (α_1) that is most optimal to obtain the best performance of the turbine and the maximum at an angle of 15° .

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit tenaga uap merupakan suatu sistem yang dirancang untuk memanfaatkan energi potensial uap sebagai penghasil tenaga untuk membangkitkan suatu generator. Jika suatu pembangkit tenaga (*power plant*) menggunakan turbin sebagai alat untuk mentransmisikan energi yang dikandung uap menjadi tenaga yang akan memutar generator, maka pembangkit tersebut lebih umum dikenal dengan turbin uap.

Turbin memiliki peran yang sangat penting pada pabrik terutama pada pabrik kelapa sawit guna memperoleh daya sedemikian rupa sesuai dengan yang dibutuhkan. Untuk itu diperlukan efektifitas dan efisiensi menjadi hal yang utama dalam pengoperasian turbin tersebut. Selain efektifitas dan efisiensi dalam operasi, hal yang penting untuk diperhatikan adalah efisiensi dan efektifitas dari komponen-komponen instalasi turbin uap itu sendiri, artinya dalam merancang instalasinya harus menggunakan komponen yang paling efektif dan efisien.

Dalam instalasi turbin uap, turbin memiliki peranan yang paling besar guna memperoleh hasil yang dibutuhkan. Seperti yang dipaparkan sebelumnya bahwa turbin ialah alat yang digunakan untuk merubah (mengkonversi) daya uap menjadi daya putaran poros untuk memutar generator. Untuk itu pemilihan jenis turbin yang tepat adalah satu hal yang mutlak harus dipenuhi.



Bagian dari turbin yang berperan penting dalam hal ini adalah sudu turbin. Sudu tersebut sebagai saluran tempat laluan uap yang mengalir. Memposisikan sudu secara tepat akan mampu mendayagunakan uap secara efisien untuk menghasilkan daya turbin. Artinya posisi atau arah sudu tersebut akan menentukan besar kecilnya daya yang akan ditransmisikan ke poros turbin. Jadi daya yang di transmisikan ke poros turbin dapat diatur sedemikian rupa dengan menentukan arah uap masuk sudu dan posisi sudu yang menerima semburan uap.

1.2. Batasan Masalah

Agar skripsi ini lebih terukur dan terarah, maka suatu hal yang penting untuk merumuskan batasan masalah yang akan dibahas pada tulisan ini. Seperti yang dipaparkan sebelumnya bahwa yang menjadi tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis variasi sudut sudu-sudu turbin yang paling optimal guna menghasilkan daya yang paling maksimal. Untuk itu diperlukan analisis yang baik dan tepat. Di samping itu juga harus mudah untuk dipahami, sehingga tidak terlalu susah dimengerti orang lain. Dengan demikian transmisi nilai yang disampaikan dapat terserap dengan baik. Untuk itu dipilih jenis turbin impuls untuk dianalisis pada skripsi inidengan memvariasikan berbagai besar sudut sudu turbin tersebut.

Jadi dari jenis turbin yang dianalisa dan juga merujuk kepada tujuan penulisan skripsi ini maka ada beberapa batasan masalah yang menjadi pokok pembahasan dalam skripsi ini, yaitu :

- b) Prinsip dan analisis aliran uap melalui sudu turbin
- c) Analisis sudut sudu-sudu turbin yang paling optimal untuk memperoleh daya putaran poros yang maksimal

Dasar pemilihan turbin impuls menjadi objek pembahasan skripsi ini adalah karena gaya yang diperoleh sudu pada turbin impuls lebih besar dan dorongan/ impuls uap yang diterima sudu lebih maksimal. Konstruksi turbin impuls juga lebih sederhana sehingga lebih memudahkan dalam proses analisis dan simulasi turbin.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi sudut sudu-sudu turbin yang paling optimal guna memperoleh daya mekanis turbin yang paling baik dan juga nilai efisiensi yang paling maksimal.

1.4. Sistematika Penulisan

Penulisan terdiri dari bab dan sub bab dimana antara sub bab dengan bab yang lain saling berkaitan.

1. BAB I Pendahuluan

Menguraikan tentang latar belakang, batasan masalah, maksud dan tujuan

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Menguraikan tentang teori – teori bagan alir dan siklus turbin uap, komponen – komponen instalasi turbin uap, serta bagian – bagian dari turbin uap itu sendiri.

3. BAB III Metode Penelitian

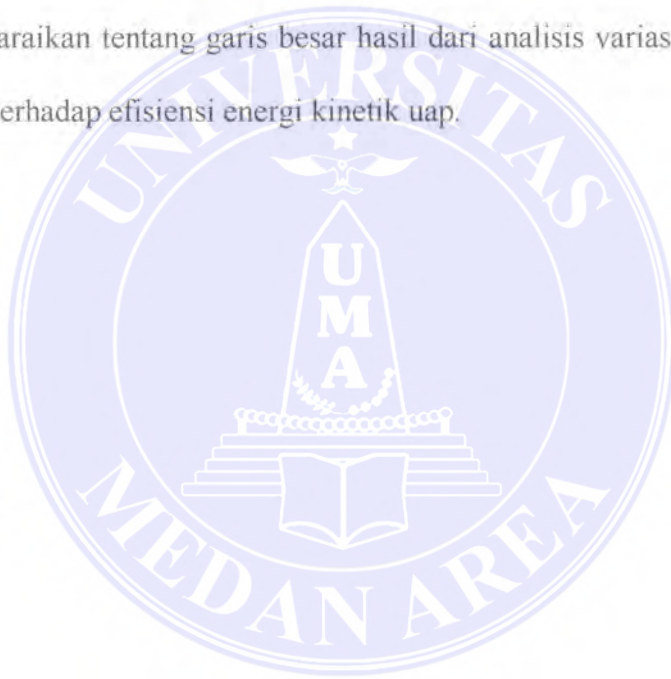
Menguraikan tentang tempat pengambilan data, diagram alir penelitian.

4. BAB IV Analisa Perhitungan

Menguraikan tentang analisis dan komparasi dari beberapa sudut kelengkungan sudu turbin yang dibuat bervariasi dari data survey yang di ambil.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Menguraikan tentang garis besar hasil dari analisis variasi sudut – sudut turbin terhadap efisiensi energi kinetik uap.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Turbin

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dapat dikopel langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi yang dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan sesuai dengan kebutuhan.

Turbin uap sudah sering digunakan sebagai penggerak mula pada PLTU, pompa, kompressor dan mesin-mesin lain. Jika dibandingkan dengan penggerak generator listrik yang lain, turbin uap mempunyai kelebihan antara lain adalah penggunaan panas yang lebih baik, pengontrolan putaran yang lebih mudah, dapat menghasilkan daya besar, serta investasi awal yang tidak begitu besar.

Ide turbin uap sudah lama diketahui yakni kira-kira sejak tahun 120 S.M. Hero di Alexandria membuat prototipe turbin yang pertama yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi. Alat ini menjadi instalasi tenaga uap yang primitif, terdiri dari sumber kalor, bejana yang diisi dengan air, penampang berbentuk bola dengan pipa penyembur (nosel). Akibat kalor, air yang ada di dalam bejana dipanaskan dan diuapkan yang menghasilkan uap jenuh, mengalir melalui pipa-pipa vertikal (tegak lurus) dan pipa-pipa mendatar yang dimasukkan ke dalam penampang berbentuk bola tadi. Dengan kenaikan tekanan, uap yang ada di dalam penampang berbentuk bola itu dikeluarkan ke atmosfer melalui nosel. Semburan

uap yang keluar dari nosel ini akan mengakibatkan terjadinya gaya reaksi pada

UNIVERSITAS MEDAN AREA

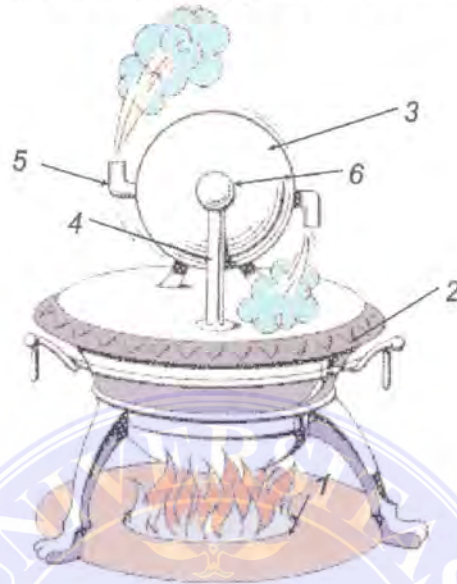
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

nosel itu sendiri dan memaksa bola itu berputar pada sumbu mendatarnya.

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

uap yang keluar dari nosel ini akan mengakibatkan terjadinya gaya reaksi pada nosel itu sendiri dan memaksa bola itu berputar pada sumbu mendatarnya.



