

ISBN : 978-623-7651-49-9
eISBN : 978 - 623-7651-50-5 (PDF)

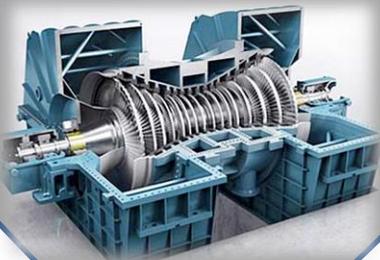
ANDREAS PUJIANTO

AKHMAD NURFAUZI

SIGIT DEDDY P.S.



**MODUL
KETEL UAP DAN TURBIN
KAPAL PERIKANAN**



AMaFRaD  PRESS



MODUL KETEL UAP DAN TURBIN KAPAL PERIKANAN

Dilarang memproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku dalam bentuk atau cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

**©Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No.28 Tahun 2014
All Rights Reserved**

MODUL KETEL UAP DAN TURBIN KAPAL PERIKANAN

**OLEH
TIM PENYUSUN:
ANDREAS PUJIANTO
AKMAD NURFAUZI
SIGIT DEDDY P.S.**



Ketel Uap Dan Turbin Kapal Perikanan

Tim Penyusun :
Andreas Pujianto
Akhmad Nurfauzi
Sigit Deddy P.S.

Perancang Sampul :
Andreas Pujianto

Penata Isi :
Andreas Pujianto dan Sigit Deddy P. S.

Jumlah halaman :
xviii + 168 halaman

Edisi/Cetakan :
Cetakan pertama, 2020

Diterbitkan oleh :
AMAFRAD Press
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6, Jl. Medan Merdeka Timur,
Jakarta Pusat 10110
Telp. (021) 3513300 Fax: 3513287
Email : amafradpress@gmail.com
Nomor IKAPI: 501/DKI/2014

ISBN : 978-623-7651-49-9
e-ISBN : 978 - 623-7651-50-5 (PDF)

© 2020, Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala hikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan modul “Ketel Uap dan Turbin Kapal Perikanan”. Modul ini merupakan modul pembelajaran yang dapat digunakan taruna program Diploma III Mekanisasi Perikanan sebagai pegangan dalam kegiatan pembelajaran khususnya mata kuliah Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan.

Modul ini disusun berdasarkan silabus mata kuliah Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan (MP 2.30.5.2) dan STCW-F 1995. Pada setiap kegiatan belajar berisi tentang indikator, uraian materi, rangkuman, penugasan teori dan praktikum, serta tes formatif. Dengan menggunakan modul pembelajaran ini, taruna diharapkan dapat belajar secara individual dan mandiri dalam menyelesaikan kegiatan pembelajaran secara utuh.

Semoga modul ini dapat bermanfaat bagi pengajar maupun taruna sehingga memudahkan dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran di kelas. Saran dan kritik dari pembaca diharapkan dapat membantu mengembangkan modul ini menjadi lebih baik.

Sorong, Mei 2020

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL.....	xi
PETA MODUL	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Deskripsi Singkat.....	1
1.2 Kompetensi dan Sub Kompetensi.....	1
II. KEGIATAN BELAJAR 1	5
2.1 Judul	5
2.2 Indikator.....	5
2.3 Uraian Materi	5
2.4 Rangkuman	13
2.5 Penugasan Teori	14
2.6 Penugasan Praktikum.....	14
2.7 Tes Formatif 1.....	15
III. KEGIATAN BELAJAR 2	19
3.1 Judul	19
3.2 Indikator.....	19
3.3 Uraian Materi	19
3.4 Rangkuman	37
3.5 Penugasan Teori.....	38
3.6 Penugasan Praktikum.....	38
3.7 Tes Formatif 2	39
IV. KEGIATAN BELAJAR 3	43
4.1 Judul.....	43

4.2	Indikator.....	43
4.3	Uraian Materi	43
4.4	Rangkuman	54
4.5	Penugasan Teori.....	54
4.6	Penugasan Praktikum	55
4.7	Tes Formatif 3.....	56
V.	KEGIATAN BELAJAR 4	59
5.1	Judul.....	59
5.2	Indikator.....	59
5.3	Uraian Materi	59
5.4	Rangkuman	64
5.5	Penugas Teori	64
5.6	Penugasan Praktikum.....	64
5.7	Tes Formatif 4.....	66
VI.	KEGIATAN BELAJAR 5	69
6.1	Judul.....	69
6.2	Indikator.....	69
6.3	Uraian Materi	69
6.4	Rangkuman	72
6.5	Penugasan Teori	72
6.6	Penugasan Praktikum.....	73
6.7	Tes Formatif 5.....	74
VII.	KEGIATAN BELAJAR 6	77
7.1	Judul.....	77
7.2	Indikator.....	77
7.3	Uraian Materi	77
7.4	Rangkuman	81
7.5	Penugasan Teori	81
7.6	Penugasan Praktikum.....	81
7.7	Tes Formatif 6.....	82

VIII. KEGIATAN BELAJAR 7	85
8.1 Judul	85
8.2 Indikator	85
8.3 Uraian Materi	85
8.4 Rangkuman	94
8.5 Penugasan Teori	95
8.6 Penugasan Praktikum	95
8.7 Tes Formatif 7	99
IX. KEGIATAN BELAJAR 8	103
9.1 Judul	103
9.2 Indikator	103
9.3 Uraian Materi	103
9.4 Rangkuman	106
9.5 Penugasan Teori	107
9.6 Penugasan Praktikum	107
9.7 Tes Formatif 8	108
X. KEGIATAN BELAJAR 9	111
10.1 Judul	111
10.2 Indikator	111
10.3 Uraian Materi	111
10.4 Rangkuman	115
10.5 Penugasan Teori	115
10.6 Penugasan Praktikum	116
10.7 Tes Formatif 9	117
XI. KEGIATAN BELAJAR 10	121
11.1 Judul	121
11.2 Indikator	121
11.3 Uraian Materi	121
11.4 Rangkuman	138
11.5 Penugasan Teori	138

11.6 Penugasan Praktikum	139
11.7 Tes Formatif 10	140
PENUTUP.....	143
TES SUMATIF 1	145
TES SUMATIF 2.....	151
KUNCI JAWABAN	157
DAFTAR PUSTAKA.....	167



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Kompetensi dan sub kompetensi modul Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan.....	2
Tabel 2. Hasil tugas kegiatan belajar II	39
Tabel 3. Hasil tugas kegiatan belajar III	56
Tabel 4. Posisi appendasis yang berhubungan dengan ruang uap	86
Tabel 5. Posisi appendasis yang berhubungan dengan ruang air	86
Tabel 6. Tahapan pengoperasian ketel bantu dan <i>check list</i>	97
Tabel 7. Perawatan turbin uap	105
Tabel 8. Pengecekan sistem <i>prestart</i>	122
Tabel 9. Rentang dan batas pengoperasian normal turbin gas	126
Tabel 10. Kondisi operasi ventilasi udara inlet turbin gas	132
Tabel 11. Perawatan dan pemeriksaan periodik turbin gas	137



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram sistem ketel uap sederhana.....	7
2. Perubahan energi pada turbin uap.....	8
3. Turbin uap bertingkat tenaga penggerak kapal.....	9
4. Sistem tenaga uap sebagai tenaga penggerak kapal	10
5. Sistem tenaga uap sebagai pembangkit daya listrik	11
6. Sistem <i>fuel oil heater</i> dengan memanfaatkan <i>exhaust gas boiler</i> (EGB) .	12
7. <i>Batch Retort</i> (a) horizontal dan (b) vertical untuk pengalengan ikan	13
8. <i>Scotch ketel</i> dengan 3 dapur	21
9. (a) ketel <i>Howden Jonsen</i> (b) ketel <i>Capus</i>	21
10. Ketel <i>Cochran 'Chieftain'</i>	22
11. Desain ketel <i>Wee Chieftain</i>	23
12. Ketel <i>Steambloc</i>	23
13. Ketel <i>Crosstube</i>	24
14. Ketel <i>Cochran</i>	25
15. Ketel <i>Aalborg</i>	26
16. Ketel <i>Sunrod</i>	27
17. Ketel <i>Thimble tube</i>	28
18. Ketel <i>Spanner</i>	29
19. Turbin de Laval	31
20. Turbin Zoelly	33
21. Turbin Curtis	35
22. Turbin Parson	37
23. Ketel uap B&W “seksi”	45
24. Ketel uap B&W “integral”.....	48
25. Ketel uap pipa air “Foster Wheeler- <i>ISD</i> ”	50
26. Bentuk dan jenis pipa pancar turbin uap	52
27. Bentuk sudu jalan	53

28. Diagram Sankey Aliran energi melalui pembakaran dan pemanasan ruangan ketel	59
29. Keseimbangan energi pada ketel uap untuk perhitungan efisiensi dengan cara langsung.....	62
30. Keseimbangan energi pada ketel uap untuk perhitungan efisiensi dengan cara tidak langsung	63
31. Segitiga kecepatan turbin uap.....	71
32. Skema perhitungan rendemen termis	78
33. Daya-daya pada turbin uap.....	79
34. <i>Display steam control panel</i> dan steam diagram pada virtual <i>engine room</i> saat <i>running</i>	96
35. Turbin gas penggerak utama kapal.....	111
36. Gas turbin sistem (a) terbuka (b) tertutup	112
37. Sistem penggerak utama kapal model CODAG (<i>combined cycle diesel and gas turbine</i>).....	113
38. Sistem penggerak utama kapal model CODOG	114
39. Sistem penggerak utama kapal model COGAS	114

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Modul ini dapat digunakan selama kegiatan pembelajaran di kelas ataupun workshop. Modul menyediakan informasi mengenai indikator pembelajaran, uraian materi, rangkuman, penugasan, tes formatif pada setiap kegiatan pembelajaran. Adapun petunjuk penggunaan modul bagi taruna dan pengajar adalah sebagai berikut:

1. Petunjuk bagi taruna
 - a. Taruna membaca dengan seksama dan memahami setiap topik secara berurutan, karena di setiap kegiatan belajar di dalam modul ini saling terkait.
 - b. Taruna mengerjakan tugas di akhir kegiatan belajar dan melaporkan tugasnya kepada pengajar. Jika tugas dinyatakan belum baik, pengajar dapat mengembalikan tugas sampai dinyatakan baik.
 - c. Taruna mengerjakan tes formatif di setiap kegiatan belajar tanpa melihat kunci jawaban. Jika masih terdapat kesalahan, taruna dapat mengulaginya sampai semua jawaban soal benar.
 - d. Menyiapkan peralatan hitung seperti kalkulator untuk kegiatan belajar yang memerlukan perhitungan di dalamnya.
 - e. Jika ada yang kurang jelas dalam penggunaan modul, taruna dapat menanyakannya kepada pengajar.
 - f. Taruna dapat meminta evaluasi (tes sumatif) untuk dinyatakan tuntas dalam melaksanakan semua kegiatan belajar
2. Petunjuk bagi pengajar
 - a. Pengajar membantu taruna membuat rencana proses belajar.
 - b. Pengajar maupun instruktur wajib mendampingi peserta didik dalam mempelajari modul ini.

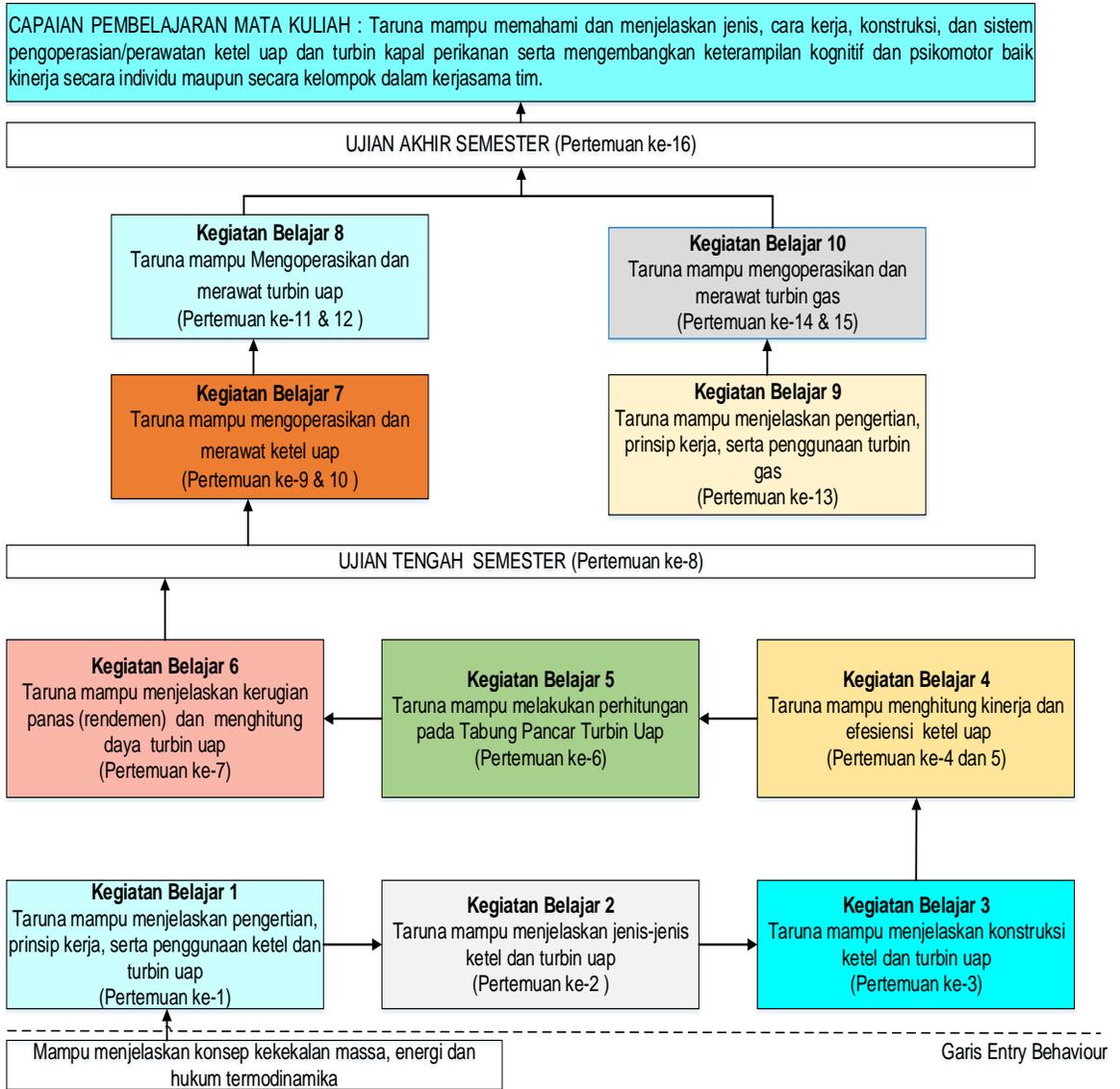


- c. Pengajar wajib mengoreksi tugas dan hasil tes formatif yang diberikan kepada taruna dan memberi respon sehingga setiap kegiatan belajar siswa dapat dievaluasi.
- d. Pengajar mengawasi penggunaan modul oleh taruna.
- e. Pengajar juga bertugas mengorganisasi taruna untuk memudahkan dalam proses pembelajaran.
- f. Jika taruna dipandang sudah menguasai materi modul, pengajar bertugas memberikan evaluasi (tes sumatif) kepada taruna untuk menentukan tuntas ataupun tidak tuntasnya taruna dalam mempelajari modul dan kegiatan belajar.

Modul ini terdiri dari 10 kegiatan pembelajaran untuk 14 kali waktu tatap muka. Setiap pertemuan teori dilaksanakan selama 50 menit tatap muka, 50 menit tugas terstruktur, dan 60 menit belajar mandiri setiap pertemuan. Kegiatan praktik dilakukan 170 menit setiap pertemuan. Waktu kegiatan pembelajaran dapat disesuaikan dengan ketuntasan belajar, serta sesuai panduan dari pengajar.



PETA MODUL



GLOSARIUM

Air umpan (*feed water*) adalah air (cairan) yang disuplai ke ketel dari tangki atau kondensor untuk diubah menjadi uap.

Attemperator adalah sistem pengontrol temperatur uap kalor lanjut yang menggunakan kondensat sebagai air penyempurnanya.

Blowdown adalah air yang sengaja dibuang dari boiler untuk menghindari konsentrasi kotoran selama penguapan uap air secara terus-menerus.

Cascade tank adalah tempat air kondensat mengalir kembali dari kondensor.

De-superheater adalah komponen yang mendinginkan uap kalor lanjut mendekati temperatur saturasinya.

Drum air (*feedwater drum*) adalah drum yang berfungsi sebagai reservoir air umpan di dalam ketel yang disalurkan oleh pompa.

Drum uap (*steam drum*) adalah drum yang berfungsi sebagai reservoir uap dari hasil pemanasan dan sebagai pemisah fasa untuk campuran uap/air.

Ejector pump adalah pompa yang digunakan untuk pemvakuman udara.

Ekonomiser adalah komponen yang berfungsi untuk memanaskan air umpan dengan memanfaatkan kalor dari gas sisa pembakaran di dalam ketel.

Katup Appendasis adalah semua katup yang melekat langsung pada badan ketel uap dan yang berhubungan langsung dengan ruang uap dan ruang air.

Katup spui adalah katup yang berfungsi untuk mengeluarkan air ketel dengan tekanan uap dari ketel ke ruang air.

Nozzle adalah pipa pancar pada turbin yang mengubah tekanan uap menjadi energi kinetik.



Pengopakan adalah permulaan proses pembakaran bahan bakar yaitu bercampurnya bahan bakar dengan sejumlah udara yang dibutuhkan.

Settling tank adalah tangki di dalam ruang mesin yang digunakan untuk pembersihan awal bahan bakar dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

Superheater adalah komponen dari ketel yang berfungsi sebagai pemanas uap jenuh menjadi uap kalor lanjut.

Tabung downcomer adalah pipa saluran balik air dari bagian bawah drum uap menuju ke drum air untuk proses pemanasan awal air umpan.

Throttling valve adalah katup yang digunakan dalam membatasi aliran uap dari turbin.

Turning gear adalah alat yang ditempatkan pada poros utama rotor turbin yang digunakan untuk memutar rotor turbin.

Uap jenuh (*saturated vapour*) uap yang terbentuk pada tekanan dan temperatur didih.

Uap kalor lanjut (*superheated vapour*) adalah uap jenuh yang dipanaskan pada tekanan tetap sehingga uap mendapatkan pemanasan lanjut (temperatur naik).

Simbol:

C = Kecepatan mutlak (m/detik)

C_s = Kalor lembab (kcal/kg udara kering)

D = Diameter roda (m)

G = Banyaknya uap (kg/detik)

GCV = *Gross Calorific Value* (nilai kalor bahan bakar) (kcal/kg)

h₁ = Entalpi uap masuk tabung pancar (kJ/kg)

h₂ = Entalpi uap keluar tabung pancar (kJ/kg)

h_{eko} = Entalpi air umpan ketel uap pada sisi keluar ekonomiser (kcal/kg)

h_{fw} = Entalpi air umpan ketel uap pada sisi masuk ekonomiser (kcal/kg)

h_{sg} = Entalpi uap jenuh (kcal/kg)



- h_{sh} = Entalpi uap pada *superheater* (kcal/kg)
 H = Kelembaban udara (kg/kg udara kering)
 H_1 = Kalor uap masuk ke turbin (kJ/kg uap)
 H_2 = Kalor uap keluar dari turbin (kJ/kg uap)
 $H_1 - H_2$ = Kalor uap yang berguna (kJ/kg uap)
 $H_1 - q$ = Kalor yang diberikan (kJ/kg uap)
 H_i = Jatuh kalor praktis (kJ/kg)
 H_o = Jatuh kalor teoritis (kJ/kg)
 \dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (kg/jam)
 \dot{m}_{sg} = Laju aliran uap (kg/jam)
 n = Putaran roda tiap menit (rpm)
 P_e = Daya efektif (PK)
 P_i = Daya dalam (PK)
 P_o = Daya turbin uap teoritis (PK)
 P_s = Daya sudu jalan (PK)
 t_a = Temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)
 t_1 = Temperatur bahan bakar ($^{\circ}\text{C}$)
 t_r = Temperatur acuan ($^{\circ}\text{C}$)
 q = Kalor entalpi dari air umpan (kJ/kg uap)
 q_{eko} = Jumlah kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser (kcal)
 q_{sg} = Jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *steam generator* (kcal)
 q_{sh} = Jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *superheater* (kcal)
 Q_F = Kalor *input* bahan bakar (kJ/kg bahan bakar)
 U = Kecepatan keliling turbin (m/detik)
 W_a = Berat udara kering (kg/kg bahan bakar)
 W_f = Berat air umpan ketel uap (kg/kg bahan bakar)
 W_s = Berat uap jenuh (kg/kg bahan bakar)
 β_1 = sudut sudu jalan sisi uap masuk
 β_2 = sudut sudu jalan sisi uap keluar
 η_i = Efisiensi dalam



- η_m = Efisiensi mekanik
- η_s = Efisiensi sudu
- η_{th} = Rendemen termis
- η_{thd} = Efisiensi termodinamik

I. PENDAHULUAN

1.1 Deskripsi Singkat

Capaian pembelajaran matakuliah dalam silabus matakuliah “Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan” adalah Taruna mampu memahami dan menjelaskan jenis, cara kerja, konstruksi, dan sistem pengoperasian/perawatan ketel dan turbin uap serta dapat mengembangkan keterampilan kognitif dan psikomotor baik kinerja secara individu maupun secara kelompok dalam kerjasama tim. Dengan mempelajari modul ini, capaian pembelajaran mata kuliah diharapkan dapat dicapai oleh taruna.

Modul pembelajaran ini terdiri dari 10 kegiatan pembelajaran yang meliputi pengertian, prinsip kerja serta penggunaan ketel dan turbin uap, jenis-jenis ketel dan turbin uap, konstruksi ketel dan turbin uap, perhitungan kinerja dan efisiensi pada ketel uap, perhitungan pada tabung pancar turbin uap, perhitungan rendemen dan daya turbin uap, pengoperasian dan perawatan ketel uap, pengoperasian dan perawatan ketel turbin uap, pengertian, prinsip kerja serta penggunaan turbin gas, pengoperasian dan perawatan turbin gas.

1.2 Kompetensi dan Sub Kompetensi

Capaian pembelajaran dari mata kuliah Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan adalah taruna mampu memahami dan menjelaskan jenis, cara kerja, konstruksi, dan sistem pengoperasian/perawatan ketel dan turbin uap serta dapat mengembangkan keterampilan kognitif dan psikomotor baik kinerja secara individu maupun secara kelompok dalam kerjasama tim. Untuk mencapai capaian pembelajaran tersebut, modul ini disusun sesuai kompetensi dan sub kompetensi yang harus dipelajari dalam setiap kegiatan belajar. kompetensi dan sub kompetensi untuk semua kegiatan belajar ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kompetensi dan sub kompetensi modul Mesin Uap dan Turbin Kapal Perikanan

Kompetensi	Sub Kompetensi
1. Menjelaskan pengertian, prinsip kerja, serta penggunaan ketel dan turbin uap	1.1 Menjelaskan pengertian dan prinsip kerja ketel uap; 1.2 Menjelaskan pengertian dan prinsip kerja dari turbin uap; 1.3 Menjelaskan penggunaan ketel dan turbin uap di kapal.
2. Menjelaskan jenis-jenis ketel dan turbin uap	2.1 Menjelaskan jenis-jenis ketel uap; 2.2 Menjelaskan jenis-jenis turbin uap.
3. Menjelaskan konstruksi ketel dan turbin uap	3.1 Menjelaskan konstruksi ketel uap (ketel uap B&W seksi, ketel uap B&W integral, dan ketel uap Foster Wheeler-ISD) 3.2 Menjelaskan konstruksi turbin uap
4. Menghitung kinerja dan efisiensi pada ketel uap.	4.1 Menghitung kalor input ketel uap 4.2 Menghitung kalor output ketel uap (perhitungan kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser, perhitungan kalor yang diambil oleh uap pada steam generator, perhitungan kalor yang diambil oleh uap pada superheater. 4.3 Menghitung efisiensi ketel uap dengan metode langsung dan

	tidak langsung.
5. Melakukan perhitungan pada tabung pancar turbin uap.	5.1 Menghitung jatuh kalor tabung pancar teoritis pada turbin. 5.2 Menghitung jatuh kalor tabung pancar menggunakan rumus zeuner. 5.3 Menghitung persamaan segitiga kecepatan turbin uap.
6. Menghitung rendemen dan daya turbin uap	6.1 Menghitung rendemen dalam dan termis turbin. 6.2 menghitung daya pada turbin uap.
7. Mengoperasikan dan Merawat Ketel Uap	7.1 Mengoperasikan ketel uap; 7.2 Merawat ketel uap.
8. Mengoperasikan dan Merawat Turbin Uap	8.1 Mengoperasikan turbin uap. 8.2 Merawat turbin uap.
9. Menjelaskan pengertian, prinsip kerja, serta penggunaan turbin gas	9.1 Menjelaskan pengertian dan prinsip kerja turbin gas; 9.2 Menjelaskan penggunaan turbin gas di kapal.
10. Mengoperasikan dan merawat turbin gas	10.1 Mengoperasikan turbin gas; 10.2 Merawat turbin gas.



II. KEGIATAN BELAJAR 1

2.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 1 ini adalah **“Pengertian, Prinsip Kerja, serta Penggunaan Ketel dan Turbin Uap”**.

2.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 1 ini adalah:

1. Taruna mampu menjelaskan pengertian dan prinsip kerja ketel uap;
2. Taruna mampu menjelaskan pengertian dan prinsip kerja dari turbin uap;
3. Taruna mampu menjelaskan penggunaan ketel dan turbin uap di kapal.