Gambar 2.1 Mesin Uap Buatan Hero

Keterangan :

1. Sumber kalor
2. Bejana air
3. Penampang berbentuk bola
4. Pipa vertikal
5. Nosel
6. Pipa mendatar

Beberapa abad kemudian, pada tahun 1629, Giovanni Branca memberikan gambaran sebuah mesin yang dibuatnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Mesin itu terdiri dari ketel uap 1, yang tutupnya dibuat berbentuk manusia, pipa panjang (nosel) 2, roda mendatar 3 dengan sudu-sudunya, poros 4 dan roda

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

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

di dalam ketel sesudah diekspansikan pada nosel 2 memperoleh kecepatan yang tinggi. Semburan uap yang berkecepatan tinggi ini menubruk sudu-sudu roda 3 yang kemudian akan memutar roda ini. Kepsatan putar roda 3 ini dan momen putarnya pada poros 4 tergantung pada kecepatan dan jumlah aliran uap per satuan waktu. Mesin uap buatan Branca ini, dari prinsip aksinya adalah prototipe turbin impuls.



Gambar 2.2 Mesin Uap Buatan Branca

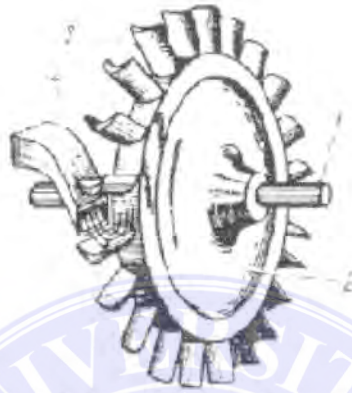
Keterangan :

1. Ketel Uap
2. Pipa panjang sebagai nosel
3. Roda mendatar dengan sudu-sudu
4. Poros roda mendatar
5. Roda gigi transmisi
6. Penumbuk

Kemajuan yang besar pada pengembangan dan konstruksi turbin uap

UNIVERSITAS MEDAN AREA abad ke-19. Pada tahun 1890, ahli teknik berkebangsaan

Swedia, Gustaf de-Laval membuat sebuah turbin uap cakram tunggal dengan kapasitas 5 dk, dengan poros fleksibel dan cakram yang kekuatannya sama.



Gambar 2.3 Turbin impuls sederhana

Keterangan :

1. Poros
2. Cakram
3. Sudu-sudu
4. Nosel

Turbin uap cakram tunggal yang paling sederhana terdiri dari bagian-bagian utama yakni : nosel ekspansi, poros dan cakram dengan sudu-sudu yang dipasang pada pinggirannya. Pada turbin-turbin jenis ini, ekspansi uap diperoleh dari tekanan awalnya sampai ke tekanan akhirnya di dalam satu atau satu grup nosel yang diletakkan pada stator turbin dan ditmpatkan di depan sudu-sudu

UNIVERSITAS MEDAN AREA Penurunan tekanan uap di dalam nosel diikuti dengan

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

penurunan kandungan kalornya (heat content). Penurunan kandungan kalor yang

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

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

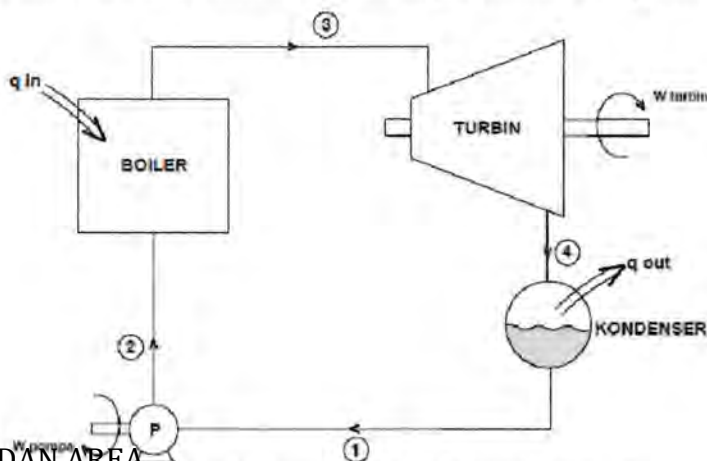
terjadi di dalam nosel ini selanjutnya akan menyebabkan kenaikan kecepatan uap yang keluar dari nosel. Energi kecepatan semburan uap memberikan gaya impuls pada sudu-sudu dan melakukan kerja mekanis pada poros rotor turbin.

Turbin- turbin impuls satu-tingkat yang berukuran kecil dibuat dan masih sedang dikembangkan dengan kepesatan tinggi. Turbin jenis ini yang pertama dibuat oleh Gustaf de-Laval, beroperasi pada kepesatan 30.000 rpm, dan turbin tersebut dilengkapi dengan roda gigi reduksi untuk memindahkan momen putar ke mekanisme yang digerakkan, seperti generator listrik, dan lain-lain.

2.2. Analisa Termodinamika

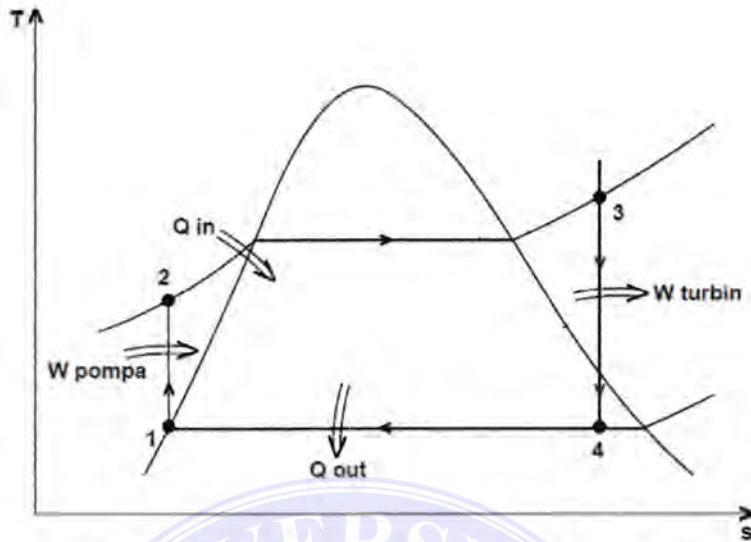
Turbin uap bersama-sama dengan ketel uap, pompa dan kondensor, dipadukan untuk membentuk suatu siklus daya uap atau siklus rankine. Siklus ini menggunakan fluida dalam dua fasa yaitu cairan dan uap. Secara ideal proses termodinamika yang terjadi pada siklus ini adalah penekanan isentropik, penambahan kalor secara isobar, ekspansi isentropik, dan pembuangan panas isobar.

Diagram alir siklus Rankine tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.4 Diagram Alir Siklus Rankine

Document Accepted 7/12/23



Gambar 2.5 Diagram T-s Siklus Rankine

Proses 1-2 : Penekanan isentropik dengan mempergunakan pompa.

Proses 2-3 : Penambahan kalor pada tekanan konstan (isobar).

Proses 3-4 : Proses ekspansi uap secara isentropik.

Proses 4-1 : Pembuangan kalor pada temperatur dan tekanan konstan.

Proses termodinamika dalam siklus ini (Gambar 2.4 dan 2.5) dapat diterangkan yaitu: air dipompakan masuk ke *boiler* hingga mencapai tekanan kerja boiler pada titik 2, kemudian di dalam boiler air dipanaskan hingga menjadi uap pada tekanan konstan terhadap fluida sehingga mencapai keadaan titik 3. Uap yang telah dihasilkan ini akan memutar *steam turbine*, di dalam *steam turbine* terjadi perubahan energi panas yang dibawa uap menjadi energi mekanik berupa putaran turbin uap. Pada tahap ini uap tersebut diekspansikan pada turbin sehingga mencapai titik 4. Setelah uap menggerakkan turbin uap akan masuk ke kondensor untuk didinginkan dan berubah fasa kembali menjadi air (titik 1) dan

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 akan dimasukkan kedalam *boiler*.

Dari proses yang terjadi pada siklus turbin uap tersebut maka besar kerja dan kalor dapat ditentukan pada masing-masing proses untuk tiap satuan massa sebagai berikut :

- Kerja Pompa $W_p = h_2 - h_1$
- Penambahan Kalor pada Boiler $Q_{in} = h_3 - h_2$
- Kerja Turbin $W_t = h_3 - h_4$
- Kalor yang dibuang pada Kondensor $Q_{out} = h_4 - h_1$
- Efisiensi thermal $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$
 $= \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$

Untuk memaksimalkan efisiensi siklus, temperatur yang diberikan harus mencapai setinggi mungkin sedangkan panas yang dibuang harus pada temperatur yang serendah-rendahnya. Tekanan boiler yang tinggi akan menaikkan temperatur penguapan, sehingga menaikkan efisiensi siklus.

2.3. Komponen Instalasi Tenaga Uap

1. Pompa

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli atau minyak pelumas, serta fluida lainnya yang tak mampu mampat. Industri-

uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan di boiler.



Gambar 2.6 Pompa

Pompa juga merupakan alat mesin konversi energi, tetapi mesin ini banyak diaplikasikan sebagai alat bantu proses konversi. Sebagai contoh pompa banyak dipakai sebagai alat sirkulasi air pada instalasi pembangkit tenaga uap. Pompa bekerja dengan penggerak dari luar. Jadi mesin ini adalah pengguna energi.

Secara umum pompa dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*).

Pada pompa kerja positif kenaikan tekanan cairan di dalam pompa disebabkan oleh pengecilan volume ruangan yang ditempati cairan tersebut. Adanya elemen yang bergerak dalam ruangan tersebut menyebabkan volume ruangan akan membesar atau mengecil sesuai dengan gerakan elemen tersebut.

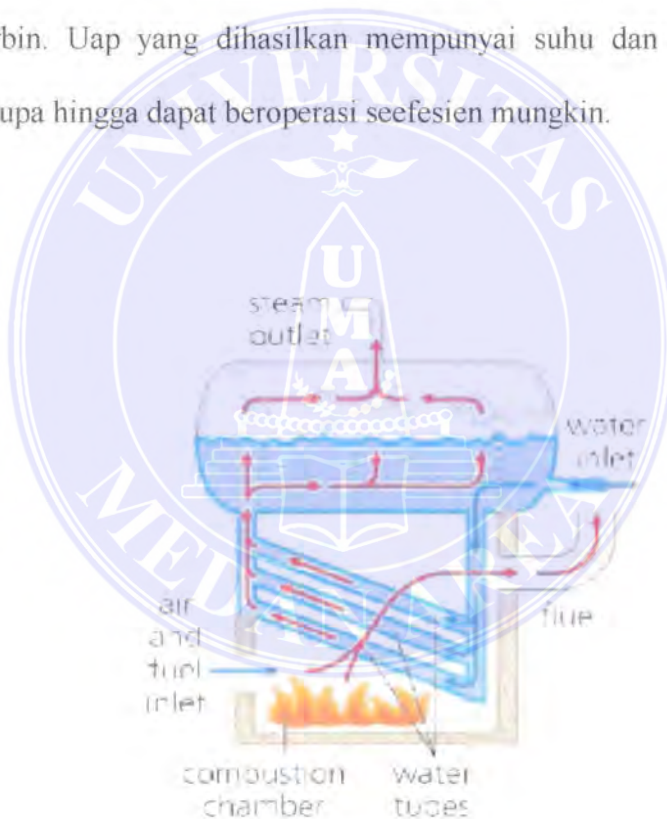
Secara umum pompa kerja positif diklasifikasikan menjadi Pompa Reciprocating dan Pompa Rotari

Pada pompa kerja dinamis energi penggerak dari luar diberikan kepada poros yang kemudian digunakan untuk menggerakkan baling-baling yang disebut

mengakibatkan energi tekanan dan energi kinetik cairan bertambah. Cairan akan terlempar ke luar akibat gaya sentrifugal yang ditimbulkan gerakan impeler. Yang termasuk jenis pompa ini adalah pompa sentrifugal.

2. Boiler

Boiler sering juga disebut ketel uap, yaitu suatu komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk menghasilkan uap, energi kinetiknya digunakan untuk memutar turbin. Uap yang dihasilkan mempunyai suhu dan tekanan tertentu sedemikian rupa hingga dapat beroperasi seefisien mungkin.



Gambar 2.7 Boiler pipa air

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan

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

Document Accepted 7/12/23

(*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin, atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem boiler tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri dengan bantuan *heat recovery boiler*.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Secara umum boiler dibagi kedalam dua jenis yaitu : boiler pipa api (*Fire tube boiler*) dan boiler pipa air (*water tube boiler*). Pada boiler pipa api proses

langsung kedalam boiler yang berisi air. Besar dan konstruksi boiler mempengaruhi kapasitas dan tekanan yang dihasilkan boiler tersebut. Sedangkan pada boiler pipa air proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer, kemudian *steam* yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah *steam*-drum. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap secondary superheater dan primary superheater baru *steam* dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut di dalam air tersebut. Hal ini merupakan faktor utama yang harus diperhatikan terhadap tipe ini.

3. Turbin

Turbin merupakan mesin penggerak, di mana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutarinya. Dengan adanya energi kinetis uap yang digunakan langsung untuk memutar turbin, maka dapat dikatakan juga disini, bahwa kemajuan teknologi turbin banyak dipengaruhi oleh kondisi uap yang dihasilkan. Tujuan yang ingin dicapai oleh teknologi turbin adalah mengambil manfaat sebesar-besarnya dari energi fluida kerja yang tersedia, mengubahnya menjadi energi mekanis dengan efisiensi maksimum.



Gambar 2.8 Turbin

4. Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin. Uap setelah memutar turbin langsung mengalir menuju kondensor untuk diroboh menjadi air (dikondensasikan), hal ini terjadi karena uap bersentuhan langsung dengan pipa-pipa (*tubes*) yang didalamnya dialiri oleh air pendingin. Oleh karena kondensor merupakan salah satu komponen utama yang sangat penting, maka kemampuan kondensor dalam mengkondensasikan uap keluaran turbin harus benar-benar diperhatikan, sehingga perpindahan panas antara fluida pendingin dengan uap keluaran turbin dapat maksimal dan pengkondensasian terjadi dengan baik.

Kondensor terdiri dari tube-tube kecil yang melintang. Pada *tube-tube* inilah air pendingin dari laut dialirkan. Sedangkan uap mengalir dari atas menuju ke bawah agar mengalami kondensasi atau pengembunan. Sebelum masuk kedalam kondensor, air laut biasanya melewati *debris filter* yang berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran ataupun lumpur yang terbawa air laut.

Agar uap dapat bergerak turun dengan lancar dari sudu terakhir Turbin, maka vakum kondensor harus dijaga, karena dengan ada vakum pada kondensor akan membuat tekanan udara pada kondensor menjadi rendah. Dengan tekanan yang lebih rendah di kondensor, maka uap akan bisa bergerak dengan mudah menuju kondensor.



Gambar 2.9 Kondensor

2.4.Klasifikasi Turbin Uap

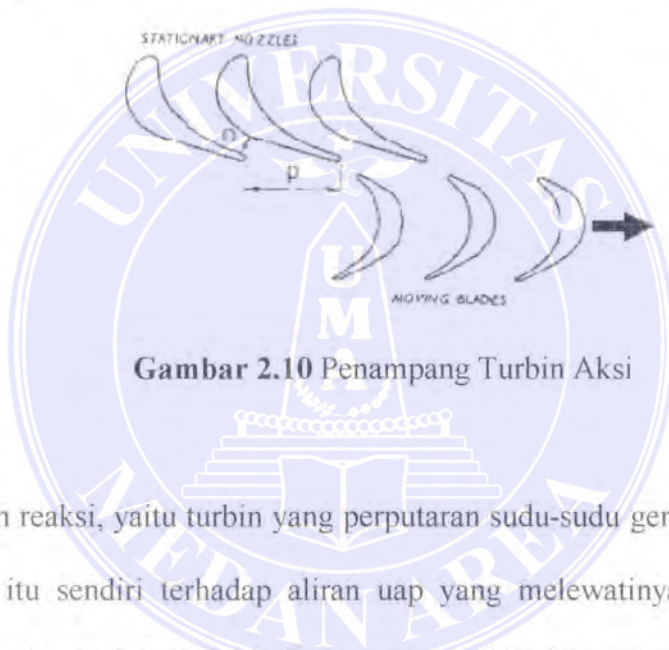
Ada beberapa cara untuk mengklasifikasikan turbin uap, yaitu:

1. Berdasarkan arah aliran uapnya

- a) Turbin aksial, yaitu turbin dengan arah aliran uap sejajar dengan sumbu poros.
- b) Turbin radial, yaitu turbin dengan arah aliran uap tegak lurus terhadap sumbu poros.

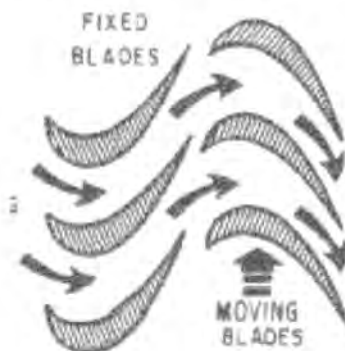
2. Berdasarkan tekanan uap yang digunakan untuk menggerakkan roda jalan turbin melalui sudu, maka turbin uap dibagi menjadi :

- a) Turbin aksi (*impuls*), yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena dorongan dari uap yang telah dinaikkan kecepatannya oleh nosel. Turbin Impuls, disebut juga turbin aksi atau turbin tekanan tetap, dimana uap mengalami ekspansi hanya pada nosel atau sudu-sudu tetap saja, sehingga tekanan uap sebelum dan sesudah sudu adalah tetap.