2.3 Uraian Materi

1. Pengertian dan Prinsip Kerja Ketel Uap

a. Pengertian Ketel uap

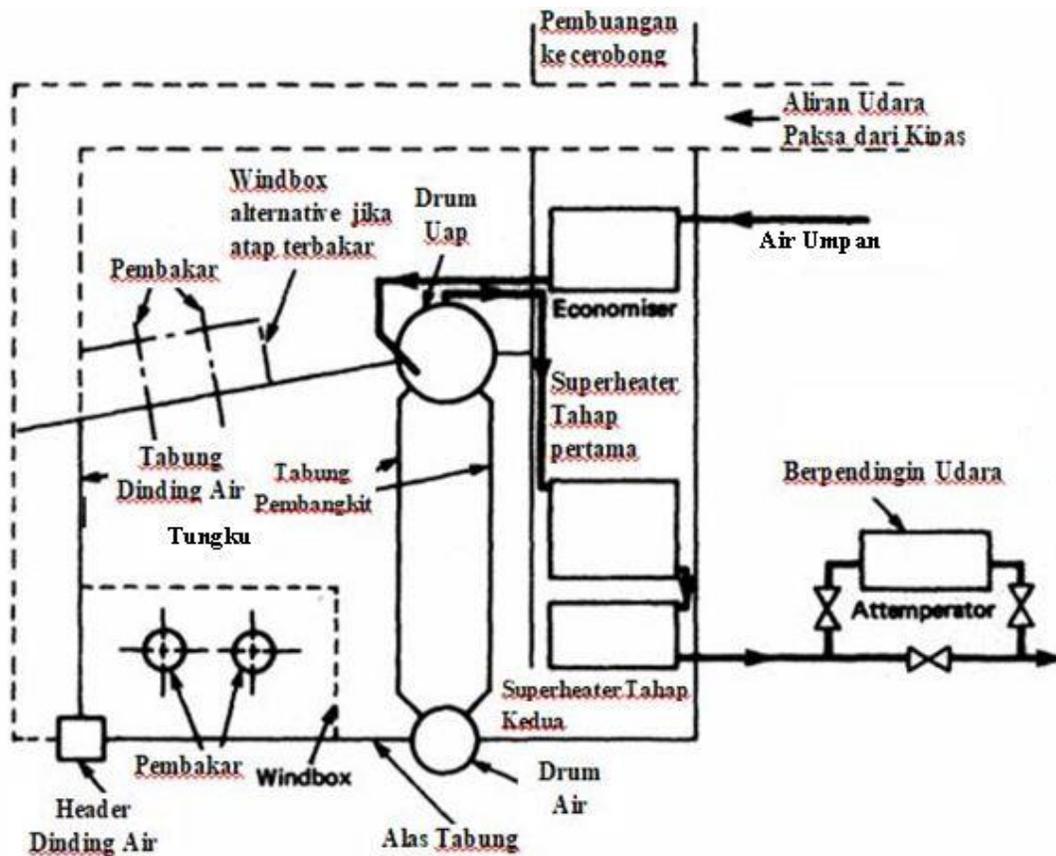
Ketel uap adalah bejana tertutup berisi air yang diubah menjadi uap dengan menggunakan energi kalor pada tekanan yang ditentukan. Ketel uap ini biasanya digunakan sebagai mesin utama penggerak kapal bertenaga uap. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap digunakan untuk menghasilkan kerja pada turbin sebagai penggerak baling-baling kapal.

b. Prinsip Kerja Ketel Uap

Ketel uap digunakan sebagai pemanas air umpan yang disalurkan oleh pompa untuk menghasilkan uap. Energi kalor hasil pembakaran bahan bakar di dalam dapur ketel uap digunakan untuk mengubah air di dalam tabung-tabung ketel menjadi bentuk uap (bertekanan dan bertemperatur tinggi). Udara disuplai ke ruang dapur ketel untuk keperluan proses pembakaran dengan bahan bakar. Luas permukaan yang besar antara ruang

pembakaran dan air umpan memungkinkan energi kalor hasil pembakaran dipindahkan ke air umpan.

Drum yang disediakan di dalam ketel uap untuk memisahkan uap dan air. Untuk menghasilkan jumlah uap yang tepat dari ketel, dibutuhkan perlengkapan dan kontrol untuk mengatur jumlah bahan bakar, udara, dan air umpan. Dalam proses menghasilkan uap, air umpan masuk ke dalam ketel dimana air dipanaskan dan menjadi uap. Air disirkulasikan dari drum air ke drum uap melalui tabung-tabung. Sejumlah air melalui tabung di sekitar dapur yaitu dinding air dan alas tabung, dimana air dipanaskan dan kembali ke drum uap. Tabung *downcomer* berdiameter besar digunakan untuk mensirkulasi air di antara drum. Tabung *downcomer* menghubungkan antara drum uap dan air. Uap hasil pemanasan dihasilkan di dalam drum uap. Uap yang dihasilkan ini dalam bentuk uap jenuh karena uap ini masih terdiri dari kuantitas air yang kecil. Uap juga melalui *superheater* yang ditempatkan di dalam ketel. Di dalam *superheater*, uap dipanaskan lebih lanjut dan dikeringkan dimana semua air yang terkandung di dalam uap jenuh dikonversi menjadi uap kalor lanjut. Uap kalor lanjut meninggalkan ketel uap untuk di salurkan ke turbin. Temperatur uap kalor lanjut akan lebih tinggi dari pada temperatur di drum uap. *Attemperator* digunakan untuk mendinginkan uap yaitu untuk mengontrol temperatur uap *kalor lanjut* yang menggunakan kondensat sebagai air penyemprot sebelum disalurkan ke turbin. Gas pembakaran memanaskan air umpan di dalam *ekonomiser* sebelum masuk ke drum uap. Gas pembakaran juga melalui pemanas udara yang berfungsi untuk pemanasan awal udara sebelum masuk ke dapur. Kebanyakan energi kalor dari gas pembakaran digunakan sebelum dibuang melalui cerobong. Gambar 1 menunjukkan diagram alir sederhana pada ketel uap.



Gambar 1. Diagram sistem ketel uap sederhana (Taylor, 1996).

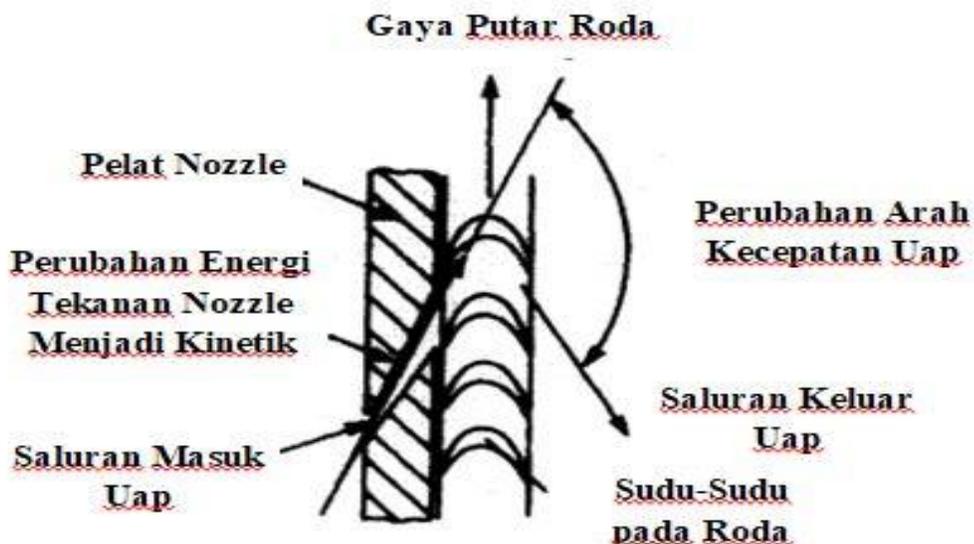
2. Pengertian dan Prinsip Kerja Dari Turbin Uap

a. Pengertian Turbin Uap

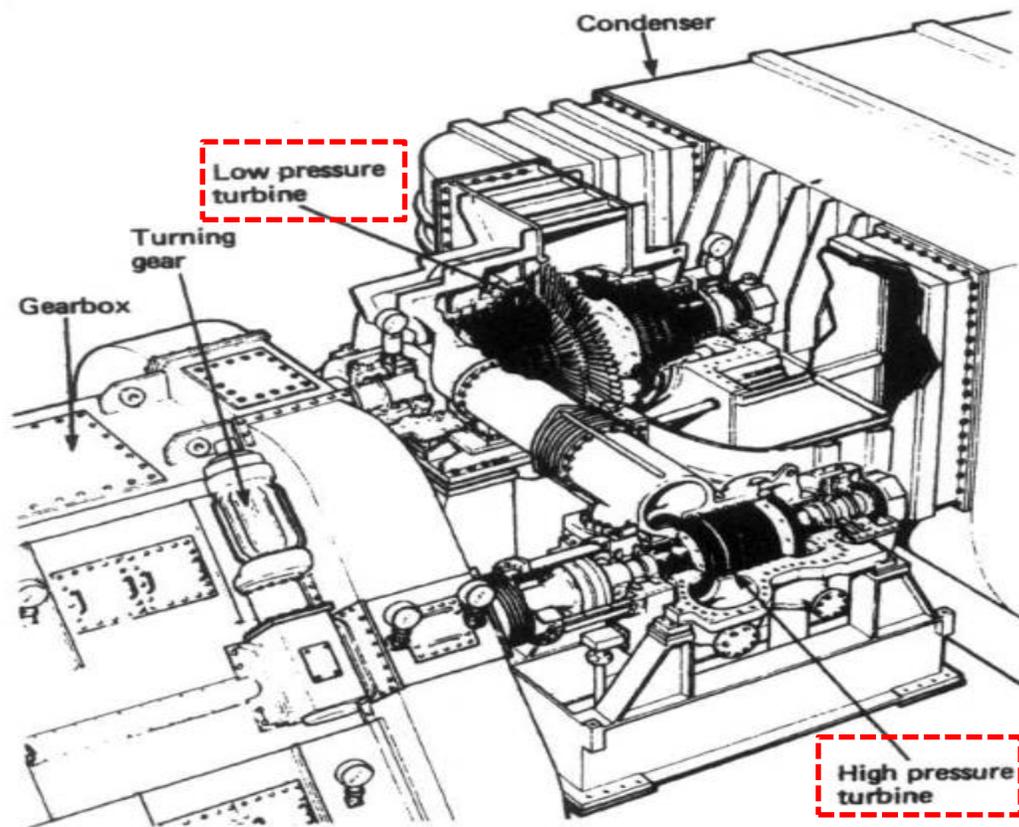
Turbin uap adalah peralatan untuk mendapatkan kerja mekanik dari energi yang tersimpan di dalam uap. Turbin uap sampai sekarang merupakan pilihan pertama untuk unit penggerak utama kapal dengan daya yang besar. Keuntungan penggunaannya seperti tidak adanya getaran atau getaran yang kecil, berat yang ringan, kebutuhan ruangan yang minimal, dan biaya perawatan yang kecil. Turbin dapat digunakan untuk berbagai daya seperti yang dibutuhkan untuk penggerak kapal.

b. Prinsip Kerja Turbin Uap

Perubahan energi yang terjadi pada turbin uap dapat dilihat pada Gambar 2. Uap masuk ke turbin dengan kandungan energi kalor yang tinggi dan keluar setelah memberikan energi tersebut. Uap tekanan tinggi dari ketel terekspansi di dalam *nozzle* untuk menghasilkan semprotan uap dengan kecepatan tinggi. *Nozzle* bekerja untuk mengubah energi kalor di dalam uap (bertekanan tinggi) menjadi energi kinetik. Semprotan langsung ke sudu yang dipasang di tepian roda atau cakram. Uap tidak menumbuk di sekitar roda. Bentuk sudu menyebabkan perubahan arah dan kecepatan semburan uap. Perubahan pada kecepatan pada aliran massa uap menghasilkan gaya yang memutar roda turbin. Dimana gaya ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{detik}^2$) = Aliran massa uap (kg/detik) x Perubahan kecepatan (m/detik). Uap dari susunan pertama sudu kemudian melalui susunan *nozzle* yang lain kemudian sudu dan seterusnya sepanjang poros rotor sampai keluaran dari turbin. Setiap susunan terdiri dari *nozzle* dan sudu yang disebut dengan tahapan (*stage*). Contoh bentuk turbin dua tingkat sebagai tenaga penggerak kapal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Perubahan energi pada turbin uap (Taylor, 1996).



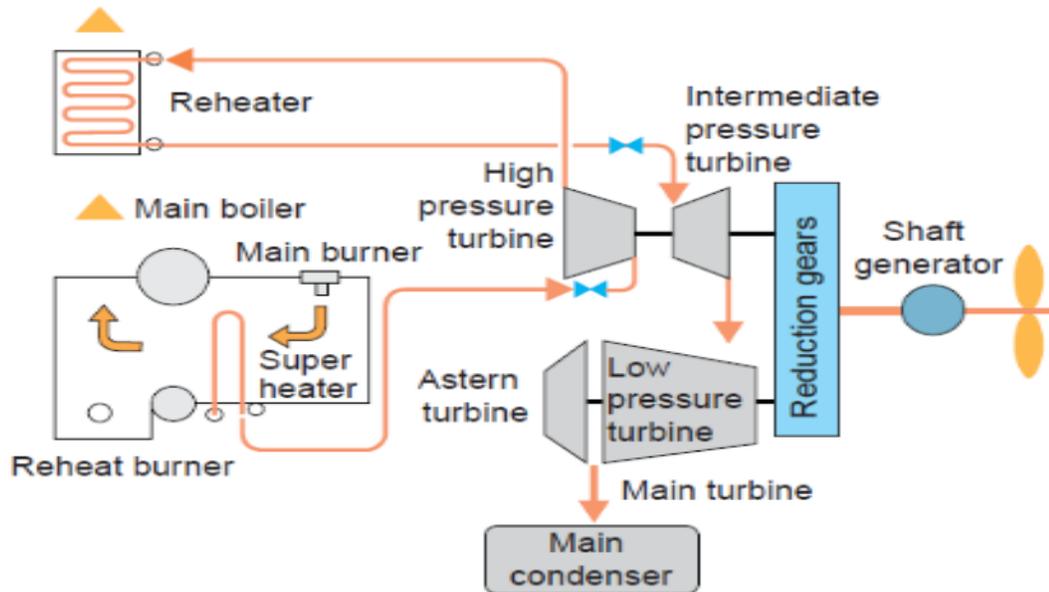
Gambar 3. Turbin uap bertingkat tenaga penggerak kapal (Taylor, 1996).

3. Penggunaan Ketel dan Turbin Uap di Kapal

a. Penggerak utama kapal

Pada umumnya kapal menggunakan motor diesel sebagai penggerak utamanya. Namun kapal-kapal berukuran besar yang membutuhkan tenaga penggerak yang besar biasanya memanfaatkan energi kalor dari uap air umpan yang dihasilkan oleh hasil pembakaran ketel uap. Tekanan uap dari hasil pembakaran di dalam ketel dimanfaatkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan tenaga putar. Untuk penyesuaian dengan putaran baling-baling kapal, *gearbox* harus ditambahkan di dalam instalasi tenaga penggerak utama kapal. Hal ini bertujuan untuk mengurangi putaran yang

dihasilkan dari turbin. Gambar 4 menunjukkan contoh instalasi penggerak utama kapal dengan menggunakan tenaga uap.



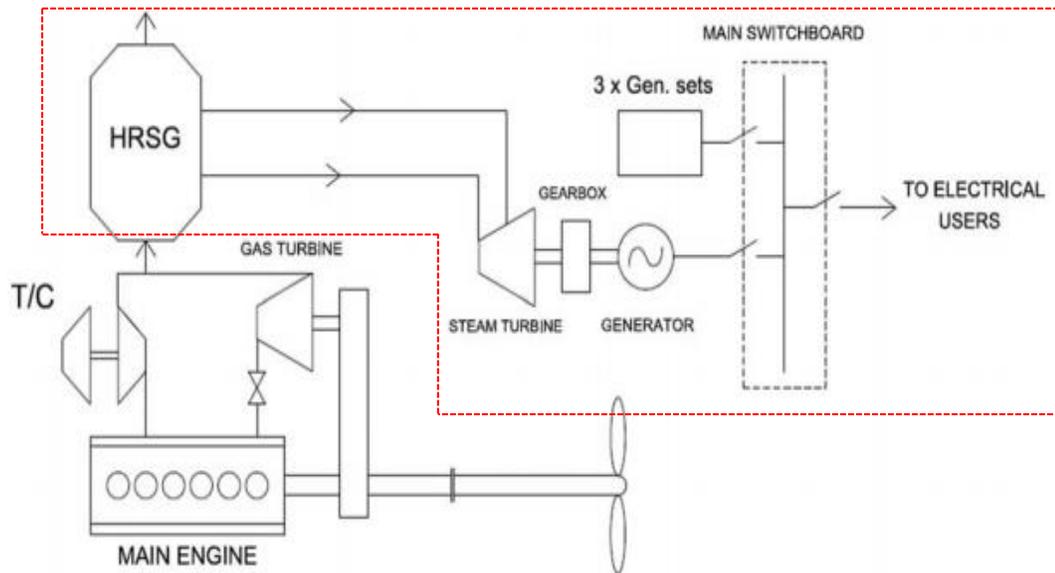
Gambar 4. Sistem tenaga uap sebagai tenaga penggerak kapal (Karakurt & Ust, 2011).

b. Pembangkit Daya Listrik

Kebutuhan listrik di kapal sangat diperlukan untuk berbagai kebutuhan seperti penerangan, kebutuhan *air conditioner* maupun refrigerasi, penggerak pesawat bantu (motor listrik untuk pompa air, pompa oli hidrolis, kompresor, dsb), serta peralatan navigasi. Sistem pembangkit daya listrik tenaga uap adalah salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di kapal. Energi kalor dari uap yang dihasilkan dari pemanasan di dalam ketel uap dimanfaatkan tekanannya untuk menggerakkan turbin. Untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang diinginkan (380 V dan 50/60 Hz), putaran poros transmisi ke generator harus disesuaikan dengan spesifikasi generatornya. Oleh karena itu, *gearbox* biasanya juga digunakan untuk menurunkan putaran sesuai



dengan spesifikasi rpm generator yang ada. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian didistribusikan melalui *main switchboard* ke berbagai komponen listrik di kapal seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

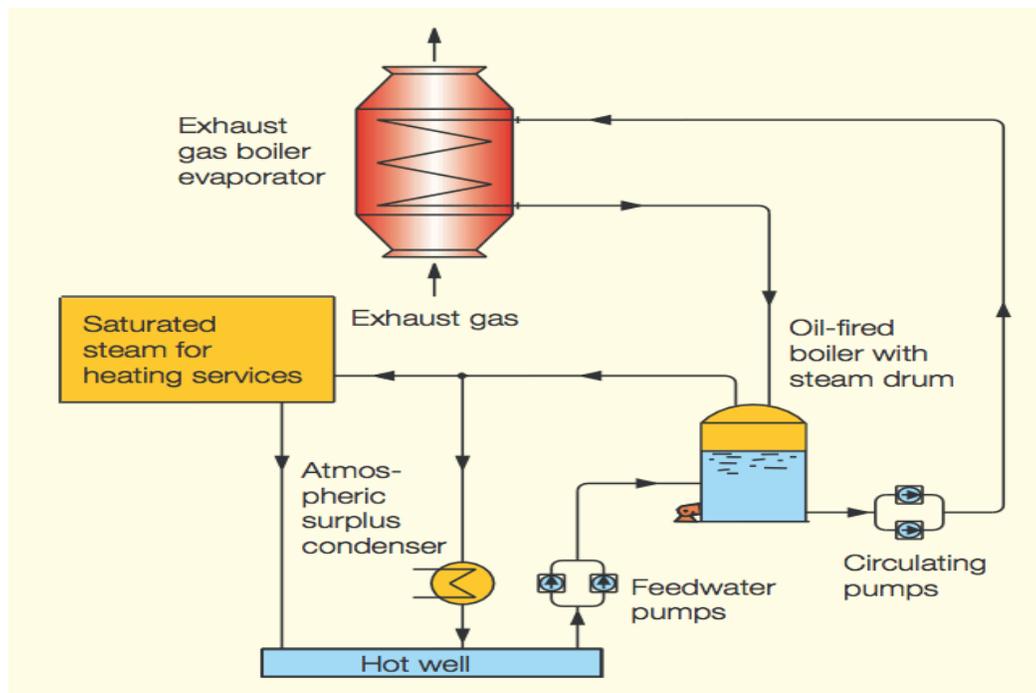


Gambar 5. Sistem tenaga uap sebagai pembangkit daya listrik (Benvenuto, Campora, & Trucco, 2014).

c. Keperluan Pemanasan (*Heating service*) di atas kapal

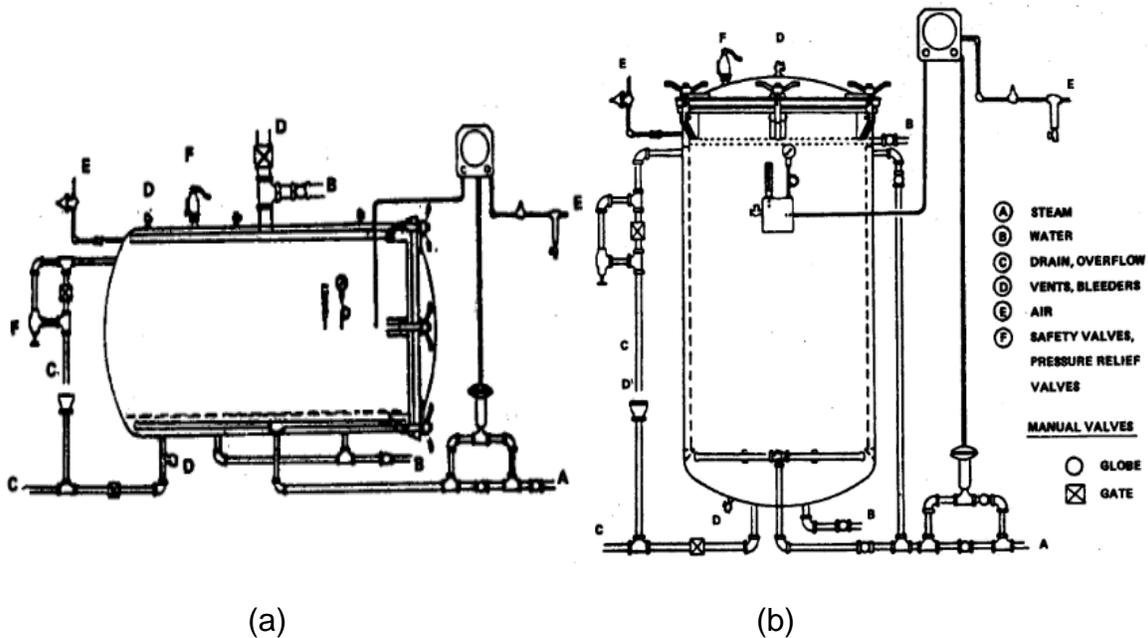
Pemanfaatan gas buang hasil pembakaran turbin gas dapat digunakan sebagai pemanas pada *exhaust gas broiler* (EGB). Gambar 6 menunjukkan sistem pemanas bahan bakar di kapal dengan menggunakan ketel uap jenis *exhaust gas broiler* (EGB) untuk menghasilkan uap dari pemanasan air umpan dari *hot well tank*. Uap jenuh yang dihasilkan pada ketel uap selanjutnya disuplai ke beberapa peralatan untuk keperluan pemanasan seperti pemanas bahan bakar (*fuel oil heater*) maupun peralatan pengolahan (sterilisasi produk pangan). Uap akan terkondensasi setelah proses pemanasan disalurkan kembali ke *hot well tank*. Produksi Uap jenuh hasil pemanasan di dalam ketel yang berlebih juga akan disalurkan ke *hot well*

tank dengan pendinginan di dalam kondensor terlebih dahulu. Air umpan pada *hot well tank* disalurkan kembali ke ketel uap melalui *feed water pump*.



Gambar 6. Sistem *fuel oil heater* dengan memanfaatkan *exhaust gas boiler* (EGB) (Anish, 2017).

Retort (mesin pengalengan ikan) adalah salah satu alat yang memanfaatkan panas dari uap jenuh untuk mensterilisasi produk pangan (dalam kemasan kaleng). Uap jenuh dari hasil pemanasan di dalam ketel uap disalurkan ke dalam *batch retort* melalui saluran uap (*steam line* pada poin A di Gambar 7). Temperatur kerja uap jenuh pada *batch retort* berkisar antara 116 - 121 °C di bawah tekanan uap. Gambar 7 merupakan contoh jenis *batch retort* jenis horizontal dan vertikal.



Gambar 7. *Batch Retort* (a) horizontal dan (b) vertical untuk pengalengan ikan (Warne, 1988).

2.4 Rangkuman

Ketel uap digunakan untuk memanaskan air umpan yang dipompakan dari pompa untuk menghasilkan uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Energi kalor untuk pemanasan air umpan dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara pada dapur ketel.

Turbin uap adalah peralatan untuk mendapatkan kerja mekanik dari energi yang tersimpan di dalam uap dari hasil pembakaran pada ketel uap. *Nozzle* di dalam turbin bekerja mengubah energi kalor di dalam uap menjadi energi kinetik. Sedangkan Sudu-sudu pada turbin berfungsi mengubah kecepatan aliran massa uap menjadi gaya putar pada turbin untuk menggerakkan baling-baling kapal.

Ketel dan turbin uap di kapal dapat digunakan sebagai penggerak utama kapal maupun pembangkit daya listrik untuk keperluan penerangan,

kebutuhan air conditioner maupun refrigerasi, penggerak pesawat bantu (motor listrik untuk pompa air, pompa oli hidrolik, kompresor, dsb), serta peralatan navigasi. Ketel uap juga dapat digunakan sebagai penghasil uap jenuh (*steam generator*) untuk keperluan pemanasan bahan bakar maupun proses pengolahan ikan (sterilisasi pengalengan ikan).

2.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan pengertian dan prinsip kerja dari ketel uap!
2. Jelaskan pengertian dan prinsip kerja dari turbin uap!
3. Jelaskan penggunaan ketel dan turbin uap di kapal!

2.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 1 ini, masing-masing taruna ditugaskan menggambarkan skema dan meguraikan penjelasan skema mengenai
 - a. Gabungan Sistem antara tenaga penggerak kapal dan sistem pembangkit daya yang menggunakan ketel dan turbin uap di atas kapal.
 - b. Sistem pada *batch retort* yang menggunakan ketel uap dengan memanfaatkan gas buang dalam menghasilkan uap jenuhnya.
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. *Microsoft visio* (*software* untuk menggambar skema)
 - c. Buku/artikel jurnal
3. Cara kerja
 - a. Taruna mencari referensi di berbagai artikel maupun buku yang relevan.
 - b. Membuat skema sistem sesuai dengan tujuan poin (a) maupun (b) pada komputer menggunakan *Microsoft visio* ataupun *software* gambar teknik yang lain.



- c. Membuat laporan dengan menguraikan gambar/skema sistem yang telah dibuat (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
- d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat

4. Hasil

Berisikan Gambar skema dan uraian disertai dengan referensinya.

5. Kesimpulan

.....
.....
.....
.....

2.7 Tes Formatif 1

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini :

- 1. Bagian instalasi tenaga kapal tenaga uap sebagai sumber energi kalor disebut
 - a. Ketel
 - b. Turbin
 - c. Kondensor
 - d. Pompa air umpan
- 2. Energi yang digunakan untuk mengubah air umpan menjadi uap air jenuh adalah
 - a. Energi kalor dari pembakaran pada attemperator
 - b. Energi kalor dari pembakaran pada drum uap
 - c. Energi kalor dari pembakaran pada *superheater*
 - d. Energi kalor dari pembakaran pada dapur

3. Bagian instalasi tenaga penggerak kapal tenaga uap yang mengubah energi kalor menjadi energi mekanik untuk memutar baling-baling adalah
 - a. Ketel
 - b. Turbin
 - c. Kondensor
 - d. Pompa air umpan
4. Bagian turbin yang berfungsi untuk mengubah energi kalor dari uap menjadi energi kinetik
 - a. *Nozzle*
 - b. Sudu
 - c. Poros turbin
 - d. Saluran masuk uap ke turbin
5. Bagian turbin yang berfungsi sebagai pengonversi kecepatan aliran massa uap menjadi gaya putar pada roda turbin
 - a. *Nozzle*
 - b. Sudu
 - c. Poros turbin
 - d. Saluran masuk uap ke turbin
6. Gaya yang memutar roda turbin merupakan perkalian antara
 - a. Aliran massa uap x perubahan percepatan
 - b. Aliran massa uap x perubahan kecepatan
 - c. Aliran massa air x perubahan percepatan
 - d. Aliran massa air x perubahan kecepatan
7. Satuan Gaya putar pada turbin adalah
 - a. kg.m/detik^2
 - b. kg.m/detik
 - c. $\text{kg.m}^2/\text{detik}$
 - d. $\text{kg.m}^2/\text{detik}^2$



8. Hal berikut yang bukan kegunaan turbin di atas kapal adalah
 - a. Memutar poros baling-baling
 - b. Memutar poros generator
 - c. Memanaskan bahan bakar
 - d. A dan B benar
9. Alat yang digunakan untuk sterilisasi dalam proses pengalengan yang memanfaatkan panas uap jenuh adalah
 - a. kondensor
 - b. *retort*
 - c. *evaporator*
 - d. *generator*
10. Untuk menurunkan putaran dari turbin sehingga putarannya cocok dengan baling-baling kapal adalah fungsi dari
 - a. Ketel
 - b. Kondensor
 - c. Poros
 - d. *Gearbox*



III. KEGIATAN BELAJAR 2

1.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 2 ini adalah “**Jenis-jenis Ketel dan Turbin Uap**”.