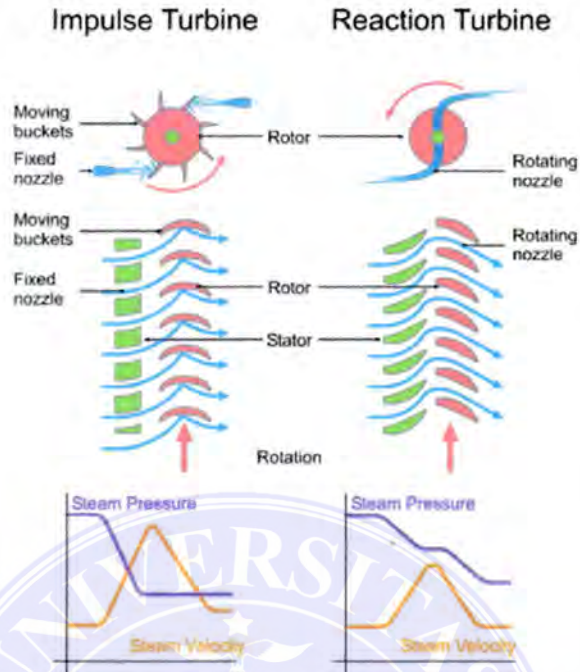


Gambar 2.10 Penampang Turbin Aksi

- b) Turbin reaksi, yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena gaya -sudu itu sendiri terhadap aliran uap yang melewatinya. Pada turbin ini proses ekspansi dari fluida kerjanya terjadi di dalam baris sudu-sudu tetap maupun sudu-sudu geraknya, sehingga tekanan uap sesudah keluar dari tiap tingkat sudu lebih rendah dari sebelumnya.



Gambar 2.11 Penampang Turbin Reaksi



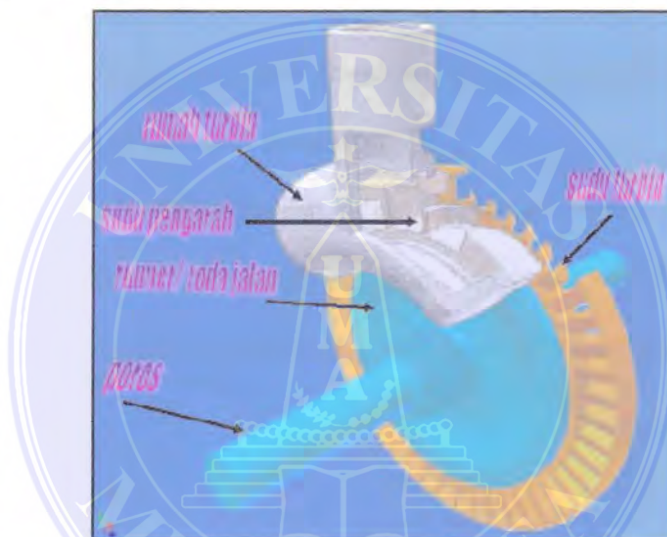
Gambar 2.12 Perbedaan skema aliran uap antara Turbin Aksi dan Reaksi

3. Berdasarkan kondisi uap yang meninggalkannya :
 - a) Turbin tekanan lawan (*back pressure turbine*), yaitu turbin yang tekanan uap bekasnya berada di atas tekanan atmosfer dan digunakan untuk keperluan proses.
 - b) Turbin kondensasi langsung, yaitu turbin yang uap bekasnya dikondensasikan langsung dalam kondensor untuk mendapatkan air kondensor pengisian ketel.
 - c) Turbin ekstraksi dengan tekanan lawan, yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya dicerat (*diekstraksi*) dan sebagian lagi digunakan untuk keperluan proses.

- d) Turbin ekstraksi dengan kondensasi, yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya di cerat (*diekstraksi*) sebagian lagi dikondensasikan dalam kondensor untuk mendapatkan air kondensat pengisian ketel.
 - e) Turbin non kondensasi dengan aliran langsung, yaitu turbin yang uap bekasnya langsung dibuang ke udara.
 - f) Turbin non kondensasi dengan ekstraksi, yaitu turbin yang sebagian uap bekasnya dicerat (*diekstraksi*) dan sebagian lagi dibuang ke udara.
4. Berdasarkan tekanan uapnya :
- a) Turbin tekanan rendah, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga 2 ata.
 - b) Turbin tekanan menengah, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga 40 ata.
 - c) Turbin tekanan tinggi, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk hingga diatas 40 ata.
 - d) Turbin tekanan sangat tinggi, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk di atas 170 ata.
 - e) Turbin tekanan super kritis, yaitu turbin dengan tekanan uap masuk di atas 225 ata.

2.5. Bagian-bagian Turbin

Turbin sebagai salah satu komponen dalam instalasi tenaga uap memiliki fungsi yang sangat penting guna menghasilkan daya yang akan ditransmisikan ke generator nantinya. Untuk itu, turbin juga memiliki beberapa komponen atau bagian-bagian yang dibuat sedemikian rupa guna mencapai tujuan yang dimaksudkan. Komponen atau bagian-bagian dari turbin tersebut dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 Bagian-bagian turbin

1. Nosel (Pipa Pancar)

Nosel ialah sebuah peralatan untuk mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetis dengan jalan mengembangkan (mengeksansi) uap dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah dalam sebuah turbin. Nosel sering juga digantikan dengan sudu pengarah karena fungsinya adalah mengarahkan aliran uap yang masuk turbin.

2. Sudu Tetap

Disebut sudu tetap karena keberadaannya yang memang diam (tidak bergerak). Fungsi sudu ini adalah untuk mengarahkan uap yang keluar dari ketel ke sudu gerak.

3. Sudu Gerak

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

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

4. Rotor Turbin

Rotor merupakan alat untuk memindahkan kerja yang dihasilkan oleh uap pada sudu-sudu jalan ke poros mesin atau melalui transmisi reduksi roda gigi.

5. Rumah Turbin

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



2.6. Kerugian Energi Pada Turbin Uap

Pada saat pengoperasiannya turbin uap mengalami kehilangan atau kerugian energi yang dapat dikategorikan atas 2 jenis, yaitu:

- a) Kerugian dalam yaitu kerugian yang berkaitan dengan kondisi uap sewaktu uap tersebut melalui turbin (pada katup pengatur, nosel, sudu, kecepatan keluar, gesekan dengan cakram, pengadukan, ruang bebas, kebasahan, dan pemipaan buang).
- b) Kerugian luar yaitu kerugian yang tidak mempengaruhi kondisi uap (kerugian mekanis, kebocoran uap melalui perapat labirin depan dan belakang).

2.6.1. Kerugian Energi Kalor pada Katup Pengatur

Kerugian energi pada katup pengatur adalah kerugian aliran uap melalui katup-katup penutup dan pengatur disertai oleh kerugian energi akibat adanya penurunan tekanan uap saat melewati katup pengatur. Jika tekanan uap ketel adalah (p_0), maka akan terjadi penurunan tekanan menjadi tekanan awal masuk turbin (p_0'). Untuk katup pengatur yang penuh, maka diperkirakan terjadi penurunan tekanan (Δp) sebesar 3 – 5 % dari tekanan uap ketel.

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_0 - p_0' \\ &= (3-5)\% p_0\end{aligned}$$

Untuk tujuan perancangan kerugian tekanan diambil sebesar 5% atau dapat dituliskan:

Kerugian energi yang terjadi pada katup pengatur ditentukan dengan :

$$\Delta H = H_0 - H_0' \text{ (Kkal/Kg)}$$

Dimana :

H_0 = Penurunan kalor isentropis dengan mengabaikan kerugian (kkal/kg).

H_0' = Penurunan kalor isentropis dengan memperhitungkan kerugian kalor pada katup pengatur keluar (kkal/kg).

2.6.2. Kerugian Energi Pada Nosel

Kerugian energi pada nosel disebabkan oleh adanya gesekan uap pada dinding nosel, turbulensi, dan lain-lain. Kerugian energi pada nosel ini dicakup oleh koefisien kecepatan nosel (ϕ) yang sangat tergantung pada tinggi nosel.

Kerugian energi kalor pada nosel dalam bentuk kalor :

$$h_n = \frac{c_{1t}^2 - c_1^2}{8378} \text{ (kkal / kg)} \quad \text{(Turbin uap teori dan rancangan P. Shlyakin, hal 25)}$$

$$= \frac{1 - \phi^2}{\phi^2} \times \frac{c_1^2}{8378}$$

$$= (1 - \phi^2) \frac{c_{1t}^2}{8378}$$

$$h_n = (1 - \phi^2) H_0' \text{ (kkal/kg)}$$

Dimana :

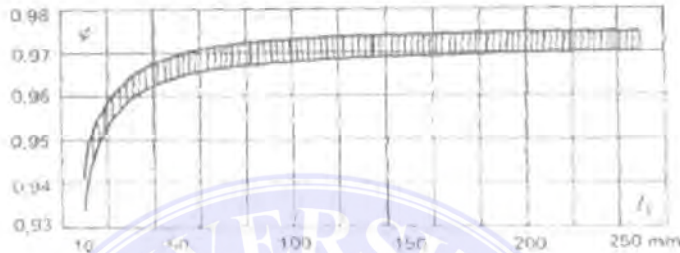
$$c_{1t} = \text{Kecepatan uap masuk teoritis (m/det)}$$

$$\text{UNIVERSITAS MEDAN AREA} = \phi \cdot c_{1t} = \text{Kecepatan uap masuk mutlak (m/det)}$$

h_n = Besar kerugian pada nozel

φ = Koefisien kecepatan atau angka kualitas nozel

Untuk tujuan perancangan, nilai-nilai koefisien kecepatan nozel dapat diambil dari grafik yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.14 Grafik untuk Menentukan Koefisien ϕ sebagai Fungsi Tinggi Nozel

2.6.3. Kerugian Energi Kalor pada sudu-sudu Gerak

Kerugian energi pada sudu-sudu gerak disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: kerugian akibat benturan, gesekan, kebocoran uap dan akibat pembelokan sudu.