1.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 2 ini adalah:

1. Taruna mampu menjelaskan jenis-jenis ketel uap;
2. Taruna mampu menjelaskan jenis-jenis turbin uap.

1.3 Uraian Materi

A. Jenis-jenis Ketel Uap

Ketel uap adalah pengembangan dari berbagai percobaan tabung air yang dipanaskan dan menghasilkan uap kalor bertekanan, dan mampu menjadi sumber tenaga untuk menggerakkan pesawat uap yang mengubah tenaga uap menjadi tenaga kinetis, dan pada akhirnya menjadi tenaga putar. Berdasarkan zat yang mengalir di dalam pipanya. Ketel uap yang kita kenal saat ini, secara umum dibagi menjadi dua yaitu:

1. Ketel uap yang menggunakan pipa api (*fire tube steam boiler*) yaitu ketel yang menggunakan ratusan pipa untuk dilalui api atau gas kalor yang memanaskan sejumlah air di balik dinding pipa-pipa api tersebut.
2. Ketel uap yang menggunakan pipa air (*water tube steam boiler*) yaitu ketel yang menggunakan ratusan/ribuan pipa berisi air tawar yang terletak di dalam dapur dan dipanaskan oleh sejumlah api dan gas kalor dari dapur api tersebut.

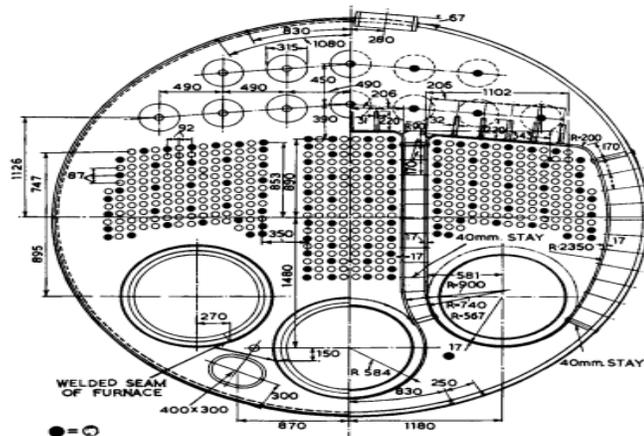
Menurut tingkat produksinya, ketel uap dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Ketel uap tekanan rendah, bila tekanan kerja uapnya di bawah 10 bar (10 kg/cm^2) atau di bawah 150 psi.
2. Ketel uap tekanan menengah, bila tekanan kerja uapnya di bawah 10-20 bar ($10\text{-}20 \text{ kg/cm}^2$) atau di bawah 300 psi.
3. Ketel uap tekanan tinggi, bila tekanan kerja uapnya di atas 20 bar (20 kg/cm^2) atau di atas 300 psi.

Secara umum, ada lebih dari lima desain yang berbeda untuk tipe tangki ketel uap yang biasa digunakan di atas kapal. Berdasarkan tipe tangkinya, ketel uap dikelompokkan menjadi dua yaitu ketel uap horisonatal dan vertikal. Ketel uap horizontal terdiri dari:

a. Ketel *Scotch*

Versi yang paling sering ditemui dari ketel *Scotch* adalah terdiri dari tiga dapur, tipe *single-ended*. Komponen utama dari ketel *Scotch* adalah *shell*, *end plates*, dapur, ruang pembakaran, tabung dan pengunci (*stay*). Ketel *Scotch* yang dikembangkan tahun 1950 dengan tekanan kerja 11 bar ditunjukkan oleh Gambar 8.

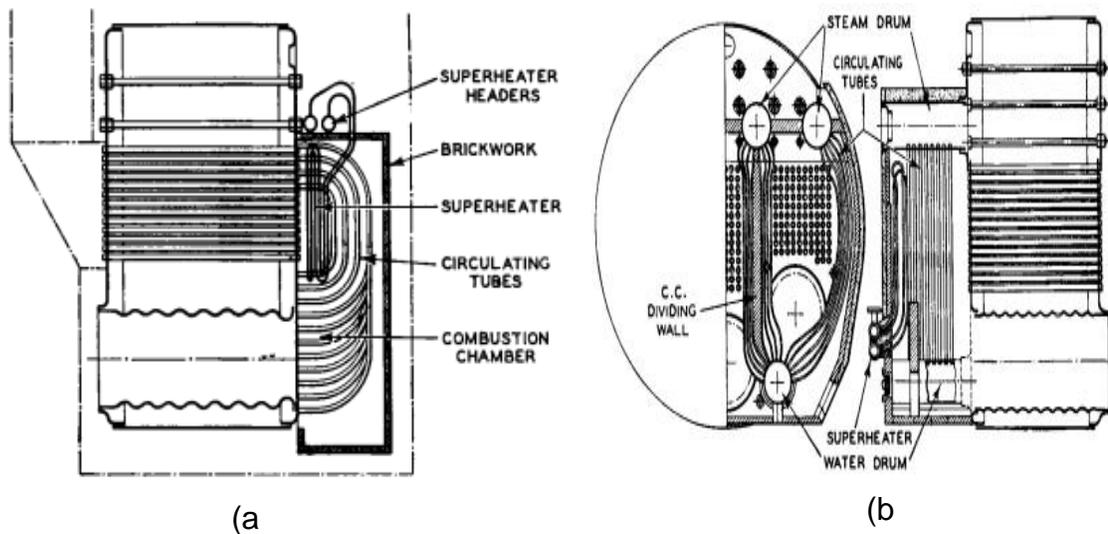




Gambar 8. *Scotch ketel* dengan 3 dapur (Milton & Leach, 1980).

b. Ketel *Howden Jonsen and Capus*

Ketel ini umumnya dinyatakan sebagai ruang pembakaran '*dry back*' dan pemisahan ruang pembakarannya dari *shell* silinder. Kontruksinya sangat sederhana dan dirancang untuk tekanan yang lebih tinggi dari ketel *Scotch*. *Superheater* dipasang di dalam ruang pembakaran untuk ketel jenis ini. Gambar *Howden Jonsen and Capus ketel* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) ketel *Howden Jonsen* (b) ketel *Capus* (Milton & Leach, 1980).

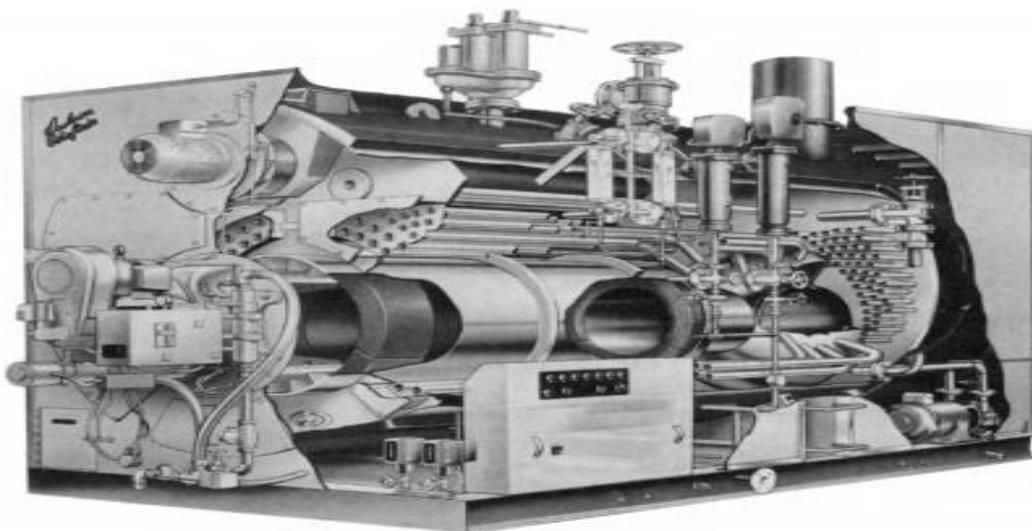
c. Ketel *Dry back multi tubular*

Sebagian besar ketel *dry back multi-tubular* atau '*Economic*' memiliki dua atau tiga dapur berombak yang terhubung dengan satu ruang bakar umum dari dinding tertutup dengan penutup baja ringan. Karena konstruksi yang sederhana, ketel uap ini telah terbukti populer memasok uap untuk layanan tambahan dan non-esensial di atas kapal tenker berukuran menengah dan juga pada kapal motor kargo, dimana *winch* dengan tenaga uap dipasang untuk tujuan penanganan kargo. Ketel uap ini dirancang untuk

memiliki tingkat penguapan yang sebanding dengan sejenis ketel *Scotch* berukuran serupa tetapi tidak dilengkapi dengan *superheater*. Tekanan kerja Ketel ini biasanya terbatas sekitar 12 bar.

d. Ketel *Cochran 'Chieftain' and Wee Chieftain*

Ketel *Cochran 'Chieftain'* dibuat dalam berbagai ukuran yang bervariasi dengan uap yang dihasilkan sekitar 2000 kg/jam sampai sekitar 15.000 kg/jam dengan tekanan kerja hingga 17,2 Bar. Pada ukuran yang lebih besar, ketel dilengkapi dengan dapur kembar. Gambar ketel *Cochran 'Chieftain'* ditunjukkan pada Gambar 10.

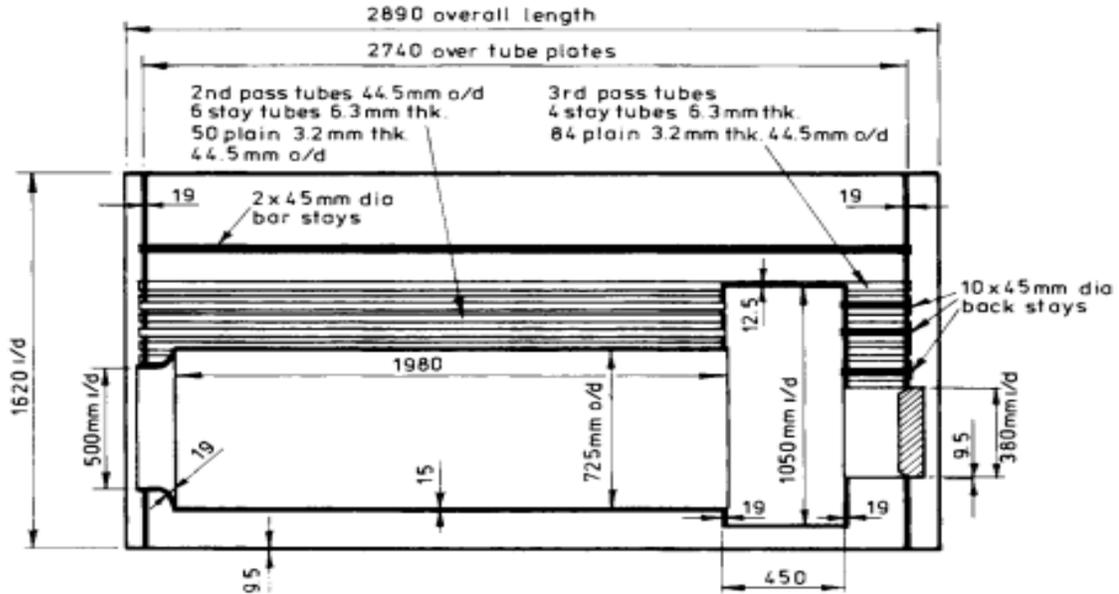


Gambar 10. Ketel *Cochran 'Chieftain'* (Milton & Leach, 1980).

Ketel *Chieftain* dengan bentuk yang lebih kecil umumnya disebut sebagai ketel *Wee Chieftain*. Uap air yang dihasilkan untuk ketel uap jenis ini bervariasi dari 710 kg/jam sampai 2800 kg/jam dan memiliki tekanan kerja tidak melebihi 10,4 Bar. Kontruksi dari *shell* bertekanan ketel uap ini sangat mirip dengan ketel *Chieftain* meskipun tiang penopang umumnya lebih

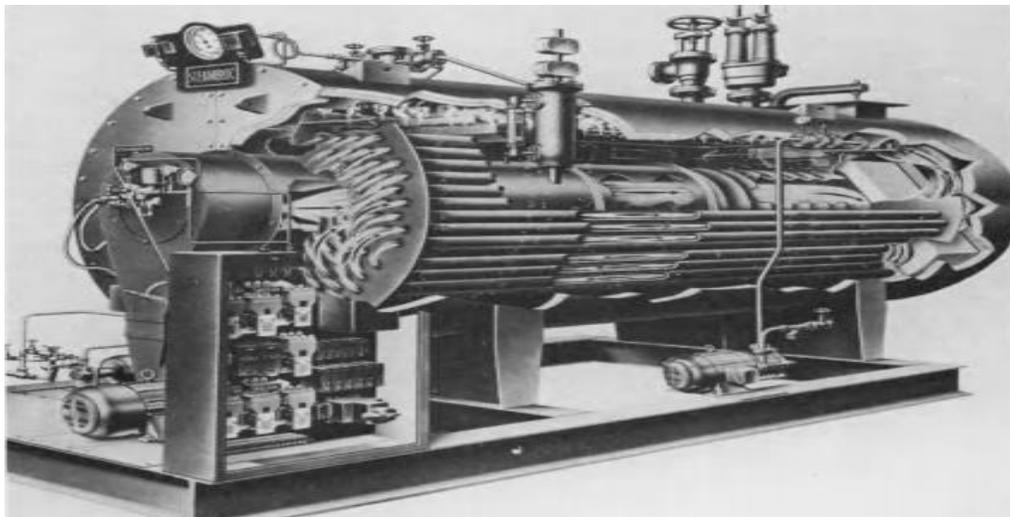


ringan. Gambar ketel *Wee Chieftain* dengan tekanan 10.4 Bar dan output uap yang dihasilkan 2800 kg/jam ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Desain ketel *Wee Chieftain* (Milton & Leach, 1980).

e. Ketel *Steambloc*



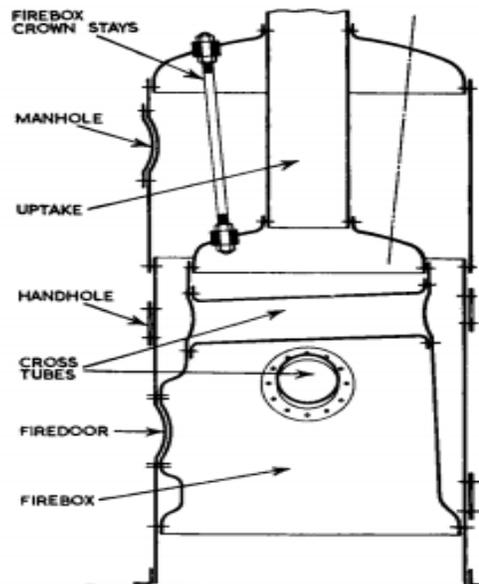
Gambar 12. Ketel *Steambloc* (Milton & Leach, 1980).

Tipe lain dari ketel uap horizontal adalah ketel *Steambloc*. Didesain sebagai *dry-back*, Dapur tunggal, tabung balik ketel uap horizontal dengan nilai efisiensi tinggi. Ketel uap ini tersedia dalam berbagai ukuran dengan kapasitas evaporasi dari 590 sampai 10.000 kg/ jam dengan tekanan uap hingga 17 Bar. Ketel *Steambloc* ditunjukkan pada Gambar 12.

Tipe-tipe ketel uap vertikal adalah sebagai berikut:

a. Ketel *Cross Tube*

Ketel uap ini biasa digunakan di darat untuk hampir semua tujuan dimana ketel kecil diperlukan. Ketel uap ini adalah pelopor ketel uap yang lebih efisien untuk tipe yang sekarang diproduksi dan memiliki konstruksi yang relatif simpel. Ketel uap jenis ini masih banyak ditemukan di kapal tunda dengan tenaga penggerak motor *diesel* yang mempunyai tekanan kerja 7 bar. Ketel *Cross tube* ditunjukkan pada gambar 13.

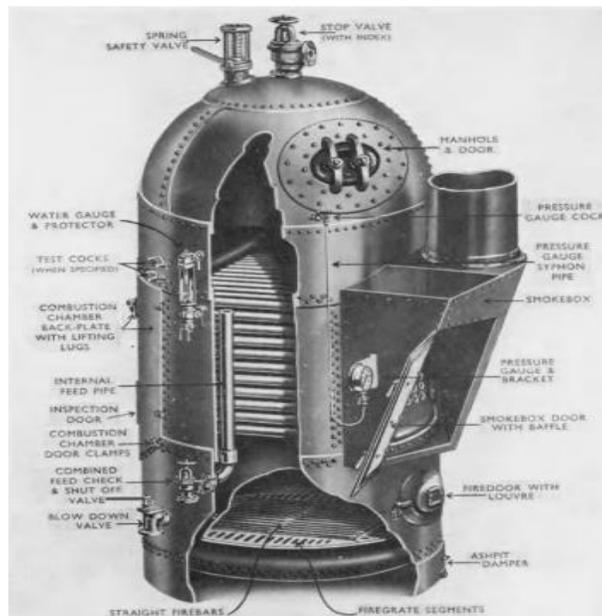


Gambar 13. Ketel *Crosstube* (Milton & Leach, 1980).



b. Ketel Cochran

Awalnya, ketel uap ini memiliki ruang dapur *hemispherical* yang terpasang disekelilingnya dengan menggunakan cincin *ogee* ke dasar *shell*. Hasil pembakaran dilewatkan ruang ini, melalui *throat* ke dinding ruang pembakaran di belakang ketel uap dan kemudian melalui tabung ketel uap ke dalam *smokebox* di bagian depan ketel uap. Ketel uap ini biasanya digunakan untuk kapal dengan tenaga penggerak motor diesel dimana tekanan kerjanya berkisar antara 7-9 bar. Ketel *Cochran* ditunjukkan oleh Gambar 14.

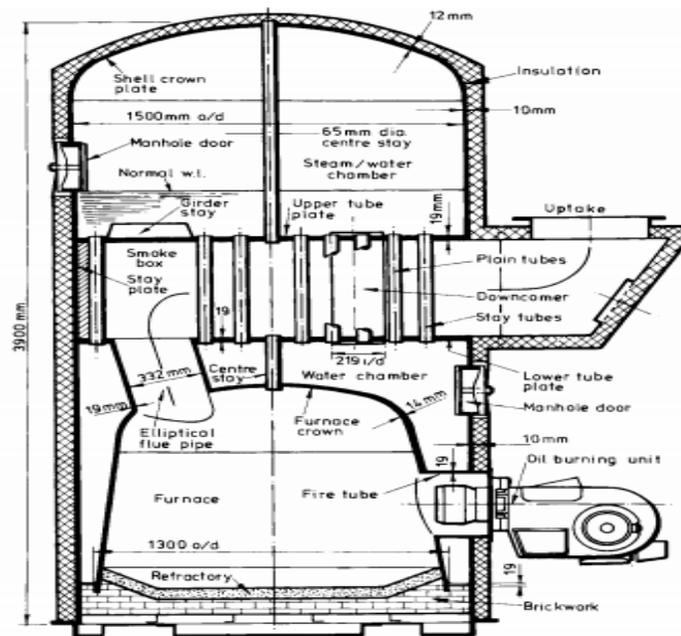


Gambar 14. Ketel *Cochran* (Milton & Leach, 1980).

c. Ketel *Aalborg*

Pada dasarnya, ketel uap ini terdiri dari ruang bawah atau ruang air dan ruang atas atau ruang uap/air. Dua ruang yang terhubung oleh sejumlah besar tabung air vertikal dan dua *downcomer* besar. *Downcomer* ini sangat

penting untuk memastikan sirkulasi yang tinggi ketika penguapan maksimum diperlukan. Sekitar sepertiga dari tabung adalah *stay*. Sebagian besar terletak di cincin dekat dengan pinggiran lempengan tabung sebagai lendutan luar lempengan-lempengan ini. Ketika di bawah tekanan akan menghasilkan konsentrasi tekanan pada area ini. Ketel uap ini diproduksi dalam berbagai ukuran keluaran hasil uap air yang dihasilkan bervariasi dari 800kg/jam hingga 12.500 kg/jam dengan tekanan kerja umumnya saat digunakan adalah sekitar 7,5 Bar. Gambar 15 menunjukkan ketel uap vertikal tipe *Aalborg*.



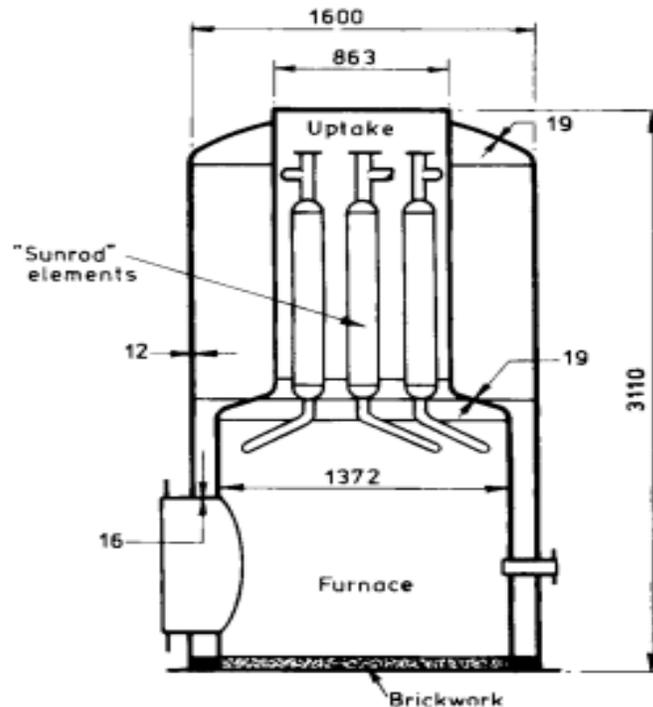
Gambar 15. Ketel *Aalborg* (Milton & Leach, 1980).

d. Ketel *Sunrod*

Ketel uap tipe *Sunrod* CP yang awal dipasang dengan dapur silinder dasar kering, diameter besar, dan *uptake*. *Uptake* dipasang dengan elemen tabung air tetap yang diklaim oleh produsen untuk meningkatkan efisiensi



ketel uap dengan desain yang kompak. Ketel *Sunrod* dibuat dengan berbagai ukuran dengan kapasitas antara 700 kg/jam sampai 35.000 kg/jam dengan tekanan di atas 18 Bar. Gambar 16 ketel *Sunrod* tipe CP15 dengan tekanan kerja 7 Bar dan evaporasi 1500 kg/jam.

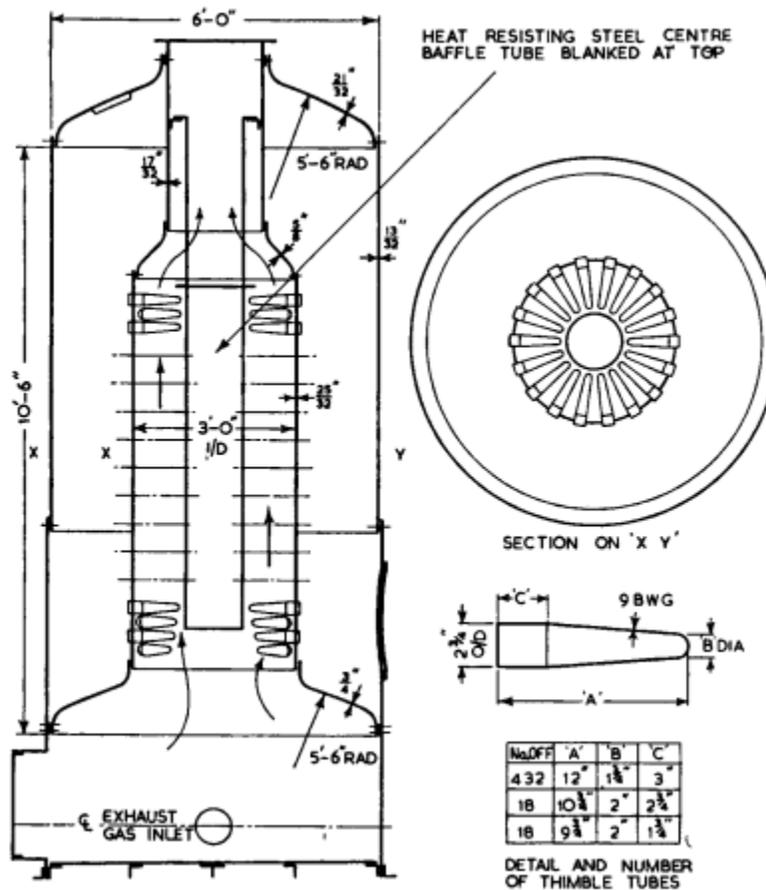


Gambar 16. Ketel *Sunrod* (Milton & Leach, 1980).

e. Ketel *Thimble tube*

Ketel uap ini terdiri dari *shell* luar yang di dalamnya terdapat ruang pembakaran silinder yang dirancang dengan tabung tudung. Ruang pembakaran dipasang tabung tudung sampai *shell* dasar melalui cincin *ogee* dan melalui *dished crown* dan saluran gas buang ke bagian atas *shell*. Sebuah *baffle* yang dapat dilepas dipasang di ruang antara ujung luar tabung yang digunakan untuk mengontrol jalur gas di sekitar tabung. Ketel uap ini dapat beroperasi tanpa pembersihan internal untuk waktu yang lama. Gambar ketel *thimble tube* tipe CPH140 dengan tekanan kerja 7 bar dengan

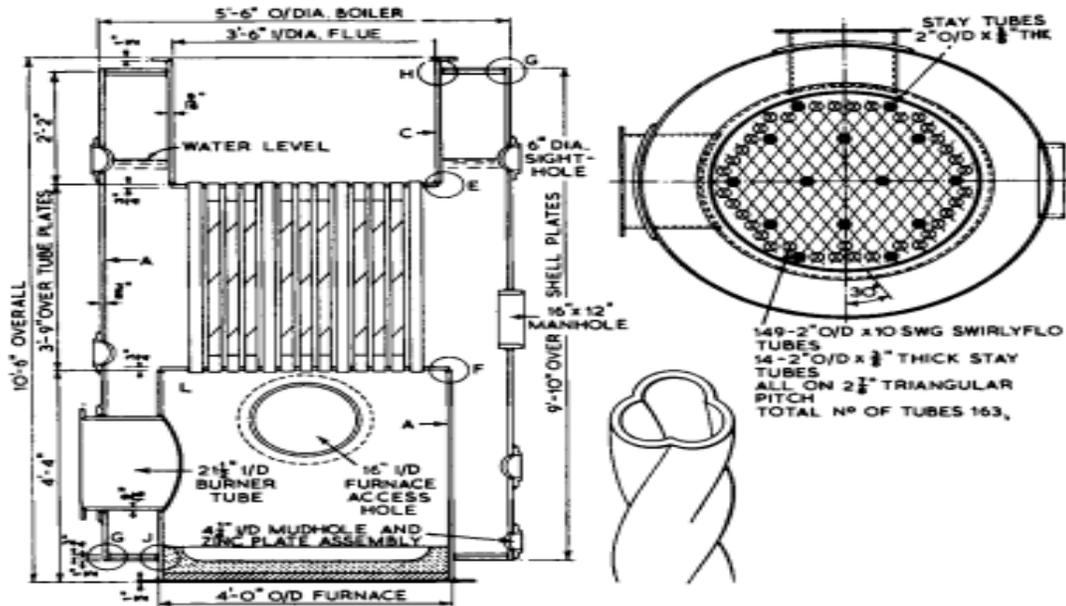
total permukaan yang dipanaskan sebesar 28 m² ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Ketel *Thimble tube* (Milton & Leach, 1980).

f. Ketel *Spanner*

Bagian khusus tabung dipertahankan disepanjang tiap tabung di dalam ketel uap kecuali ujungnya. Tabung dibuat memutar sepanjang sumbu tabung. Pusaran gas yang melalui tabung memastikan bahwa perpindahan kalor antara gas dan tabung lebih meningkat. Tekanan kerja untuk ketel uap jenis ini adalah 7 bar dengan output uap air yang dihasilkan bervariasi antara 450-2270 kg/jam. Gambar dari Ketel *Spanner* ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Ketel *Spanner* (Milton & Leach, 1980).

B. Jenis-jenis Turbin Uap

Turbin uap dikelompokkan dalam 2 jenis yaitu:

1. Turbin AKSI

Turbin Aksi ialah turbin yang tekanan uap di depan dan di belakang sudu jalan sama besarnya. Beberapa karakteristik turbin Aksi adalah:

- Pada saat uap mengalir di pipa pancar tekanan uap menurun, sedangkan pada saat mengalir di sudu jalan tekanan uapnya sama besar (tetap).
- Pada saat uap mengalir di pipa pancar kecepatan uapnya meningkat, sedangkan pada saat mengalir di sudu jalan kecepatan uapnya menurun.
- Bentuk sudu jalannya adalah setangkup (simetris).

- d) Usaha yang dihasilkan berasal dari gaya-gaya aksi yang bekerja pada sudu jalan yang melengkung.

Contoh turbin Aksi adalah sebagai berikut:

a. Turbin de Laval

Turbin de Laval adalah turbin Aksi (tekanan rata) yang terdiri dari 1 tingkat dari roda dan 1 unit sudu jalan. Nama de Laval diambil dari pencipta turbinnya yaitu seorang Swedia pada tahun 1883. Turbin ini biasanya sebagai penggerak pesawat bantu. Gambar turbin de Laval ditunjukkan pada Gambar 19.

Beberapa keuntungan dan kerugian turbin jenis ini adalah sebagai berikut:

Keuntungan

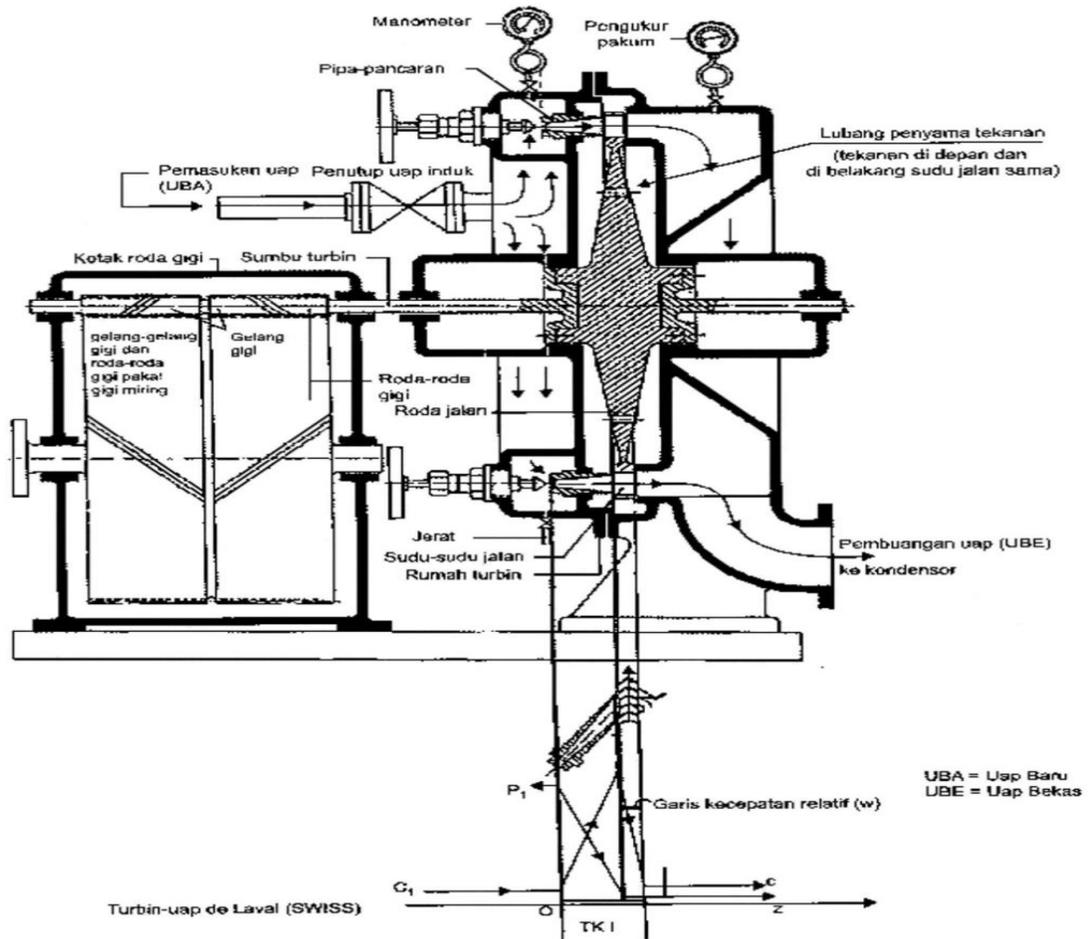
- Kontruksi sederhana
- Harga beli relatif murah
- Perawatan sederhana

Kerugian

- Energi kalor yang meninggalkan turbin cukup besar
- Jatuh kalornya kecil
- Putaran sangat tinggi dan gesekan yang besar
- Tenaga yang dihasilkan kecil

Turbin de Laval memiliki beberapa karakteristik yaitu:

- Turbin de Laval merupakan turbin Aksi satu tingkat.
- Mempunyai 1 unit pipa pancar dan 1 rangkaian sudu jalan.
- Bentuk sudunya simetris
- Pemulasan sudu lebih kecil dari 100 % artinya bagian sudu yang dialiri uap dan seluruh pemulasan sebagian ialah sebagian lagi dialiri oleh uap air.



Gambar 19. Turbin de Laval (Handoyo, 2015).

b. Turbin Zoelly

Turbin Zoelly adalah turbin aksi (tekanan rata) yang terdiri dari beberapa tingkat tekanan, tiap tingkat tekanan terdiri dari 1 tingkat. Turbin Zoelly disebut turbin tingkat tekanan, dimana tekanan uap mengalami penurunan tiap tingkat. Turbin Zoelly merupakan turbin de laval yang dipasang seri pada satu poros turbin pada turbin ini diterapkan jatuh kalor yang besar dan jatuh kalor ini dibagi rata kepada beberapa tingkat yang sama besar. Apabila jatuh kalor ini

relatif kecil, akan mengakibatkan hasil rendemen yang baik. Pada tiap tingkat dengan adanya jatuh kalor akan disusul adanya ekspansi dan ekspansi tiap tingkat adalah lanjutan dari ekspansi pada tingkat dimukanya.

Pada turbin Zoelly, antara tingkat pertama dan tingkat berikutnya terdapat perbedaan tekanan uap dan karenanya setiap sekat harus diberi *packing*. Perbedaan tekanan ini tidak sama untuk semua tingkat, pada tingkat permulaan terjadi perbedaan tekanan yang besar, sedangkan pada tingkat permulaan terjadi perbedaan tekanan yang besar, sedangkan pada tingkat terakhir terjadi perbedaan yang semakin kecil. Gambar turbin Zoelly ditunjukkan pada Gambar 20.

Beberapa keuntungan dan kerugian turbin jenis ini adalah sebagai berikut:

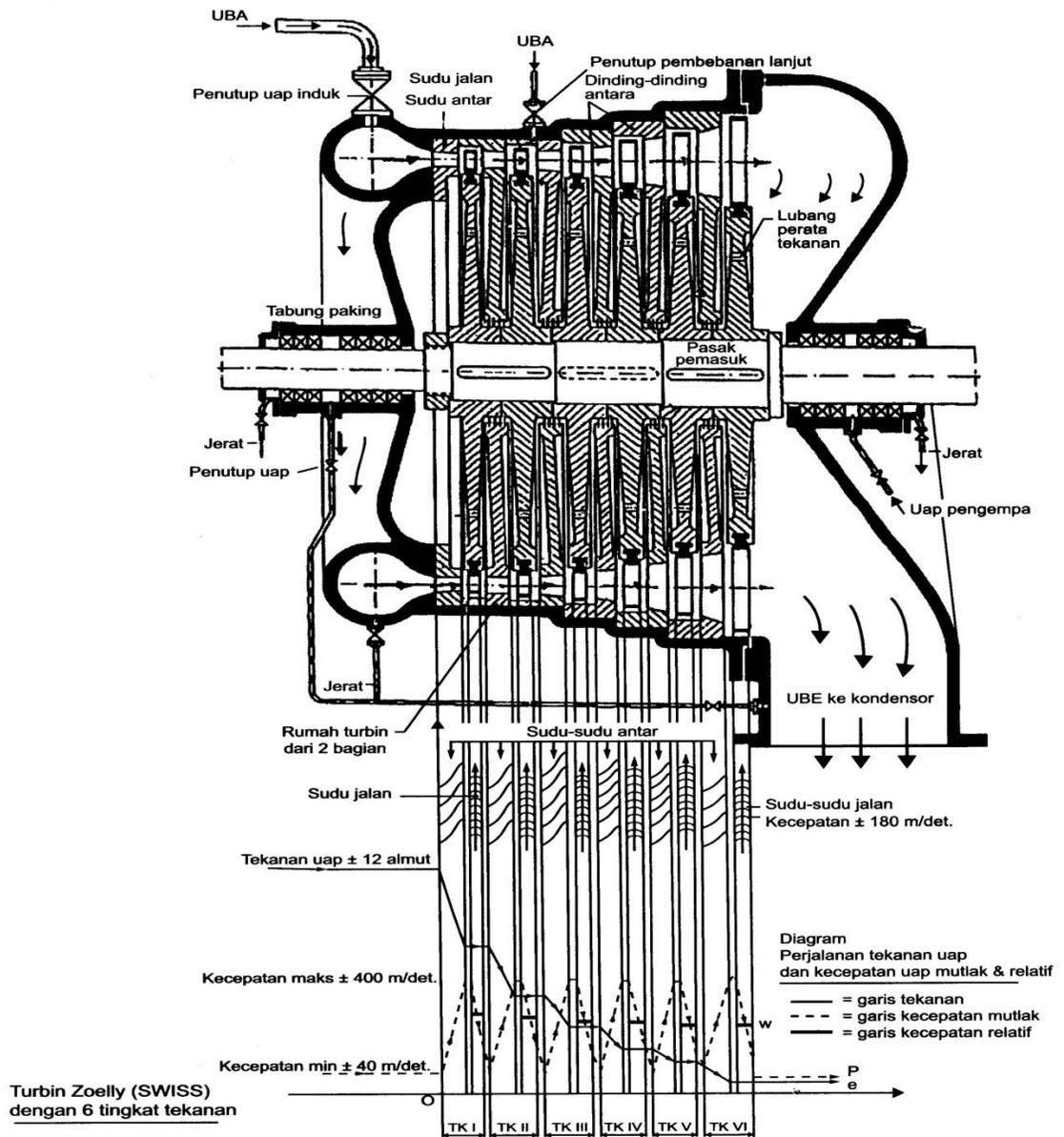
Keuntungan

- Rendemen aliran besar karena jatuh kalor setiap tingkat kecil.
- Rendemen dalam besar karena kecepatan uap dengan gesekan kecil.
- Energi kalor kecil karena energi kalor yang keluar ditingkat satu diteruskan pada tingkat-tingkat berikutnya.

Kerugian

- Tekanan uap setiap tingkat tidak sama
- Kontruksi turbin panjang karena banyak tingkat
- Harga beli mahal dan perawatan lebih banyak

Turbin Zoelly biasanya digunakan untuk penggerak pembangkit tenaga listrik (generator) dan penggerak baling-baling pada unit kecil.



Gambar 20. Turbin Zoelly (Handoyo, 2015).

c. Turbin Curtis

Turbin Curtis adalah turbin aksi (tekanan rata) yang terdiri dari beberapa tingkat tekanan dan tiap tingkat tekanan terdiri dari

beberapa tingkat kecepatan. Ciri-ciri dari turbin ini adalah sebagai berikut:

- Merupakan turbin tekanan rata.
- Terdiri dari beberapa tingkat tekanan dan tiap tingkat tekanan terdiri dari beberapa tingkat kecepatan.
- Antara 2 tingkat kecepatan yang berurutan terdapat satu rangkaian sudu balik untuk membalik arah kecepatan uapnya.
- Bentuk sudunya adalah sudu simetris.
- Pemulasan sudu <100 % (pemulasan sudu adalah bagian sudu yang dialiri uap)

Fungsi turbin Curtis ini adalah sebagai penggerak pesawat-pesawat bantu di atas kapal, dipergunakan sebagai turbin mundur (MPU mundur), dan dipergunakan sebagai roda muka pada turbin gabungan (MPU). Gambar dari turbin Curtis ditunjukkan pada Gambar 21.

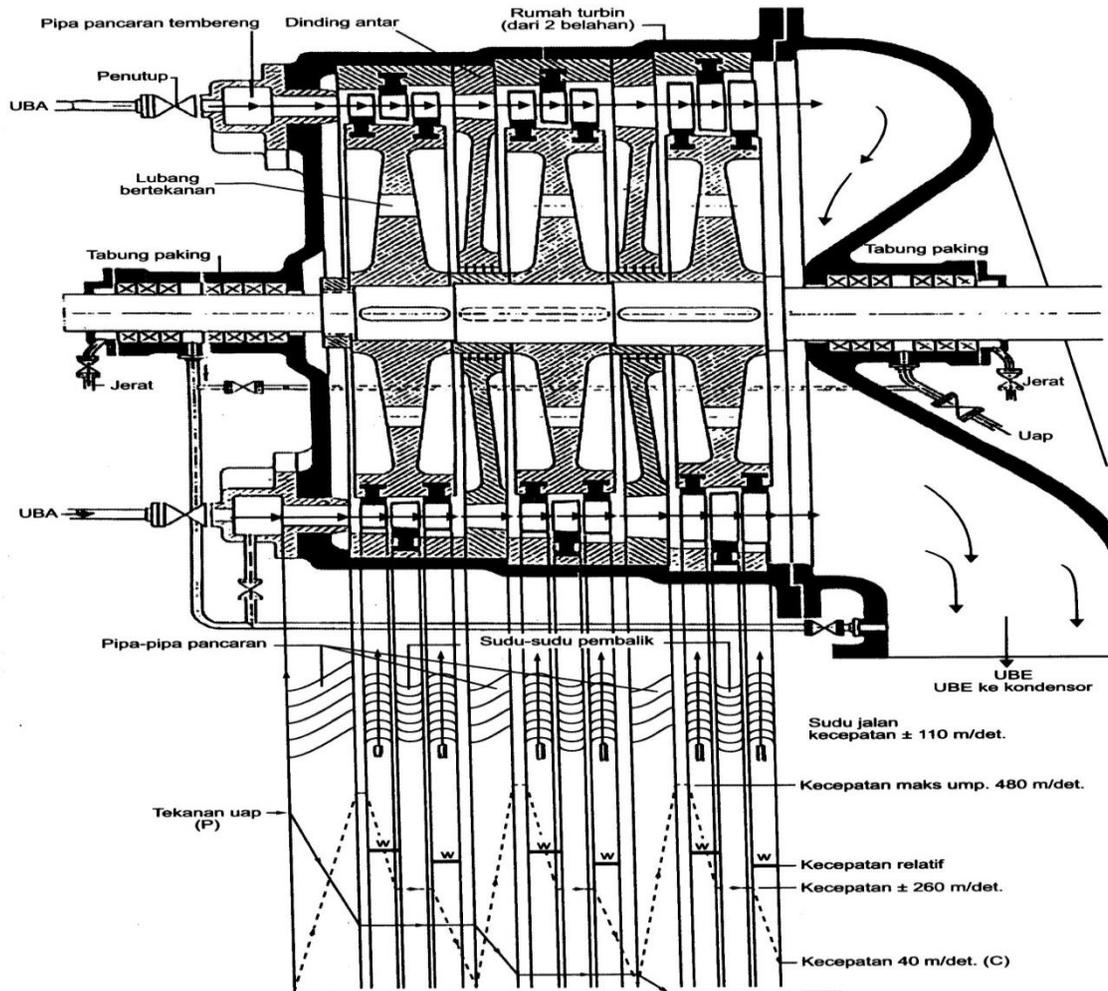
Beberapa keuntungan dan kerugian turbin jenis ini adalah sebagai berikut:

Keuntungan

- Ukuran turbin lebih kecil bila dibandingkan turbin lainnya.
- Kebocoran uap antar tingkat relatif kecil.

Kerugian

- Daya yang dihasilkan turbin kecil.
- Rendemen aliran kecil.



Gambar 21. Turbin Curtis (Handoyo, 2015).

2. Turbin REAKSI

Turbin Reaksi ialah turbin dimana tekanan uap di depan dan di belakang sudu jalan tidak sama besarnya atau tekanan uap di depan sudu jalan lebih besar daripada tekanan uap di belakang sudu jalan. Contohnya adalah Turbin Parson pada Gambar 22.

Beberapa karakteristik turbin Aksi adalah:

- a) Pada saat uap mengalir di sudu antar tekanan uapnya menurun, sedangkan pada saat uap mengalir di sudu jalan tekanan uapnya juga menurun.
- b) Pada saat uap mengalir di sudu antar kecepatan uapnya meningkat, sedangkan pada saat uap mengalir di sudu jalan kecepatan uapnya menurun.
- c) Bentuk sudu jalannya adalah tidak setangkup (asimetris).
- d) Usaha yang ditimbulkan didapat dari gaya-gaya aksi dan gaya-gaya reaksi yang bekerja pada sudu jalan yang melengkung.

Turbin Parson atau disebut juga turbin reaksi adalah turbin uap tekanan lebih yang terdiri dari beberapa tingkat tekanan dan tiap tiap tingkat tekanan tersebut terdiri dari unit sudu antar dan sudu jalan. Usaha yang ditimbulkan didapat dari bekerjanya gaya aksi dan reaksi pada sudu-sudu jalannya. Gaya aksi ini diubah dalam proses kecepatan mutlak, sedangkan gaya reaksi dari proses kecepatan relatif sehingga tiap unit sudu jalan mendapat gaya aksial dengan arah tekanan yang lebih kecil. Gaya aksial sudu antar diteruskan ke rumah turbin. Sedangkan gaya aksial sudu jalan diteruskan ke rotor turbin. Penggunaan turbin Reaksi Parson ini biasanya digunakan sebagai turbin gabungan (Turbin Curtis dan Parson) untuk roda muka motor penggerak dan sebagai penggerak baling-baling kapal laut.

Beberapa keuntungan dan kerugian turbin Reaksi Parson adalah sebagai berikut:

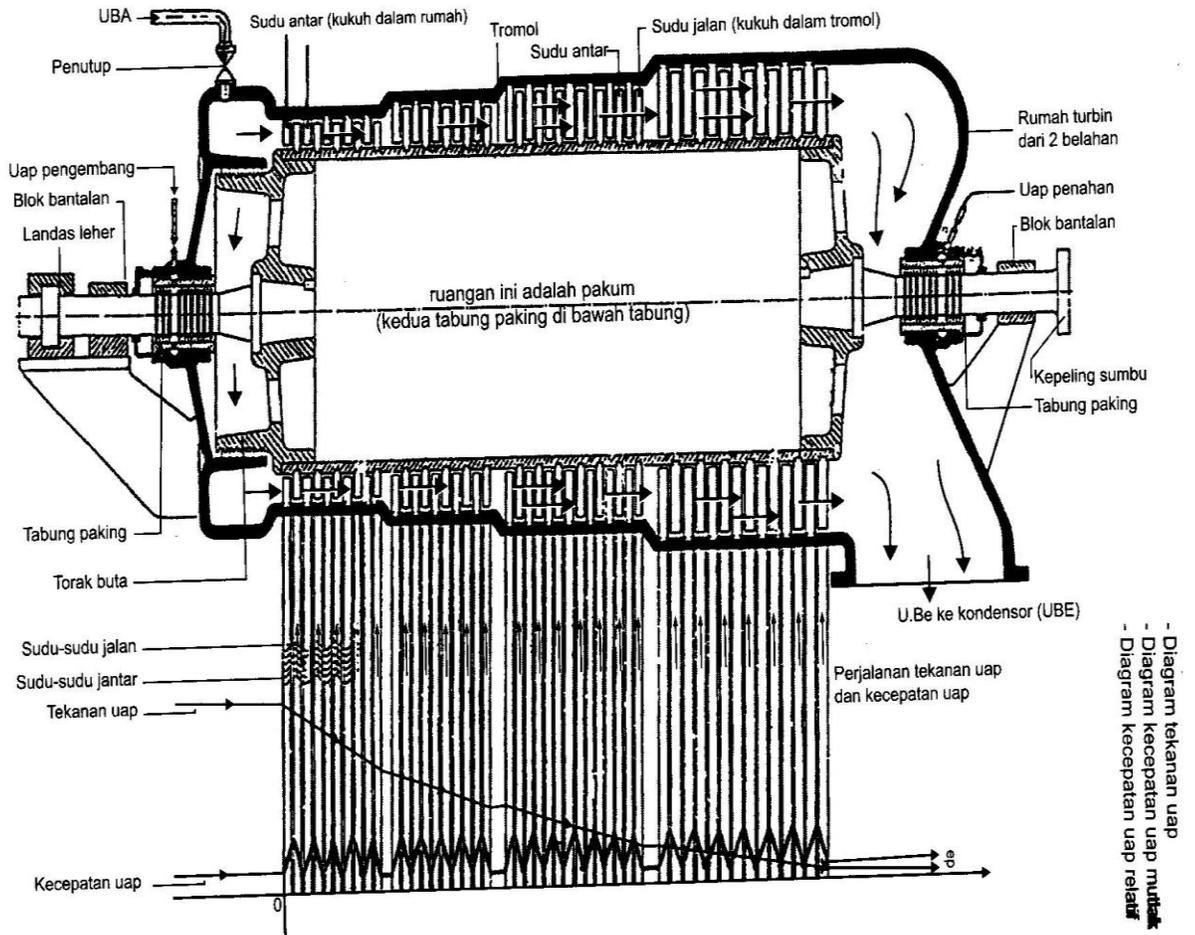
Keuntungan

- Daya turbin sangat besar.
- Pemulasan sudu penuh.
- Rendemen aliran besar.
- Kontruksi sederhana.
- Perawatan lebih mudah.



Kerugian

- Memerlukan ruangan yang besar karena jumlah tingkatnya yang banyak.
- Terjadi gaya kasila karena tekanan uap di depan sudu jalan lebih besar daripada di belakang sudu jalan.



Gambar 22. Turbin Parson (Handoyo, 2015).

1.4 Rangkuman

Ketel uap secara umum terbagi menjadi dua jenis yaitu ketel pipa api dan ketel pipa air. Ketel uap berdasarkan tingkat produksinya dibagi menjadi

3 yaitu ketel uap tekanan rendah (<10 Bar), menengah (10-20 Bar) dan tinggi (>10 bar). Berdasarkan tipe tangkinya, ketel uap terbagi menjadi 2 yaitu horizontal dan vertikal.

Turbin uap dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu Turbin Aksi dan Reaksi. Turbin Aksi adalah turbin yang tekanan uap di depan dan di belakang sudu jalan sama besarnya. Sedangkan turbin Reaksi adalah turbin yang tekanan uap di depan dan di belakang sudu jalan tidak sama besarnya. Contoh turbin Aksi adalah turbin de Laval, turbin zoelly, dan Curtis. Sedangkan contoh turbin Reaksi adalah turbin Parson.

1.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan perbedaan antara ketel pipa api dan ketel pipa air!
2. Jelaskan jenis ketel uap menurut tingkat produksi uap yang dihasilkan!
3. Jelaskan perbedaan konstruksi ketel Scotch dan *cross tube*!
4. Jelaskan karakteristik turbin AKSI!
5. Jelaskan perbedaan antara turbin AKSI dan REAKSI!

1.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 2 ini, masing-masing taruna ditugaskan mencari contoh gambar dan menguraikan penjelasannya
 - a. Ketel berdasarkan tingkat produksinya (tekanan rendah, menengah, dan tinggi);
 - b. Turbin Aksi dan reaksi
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Buku/artikel jurnal
3. Cara kerja
 - a. Taruna mencari referensi di berbagai artikel maupun buku yang relevan.



- b. Membuat tabel seperti yang ditunjukkan tabel 2.
- c. Membuat laporan dengan menjelaskan sesuai dengan tujuan pada poin (a) dan (b) (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
- d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2. Hasil tugas kegiatan belajar II

No	Tugas	Gambar	Penjelasan	Penggunaan di kapal	Referensi
1.	Ketel berdasarkan tingkat produksinya				
	a. Ketel tekanan rendah				
	b. Ketel tekanan menengah				
	c. Ketel tekanan tinggi				
2	Turbin AKSI dan REAKSI				
	a. Turbin AKSI				
	b. Turbin REAKSI				

5. Kesimpulan

.....

.....

.....

.....