Semua faktor ini disimbolkan sebagai koefisien kecepatan (angka kualitas) sudu-sudu, (ψ) dimana koefisien kecepatan ini mempunyai nilai lebih kecil dari satu.

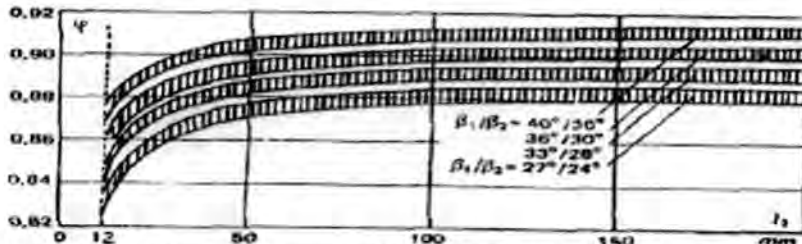
Kerugian energi pada sudu-sudu menyebabkan penurunan kecepatan keluar nisbi ω_2 lebih kecil dari kecepatan masuk nisbi ω_1 ($\omega_2 = \psi \cdot \omega_1$). Sebagai akibatnya akan terjadi penurunan energi kinetik sebesar:

$$\Delta EK = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g} \text{ (kg.m/kg)(Turbin uap teori dan rancangan P. Shlyakin, Hal. 34)}$$

atau dikatakan terjadi kehilangan energi dalam sudu-sudu gerak sebesar:

$$h_b = \frac{1 - \psi^2}{8378} \times \omega_1^2 \text{ (kkal/kg) } \dots\dots\dots \text{(Turbin uap teori dan rancangan P. Shlyakin, Hal. 34)}$$

Untuk pemakaian praktis, harga ψ dapat ditentukan dengan tinggi sudu-sudu gerak pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Grafik untuk menentukan koefisien ψ berdasarkan tinggi sudu-gerak untuk turbin impuls

2.6.4. Kerugian Energi Akibat Kecepatan Keluar

Uap meninggalkan sisi keluar sudu gerak dengan kecepatan mutlak c_2 , sehingga kerugian energi kinetik akibat kecepatan uap c_2 untuk setiap satu kilogram uap dapat ditentukan yaitu: $\frac{c_2^2}{2g}$ (kg.m/kg), jadi sama dengan kehilangan

energi sebesar: $h_e = \frac{c_2^2}{8378}$ (kkal/kg).

2.7. Dasar Teori Impuls

2.7.1. Prinsip Impuls dan Momentum

Di dalam ilmu fisika ditunjukkan bahwa konsep usaha dan konsep energi tumbuh berdasarkan hukum-hukum gerak Newton. Impuls merupakan konsep yang mirip dengan konsep tersebut, yakni juga timbul berdasarkan hukum-hukum tersebut. Dalam ilmu mekanika impuls pada satu benda terjadi akibat adanya

UNIVERSITAS MEDAN AREA
perubahan momentum benda tersebut dalam selang waktu tertentu. Namun perlu

waktu yang sangat singkat. Hal ini menjadi dasar persamaan impuls nantinya. Sedangkan momentum suatu benda tersebut dalam fisika didefinisikan sebagai hasil kali massa benda dengan kecepatan gerak benda tersebut. Secara matematis ditulis :

$$p = mv \dots\dots\dots (2.1)$$

p adalah lambang momentum, m adalah massa benda dan v adalah kecepatan benda. Momentum merupakan besaran vektor, jadi selain mempunyai besar alias nilai, momentum juga mempunyai arah. Besar momentum $p = mv$. Arah momentum sama dengan arah kecepatan. Dari persamaan di atas, tampak bahwa momentum (p) berbanding lurus dengan massa (m) dan kecepatan (v). Semakin besar kecepatan benda, maka semakin besar juga momentum sebuah benda. Demikian juga, semakin besar massa sebuah benda, maka momentum benda tersebut juga bertambah besar. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa ada hubungan antara impuls dan momentum.. Hubungan tersebut dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : F = gaya total yang bekerja pada benda

Δp = perubahan momentum

Δt = selang waktu perubahan momentum

Jika ditinjau suatu partikel bermassa m yang bergerak dalam suatu bidang xy dan mengalami gaya resultan F yang besar dan arahnya dapat berubah, maka berdasarkan hukum kedua Newton pada setiap saat diperoleh :

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{dv}{dt} \text{ maka ;}$$

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$F \cdot dt = m \cdot dv$$

Kalau v_1 adalah kecepatan ketika $t = t_1$ dan v_2 adalah kecepatan ketika $t = t_2$, maka

$$\int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot dv$$

$$\int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = m \cdot v_2 - m \cdot v_1 = m (v_2 - v_1)$$

Bila $t_1 = 0$ dan $t_2 = t$, maka :

$$F \cdot t = m (v_2 - v_1)$$

$$F = \frac{m}{t} (v_2 - v_1) \dots\dots\dots (2.3)$$

2.7.2. Asas Impuls Pada Turbin

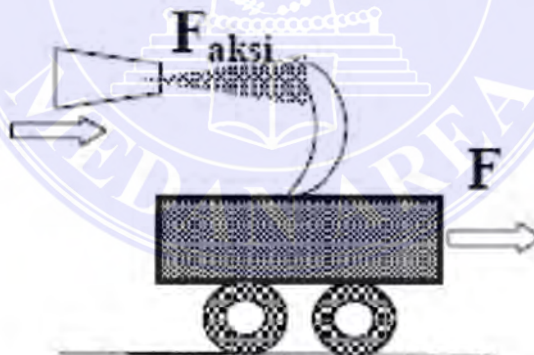
Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang di antara sudu tersebut. Apabila kemudian ternyata bahwa roda turbin dapat berputar, maka ada gaya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir di antara sudu yang dianggap sangat efektif untuk menghasilkan gaya dorong. Gaya dorong harus lebih besar atau sekurang-kurangnya sama dengan berat turbin dan porosnya, agar turbin dapat berputar dengan lebih ringan.

Karena sudu-sudu tersebut dapat bergerak bersama-sama dengan roda turbin, maka sudu tersebut dinamakan sudu gerak. Sebuah roda turbin bisa saja terdapat beberapa baris sudu gerak yang dipasang berurutan dalam arah aliran fluida kerja.

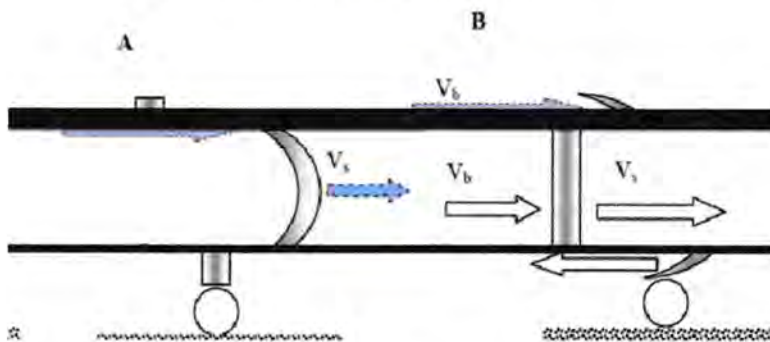
Setiap baris sudu terdiri dari sudu-sudu yang disusun melingkari roda turbin,

masing-masing dengan bentuk yang sama. Turbin dengan satu baris sudu gerak

dinamai bertingkat tunggal. Sedangkan turbin dengan beberapa baris sudu gerak dinamai turbin bertingkat ganda. Proses fluida kerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya. Namun sebelum mengalir ke setiap baris sudu berikutnya, fluida kerja melalui baris sudu yang bersatu dengan rumah turbin. Dan karena sudu tersebut terakhir tidak berputar, sudu tersebut dinamakan sudu tetap, yang berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk kedalam sudu gerak berikutnya, bisa juga sebagai nosel. 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. Fluida uap dengan energi potensial yang besar berekspansi sehingga mempunyai energi kinetik tinggi yang akan mendorong sudu, karena dorongan atau tumbukan tersebut, sudu kemudian bergerak. Proses tumbukan inilah yang dinamakan dengan Impuls.