3.7 Tes Formatif 2

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini :

- 1. Ketel yang pipa-pipanya berisi api atau gas kalor untuk memanaskan air di balik dinding-dinding pipanya disebut

- a. Ketel pipa api
 - b. Ketel pipa air
 - c. Ketel pipa gas
 - d. Ketel pipa uap
2. Ketel yang di dalam pipa-pipanya terdapat air yang dipanaskan untuk diubah menjadi uap disebut
- a. Ketel pipa api
 - b. Ketel pipa air
 - c. *Scotch ketel*
 - d. *Spanner ketel*
3. Ketel uap tekanan rendah memiliki tekanan kerja sebesar
- a. Di bawah 150 Psi
 - b. Di antara 150 – 300 Psi
 - c. Di atas 300 Psi
 - d. Semua Benar
4. Ketel uap yang tekanan kerjanya lebih dari 20 Bar disebut
- a. Ketel uap tekanan rendah
 - b. Ketel uap tekanan menengah
 - c. Ketel uap tekanan tinggi
 - d. Ketel uap pipa api
5. Berikut ini yang termasuk ketel dengan tipe tangki vertikal adalah
- a. Ketel *Scotch* dan ketel *Spanner*
 - b. *Howden Jonsen* dan ketel *Capus*
 - c. Ketel *Steambloc* dan ketel *Thimble tube*
 - d. Ketel *Cross tube* dan ketel *Sunrod*
6. Berikut ini yang termasuk ketel dengan tipe tangki horisontal adalah
- a. Ketel *Scotch* dan ketel *Spanner*
 - b. *Howden Jonsen* dan ketel *Capus*
 - c. Ketel *Steambloc* dan ketel *Thimble tube*
 - d. Ketel *Cross tube* dan ketel *Sunrod*



7. Berikut ini yang bukan termasuk turbin Aksi adalah
 - a. Turbin Parson
 - b. Turbin de Laval
 - c. Turbin Zoelly
 - d. Turbin Curtis
8. Berikut ini adalah keuntungan penggunaan turbin Parson kecuali
 - a. Daya turbin sangat besar
 - b. Harga relatif murah
 - c. Perawatan lebih mudah
 - d. Kontruksi sederhana
9. Turbin yang bentuk sudu jalannya adalah tidak setangkup (asimetris)
 - a. Turbin Curtis
 - b. Turbin de Laval
 - c. Turbin Zoelly
 - d. Turbin Parson
10. Turbin dimana tekanan uap di depan dan di belakang sudu jalan tidak sama besarnya atau tekanan uap di depan sudu jalan lebih besar daripada tekanan uap di belakang sudu jalan.
 - a. Turbin AKSI
 - b. Turbin REAKSI
 - c. Turbin de Laval
 - d. Turbin Zoelly



IV. KEGIATAN BELAJAR 3

4.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 3 ini adalah “**Konstruksi Ketel dan Turbin Uap**”.

4.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 3 ini adalah:

1. Taruna mampu menjelaskan konstruksi ketel uap (B&W “seksi”, B&W “integral”, serta Foster Wheeler-ISD)
2. Taruna mampu menjelaskan konstruksi dari turbin uap.

4.3 Uraian Materi

1. Konstruksi Ketel Uap

a. Ketel uap Babcock dan Wilcox (B&W) “Seksi”

Ketel uap B&W seksi adalah ketel yang kedudukan pipa-pipanya horizontal. Ketel uap ini terdiri atas tromol (drum) uap yang berfungsi sebagai penampung uap di bagian atas, dan berisi air di bagian bawah. Di bagian bawah drum ini, dihubungkan dengan lemari air yang terdiri atas beberapa baris seksi-seksi berbentuk zig-zag sebanyak 16-24 seksi dan setiap seksi memiliki beberapa laluan tangan, tempat kedudukan masuknya pipa-pipa air. Sementara itu, bagian bawah lemari air dihubungkan dengan lemari lumpur yang berfungsi sebagai penampung kotoran air yang mengendap. Lemari air bagian depan ini dihubungkan dengan lemari air bagian belakang oleh sejumlah pipa air. Bentuk lemari air belakang sama dan sejajar dengan lemari air bagian depan dan membuat sudut 15° dengan bidang vertikal. Hal ini sangat diperlukan untuk mempercepat jalannya sirkulasi air di dalam ketel.

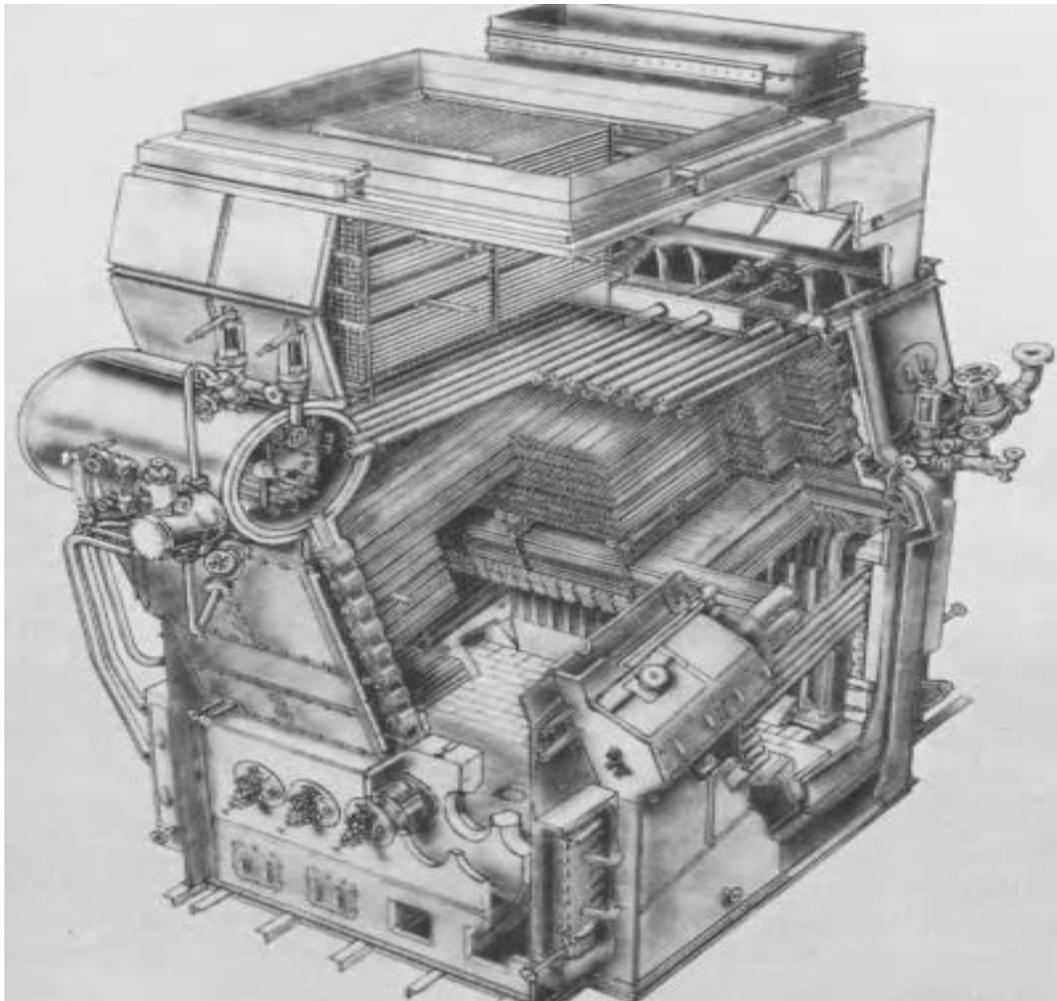
Pipa air terdiri atas dua kelompok yaitu kelompok pipa air bagian atas dan bagian bawah. Kelompok pipa air bagian atas dan bagian bawah dipisahkan oleh pipa pemanas uap lanjut (superheater). Diameter pipa air kelompok bagian bawah ini dibuat lebih besar, karena pipa ini berhubungan langsung dengan gas kalor hasil pembakaran dengan temperatur $\pm 1200^{\circ}\text{C}$. Karena seksi dari lemari ini berbentuk zig-zag, kedudukan pipa air ini juga zig-zag. Sehingga jalannya gas dari bawah ke atas menjadi tidak bebas dan mengalir semua pipa-pipa air.

Ruang dapur mempunyai ukuran terbatas, kalor yang masuk dapur besar, sehingga bebant dapur menjadi besar. Di sekeliling dapur ditempatkan pipa pendingin dinding sehingga dinding dapur tidak mendapatkan kalor yang terlalu besar. Dengan demikian, temperatur dinding rendah dan kalor yang keluar ketel berkurang. Dinding ketel bagian depan tidak didinginkan untuk mempertahankan temperatur di sekeliling pembakar (*burner*) tetap kalor sehingga efek pembakaran dapat tercapai dengan baik. Dengan adanya pipa pendingin dinding dapur ini, temperatur dinding akan turun $\pm 500^{\circ}\text{C}$. Pemanas yang diterima oleh pipa-pipa pendingin dinding dapat berlangsung melalui pancaran (radiasi). Pipa pendingin dinding ini berfungsi juga sebagai pipa pembentukan uap dan membantu jalannya sirkulasi air di dalam ketel uap.

Pipa pendingin dinding dapur mendapatkan pemanasan yang cukup besar sehingga air dalam pipa ini akan bergerak ke atas akibat pengaruh berat jenis air yang mendidih. Pada pipa pendingin samping, air naik ke kotak air melalui pipa yang kembali ke drum uap. Demikian juga pada pipa dinding belakang, air naik ke lemari belakang dan kembali ke drum uap melalui pipa-pipa sirkulasi. Kotak air mendapatkan air dari drum uap melalui pipa-pipa jatuh yang mempunyai diameter pipa 4" (inch). Pipa jatuh ini terletak di luar dapur dan tidak dipanaskan sehingga aliran airnya menuju ke bawah.



Pipa-pipa pemanas lanjut uap terletak diantara pipa air kelompok atas dan kelompok bawah yang berbentuk “U” dengan diameter $\frac{1}{4}$ ” dan terdiri atas enam kelompok yang masing-masing meliputi 32 pipa. Pipa-pipa ini dihubungkan dengan dua buah lemari uap yang masing-masing dibagi menjadi 3 dan 4 ruangan. Jalannya uap dipaksa bolak-balik melewati pipa-pipa pemanas sehingga uap menyerap kalor pembakaran terus menerus dan mengakibatkan temperatur uap meningkat cukup tinggi dan menjadi uap kering.



Gambar 23. Ketel uap B&W “seksi” (Handoyo, 2015).

Udara yang diperlukan untuk pembakaran didapat dari tarikan paksa. Udara ini dipanaskan di pemanas udara oleh gas kalor 170-200°C, kemudian masuk ke dalam dapur. Dalam perjalanannya menuju dapur, udara masuk antara dinding dalam dan luar ketel, supaya radiasi dari dapur dapat diserap oleh udara, sehingga memperkecil kerugian pancaran yang ke luar dapur. Aliran gas pembakaran cenderung bergerak ke atas menuju cerobong melalui pipa air kelompok bawah, ke *superheater*, terus melewati pipa-pipa kelompok atas, pipa-pipa pemanas udara, dan langsung ke luar cerobong pada temperatur $\pm 350^\circ\text{C}$. Ketel uap B&W “seksi ditunjukkan pada Gambar 23.

b. Ketel Uap Babcock dan Wilcox (B&W) “Integral”

Ketel uap B&W seksi adalah ketel yang kedudukan pipa-pipanya miring. Kontruksi umum ketel uap ini adalah jenis ketel uap pipa air yang dilengkapi dengan dua drum, yaitu drum uap atau air bagian atas dan drum air bagian bawah. Diameter drum uap atau air adalah 1200 mm, sedangkan diameter drum air 750 mm. Drum uap atau air sebagian berisi air dan sebagian berisi uap. Garis sumbu yang menghubungkan titik pusat drum membentuk sudut 10° dengan garis vertikal.

Drum uap atau air dihubungkan drum air di bawahnya oleh bagian-bagian pipa-pipa air dan pipa-pipa air utama. Diameter pipa tirai adalah 2” yang terdiri atas 3 baris tersusun zig-zag (berliku-liku), sedangkan pipa utama mempunyai diameter $1\frac{1}{4}$ “ yang dipasang zig-zag meliputi 20-25 baris pipa. Pemasangan pipa model zig-zag bertujuan agar penyerapan kalor dari gas-gas kalor lebih merata dan lama. Diantara pipa tirai dan pipa utama ditempatkan pipa pemanas lanjut yang berbentuk “U”.

Ruang dapur seluruhnya dikelilingi pipa-pipa pendingin dinding kecuali dinding tempat pembakar (*burner*) tanpa pendinginan. Diameter pipa pendingin samping adalah 2” yang menghubungkan kotak air dengan



drum uap. Di bagian ujung depan dan belakang kotak air, terdapat masing-masing satu buah pipa jatuh (S) yang menghubungkan dengan drum uap atau air. Pipa jatuh ini terletak di ruang di antara dinding dalam dan dinding luar ketel uap. Pipa jatuh ini tidak dipanaskan sehingga aliran air dalam pipa jatuh ini selalu bergerak ke bawah.

Pada dinding belakang ketel uap, terdapat pipa pendingin dinding yang menghubungkan kotak air dengan kotak pengumpul, dan kotak air dihubungkan dengan drum uap melalui pipa jatuh. Karena adanya pipa pendingin dinding dapur, temperatur dinding dapur agak rendah sehingga memperkecil kerugian radiasi ke luar ketel.

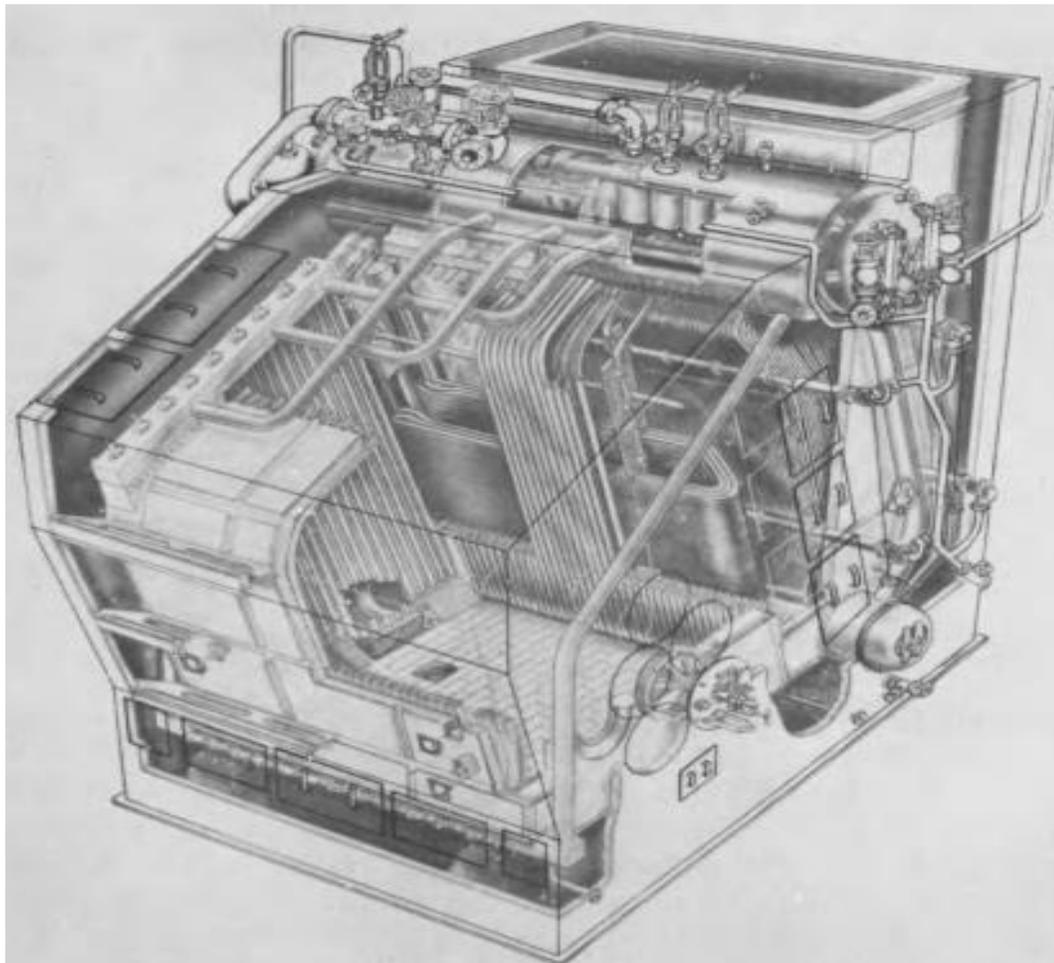
Aliran udara ke ruang dapur pembakaran berlangsung melalui ruang antara dinding dalam dan luar ketel. Apabila ada kebocoran kalor atau gas dari dinding dalam ketel, kalor atau gas tersebut dapat dibawa kembali oleh udara ke dalam ruang pembakaran sehingga kerugian radiasi dapat diperkecil.

Temperatur gas pembakaran meninggalkan dapur adalah $\pm 1150^{\circ}\text{C}$ yang mengalir melalui pipa tirai, pipa pemanas uap lanjut, pipa utama pada temperatur $\pm 350^{\circ}\text{C}$, pipa *economizer* atau pipa pemanas udara $\pm 180^{\circ}\text{C}$, dan langsung ke luar cerobong. Untuk menghembuskan jelaga yang terbentuk dan menempel pada dinding luar pipa air, digunakan penghembusan jelaga dengan menggunakan media uap yang ditempatkan pada bagian atas ruang dapur.

Air pengisi ketel uap dipanaskan di dalam pemanas air (*economizer*) sehingga temperatur air naik $\pm 160^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya air masuk ke drum uap atau air pada bagian ruang air melalui satu pipa dalam. Dalam ruang air, pipa tirai, pipa utama, dan pipa jauh serta pipa pendingin dapur berisi air sehingga pembentukan uap berada di dalam pipa-pipa ini yang mendidih dan menguap di dalam drum ruang uap.

Air dari drum uap bagian bawah mengalir melalui pipa jatuh, masuk ke dalam drum air dan kotak air. Dalam pipa pendingin dinding dapur, air

akan mendidih karena mendapatkan pancaran (radiasi) kalor dan mengalir ke dalam drum uap. Campuran air dan uap di dalam drum uap ini akan terpisah oleh fungsi *Cyclooon* dengan gerakan berputar pada saat air masuk ke dalam *cyclooon* tersebut sehingga uap terbebas dari butiran air. Uap dari drum uap selanjutnya mengalir ke pemanas lanjut yang dipanaskan oleh gas pembakaran sehingga uapnya menjadi uap kalor lanjut (uap kering). Gambar 24 menunjukkan ketel B&W “integral”



Gambar 24. Ketel uap B&W “integral” (Handoyo, 2015).



c. Ketel Uap Pipa Air “Foster Wheeler-ISD”

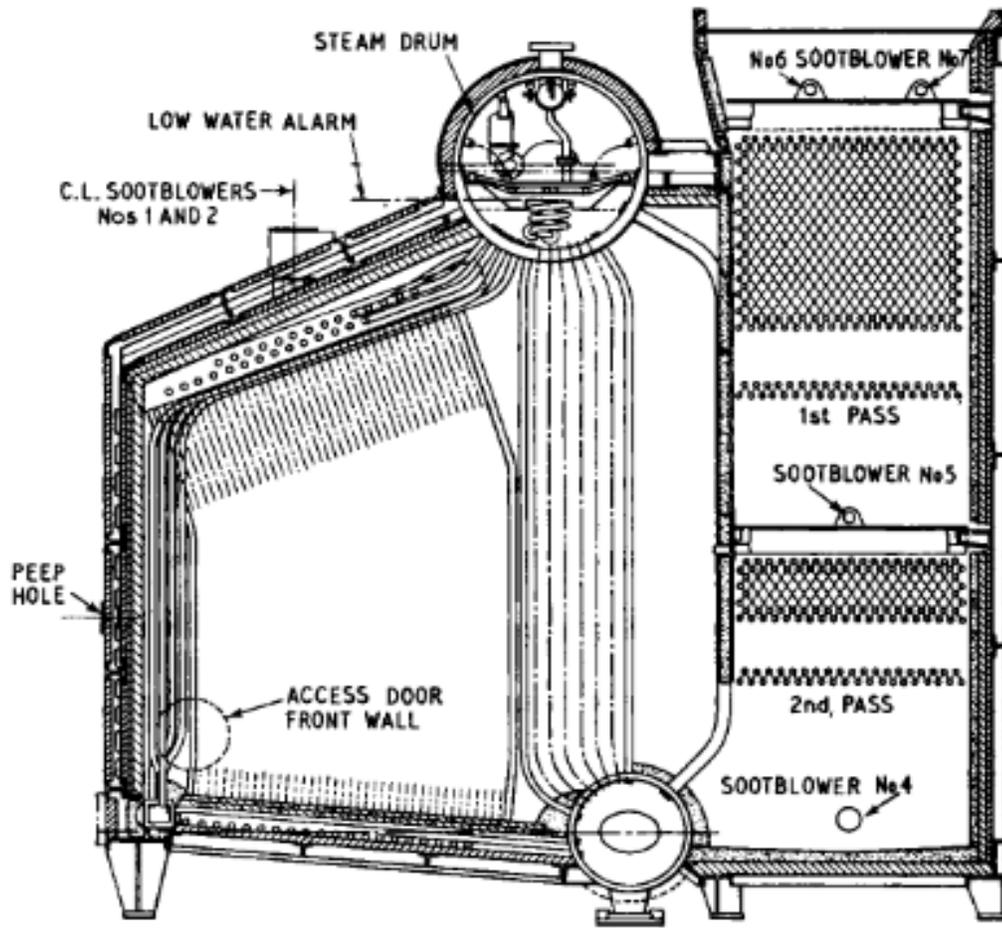
Ketel uap Foster Wheeler-ISD adalah ketel yang kedudukan pipa-pipanya vertikal. Ketel ini mempunyai 2 drum, yaitu drum uap (sebagian berisi uap dan sebagian air) dan drum air (seluruhnya air). Drum air mempunyai diameter lebih kecil dibandingkan dengan drum uap, garis tengah sumbu adalah satu garis menghubungkan antara drum uap dan drum air. Drum uap dihubungkan dengan drum air oleh 2 baris pipa tirai dan 10-15 baris pipa berkas utama. Diameter pipa tirai adalah 2” dengan posisi zig-zag (berliku-liku) sedangkan diameter pipa berkas utama adalah $1\frac{1}{4}$ ” dengan posisi lurus.

Pemasukan pipa air ke drum uap dilakukan secara radial (tegak lurus ke titik pusat drum) sehingga tidak ada kesulitan saat melepas pipa bila ada penggantian pipa baru. Semua pipa terletak di dalam posisi di bawah permukaan air dalam drum uap. Untuk sirkulasi air dari atas ke bawah, air turun melalui pipa jatuh yang berdiameter 4” yang menghubungkan drum uap dengan drum air. Pipa jatuh ini berada di antara dinding dalam dan luar ketel.

Dapur ketel uap tipe pipa air Foster Wheeler ini adalah ruangan besar tempat pembakaran bahan bakar dan cukup luas sehingga banyak sekali volume yang terbentuk di dapur ini. Sekeliling dapur dipasangkan pipa-pipa dinding yang berisi air dan berfungsi juga sebagai pipa pendingin ruang dapur. Bagian depan dapur tidak didinginkan dengan menempatkan alat pembakar (*burner*) dan pipa pendingin dapur berdiameter ± 2 ”. Dengan adanya pipa pendingin dapur temperatur di belakang barisan pipa mencapai 50°C. Pemasangan pipa pendingin dilakukan secara zig-zag, sedangkan pipa-pipa berkas utama dipasangkan lurus agar dapat mengontrol jelaga yang menempel, sehingga dapur dibersihkan atau ditiup dengan uap (*shoot blowing*).

Pipa pemanas lanjut berbentuk huruf “U” yang ujung-ujungnya masing-masing berkumpul dalam lemari pengumpul yang

berbentuk segiempat. Lemari pengumpul ditempatkan di luar aliran gas sehingga tidak dipanaskan oleh gas. Dalam lemari pengumpul, dipasang sekat-sekat masuk dari bawah dan ke luar pada lemari yang sama di bagian atasnya. Pipa pemanas uap lanjut ini ditumpu oleh 2 buah sekat yang dipasang vertikal pada drum uap atas dan drum air. Gambar 25 menunjukkan ketel uap Foster Wheeler-*ISD*.



Gambar 25. Ketel uap pipa air “Foster Wheeler-*ISD*” (Handoyo, 2015).

Ekonomiser adalah alat bantu yang membuat sistem bekerja lebih hemat dan lebih efisien, karena kalor gas pembakaran yang seharusnya



terbuang masih dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air ketel sehingga ekonomiser ini mampu meningkatkan efisiensi yang lebih optimal. Pipa ekonomiser terdiri atas berkas pipa berbentuk “U” yang dipasang horizontal secara zig-zag dan dipasang langsung secara *roll* dalam lemari pengumpul. Di dalam setiap barisan horizontal terdapat 7 atau lebih pipa secara bersebelahan.

Air pengisian ketel sebelum masuk ke dalam ekonomiser, dipanaskan terlebih dahulu di alat pemanas awal (*pre-heater*), kemudian air masuk ke dalam ekonomiser pada temperatur $\pm 100^{\circ}\text{C}$, selanjutnya mengalir melalui empat buah pipa paralel berbentuk “U” dan dalam arah yang berlawanan dengan aliran gas pembakaran.

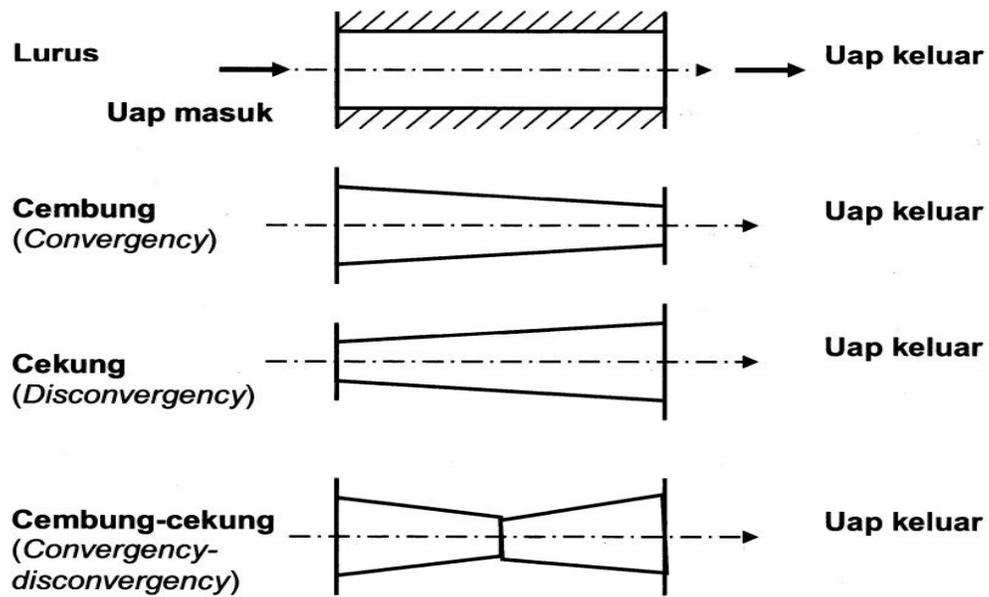
Udara bertekanan dengan volume besar diberikan untuk pembakaran di ruang pembakaran ketel uap dengan menggunakan kipas udara (*blower*). Udara ditekan masuk ke dalam atau di sekeliling dinding ketel, kemudian mengalir melalui lemari udara di sekeliling ruang pembakaran. Sebelum masuk ke ruang pembakaran, udara ini mengambil kalor dari sekeliling ketel sehingga suhunya mencapai $\pm 140^{\circ}\text{C}$. Aliran udara mempunyai gerakan berputar sehingga dapat bercampur dengan bahan bakar yang masuk secara baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

2. Kontruksi Turbin Uap

Kontruksi turbin uap pada umumnya terdiri dari pipa pancar, rotor turbin, rumah turbin dan sudu jalan.

a. Pipa pancar

Pipa pancar berfungsi sebagai pengarah aliran uap baru (UBA) dari ketel uap masuk ke sudu jalan supaya uap lebih efektif dan mengubah energi kalor menjadi energi kecepatan. Gambar 26 menunjukkan bentuk pipa-pipa pancar dari turbin uap.



Gambar 26. Bentuk dan jenis pipa pancar turbin uap (Handoyo, 2015).

b. Rotor turbin

Rotor turbin adalah poros turbin yang melekat jadi satu dengan roda jalan dan pada ujung roda jalan dipasang sudu-sudu jalan. Sedangkan poros hanya berupa poros biasa tanpa roda jalan. Pada kedua ujung rotor turbin terdapat *Labyrinth* yang berfungsi sebagai penahan kebocoran uap terhadap rumah turbin. Apabila uap bocor, tidak seluruh uap dapat mengenai sudu jalan.

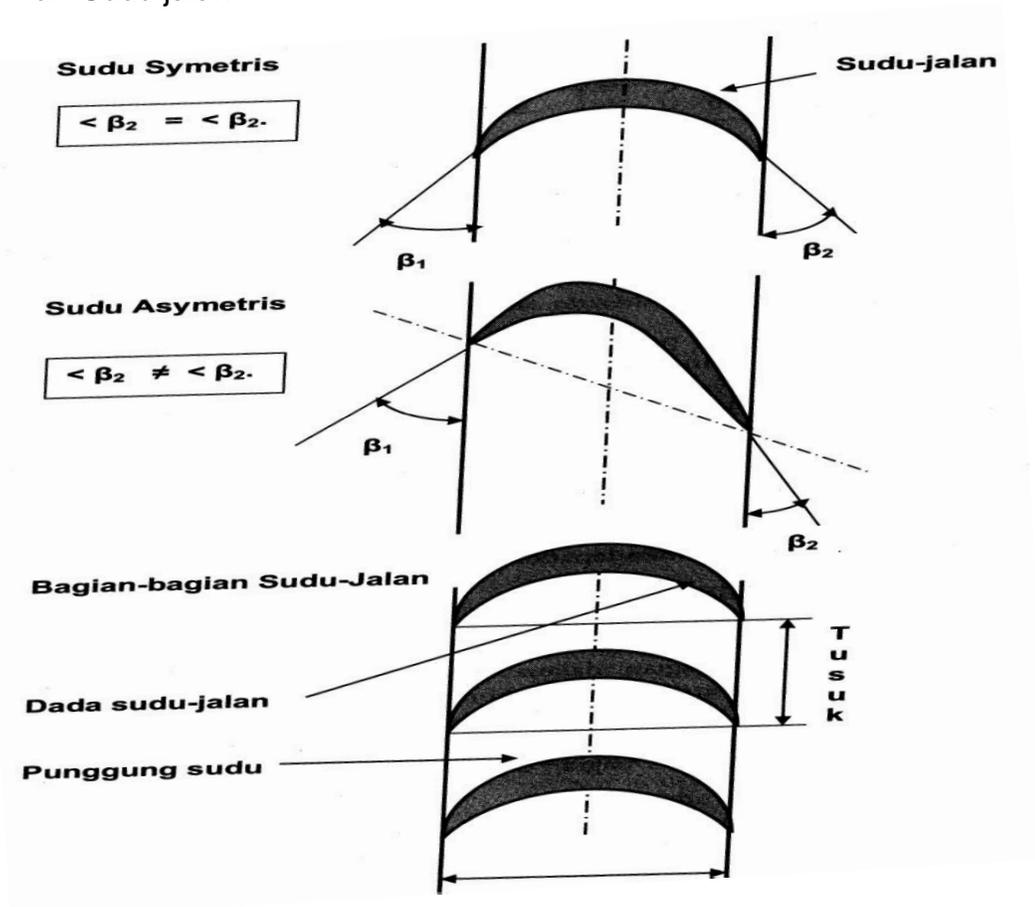
Selain menggunakan *Labyrinth* dapat juga dipakai paking zat arang yang berfungsi sama dengan *Labyrinth* untuk menahan kebocoran uap. Untuk menopang rotor turbin digunakan blok bantalan yang mendapatkan pelumasan yang baik.



c. Rumah turbin

Rumah turbin adalah penopang dan penutup turbin dimana rotor turbin juga didukung oleh rumah turbinnya. Untuk memeriksa dan merawat bagian-bagian dalam turbin, penutup rumah turbin yang berada di sebelah atasnya dapat dibuka dengan cara membuka baut-baut pengikat antara rumah turbin bagian atas dan bagian bawah. Dengan demikian sangat memudahkan untuk pemeriksaan dan perbaikan sudu-sudu jalan dan bagian-bagian dalam turbin.

d. Sudu jalan



Gambar 27. Bentuk sudu jalan (Handoyo, 2015).

Sudu jalan adalah bagian yang sangat penting dari turbin karena berputarnya rotor turbin disebabkan tenaga uap yang mendorong sudu-sudu jalan tersebut sehingga memutarakan rotor turbin. Bentuk sudu jalan terdiri atas 2 jenis yang ditunjukkan pada Gambar 27.

- Sudu simetris

Sudu simetris bila sudut sudu jalan sisi uap masuk β_1 sama besarnya dengan sudut sudu jalan sisi uap keluar β_2 . Sudu simetris dapat dijumpai pada turbin-turbin Aksi saja.

- Sudu asimetris

Sudu simetris bila sudut sudu jalan sisi uap masuk β_1 tidak sama besarnya dengan sudut sudu jalan sisi uap keluar β_2 . Sudu asimetris dapat dijumpai pada turbin reaksi saja.

4.4 Rangkuman

Secara umum kontruksi ketel uap terdiri dari dapur ketel sebagai tempat pembakaran bahan bakar, drum uap maupun drum air yang berfungsi untuk menampung air ketel yang berbentuk uap atau cair, Pipa-pipa air sirkulasi, *superheater* sebagai pipa pemanas uap lanjut, Ekonomiser sebagai alat bantu memanaskan air pengisian ketel dari kalor gas yang seharusnya terbuang, serta ruang jalannya udara dan gas pembakaran.

Kontruksi turbin uap secara umum terdiri dari beberapa bagian seperti pipa pancar, rotor turbin, rumah turbin dan sudu jalan. Sudu jalan dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu sudu simetris dan asimetris.

4.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan perbedaan kontruksi ketel uap B&W “seksi” dan B&W “integral”!
2. Jelaskan perbedaan kontruksi ketel uap B&W “seksi” dan *Foster Wheeler*-ISD!



3. Jelaskan perbedaan antara pipa pancar turbin jenis lurus, cembung, dan cekung!
4. Jelaskan perbedaan sudu jalan simetri dan asimetri!
5. Jelaskan fungsi labyrinth pada rotor turbin!

4.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 3 ini, masing-masing taruna ditugaskan mencari contoh gambar dan menguraikan penjelasannya
 - a. Bagian-bagian ketel uap pipa air jenis *Foster Wheeler*-ISD
 - b. Bagian-bagian turbin
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Buku/artikel jurnal
3. Cara kerja
 - a. Taruna mencari referensi di berbagai artikel maupun buku yang relevan.
 - b. Membuat tabel seperti yang ditunjukkan tabel 3.
 - c. Membuat laporan dengan menjelaskan sesuai dengan tujuan pada poin (a) dan (b) (diketik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat
4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 3. Hasil tugas kegiatan belajar III

No	Tugas	Gambar	Penjelasan	Referensi
1.	Bagian-bagian ketel <i>Foster Wheeler</i> -ISD			
	a. <i>Steam drum</i>			
	b. Dapur ketel			
	c. <i>Economiser</i>			
	d. <i>Superheater</i>			
	e. Tabung (pipa) pembangkit			
2	Bagian-bagian turbin			
	a. Sudu jalan			
	b. Pipa pancar			
	c. Rotor turbin			
	d. Rumah turbin			

5. Kesimpulan

.....

.....

.....

.....

4.7 Tes Formatif 3

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

1. Ketel yang kedudukan pipa pembangkitnya horizontal adalah
 - a. Ketel B&W seksi
 - b. Ketel B&W integral
 - c. Ketel *Foster Wheeler*-ISD
 - d. Ketel Sunrod



2. Air umpan yang ke luar dari *economizer* pada ketel B&W integral mempunyai nilai temperatur sebesar
 - a. $\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. $\pm 120\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c. $\pm 140\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d. $\pm 160\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. Ketel yang pemasukan pipa air ke drum uap dilakukan secara radial (tegak lurus ke titik pusat drum)
 - a. Ketel B&W seksi
 - b. Ketel B&W integral
 - c. Ketel *Foster Wheeler*-ISD
 - d. Ketel *Sunrod*
4. Bagian ketel uap yang berfungsi menampung uap jenuh di dalam ketel adalah
 - a. Drum air
 - b. Drum uap
 - c. *Superheater*
 - d. Ekonomiser
5. Komponen pada ketel yang berfungsi mengubah uap jenuh menjadi uap kalor lanjut (kering) adalah
 - a. *Superheater*
 - b. Ekonomiser
 - c. Dapur
 - d. Drum uap
6. Komponen pada ketel yang berfungsi sebagai pemanasan awal air ketel yang memanfaatkan sisa energi kalor dari pembakaran adalah
 - a. *Superheater*
 - b. Ekonomiser
 - c. *Feedwater pump*
 - d. Dapur

7. Bagian yang berfungsi untuk menahan kebocoran pada ujung rotor turbin uap adalah
 - a. *Nozzle*
 - b. *Labyrinth*
 - c. Poros turbin
 - d. Rumah turbin
8. Yang dimaksud dengan sudu simetri pada turbin adalah
 - a. Sudu jalan sisi uap masuk lebih besar dari sisi keluar
 - b. Sudu jalan sisi uap masuk lebih kecil dari sisi keluar
 - c. $\beta_1 > \beta_2$
 - d. $\beta_1 = \beta_2$
9. Bagian poros turbin yang melekat jadi satu dengan roda jalan dan pada ujung roda jalan dipasang sudu-sudu jalan.
 - a. Pipa pancar
 - b. Rotor turbin
 - c. Rumah turbin
 - d. Sudu jalan
10. Tabung pancar yang diameter saluran masuk lebih besar dari pada diameter saluran keluar disebut
 - a. Tabung pancar lurus
 - b. Tabung pancar cembung
 - c. Tabung pancar cekung
 - d. Tabung pancar cembung-cekung



V. KEGIATAN BELAJAR 4

5.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 4 ini adalah “**Perhitungan Kinerja dan Efisiensi pada Ketel Uap**”.

5.2 Indikator

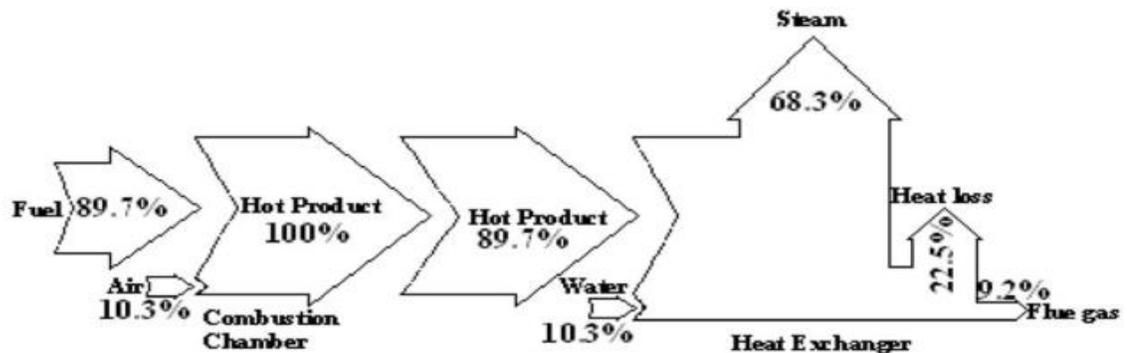
Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 6 ini adalah:

1. Taruna dapat menghitung kalor input ketel uap
2. Taruna dapat menghitung kalor output ketel uap.
3. Taruna dapat menghitung efisiensi ketel uap dengan metode langsung dan tidak langsung.

5.3 Uraian Materi

1. Perhitungan Kinerja (*Performance*) Ketel Uap

Aliran energi melalui pembakaran dan pemanasan ruangan ketel dapat dilihat pada skema diagram Sankey Gambar 28 di bawah ini. Bahan bakar dengan energi kalor 89,7 % untuk proses pembakaran di dalam dapur ketel dapat menghasilkan uap dengan energi kalor sebesar 68,3 %. Pengurangan ini disebabkan oleh adanya kehilangan kalor (*heat loss*) maupun sisa hasil pembakaran berupa *flue gas*.



Gambar 28. Diagram *Sankey* Aliran energi melalui pembakaran dan pemanasan ruangan ketel (Saidur, Ahamed, & Masjuki, 2010).

a. Perhitungan kalor *input* ketel uap

Kalor *input* ketel uap merupakan kalor *input* dari bahan bakar yang masuk ke dalam ketel uap, dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q_F = GCV + Cp(t_1 - t_r) + W_a \cdot C_s(t_a - t_r) \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

Q_F = Kalor *input* bahan bakar (kJ/kg bahan bakar)

GCV = *Gross Calorific Value* (nilai kalor bahan bakar) (kcal/kg)

t_1 = Temperatur bahan bakar (°C)

t_r = Temperatur acuan (°C)

W_a = Berat udara kering (kg/kg bahan bakar)

t_a = Temperatur udara (°C)

C_s = Kalor lembab (kcal/kg udara kering)
= $0.25 + 0.46xH$

H = Kelembaban udara (kg/kg udara kering)

b. Perhitungan kalor *output* ketel uap

➤ Kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser

Jumlah kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_{eko} = W_f \times (h_{eko} - h_{fw}) \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

q_{eko} = Jumlah kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser (kcal)

W_f = Berat air umpan ketel uap (kg/kg bahan bakar)

h_{eko} = Entalpi air umpan ketel uap pada sisi keluar ekonomiser (kcal/kg)

h_{fw} = Entalpi air umpan ketel uap pada sisi masuk ekonomiser (kcal/kg)

Temperatur air umpan yang keluar dari ekonomiser harus di bawah temperatur jenuhnya untuk mencegah terjadinya *boiling* (pendidihan) pada ekonomiser.

➤ Kalor yang diambil oleh uap pada *steam generator*



Steam generator merupakan tempat untuk mengubah air umpan menjadi uap (evaporasi) melalui proses pemanasan, dimana jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *steam generator* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q_{sg} = W_s \times (h_{sg} - h_{eko}) \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

- q_{sg} = Jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *steam generator* (kcal)
- W_s = Berat uap jenuh (kg/kg bahan bakar)
- h_{sg} = Entalpi uap jenuh (kcal/kg)
- h_{eko} = Entalpi air masuk pada *steam generator* (kcal/kg)

➤ Kalor yang diambil oleh uap pada *superheater*

Jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *superheater* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q_{sh} = W_s \times (h_{sh} - h_{sg}) \dots \dots \dots (4)$$

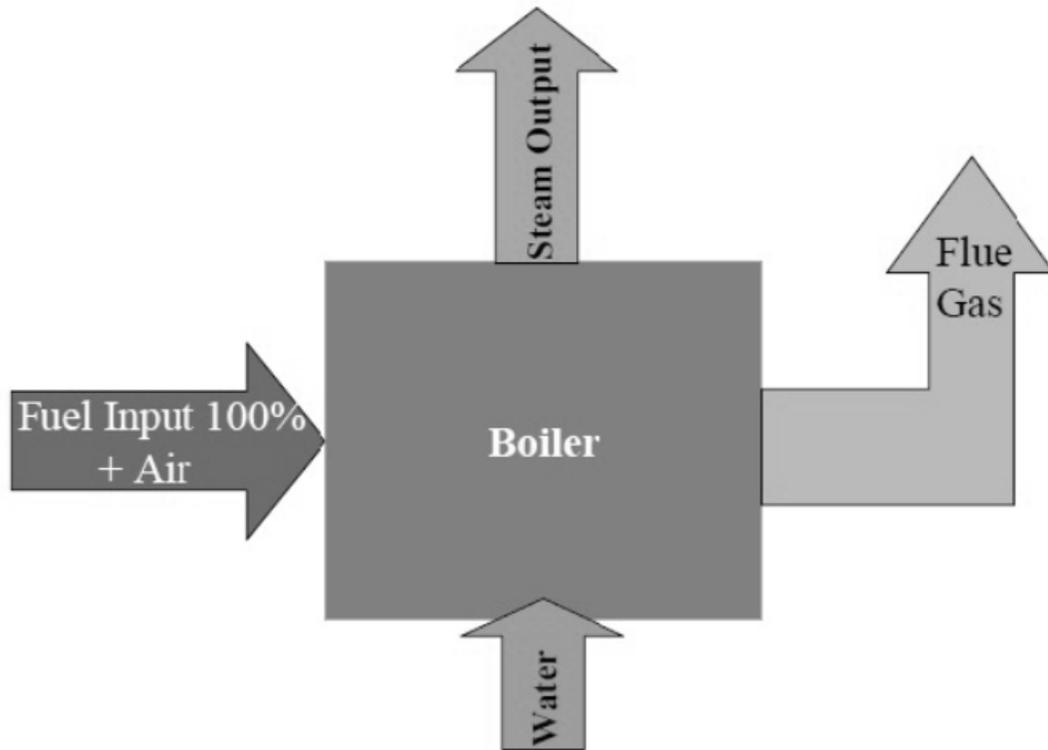
dengan:

- q_{sh} = Jumlah kalor yang diambil oleh uap pada *superheater* (kcal)
- W_s = Berat uap jenuh (kg/kg bahan bakar)
- h_{sh} = Entalpi uap pada *superheater* (kcal/kg)
- h_{sg} = Entalpi uap jenuh (kcal/kg)

2. Perhitungan Efisiensi Ketel Uap

Efisiensi ketel uap dapat dihitung dengan menggunakan dua cara yaitu langsung dan tidak langsung.

a. Cara langsung



Gambar 29. Keseimbangan energi pada ketel uap untuk perhitungan efisiensi dengan cara langsung (Shah & Adhyaru, 2011).

Perhitungan efisiensi ketel uap menggunakan cara langsung dilakukan dengan menghitung kalor *input* (kalor dari bahan bakar) dan kalor *output* (kalor dari uap yang dihasilkan oleh ketel uap). Persamaan untuk menghitung efisiensi ketel uap dengan cara langsung adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Kalor output}}{\text{Kalor input}} \times 100 = \frac{\dot{m}_{sg} \times (h_{sg} - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times GCV} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

\dot{m}_{sg} = Laju aliran uap (kg/jam)

h_{sg} = Entalpi uap jenuh (kcal/kg)

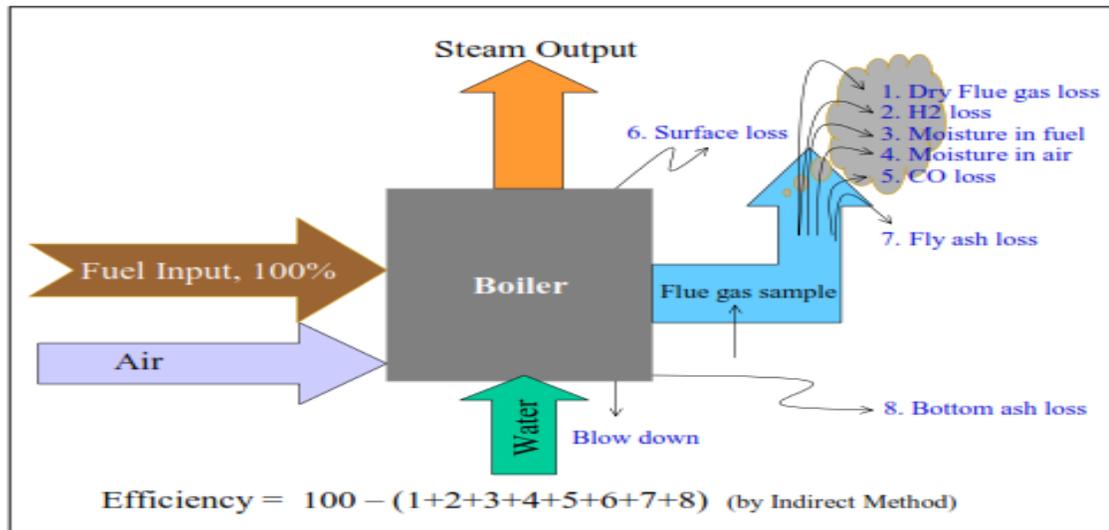
h_{fw} = Entalpi air umpan (kcal/kg)



\dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (kg/jam)

GCV = *Gross Calorific Value* (nilai kalor bahan bakar) (kcal/kg)

b. Cara tidak langsung



Gambar 30. Keseimbangan energi pada ketel uap untuk perhitungan efisiensi dengan cara tidak langsung (Bora & Nakkeeran, 2014).

Perhitungan efisiensi ketel uap menggunakan cara tidak langsung dilakukan dengan menghitung rugi-rugi yang terjadi pada ketel uap. Rugi-rugi tersebut antara lain yaitu rugi-rugi karena gas yang tidak terbakar (H₂O dan CO), rugi-rugi karena bahan bakar padat yang tidak terbakar (abu) baik yang keluar melalui bagian bawah dapur maupun yang keluar bersamaan dengan gas buang, rugi-rugi karena gas buang, rugi-rugi karena radiasi kalor ke lingkungan, rugi-rugi karena adanya kandungan uap air pada bahan bakar dan udara, dan rugi-rugi karena pembuangan air dari drum uap. Persamaan untuk menghitung efisiensi ketel uap dengan cara tidak langsung adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{(\text{Kalor input} - \text{Rugi} - \text{Rugi})}{\text{Kalor input}} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

5.4 Rangkuman

1. Kinerja dari ketel uap ditentukan oleh kalor *input* dan kalor *output* pada ketel uap tersebut, dimana kalor *input* merupakan kalor dari bahan bakar yang masuk ke ketel uap dan kalor *output* merupakan kalor yang diambil oleh air umpan pada ekonomiser dan uap pada *steam generator* dan *superheater*.
2. Perhitungan efisiensi ketel uap dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara langsung dan tidak langsung, dimana cara langsung hanya memperhitungkan kalor *input* dan kalor *output* saja, sedangkan cara tidak langsung memperhitungkan rugi-rugi yang terjadi pada ketel uap.

5.5 Penugas Teori

1. Jelaskan mengapa energi kalor dari bahan bakar tidak semua terpakai untuk proses pembuatan uap di dalam ketel !
2. Faktor apa sajakah yang mempengaruhi besarnya kalor input pada ketel !
3. Sebutkan dan jelaskan kalor output yang digunakan di dalam ketel !
4. Jelaskan perbedaan perhitungan efisiensi ketel uap dengan metode langsung maupun tidak langsung !

5.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 4 ini, masing-masing taruna ditugaskan menghitung efisiensi ketel uap secara langsung maupun tidak langsung.
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Kalkulator
 - c. Microsoft Excel (dapat digunakan dalam perhitungan)



3. Cara kerja

- a. Membaca soal perhitungan dengan teliti.
- b. Menyiapkan kalkulator ataupun Microsoft excel (komputer) untuk membantu dalam proses perhitungan
- c. Membuat laporan perhitungan yang telah dibuat (diketik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
- d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat

4. Hasil

Hitunglah efisiensi ketel uap secara langsung maupun tidak langsung jika diketahui parameter-parameter di bawah ini dan presentasikan bagaimana perbedaan cara perhitungan dan hasilnya !

- a. Laju aliran uap adalah 10.000 kg/jam
- b. Entalpi uap jenuh adalah 665 kcal/kg
- c. Entalpi air umpan adalah 85 kcal/kg
- d. Laju aliran bahan bakar adalah 2.250 kg/jam
- e. GCV Gross Calorific Value (nilai kalor bahan bakar) 3200 kcal/kg
- f. Rugi-rugi karena gas yang tidak terbakar (H_2O dan CO) 511.200 kcal/kg
- g. Rugi-rugi karena gas buang adalah 668.880 kcal/kg
- h. Rugi-rugi karena radiasi kalor ke lingkungan 144.000 kcal/kg
- i. Rugi-rugi karena adanya kandungan uap air pada bahan bakar & udara 22.824 kcal/kg

Buatlah urutan sebagai berikut :

- I. Diketahui :.....
- II. Ditanya :.....
- III. Jawab :.....

5. Kesimpulan

.....
.....
.....
.....

5.7 Tes Formatif 4

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

1. Apakah yang dimaksud dengan kalor *input*?
 - a. Kalor yang masuk ekonomiser
 - b. Kalor *input* bahan bakar
 - c. Kalor yang masuk *superheater*
 - d. Jawaban a, b, c salah
2. Satuan dari *Gross Caloric Value* adalah
 - a. kcal/kg
 - b. kN/kg
 - c. kcal/detik
 - d. kN/detik
3. Persamaan berikut merupakan persamaan kalor yang diambil air umpan pada ekonomiser
 - a. Berat air umpan dikalikan dengan selisih entalpi air umpan pada ekonomiser
 - b. Berat air umpan dikalikan dengan entalpi air umpan masuk ekonomiser
 - c. Berat air umpan dikalikan dengan entalpi air umpan keluar ekonomiser
 - d. Jawaban a, b, c benar
4. Berat air umpan ketel uap sebesar 10 kg/kg bahan bakar. Nilai entalpi air umpan ketel uap pada sisi keluar ekonomiser 200 (kcal/kg) sedangkan nilai entalpi sisi masuk ekonomiser 150 kcal/kg. Berapa energi kalor dari gas kalor yang diserap oleh air umpan di dalam ekonomiser?
 - a. 50 kJ



- b. 50 kcal
 - c. 500 kJ
 - d. 500 kcal
5. Temperatur air umpan dari ekonomiser
- a. Lebih tinggi dari temperatur uap jenuhnya
 - b. Sama dengan temperatur uap jenuhnya
 - c. Lebih rendah dari temperatur uap jenuhnya
 - d. Jawaban a, b, c salah
6. Kalor hasil pembakaran pada dapur ketel yang diserap oleh *steam generator* merupakan perkalian antara berat uap jenuh dengan
- a. Selisih entalpi dari air umpan yang keluar dan masuk ekonomiser
 - b. Selisih entalpi dari air umpan yang keluar dan masuk *steam generator*
 - c. Selisih entalpi dari uap jenuh dan air umpan dari ekonomiser
 - d. Selisih entalpi dari uap kalor lanjut dan air umpan dari ekonomiser
7. Kalor gas hasil pembakaran pada dapur ketel yang diserap oleh *superheater* merupakan perkalian antara berat uap jenuh dengan
- a. Selisih entalpi dari air umpan yang keluar dan masuk ekonomiser
 - b. Selisih entalpi dari air umpan yang keluar dari ekonomiser dan masuk *steam generator*
 - c. Selisih entalpi dari uap jenuh *superheater* dan air umpan dari *steam generator*
 - d. Selisih entalpi dari uap kalor lanjut *superheater* dan uap jenuh dari *steam generator*
8. Semakin besar kalor input pada ketel dan semakin kecil kalor output pada ketel maka
- a. Rendemen ketel semakin besar
 - b. Rendemen ketel semakin kecil
 - c. Tidak ada perubahan rendemen
 - d. Jawaban salah semua

9. Persamaan berikut merupakan persamaan efisiensi dengan cara tidak langsung
- Kalor *input* dikurangi rugi-rugi dibagi kalor *output* dikalikan dengan seratus
 - Kalor *output* dikurangi rugi-rugi dibagi kalor *output* dikalikan dengan seratus
 - Kalor *input* dikurangi rugi-rugi dibagi kalor *input* dikalikan dengan seratus
 - Jawaban a, b, c benar
10. Berikut merupakan rugi-rugi yang terjadi pada ketel uap
- Rugi-rugi karena gas yang tidak terbakar
 - Rugi-rugi karena adanya kadungan uap air pada udara dan bahan bakar
 - Rugi-rugi karena radiasi kalor ke lingkungan
 - Jawaban a, b, c benar



VI. KEGIATAN BELAJAR 5

6.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 5 ini adalah “**Perhitungan pada Tabung Pancar Turbin Uap**”.