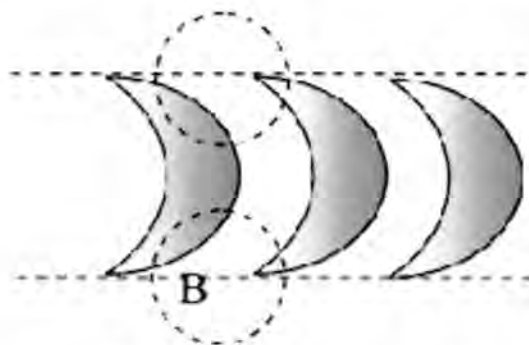
Gambar 2.16 Impuls pada sudu Turbin



Gambar 2.17 Impuls pada penampang vertikal dan melengkung

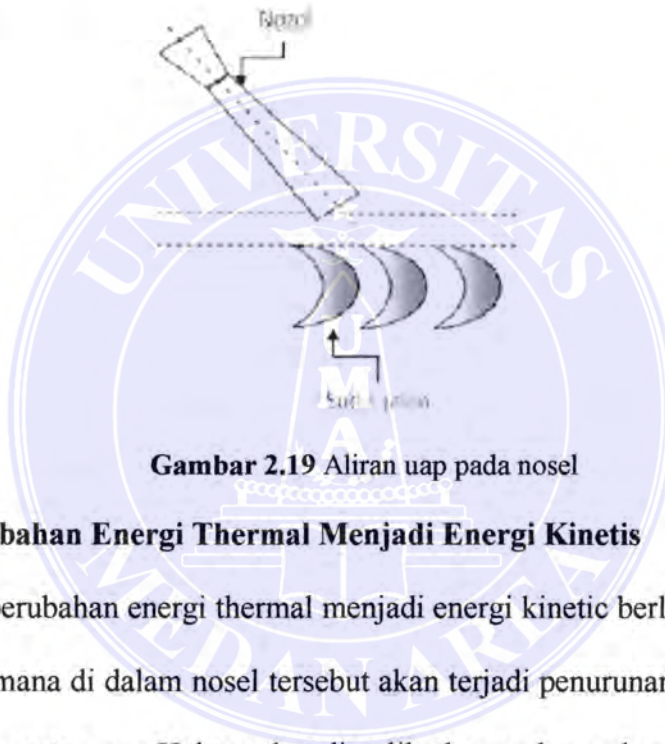
2.7.3. Prinsip Turbin Impuls

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. 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 antar 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 2.18 Sudu Turbin simetris

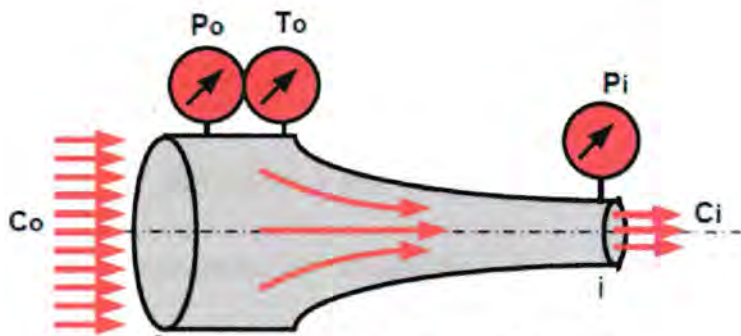
Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa pada turbin uap agar sudu gerak dapat berputar maka dibutuhkan semburan uap yang akan memberikan dorongan (impuls) pada sudu jalan tersebut. Uap yang disemburkan harus memiliki kecepatan tinggi agar memperoleh energi kecepatan yang besar. Untuk itu maka sebelum memasuki sudu jalan, uap dari ketel harus diekspansikan di dalam nosel atau sudu pengarah.



Gambar 2.19 Aliran uap pada nosel

2.8. Perubahan Energi Thermal Menjadi Energi Kinetis

Proses perubahan energi thermal menjadi energi kinetic berlangsung di dalam nosel, yang mana di dalam nosel tersebut akan terjadi penurunan tekanan uap dan kenaikan kecepatan uap. Hal tersebut diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.20 saluran uap pada nosel

Bila uap berekspansi melalui penampang yang kecil, akan menghasilkan energi yang seimbang dengan perubahan entalpinya. Energi kinetis diserap oleh sudu-sudu turbin yang akan menghasilkan ekspansi isentropis. Kecepatan uap keluar nosel sangat dipengaruhi oleh besarnya perbandingan tekanan keluar dan tekanan masuk. Dengan hukum kekekalan energi disebutkan bahwa energi sebelum dan sesudah nosel harus sama, maka :

$$\frac{c_0^2}{2} + p_0 \cdot v_0 + u_0 = \frac{c_{1t}^2}{2} + p_1 \cdot v_1 + u_1$$

; $p \cdot v + u = h$, maka :

$$\frac{c_0^2}{2} + h_0 = \frac{c_{1t}^2}{2} + h_1$$

$$\frac{c_{1t}^2}{2} - \frac{c_0^2}{2} = h_0 - h_1$$

$$c_{1t} = \sqrt{2(h_0 - h_1) + c_0^2} \dots\dots\dots (\text{kJ/Kg})$$

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot 1000(h_0 - h_1) + c_0^2} \dots\dots\dots (\text{J/Kg})$$

$$c_{1t} = 44,72\sqrt{(h_0 - h_1) + c_0^2}$$

; jika $c_0 = 0$, maka

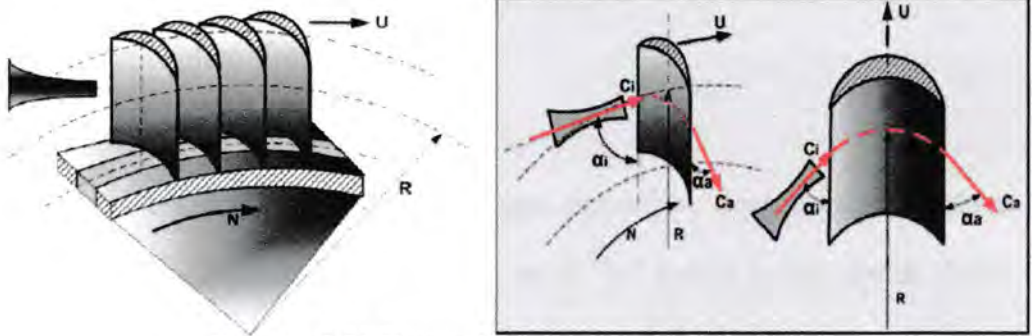
$$c_{1t} = 44,72\sqrt{(h_0 - h_1)}$$

$$c_{1t} = 44,72\sqrt{H} \dots\dots\dots (3.4)$$

2.9. Transformasi Energi Pada Sudu

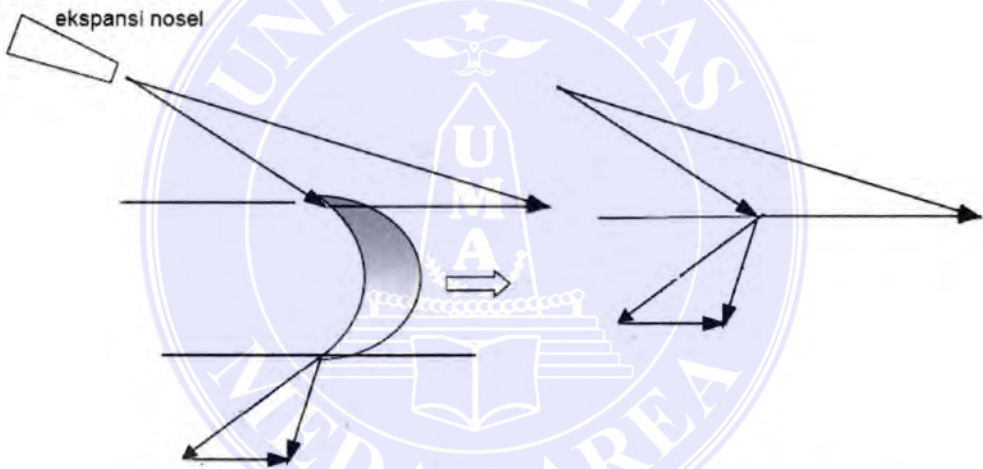
Uap yang keluar dari dalam nosel dengan kecepatan mutlak c_1 memasuki laluan-laluan sudu pada sudut α_1 . Disebabkan oleh perputaran cakram turbin, kecepatan uap pada jalan masuk ke laluan-laluan sudu akan mempunyai

UNIVERSITAS MEDAN AREA terhadap dinding laluan sudu tersebut. Kecepatan relative



Gambar 2.21 Skema aliran uap pada sudu gerak

Dari proses aliran uap yang melalui nosel atau sudu pengarah hingga keluar dari sudu gerak, dapat dibentuk suatu skema aliran uap. Skema tersebut dapat dilihat berikut ini.



Gambar 2.22 Skema arah kecepatan uap pada sudu gerak

c_1 = Kecepatan uap mutlak meninggalkan nosel

u = Kecepatan tangensial sudu

w_1 = kecepatan relatif uap masuk sudu

w_2 = Kecepatan relatif uap meninggalkan sudu

c_2 = Kecepatan mutlak uap meninggalkan sudu

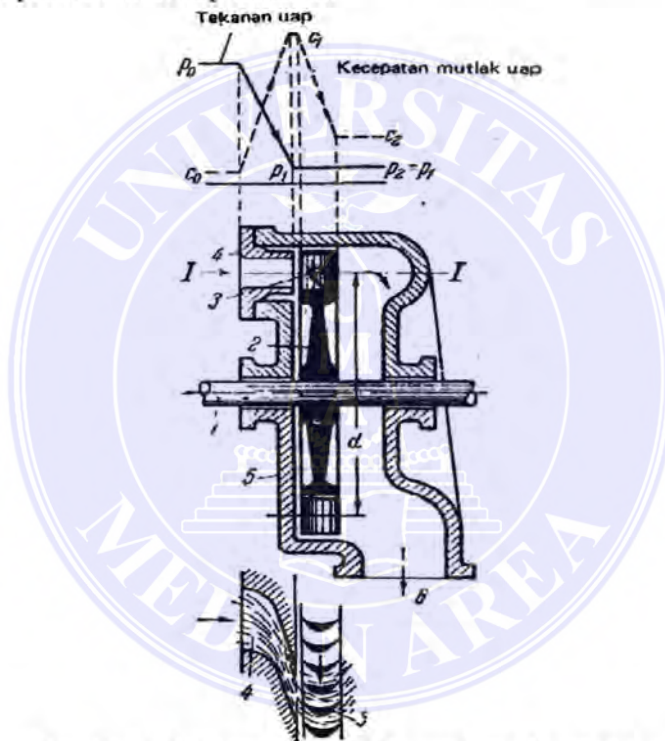
α_1 = sudut nosel

α_2 = sudut keluar sudu

β_2 = sudut keluar fluida

2.10. Analisis Kecepatan Aliran Uap

Analisis terhadap kecepatan uap dapat ditentukan dengan memperhatikan bagaimana proses aliran uap yang terjadi, mulai dari masuk hingga keluar turbin. Untuk itu posisi nosel dan sudu turbin perlu diperhatikan, karena hal tersebut akan mempengaruhi proses aliran uap tersebut.



Gambar 2.23 Konstruksi turbin uap impuls satu tahap

Gambar diatas 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 nosel 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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Konvergen divergen, di dalam nosel uap berekspansi sehingga tekanannya turun.

Document Accepted 7/12/23

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

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

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 .

Berdasarkan arah aliran uap yang mengalir melalui nosel atau sudu pengarah dan melalui sudu gerak turbin maka dapat digambarkan suatu skema segi tiga kecepatan uap, yang kemudiam melalui skema tersebut dapat ditentukan kecepatan uap tersebut.



Gambar 2.24 Skema segitiga kecepatan uap

Dari segitiga kecepatan diatas, panjang pendeknya garis adalah mewakili dari besar kecepatan masing-masing. Sebagai contoh, fluida masuk sudu dari nosel dengan kecepatan c_1 kemudian keluar dari nosel sudah berkurang menjadi w_1 dengan garis yang lebih pendek, artinya sebagian energi kinetik fluida masuk sudu diubah menjadi energi kinetik sudu dengan kecepatan u , kemudian fluida yang sudah memberkan energinya meningglkan sudu dengan kecepatan c_2 .

1. Kecepatan uap mutlak masuk sudu turbin :

$$c_1 = \varphi c_{1t} \dots\dots\dots (2.5)$$

c_1 = Kecepatan uap mutlak masuk sudu turbin (m/s)

H = Besar panas jatuh (kJ/kg)

φ = koefisien gesek pada dinding nosel (0,91-0,98)

2. Kecepatan Tangensial sudu :

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \dots \dots \dots (2.6)$$

u = Kecepatan tangensial sudu (m/s)

d = diameter rata-rata turbin (m)

n = jumlah putaran turbin (rpm)

3. Kecepatan relatif uap masuk sudu gerak :

$$w_1 = \sqrt{c_1^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1} \dots \dots \dots (2.7)$$

w_1 = Kecepatan relatif uap masuk sudu gerak

α_1 = sudut mutlak uap masuk sudu gerak

4. Sudut relatif uap masuk sudu gerak

$$w_1 \sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \times \sin \alpha_1$$

$$\sin \beta_1 = \frac{c_1}{w_1} \times \sin \alpha_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

5. Sudut relatif uap keluar sudu gerak

$$\beta_2 = \beta_1 \dots \dots \dots (2.9)$$

Atau kadang $\beta_2 = \beta_1 - (3^\circ - 5^\circ)$

6. Kecepatan uap keluar sudu gerak

$$w_2 = \psi w_1 \dots\dots\dots (2.10)$$

ψ = koefisien sudu gerak

$$\psi = 0,86$$

7. Kecepatan uap mutlak keluar sudu turbin :

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot w_2 \cdot \cos \beta_2} \dots\dots\dots (3.11)$$

8. Sudut mutlak uap keluar sudu gerak :

$$w_2 \sin \beta_2 = c_2 \sin \alpha_2$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{w_2}{c_2} \times \sin \beta_2 \dots\dots\dots (3.12)$$

2.11. Gaya Tangensial Turbin

Gaya tangensial turbin ditentukan berdasarkan prinsip impuls yang terjadi pada sudu. Yang mana impuls tersebut terjadi akibat adanya perubahan momentum pada sudu, dan perubahan momentum tersebut diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan uap yang mengalir pada sudu.

$$\begin{aligned} F_u &= \rho m (c_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cos \alpha_2) \\ &= \rho m (c_1 \cos \alpha_1 - (-c_2 \cos \alpha_2)) \\ &= \rho m (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) \end{aligned}$$

$$c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2 = w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2$$

$$; w_2 = \psi w_1$$

$$= \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) w_1 \cos \beta_1$$

$$c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2 = \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) w_1 \cos \beta_1$$

$$; w_1 \cos \beta_1 = c_1 \cos \alpha_1 - u$$

$$c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2 = \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) (c_1 \cos \alpha_1 - u) \dots\dots\dots (2.14)$$

Jadi

$$F_u = \rho m (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2)$$

$$F_u = \rho m \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) (c_1 \cos \alpha_1 - u) \dots\dots\dots (2.15)$$

2.12. Daya Mekanis yang dihasilkan Turbin

Daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin ditentukan berdasarkan gaya dan kecepatan tangensial turbin tersebut yang akan menghasilkan torsi pada poros turbin. Sehingga dengan menerapkan persamaan daya mekanis turbin, maka akan diperoleh :

$$P_u = \rho m \cdot u (c_{1u} - c_{2u})$$

Karena

$$c_{2u} = c_2 \cos \alpha_2$$

$$c_{1u} = c_1 \cos \alpha_1$$

Maka

$$P_u = \rho m \cdot u (c_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cos \alpha_2)$$

$$= \rho m \cdot u (c_1 \cos \alpha_1 - (-c_2 \cos \alpha_2))$$

$$P_u = \rho m \cdot u (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dari persamaan 2.14 diketahui bahwa :

$$c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2 = \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.14 ke persamaan 2.16, maka akan diperoleh persamaan :

$$P_u = \rho m \cdot u \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u) \dots\dots\dots (2.17)$$

Daya mekanis turbin dapat juga ditentukan menurut persamaan berikut :

$$P_u = M_t \cdot \omega \dots\dots\dots (2.18)$$

$$M_t = F_u \cdot r$$

$$\omega = u/r$$

$$P_u = F_u \cdot u \dots\dots\dots (2.19)$$

Jika disubstitusikan persamaan 2.15 ke persamaan 2.18, maka akan menghasilkan persamaan yang sama dengan persamaan 2.17, yaitu

$$P_u = \rho m \cdot u \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)$$

2.13. Efisiensi Turbin Impuls

Kerja teoritis uap pada pinggir cakram untuk turbin ideal, dengan kata lain tidak adanya kerugian baik pada nosel ataupun sudu akan menjadi :

$$P = \rho m \frac{c_{1t}^2}{2} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\eta_u = \frac{P_u}{P} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\eta_u = \frac{\rho m \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)}{\frac{\rho m c_{1t}^2}{2}}$$

$$\eta_u = \frac{2u \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)}{c_{1t}^2}$$

$$; c_{1t}^2 = \frac{c_1^2}{\varphi^2}$$

$$\eta_u = \frac{2u \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)}{\frac{c_1^2}{\varphi^2}}$$

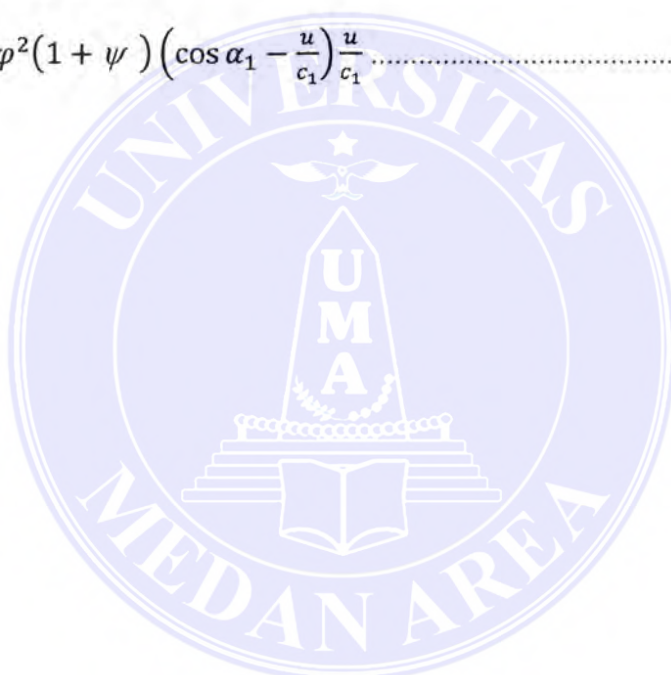
$$\eta_u = 2\varphi^2 \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) (c_1 \cos \alpha_1 - u)$$

$$\eta_u = 2\varphi^2 \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) \left(\frac{u}{c_1} \cos \alpha_1 - \frac{u^2}{c_1^2}\right)$$

$$\eta_u = 2\varphi^2 \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}\right) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}\right) \frac{u}{c_1} \dots\dots\dots (2.22)$$

jika $\beta_1 = \beta_2$, maka :

$$\eta_u = 2\varphi^2 (1 + \psi) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}\right) \frac{u}{c_1} \dots\dots\dots (2.23)$$