6.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 6 ini adalah:

1. Taruna mampu menghitung jatuh kalor tabung pancar teoritis pada turbin.
2. Taruna mampu menghitung jatuh kalor tabung pancar menggunakan rumus *zeuner*.
3. Taruna mampu menghitung persamaan segitiga kecepatan turbin uap.

6.3 Uraian Materi

1. Jatuh Kalor Pada Tabung Pancar

Pipa pancar atau tabung pancar adalah bagian dari turbin aksi yang mempunyai fungsi untuk mengubah energi kalor yang terkandung di dalam uap menjadi kecepatan uap. Energi kalor yang diubah menjadi kecepatan dalam tabung pancar disebut jatuh kalor teoritis (H_o).

Uap masuk tabung pancar memiliki entalpi sebesar h_1 . Ketika uap tersebut keluar dari tabung pancar, maka uap mengalami penurunan entalpi. Entalpi uap keluar tabung pancar sebesar h_2 . Penurunan entalpi tersebut disebut juga jatuh kalor teoritis (H_o), dimana jatuh kalor teoritis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$H_o = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

H_o = Jatuh kalor teoritis (kJ/kg)

h_1 = Entalpi uap masuk tabung pancar (kJ/kg)

h_2 = Entalpi uap keluar tabung pancar (kJ/kg)

2. Rumus Zeuner Pada Tabung Pancar

Proses perubahan tenaga kalor menjadi kecepatan pada tabung pancar diteliti dan diamati oleh seorang ahli yang bernama Zeuner. Menurut Zeuner, apabila 1 kg uap mengalir melalui tabung pancar, maka uap tersebut akan mengalami penurunan tekanan dan jatuh kalor, tetapi uap akan mengalami kenaikan kecepatan. Sebelum tabung pancar kecepatan uap sebesar 0 dan sesudah tabung pancar kecepatan uap menjadi C.

Jadi, Zeuner merumuskan bahwa pengurangan energi kalor pada tabung pancar sebanding dengan peningkatan energi kinetiknya.

Jatuh energi kalor = peningkatan energi kinetik

$$H_o \text{ (kcal)} \approx \frac{1}{2} m C^2 \text{ (kgm)}$$

$$H_o \text{ (kcal)} \approx \frac{1}{2} \frac{G}{g} C^2 \text{ (kgm)}$$

Untuk 1 kg uap yang mengalir di dalam tabung pancar, maka

$$H_o \text{ (kcal)} \approx \frac{1}{2} \frac{1}{9.8} C^2 \text{ (kgm)}$$

$$H_o \text{ (kcal)} \approx \frac{C^2}{2 \times 9.8} \text{ (kgm)}$$

Jika 1 kcal = 427 kgm, maka

$$427 H_o \text{ (kgm)} \approx \frac{1}{2} m C^2 \text{ (kgm)}$$

$$C^2 = 2 \times 9.8 \times 427 \times H_o$$

$$C = \sqrt{2 \times 9.8 \times 427 \times H_o}$$

$$C = 91,5 \sqrt{H_o} \dots\dots\dots(8)$$



Persamaan di atas disebut juga dengan rumus Zeuner, dimana C merupakan kecepatan uap mutlak yang keluar dari tabung pancar dan masuk sudu jalan pada turbin uap dengan satuan m/detik.

3. Segitiga Kecepatan Turbin Uap

Segitiga kecepatan adalah segitiga yang sisi-sisinya terdiri dari kecepatan-kecepatan, atau dengan kata lain bahwa segitiga kecepatan merupakan segitiga vektor. Segitiga kecepatan pada Gambar 31 merupakan proses perubahan kecepatan menjadi putaran pada poros turbin. Kecepatan yang dihasilkan pada tabung pancar, kemudian masuk ke sudu-sudu jalan akan membuat sudu-sudu tersebut berputar. Kecepatan putar sudu jalan tersebut dinamakan dengan kecepatan keliling (U).

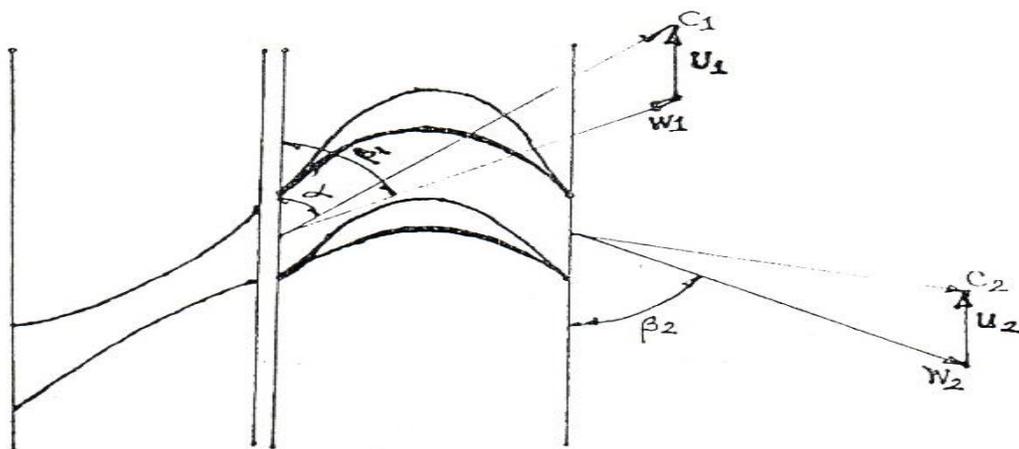
Besarnya kecepatan keliling (U) tergantung dari diameter roda dan rpm, dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (m/detik) \quad \dots\dots\dots(9)$$

di mana,

D = Diameter roda (m)

n = Putaran roda tiap menit (rpm)



Gambar 31. Segitiga kecepatan turbin uap (Handoyo, 2015).

Pada sisi masuk sudu, segitiga kecepatan dapat dijelaskan yaitu C_1 merupakan kecepatan mutlak uap masuk sudu jalan, W_1 merupakan kecepatan relatif uap masuk sudu jalan, U_1 kecepatan keliling sudu. C_1 membentuk sudut α_1 terhadap U , yang disebut dengan sudut mutlak uap masuk. Sedangkan W_1 membentuk sudut β_1 terhadap U , yang disebut dengan sudut relatif uap masuk.

Pada sisi keluar sudu, besarnya W_2 , kecepatan relatif uap keluar sudu jalan, sama dengan W_1 , karena sifat sudu yang berbentuk simetris. Demikian juga dengan besarnya sudut β_1 sama dengan sudut β_2 , dan besarnya U_2 sama dengan U_1 .

6.4 Rangkuman

Jatuh kalor teoritis merupakan penurunan energi kalor pada tabung pancar dikarenakan adanya penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan uap, dimana jatuh kalor teoritis adalah selisih entalpi uap masuk dan keluar tabung pancar. Kecepatan uap keluar tabung pancar dirumuskan oleh seorang ahli yang bernama Zeuner dan disebut dengan rumus Zeuner. Uap yang keluar dari tabung pancar, selanjutnya akan masuk ke sudu jalan dengan kecepatan tertentu, sehingga sudu jalan dan poros turbin akan berputar dan memiliki kecepatan keliling. Kecepatan-kecepatan yang terjadi pada sudu jalan dapat digambarkan dan dianalisis dengan segitiga kecepatan.

6.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan jatuh kalor teoritis pada tabung pancar turbin!
2. Jelaskan hubungan antara kecepatan uap mutlak dengan jatuh kalor teoritis!
3. Jelaskan mengenai kecepatan keliling diameter roda turbin!



6.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 5 ini, masing-masing taruna ditugaskan menghitung tabung pancar teoritis, kecepatan mutlak menggunakan rumus Zeuner, dan menghitung kecepatan keliling pada roda turbin.
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Kalkulator
3. Cara kerja
 - a. Membaca soal perhitungan dengan teliti.
 - b. Menyiapkan kalkulator untuk membantu dalam proses perhitungan
 - c. Membuat laporan perhitungan yang telah dibuat (diketik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat
4. Hasil
 - a. Sebuah turbin de Laval diketahui bahwa uap masuk mutlak mempunyai tekanan 12 kg/cm^2 dan temperatur 250°C ($h = 2932,68 \text{ kJ/kg}$), sedangkan tekanan uap keluar turbin $0,5 \text{ kg/cm}^2$ ($h = 2693,22 \text{ kJ/kg}$). Berapakah:
 - Jatuh kalor teoritisnya?
 - Kecepatan mutlak uap masuk sudu?
 - b. Sebuah turbin memiliki roda dengan diameter 1,5 m dan putaran turbin tersebut 2600 rpm. Hitung kecepatan keliling sudu!
Buatlah urutan sebagai berikut :
 - I. Diketahui :.....
 - II. Ditanya :.....
 - III. Jawab :.....

5. Kesimpulan

.....
.....
.....
.....

6.7 Tes Formatif 5

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini :

1. Apakah fungsi dari tabung pancar pada turbin uap?
 - a. Memancarkan energi kalor
 - b. Mengubah energi kalor menjadi kecepatan
 - c. Mengalirkan uap ke sudu jalan
 - d. Jawaban a, b, c salah
2. Apakah yang dimaksud dengan jatuh kalor teoritis?
 - a. Penurunan entalpi
 - b. Energi kalor yang diubah menjadi kecepatan
 - c. Penurunan tekanan
 - d. Jawaban a dan b benar
3. Selisih entalpi uap masuk dan keluar semakin besar maka
 - a. Putaran rotor turbin semakin cepat
 - b. Putaran rotor turbin semakin lambat
 - c. Nilai jatuh kalor semakin besar
 - d. Nilai jatuh kalor semakin kecil
4. Kecepatan yang dinyatakan dalam rumus *Zeuner* merupakan
 - a. Kecepatan mutlak
 - b. Kecepatan relatif
 - c. Kecepatan keliling
 - d. Jawaban a, b, c salah
5. Kecepatan mutlak pada rumus *Zeuner* disimbolkan dengan
 - a. C
 - b. H_0



- c. U
 - d. B
6. Nilai konstanta pada rumus kecepatan mutlak jika diketahui nilai jatuh kalor pada turbin adalah
- a. 90,5
 - b. 91,5
 - c. 92,5
 - d. 93,5
7. Besarnya nilai kecepatan mutlak jika diketahui jatuh kalor pada turbin sebesar 10^4 kcal adalah
- a. $9,05 \times 10^3$ m/detik
 - b. $9,05 \times 10^4$ m/detik
 - c. $9,15 \times 10^3$ m/detik
 - d. $9,15 \times 10^4$ m/detik
8. Segitiga kecepatan merupakan
- a. Segitiga yang sisi-sisinya terdiri dari kecepatan-kecepatan
 - b. Segitiga vektor
 - c. Proses perubahan kecepatan menjadi putaran pada poros turbin
 - d. Jawaban a, b, c benar
9. Kecepatan keliling dipengaruhi oleh
- a. Tebal roda
 - b. Jarak roda
 - c. Diameter roda
 - d. Jawaban a, b, c salah
10. Jika diameter roda turbin semakin besar dan kecepatan putarnya semakin tinggi maka
- a. Jatuh kalor semakin kecil
 - b. Jatuh kalor semakin besar
 - c. Kecepatan keliling turbin semakin cepat
 - d. Kecepatan keliling turbin semakin lambat



VII. KEGIATAN BELAJAR 6

7.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 6 ini adalah **“Perhitungan Rendemen dan Daya Turbin Uap”**.

7.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 7 ini adalah:

1. Taruna mampu menghitung rendemen dalam dan termis turbin.
2. Taruna mampu menghitung daya pada turbin uap.

7.3 Uraian Materi

1. Rendemen Turbin Uap
 - a. Rendemen dalam

Rendemen dalam merupakan perbandingan antara jatuh kalor praktis (H_i) dengan jatuh kalor teoritis (H_o). Jatuh kalor praktis adalah jatuh kalor teoritis dikurangi kerugian dalam, dimana kerugian dalam merupakan kerugian kalor di dalam turbin yang meliputi kerugian gesekan; kerugian ventilasi; kerugian ventilasi dan kerugian aliran keluar. Rendemen dalam dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

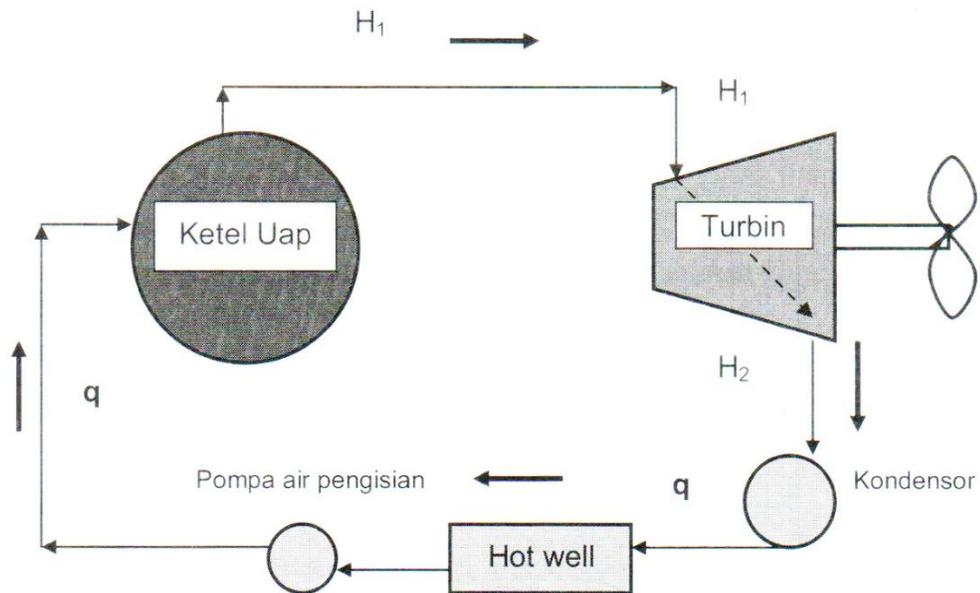
$$\eta_i = \frac{H_i}{H_o} = \frac{H_o - \text{kerugian dalam}}{H_o} \dots\dots\dots(10)$$

Di mana,

- η_i = Rendemen dalam
- H_i = Jatuh kalor praktis (kJ/kg)
- H_o = Jatuh kalor teoritis (kJ/kg)

b. Rendemen termis

Rendemen termis merupakan perbandingan kalor berguna terhadap kalor yang diberikan.



Gambar 32. Skema perhitungan rendemen termis (Handoyo, 2015).

Rendemen termis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$\eta_{th} = \frac{H_1 - H_2}{H_1 - q} \dots\dots\dots(11)$$

dengan:

- η_{th} = Rendemen termis
- H_1 = Kalor uap masuk ke turbin (kJ/kg uap)
- H_2 = Kalor uap keluar dari turbin (kJ/kg uap)
- q = Kalor entalpi dari air umpan (kJ/kg uap)
- $H_1 - H_2$ = Kalor uap yang berguna (kJ/kg uap)
- $H_1 - q$ = Kalor yang diberikan (kJ/kg uap)



2. Daya Turbin Uap

Besarnya daya turbin uap selain tergantung pada jatuh kalor (H_o), juga tergantung pada pemakaian uapnya. Jadi, apabila dalam setiap detiknya turbin menggunakan uap sebanyak G kg, maka berarti kalor yang diubah menjadi daya setiap detiknya sebesar:

$$G \times H_o \text{ kcal/detik}$$

Jika $1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgm}$

maka besarnya daya teoritis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_o = G \times H_o \times 427 \text{ kgm/detik}$$

atau

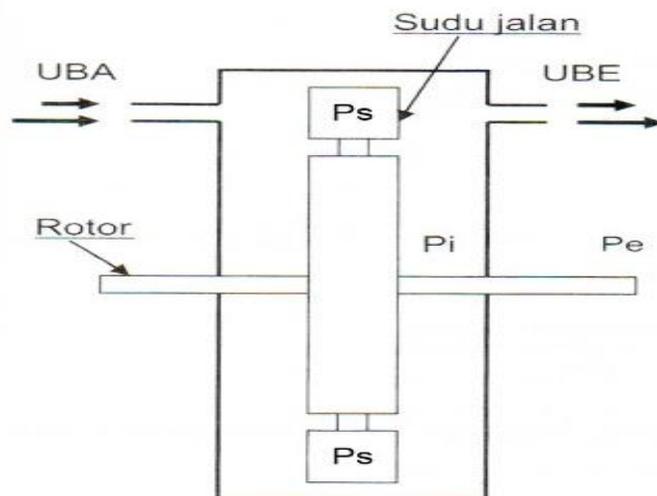
$$P_o = \frac{G \times H_o \times 427}{75} \text{ PK} \dots\dots\dots(12)$$

dengan:

P_o = Daya turbin uap teoritis (PK)

G = Banyaknya uap (kg/detik)

H_o = Jatuh kalor teoritis (kJ/kg)



Gambar 33. Daya-daya pada turbin uap (Handoyo, 2015).

Selain daya teoritis, pada turbin uap juga ada daya-daya yang lain.
Daya-daya tersebut antara lain:

a. Daya sudu (P_s)

Daya sudu pada turbin uap merupakan daya yang dihasilkan pada sudu jalan, dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_s = P_o \times \eta_s \quad PK \dots \dots \dots (13)$$

dengan:

P_s = Daya sudu jalan (PK)

η_s = Efisiensi sudu

b. Daya dalam (P_i)

Daya dalam merupakan daya yang dihasilkan pada poros bagian dalam turbin, dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_i = P_s \times \eta_i \quad PK \dots \dots \dots (14)$$

dengan:

P_i = Daya dalam (PK)

η_i = Efisiensi dalam

c. Daya efektif (P_e)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan pada poros bagian luar turbin, dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_e = P_i \times \eta_m \quad PK \dots \dots \dots (15)$$

atau

$$\begin{aligned} P_e &= P_o \times \eta_i \times \eta_m \quad PK \\ &= P_i \times \eta_{thd} \quad PK \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

dengan:

P_e = Daya efektif (PK)

η_m = Efisiensi mekanik

η_{thd} = Efisiensi termodinamik



7.4 Rangkuman

Rendemen turbin uap ada dua yaitu rendemen dalam dan rendemen termis. Rendemen dalam merupakan perbandingan antara jatuh kalor praktis dengan jatuh kalor teoritis. Sedangkan rendemen termis merupakan perbandingan antara kalor yang berguna dengan kalor yang diberikan oleh pembakaran bahan bakar. Daya turbin uap, selain daya teoritis juga ada daya sudu jalan, daya dalam, dan daya efektif.

7.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan mengenai rendemen dalam pada turbin uap!
2. Jelaskan mengenai rendemen termis pada turbin uap!
3. Jelaskan mengenai daya sudu pada turbin uap!
4. Jelaskan mengenai daya dalam turbin uap!
5. Jelaskan mengenai daya dalam turbin uap!

7.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 6 ini, masing-masing taruna ditugaskan menghitung
 - a. rendemen dalam dan termis pada turbin
 - b. efisiensi termodinamika dan daya efektif turbin
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Kalkulator
3. Cara kerja
 - a. Membaca soal perhitungan dengan teliti.
 - b. Menyiapkan kalkulator untuk membantu dalam proses perhitungan
 - c. Membuat laporan perhitungan yang telah dibuat (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat

4. Hasil

- a. Turbin memiliki jatuh kalor teoritis sebesar 120 kJ/kg dengan jatuh kalor praktisnya 40 kJ/kg. Hitunglah berapa besar rendemen dalam pada turbin!
- b. Kalor uap masuk turbin diketahui sebesar 160 kJ/kg dengan kalor uap keluaranya 120 kJ/kg. Nilai entalpi air umpan berkisar 20 kJ/kg. Hitunglah besarnya nilai rendemen termis pada turbin!
- c. Sebuah turbin diketahui bahwa kerugian dalam total yang terjadi 10 kcal/kg, sedangkan kalor yang tersedia 70 kcal/kg. Pemakaian uap tiap jamnya 2400 kg dan rendemen mekanisnya 0,90. Hitung:
 - Efisiensi termodinamik
 - Daya efektif

Buatlah urutan sebagai berikut :

- I. Diketahui :.....
- II. Ditanya :.....
- III. Jawab :.....

5. Kesimpulan

.....

.....

.....

.....

7.7 Tes Formatif 6

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

- 1. Apakah definisi dari jatuh kalor praktis?
 - a. Jatuh kalor teoritis dikurangi daya dalam
 - b. Jatuh kalor teoritis dikurangi kerugian dalam
 - c. Jatuh kalor teoritis dikurangi efisiensi dalam
 - d. Jawaban a, b, c salah



2. Semakin besar jatuh kalor teoritisnya maka
 - a. Semakin besar rendemen dalam
 - b. Semakin kecil rendemen dalam
 - c. Semakin besar rendemen termis
 - d. Semakin kecil rendemen termis
3. Berapa besar nilai rendemen dalam pada turbin jika nilai jatuh kalor teoritisnya 600 kJ/kg sedangkan jatuh kalor praktisnya 450 kJ/kg
 - a. Tidak dapat dihitung
 - b. 0,75
 - c. 7,5
 - d. 1,3
4. Jika kalor uap yang berguna pada turbin semakin besar maka
 - a. Semakin besar rendemen dalam
 - b. Semakin kecil rendemen dalam
 - c. Semakin besar rendemen termis
 - d. Semakin kecil rendemen termis
5. Berapa besar kalor uap yang berguna jika rendemen termis pada turbin memiliki nilai 0,8 dan kalor yang diberikan sebesar 500 kJ/kg
 - a. Tidak dapat dihitung
 - b. 625 kJ/kg
 - c. 400 kJ/kg
 - d. 400 kW
6. Daya turbin uap teoritis tergantung pada
 - a. Jatuh kalor praktis
 - b. Efisiensi turbin
 - c. Banyaknya uap
 - d. Jawaban a, b, c salah
7. Daya pada turbin uap selain daya teoritis adalah
 - a. Daya sudu
 - b. Daya dalam

- c. Daya efektif
 - d. Jawaban a, b, c benar
8. Daya yang dihasilkan pada poros bagian dalam turbin disebut
- a. Daya sudu
 - b. Daya dalam
 - c. Daya efektif
 - d. Jawaban a, b, c salah
9. Daya teoritis turbin adalah 1000 PK. Berapa besar daya sudu jika rendemennya 0.8?
- a. 800 kW
 - b. 800 PK
 - c. 1250 kW
 - d. 1250 PK
10. Berdasarkan soal no.9 nilai daya dalam pada turbin jika rendemen dalam sebesar 0,75 adalah
- a. 600 kW
 - b. 600 PK
 - c. 937,5 kW
 - d. 937,5 PK



VIII. KEGIATAN BELAJAR 7

8.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 7 ini adalah “**Pengoperasian dan Perawatan Ketel Uap**”.

8.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 7 ini adalah:

1. Taruna mampu mengoperasikan ketel uap;
2. Taruna mampu merawat ketel uap.

8.3 Uraian Materi

1. Pengoperasian Ketel uap

- a. Menyiapkan Alat pelindung diri (APD) seperti *wearpack*, sepatu *safety*, *helm safety*, kacamata *safety*, dan sarung tangan.
- b. Pemeriksaan sebelum pengopakan

Tahapan pemeriksaan sebelum pengopakan adalah sebagai berikut:

- Memeriksa katup buang endapan air ketel bagian bawah (*blowdown*) sudah ditutup rapat, baik katup yang menempel pada badan ketel (*appendage blowdown valve*) maupun katup yang menempel pada lambung kapal (*overboard blowdown valve*). Prosedur pada saat *blowdown* air ketel, *appendage blowdown valve* harus dibuka terlebih dahulu kemudian membuka katup *overboard blowdown valve*. Sebaliknya setelah selesai pembuangan endapan air ketel, *overboard blowdown valve* ditutup terlebih dahulu dilanjutkan dengan *appendage blowdown valve*.
- Pengetesan air ketel terhadap keasaman, basa dan kandungan garam, dan kondisi air ketel dilakukan untuk mengecek air

sudah memenuhi syarat atau belum. Melakukan pengetesan juga terhadap air pengisian yang terdapat di dalam *cascade tank*, yaitu dengan memastikan kondisi air pengisian sudah memenuhi persyaratan ketel.

- Katup uap induk dan semua katup appendasis harus diperiksa mana yang seharusnya tertutup rapat dan katup mana yang seharusnya terbuka penuh.

Tabel 4. Posisi appendasis yang berhubungan dengan ruang uap

Jenis Katup	Kondisi
1 buah katup uap utama	tertutup
2 buah katup keamanan	tertutup
1 buah katup manometer	Terbuka
1 buah katup cerat udara	Terbuka
1 buah katup gelas penduga sisi uap	Terbuka
1 buah katup masuk air dari Ekonomiser	tertutup

Tabel 5. Posisi appendasis yang berhubungan dengan ruang air

Jenis Katup	Kondisi
3 buah katup gelas penduga sisi air	Terbuka
2 buah katup pengisian air ketel	Terbuka
1 buah katup <i>spui</i>	Tertutup
1 buah katup <i>blowdown</i>	Tertutup
1 buah katup hisap air sirkulasi ke ekonomiser	Tertutup

c. Pengisian air ketel uap

- Pengisian air ke dalam ketel uap, sampai batas permukaan setengah yang terlihat pada gelas penduga bagian atas (gelas penduga bagian bawa penuh). Memastikan semua katup



appendasis gelas penduga sudah terbuka. Kecuali katup cerat dari gelas penduga dalam keadaan tertutup.

- Pemeriksaan semua pipa di dalam ruangan dapur dengan memastikan tidak ada kebocoran. Pemeriksaan ini dilakukan apabila ketel uap baru selesai diperbaiki atau pertamakali akan dilakukan pengopakan awal.

d. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap

- Membuka katup cerat udara yang letaknya di atas drum uap di dekat katup uap utama dengan membiarkan katup tersebut terbuka terus sampai nantinya setelah awal pembakaran ketel sudah menghasilkan uap baru dengan tekanan kerja ± 1 atm, kemudian katup ini bisa ditutup rapat.
- Persiapan membakar/mengopak dapur ketel uap, dilakukan terhadap seluruh pesawat-pesawat bantu yang menunjang sistem pengopakan ketel uap.
- Instalasi bahan bakar *marine diesel oil* (MDO) sudah disirkulasikan dan semua saringan sudah dibersihkan.
- Persiapan instalasi kelistrikan pada panel ketel uap dengan memastikan semua indikator pada panel bekerja dengan baik.
- Persiapan juga dilakukan pada alat pemadam api ringan (APAR) yang menjadi salah satu persyaratan dimana di depan ketel uap harus ditempatkan sekurang-kurangnya 2 APAR ukuran 9 kg dan 1 APAR ukuran 45 kg.

d. Pengopakan awal

- Pembakaran awal dilakukan dengan menggunakan bahan bakar *marine diesel oil* (MDO) secara manual selama ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop. Hal ini dilakukan secara terus menerus sampai katup cerat udara mengeluarkan udara

bertekanan dan selanjutnya mengeluarkan uap bertekanan meskipun manometer uap belum terlihat tekanan.