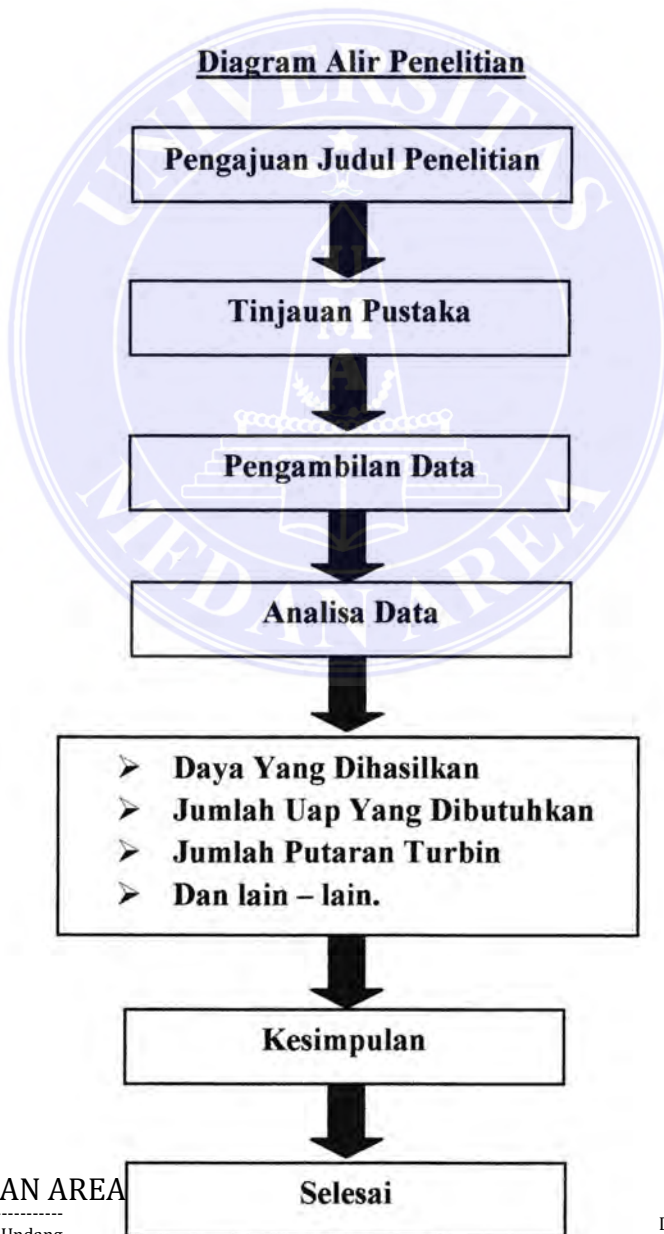


BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin, uap yang dibutuhkan turbin dan karakteristik turbin tersebut agar dapat diperoleh data – data yang akurat dalam penganalisaan turbin tersebut.

3.1 Diagram Alir Penelitian



3.1.1 Pengajuan Judul Penelitian

Pengajuan judul penelitian dilakukan tanggal 20 Juli 2011 dan selanjutnya diadakan seminar proposal pada tanggal 23 Juli 2011. Setelah mendapat persetujuan judul dari para pembimbing saya mulai melakukan pembelajaran mengenai judul yang saya ambil untuk skripsi saya dan diteruskan dengan meminta surat izin mengambil data dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.

3.1.2 Tinjauan Pustaka

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dapat dikopel langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi yang dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan sesuai dengan kebutuhan.

Jenis – jenis turbin uap :

1. Berdasarkan arah aliran uapnya
 - a) Turbin aksial
 - b) Turbin radial.
2. Berdasarkan tekanan uap yang digunakan untuk menggerakkan roda jalan turbin melalui sudu
 - a) Turbin aksi (*impuls*)
 - b) Turbin reaksi

- a) Turbin tekanan lawan (*back pressure turbine*)
 - b) Turbin kondensasi langsung
 - c) Turbin ekstraksi dengan tekanan lawan
 - d) Turbin ekstraksi dengan kondensasi
 - e) Turbin non kondensasi dengan aliran langsung
 - f) Turbin non kondensasi dengan ekstraksi
4. Berdasarkan tekanan uapnya
- a) Turbin tekanan rendah
 - b) Turbin tekanan menengah
 - c) Turbin tekanan tinggi
 - d) Turbin tekanan sangat tinggi
 - e) Turbin tekanan super kritis

3.1.3 Pengambilan Data dan Analisa Data

1. Pengambilan data akan dilaksanakan setelah tanggal pengusulan pelaksanaan disetujui oleh personalia PTPN IV.
2. Pengambilan data dan analisa akan di lakukan di PTPN IV Jl. Medan - Tebing Tinggi Km 37 Perbaungan 20586, Kab. Serdang Bedagai – Sumatera Utara.

3.1.4 Kesimpulan

Setelah melakukan komparasi dan analisa data dari data yang diambil, kesimpulan

UNIVERSITAS MEDAN AREA V pada skripsi ini.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

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

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari proses analisa yang dilakukan terhadap data-data dan spesifikasi turbin uap jenis impuls, maka didapatkan suatu kesimpulan bahwa :

- Gaya tangensial dan daya mekanis turbin akan semakin besar jika sudut uap masuk (α_1) semakin kecil.
- Gaya tangensial dan daya turbin yang besar belum tentu akan memperoleh efisiensi dan efektifitas turbin yang baik dan maksimal.
- Besar sudut (α_1) yang paling optimal untuk mendapatkan performa turbin yang paling baik dan maksimal yakni pada sudut 15° .

5.2 Saran

Skripsi ini disadari masih membahas sebagian kecil mengenai turbin uap yang digunakan sebagai power plant, dan juga masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu bagi mahasiswa yang hendak mengambil tugas skripsi dapat melanjutkan sekripsi ini dengan pembahasan yang lain dan variasi yang berbeda. Hal tersebut sangat baik untuk dilakukan, karena dengan demikian secara bertahap analisis yang dilakukan terhadap turbin uap akan semakin sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

1. Shlyakhin, P. *Turbin Uap dan Perancangan*, terjemahan Zulkifli Harahap, Penerbit Erlangga, Jakarta 1993.
2. Dietzel, Fritz. *Turbin, Pompa dan Kompresor*, terjemahan Dakso Sriyono, Penerbit Erlangga, Jakarta 1993.
3. Muin, Syamsir A, *Pesawat-Pesawat Konversi Energi ; Turbin Uap*, Penerbit Rajawali, Jakarta 1988.
4. Sayers, A.T *Hydraulic and Compressible Flow Turbomachines*, International Edition, McGrow Hill Book Company, New York 1990.
5. Menson, Bruce R, Young, Donal F. *Mekanika Fluida*, edisi keempat jilid 2, alih bahasa Dr. Harinaldi dan Budiarmo M.Eng, Penerbit Erlangga Jakarta, 2003.
6. Moran, Michael J, Shapiro, Howard N, *Termodinamika Teknik*, jilid 1 dan 2, alih bahasa Yulianto Sulistiyo M.Sc, Ph.D, Penerbit Erlangga, Jakarta 2004.
7. Daryanto, Drs, *Teknik Pesawat Tenaga*, Penerbit Bumi Aksara Jakarta, 1991.
8. Ballaney PL, *Thermal Engineering*, ninenth edition, Khanna Publisher, 1987.
9. Kulshrestha S.K, *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, UI-Press Jakarta, 1989.
10. [Http://gunawananeva.wordpress.com/2010/05/04/turbin-uap-pendahuluan/](http://gunawananeva.wordpress.com/2010/05/04/turbin-uap-pendahuluan/). 2010. Diakses pada tanggal 16 April 2012.
11. [Http://penjagahati-zone.blogspot.com/2011/05/prinsip-kerja-turbin-uap.html](http://penjagahati-zone.blogspot.com/2011/05/prinsip-kerja-turbin-uap.html). 2011. Diakses pada tanggal 16 April 2012.
12. [Http://denosan.com/engineer/mechanical-engineer/jenis-jenis-turbin-dan-pengertiannya](http://denosan.com/engineer/mechanical-engineer/jenis-jenis-turbin-dan-pengertiannya). 2010. Diakses pada tanggal 16 April 2012.
13. [Http://www.crayonpedia.org/mw/BAB_15_Turbin_Sunyoto](http://www.crayonpedia.org/mw/BAB_15_Turbin_Sunyoto). 2010. Diakses pada tanggal 16 April 2012.
14. [Http://www.docstoc.com/docs/34599145/?key=NmUxZThkZDQt&pass=ZGNjYj00QWl0](http://www.docstoc.com/docs/34599145/?key=NmUxZThkZDQt&pass=ZGNjYj00QWl0). 2010. Diakses pada tanggal 16 Meri 2012.