- Membakar dapur dengan menaikkan tekanan secara bertahap bakar ± 10 menit dan stop selama ± 15 menit sampai manometer uap menunjukkan tekanan ± 1 atm kemudian katup cerat udara segera ditutup.
- Pembakaran berikutnya selama ± 15 menit, stop selama ± 20 menit, sampai tekanan uap menunjukkan ± 4 atm.
- Pembakaran normal, pertama menggunakan MDO selanjutnya diganti dengan *marine fuel oil* (MFO) yang sudah melalui pemanasan (*FO Heater*) pada temperatur 90-110°C (Flash point MFO pada temperatur 130°C).
- Pembakaran dapur ketel uap sampai tekanan kerja normal 12-16 atm, sedangkan untuk ketel uap induk tekanan kerja dapat mencapai 16-20 atm uap jenuh, yang selanjutnya dipanaskan lagi di dalam *superheater* sampai menjadi uap kalor lanjut dengan tekanan mencapai 40-60 atm.
- Memeriksa peralatan keamanan ketel uap sudah bekerja dengan baik dan normal.

e. Pemeriksaan awal setelah pengopakan

- Memeriksa semua peralatan masih bekerja dengan baik.
- Memeriksa permukaan air di dalam gelas penduga.
- Memeriksa tekanan uap pada manometer bekerja dengan benar.
- Memeriksa pompa pengisian air ketel bekerja baik, tekanan air pengisian harus lebih besar daripada tekanan di dalam ketel uap.
- Memeriksa pompa bahan bakar bekerja baik.



- Menjalankan blower tekanan tinggi untuk membilas sisa gas yang masih tertinggal di dalam dapur ± 5 menit.
- Menjalankan pompa bahan bakar dan pemanas bahan bakar (*FO heater*) sampai temperatur mencapai 80°C (MFO) dan kurang 70°C (MDO).
- Memeriksa sistem pembakaran di dalam dapur apakah sudah sempurna, api berwarna putih kebiru-biruan dan tidak berasap.

f. Pemeriksaan lanjutan bahan bakar MFO

- Menjalankan blower tekanan tinggi untuk membilas sisa gas di dalam dapur dan melakukan pengaturan tekanan udara sesuai kebutuhan pembakaran.
- Menghidupkan pematik api atau masukkan sumbu pengapian (manual) dan perhatikan apakah pengapian bekerja dengan baik.
- Menjalankan *fuel oil burning pump marine diesel oil* dan buka katup masuk bahan bakar sambil memeriksa apakah pembakaran berlangsung normal/tidak.
- Apabila gagal melakukan pembakaran, harus dilakukan pembilasan udara berulang-ulang untuk menjaga jangan sampai terjadi komposisi bahan bakar dan udara masih tertinggal dan siap meledak.
- Pembakaran dengan *marine fuel oil* (MFO) sebelumnya sudah harus dipanaskan di dalam *settling tank* dan *service tank* $\pm 70^{\circ}\text{C}$, *fuel oil heater* $\pm 100^{\circ}\text{C}$.
- Memperhatikan panel indikator, memeriksa dan mengamati semua parameter dan memastikan semuanya bekerja dengan normal.

- g. Pemeriksaan setelah pembakaran bekerja normal
- Mempertahankan perbandingan udara dan bahan bakar tetap seimbang dan memeriksa warna api di dalam ruang dapur.
 - Memeriksa dan memperhatikan semua indikator di panel ketel uap, seluruh parameter di panel harus bekerja pada posisi normal.
 - Memeriksa permukaan air di dalam gelas penduga.
 - Memeriksa asap yang keluar dari cerobong dan memastikan asap ketel tidak berwarna abu-abu atau hitam.
 - Menulis semua perubahan parameter indikator ketel uap dalam buku harian ketel uap setiap jam kerja dan setiap 4 jam jaga.
- h. Tahapan mematikan pengopakan ketel (*cooling down*)
- Sistem pembakar (pengopakan) dimatikan, memastikan bahwa bahan bakar benar-benar sudah tertutup rapat dan api di dalam dapur sudah padam.
 - Pesawat-pesawat bantu: pompa bahan bakar, pompa pengisian air ketel, blower udara harus dimatikan.
 - Katup-katup utama dan bantu ditutup dengan memastikan kondisi semua katup apendasis sudah tertutup kecuali katup gelas penduga.
 - Membuka katup cerat udara di atas drum uap dan uap akan keluar secara perlahan-lahan, tekanan uap diturunkan secara bertahap.
 - Memperhatikan tinggi permukaan air di dalam gelas penduga karena masih ada tekanan uap dan kalor di dalam ketel.
 - Setelah tekanan uap di dalam drum sudah habis, secara bertahap air di dalam ketel dapat dibuang/dicerat dengan



blowdown valve sampai batas permukaan air pada gelas penduga bawah masih terlihat.

- Membuka *man-hole* dapur dan biarkan gas kalor di dalam dapur keluar sampai temperature ruangan dapur turun secara bertahap.
- Memeriksa kebocoran air *generating tubes, wall tubes, De-superheater, superheater, economizer. dsb.*
- Apabila kebocoran tidak harus membuang habis air ketel, lebih baik air ketel tetap dipertahankan dan di dalam ketel, untuk menjaga teganga penurunan kalor yang secara cepat (kejut).
- Selesai perbaikan dapat langsung dilakukan pengisian air ketel secara bertahap kembali sampai batas setengah permukaan gelas penduga bagian atas.

2. Perawatan Ketel Uap

a. Ledakan di dalam dapur ketel uap

Ledakan di dalam dapur disebabkan oleh pembakaran awal yang tidak sempurna yang berlangsung terus menerus dan mengakibatkan minyak yang tidak terbakar mengendap dan membentuk gas. Apabila gas tersebut sudah terakumulasi dengan O_2 yang cukup dan pada saat pengapian awal dapat menyebabkan ledakan yang besar.

Tindakan perawatan dan pencegahan:

- Setiap gagal pembakaran, *blow up* harus dijalankan dengan waktu minimum 5 menit, bila diperlukan diulang kembali.
- Pada saat ketel uap sedang tidak bekerja, diperlukan pemeriksaan semua katup bahan bakar minyak yang menuju FO *brunder* dan memastikan tidak ada yang bocor.

- Mencegah MFO *brunder* yang menetes-netes dan terkumpul di bagian dalam dapur dan pada saat kalor yang cukup dapat terbakar sendiri secara terus menerus. Atomizer FO *brunder* diganti dengan yang baru serta memiliki ukuran yang tepat.
- Memeriksa dan memastikan bahwa semua indikator di panel ketel uap dalam keadaan baik.
- Memeriksa dan memastikan *fuel oil solenoid valve* bekerja dengan baik sehingga perintah auto stop dari semua switching on/off dapat diterima dengan baik oleh katup solenoid tersebut.

b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap

Kebocoran pipa-pipa air memang tidak membahayakan lingkungan tetapi dampaknya adalah ketel uap tidak dapat dioperasikan sebelum dilakukan perbaikan. Perbaikan penggantian pipa air atau "*prop*" pada bagian pipa-pipa yang bocor tersebut akan memakan waktu yang cukup lama karena perlu adanya proses *cooling down* dan *warming up* pada ketel.

Tindakan perawatan dan pencegahan untuk kebocoran pipa adalah sebagai berikut:

- Mengontrol secara terus menerus permukaan air di dalam drup uap jangan sampai pada level terendah dan memastikan gelas penduga dan semua peralatan pengaman bekerja dengan baik.
- Memeriksa dan memastikan bahwa semua katup apendasis ketel uap pada saat ditutup benar-benar kedap, karena dapat membahayakan dan merugikan dengan berkurangnya jumlah air dan uap di dalam ketel tersebut.
- Memeriksa katup-katup penghubung sisi uap ataupun sisi air pada gelas penduga, sering dilakukan kontrol dengan cara bergantian dicerat pada saat serah terima petugas jaga. Pekerjaan ini harus



dilakukan 4 jam sekali untuk memastikan gerakan permukaan air ketel adalah benar.

- Perawatan gelas penduga secara berkala 3-6 bulan sekali dengan membersihkan kaca-kacanya sehingga memudahkan petugas untuk melihat dari jarak jauh permukaan air ketel tersebut.
- Penerangan di sekitar gelas penduga atas ataupun bawah harus selalu terang, bersih dan tidak terhalang oleh benda-benda lain.
- Perawatan pada alat pengaman "*lower water level alarm*" dan "*lower water level trip off*" dilakukan setiap saat untuk mengecek peralatan tersebut masih bekerja baik atau sudah rusak.

c. Kebakaran di bawah ketel uap

Kebakaran dapat terjadi di bawah ketel uap apabila pada lantai bawah ketel uap tersebut terdapat banyak genangan minyak atau benda-benda yang mudah terbakar. Hal ini perlu diwaspadai mengingat di sekitar ketel uap termasuk daerah kalor dan berbahaya.

Tindakan perawatan dan pencegahannya adalah sebagai berikut:

- Menjaga kebersihan seluruh permukaan lantai di bawah badan ketel uap dari genangan minyak, kotoran minyak, kain-kain majun bekas yang berminyak atau bahan-bahan yang mudah terbakar setiap seminggu sekali.
- Menyiapkan alat pemadam api ringan yang cukup dan pemadam api CO₂ minimal 45 kg yang ditempatkan di bagian depan ketel uap tersebut.
- Melakukan seluruh perawatan instalasi sistem bahan bakar minyak di sekitar ketel uap.

d. Perawatan air ketel

Perawatan air ketel uap sangat diperlukan untuk mempertahankan kondisi pipa-pipa air agar tetap dalam kondisi baik. Kerak yang melekat di bagian dalam pipa yang mengakibatkan penebalan pipa-pipa air sehingga uap hasil pembakaran tidak maksimal dan pembakaran di dalam dapur harus dinaikkan untuk menghasilkan produksi uap. Peningkatan kalor tersebut tidak akan meningkatkan hasil produksi bahkan dapat mengakibatkan “*overheat*” terhadap pipa-pipa ketel tersebut.

Perawatan air ketel dilakukan setiap hari atau maksimal 2 hari sekali harus dicatat, dievaluasi dan beberapa harus diberikan penambahan obat bahan kimia atau chemical ketel water treatment. Ada 2 cara yang dapat dilakukan untuk penambahan bahan kimia ini yaitu:

- Secara langsung bahan kimia tersebut dimasukkan ke dalam ketel uap melalui sistem tabung sirkulasi khusus untuk memasukkan bahan kimia ke dalam ketel uap yang sedang bekerja.
- Secara tidak langsung bahan kimia tersebut dimasukkan terlebih dahulu ke dalam bak penampungan pengisian air ketel (*cascade tank*) kemudian melalui pompa bersama-sama pengisian air masuk ke dalam ketel uap. Cara ini kurang efektif karena sebagian bahan kimia masih tertinggal di dalam bak air pendingin.

8.4 Rangkuman

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian ketel uap adalah penggunaan alat pelindung diri (APD), pemeriksaan sebelum pengopakan, pengisian air ketel uap, pemeriksaan penunjang operasi ketel uap, pengopakan awal, pemeriksaan awal setelah pengopakan, pemeriksaan lanjutan bahan bakar MFO, pemeriksaan setelah pembakaran bekerja normal, tahapan mematikan pengopakan ketel (*cooling down*).



Perawatan ketel uap yang dapat dilakukan adalah perawatan untuk mencegah ledakan di dalam dapur ketel uap, perawatan untuk mencegah kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap, perawatan untuk mencegah kebakaran di bawah ketel uap, perawatan air ketel untuk mencegah penebalan pipa-pipa sirkulasi air.

8.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan tahapan yang dilakukan sebelum pengopakan pada ketel uap!
2. Jelaskan tahapan pengopakan awal pada ketel uap!
3. Jelaskan tahapan pemeriksaan setelah proses pengopakan awal pada ketel uap!
4. Jelaskan tindakan perawatan agar tidak terjadi kebocoran pada pipa-pipa air di dalam ketel uap!
5. Jelaskan metode perawatan pada air ketel !

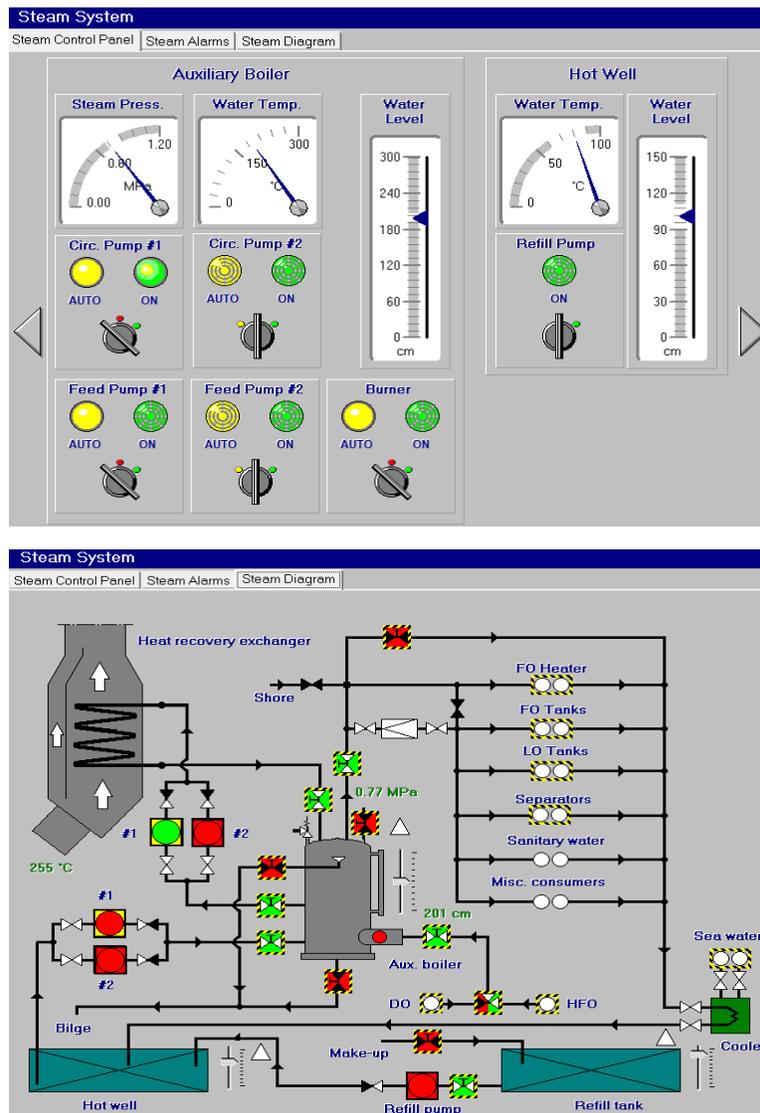
8.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 7 ini, masing-masing taruna ditugaskan mengoperasikan ketel uap bantu dengan menggunakan simulator *virtual engine room* “*free student version*”
 - a. Mengisi air pada tangki *hot well*
 - b. Mengisi air pada ketel uap bantu
 - c. Proses *start* ketel uap bantu
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. Simulator *virtual engine room* (*software* dapat di *download* di http://www.drkluj.com/download/ver_free_install.zip)
 - c. Panduan *virtual engine room* (dapat di *download* di https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44505601/Ver_Free_Guide.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Ex)

[pires=1553560448&Signature=GpAq4sso1YUFLI3frAS56ICN%2F3o%3D](https://www.scribd.com/document/1553560448/Signature=GpAq4sso1YUFLI3frAS56ICN%2F3o%3D)

3. Cara kerja

- a. Membuka aplikasi *virtual engine room* pada komputer
- b. Melakukan semua prosedur dan *check list* sesuai dengan tujuan praktikum seperti yang ditampilkan pada Gambar 33.



Gambar 34. *Display steam control panel dan steam diagram pada virtual engine room saat running.*



- c. Membuat laporan pengoperasian ketel bantu yang telah dilakukan (diketik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat
4. Hasil

Tabel 6. Tahapan pengoperasian ketel bantu dan *check list*

No	Tahapan pengoperasian	Check list	Penilaian		
			Baik	Cukup	Kurang
Pengisian Tangki <i>Hot Well</i> Ketel Uap					
1.	Katup hisap pompa pengisian <i>hot well</i> harus dibuka				
2.	<i>Switch</i> pompa pengisian <i>hot well</i> harus diatur pada posisi ON				
3.	Menunggu sampai <i>hot well</i> hampir penuh				
4.	<i>Switch</i> pompa pengisian <i>hot well</i> diatur pada posisi OFF setelah pengisian				
Pengisian Air Umpan pada Ketel Bantu					
1.	Katup ventilasi ketel bantu harus harus dibuka				
2.	Katup saluran masuk ketel bantu No. 1 harus dibuka				
3.	<i>Switch</i> pompa pengisian ketel bantu No. 1 harus diatur pada posisi ON				
4.	Menunggu sampai level air				

	di dalam ketel pada batasan normal				
5.	<i>Switch</i> pompa pengisian ketel bantu No.1 harus diatur pada posisi <i>OFF</i> setelah proses pengisian				
Proses <i>Start</i> Ketel Bantu					
1.	Katup <i>inlet</i> bahan bakar pada ketel uap harus dibuka				
2.	<i>Switch</i> pompa pengisian ketel bantu No.1 harus diatur pada posisi <i>AUTO</i>				
3.	<i>Switch</i> pembakaran ketel bantu harus diatur pada posisi <i>AUTO</i>				
4.	Menunggu sampai tekanan uap di dalam ketel mulai naik				
5.	Katup ventilasi ketel bantu harus harus ditutup				
6.	Menunggu sampai tekanan uap di dalam ketel pada kondisi batas normal				

5. Kesimpulan

.....

.....

.....

.....



8.7 Tes Formatif 7

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

1. Pengetesan air ketel terhadap keasaman, basa dan kandungan garam, dan kondisi air ketel merupakan tahapan ketel uap pada tahap
 - a. Pemeriksaan sebelum pengopakan
 - b. Pengisian air ketel uap
 - c. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap
 - d. Pengopakal awal
2. Persiapan instalasi kelistrikan pada panel ketel uap dengan memastikan semua indikator pada panel bekerja dengan baik merupakan tahapan ketel uap pada tahap
 - a. Pemeriksaan sebelum pengopakan
 - b. Pengisian air ketel uap
 - c. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap
 - d. Pengopakal awal
3. Prosedur pembakaran awal dilakukan dengan menggunakan bahan bakar *marine diesel oil* (MDO) secara manual yang benar adalah
 - a. ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop
 - b. ± 10 menit bakar dan ± 5 menit stop
 - c. ± 15 menit bakar dan ± 10 menit stop
 - d. ± 10 menit bakar dan ± 15 menit stop
4. Posisi katup pada tahapan persiapan yang berhubungan dengan ruang uap sebelum pengopakan harus ditutup adalah
 - a. Katup utama
 - b. Katup manometer
 - c. Katup cerat udara
 - d. Katup gelas penduga sisi uap
5. Besarnya tekanan kerja normal untuk uap jenuh dari hasil pembakaran untuk ketel uap induk adalah

- a. 10-12 atm
 - b. 12-16 atm
 - c. 16-20 atm
 - d. 20-24 atm
6. Bahan bakar apa yang digunakan pada pengopakan awal dari ketel uap
- a. *Marine Diesel Oil (MDO)*
 - b. *Marine Fuel Oil*
 - c. *High Speed Diesel (HSD)*
 - d. LPG
7. Apakah yang menjadi penyebab ledakan di dalam dapur pada ketel
- a. Kebocoran pada pipa-pipa air
 - b. Pembakaran awal yang tidak sempurna
 - c. Suplai udara yang baik pada dapur
 - d. Pembakaran yang berlangsung sempurna
8. Setiap gagal pembakaran, *blow up* harus dijalankan dengan waktu minimum 5 menit, bila diperlukan diulang kembali merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
- a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar
9. Perawatan pada alat pengaman "*lower water level alarm*" dan "*lower water level trip off*" dilakukan setiap saat untuk mengecek peralatan tersebut masih bekerja baik atau sudah rusak merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
- a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar



10. Menjaga kebersihan seluruh permukaan lantai di bawah badan ketel uap dari genangan minyak, kotoran minyak, kain-kain majun bekas yang berminyak atau bahan-bahan yang mudah terbakar merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
- a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar



IX. KEGIATAN BELAJAR 8

9.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 8 ini adalah “**Pengoperasian dan Perawatan Turbin Uap**”.

9.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 5 ini adalah:

1. Taruna mampu menjelaskan cara pengoperasian turbin uap.
2. Taruna mampu menjelaskan cara perawatan turbin uap.

9.3 Uraian Materi

1. Pengoperasian Turbin Uap

Untuk mengoperasikan turbin uap, ada tiga tahapan yang harus dilakukan yaitu:

a. Tahap persiapan

Sebelum menghidupkan turbin uap, perlu dilakukan persiapan antara lain:

- Menjalankan *stand by lube oil pump*.
- Memutar rotor turbin dengan *turning gear*.
- Menjalankan *turning gear* selama kurang lebih 15 menit, dengan memperhatikan tekanan minyak pelumasan.
- Mencerat sisa air kondensat di dalam sistem rumah turbin dan membuka sedikit katup uap pemanas rumah turbin, agar turbin kalor dan bebas dari air kondensat, kemudian menutup katup uap pemanas.
- Membuka sedikit katup uap olah gerak (*manuvering valve*) untuk memeriksa kelancaran bekerjanya turbin, agar rotor bergerak sedikit dan kemudian menutup kembali katup.

- Menjalankan pompa sirkulasi kondensor utama, untuk membersihkan air kondensat dan uap bekas yang tertinggal di dalam sistem.
 - Menjalankan *ejector pump* agar kondensor tetap vakum, untuk meringankan bekerjanya rotor turbin.
 - Memeriksa kelancaran *main stop valve* dari ketel uap dan kelancaran *throttling valve system*.
 - Memeriksa peralatan pengaman.
- b. Tahap menghidupkan
- Menjalankan *main turbine*.
 - Menaikkan putaran secara bertahap.
 - Memeriksa semua *instrument inside & outside control room* yang bekerja harus dalam kondisi normal.
 - Mengisi *engine log book*.
- c. Tahap mematikan
- Menutup semua *manuvering valve* dan *ketel main stop valve*.
 - Menjalankan *stand by lube oil pump* dan *turning gear* selama kurang lebih 15 menit, untuk menjaga kondisi sudu-sudu turbin dari perubahan kalor.
 - Pompa air laut pendingin kondensor tetap dijalankan selama 30 menit sampai *vacuum meter* menunjukkan 0 cmHg.
 - Menghentikan *ejector pump* dan *condensate pump*.



2. Perawatan Turbin Uap

Perawatan periodik turbin uap ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Perawatan turbin uap

Periode	Uraian Pemeliharaan
Harian	<ul style="list-style-type: none">• Mengecek oli dan tambah apabila perlu.• Memeriksa temperatur bantalan dan oli lubrikasi.• Mengecek putaran turbin.• Memeriksa kelancaran operasional, serta selidiki perubahan kondisi operasional yang tiba-tiba atau kebisingan yang tidak biasa.• Apabila dilakukan shutdown secara harian, maka tes katup trip dengan jalan menurunkan tangkai trip tangan.
Mingguan	Mencoba katup trip untuk mencegah terjadinya capuk karena endapan atau korosi. Jika pada suatu jadwal operasi yang berkesinambungan, coba katup trip dengan menurunkan lengan trip tangan. Setel kembali jika putaran turbin menurun mendekati 80 % putaran yang diizinkan (<i>rated speed</i>).
Bulanan	<ul style="list-style-type: none">• Memeriksa sampel oli lubrikasi dan apabila perlu diperbaharui.• Memeriksa sambungan governor dan mengganti bagian yang rusak.• Memeriksa trip kecepatan lebih, dengan menaikkan putaran turbin, jika beban dibebaskan.
Tahunan	<ul style="list-style-type: none">• Mengukur dan mengatur semua <i>clearance</i>.• Membongkar dan membersihkan <i>strainer</i> uap. <i>Strainer</i> dapat dibersihkan setiap enam bulan.

	<ul style="list-style-type: none"> • Memeriksa katup pengatur <i>governor</i> dan dudukan katup. • Membersihkan dan memeriksa katup trip. • Membersihkan dan memeriksa trip kecepatan lebih dan sambungannya. • Mengecek bantalan dukung dan bantalan rotor, jika aus ganti. • Memeriksa dan membersihkan reservoir oli rumah bantalan dan ruang pendingin. • Mengangkat katup rumah turbin dan memeriksa poros rotor, cakra, sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak serta tutupnya (<i>shrouding system</i>) • Memeriksa cincin karbon, dan menggantinya apabila perlu. • Memindahkan rakitan rotor (<i>rotor assembly</i>) dari rumah turbin dan memeriksa ring <i>nozzle</i>, dan sudu-sudu pemandu (pada turbin curtis). • Memeriksa kerja katup pengawal (<i>sentrel valve</i>). • Mengatur dan cek trip kecepatan lebih, apabila turbin dioperasikan kembali.
--	--

9.4 Rangkuman

Pengoperasian turbin uap dapat dilakukan dari tahap persiapan, menghidupkan dan mematikan turbin. Perawatan ketel uap yang dapat dilakukan adalah perawatan untuk mencegah ledakan di dalam dapur ketel uap, perawatan untuk mencegah kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap, perawatan untuk mencegah kebakaran di bawah ketel uap, perawatan air ketel untuk mencegah penebalan pipa-pipa sirkulasi air. Untuk perawatan turbin uap dapat dilakukan secara periodik baik perawatan harian, mingguan, bulanan, dan tahunan.



9.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan tahapan persiapan pengoperasian turbin uap!
2. Jelaskan tahapan start turbin uap!
3. Jelaskan tahapan mematikan/shutdown turbin uap!
4. Jelaskan perawatan harian yang dilakukan pada turbin uap!
5. Jelaskan perawatan Tahunan yang dilakukan pada turbin uap!

9.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 8 ini, masing-masing kelompok ditugaskan untuk menjelaskan tahapan pengoperasian turbin uap generator (*power plant*) berdasarkan SKKNI Kode Unit KTL.PO22.221.01 (KEPMEN tenaga kerja dan transmigrasi RI No. KEP.249/MEN/XII/2008)
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. KEPMEN tenaga kerja dan transmigrasi RI No. KEP.249/MEN/XII/2008
3. Cara Kerja
 - a. Membaca panduan SKKNI Kode Unit KTL.PO22.221.01 (KEPMEN tenaga kerja dan transmigrasi RI No. KEP.249/MEN/XII/2008) tentang tahapan pengoperasian turbin uap generator
 - b. Mendiskusikan dengan kelompok mengenai standar operasional prosedur pengoperasian turbin uap (SKKNI dilengkapi dengan contoh SOP pengoperasian turbin)
 - c. Membuat laporan hasil diskusi (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat

4. Hasil

Setiap kelompok mendiskusikan mengenai pengoperasian turbin uap berdasarkan SKKNI Kode Unit KTL.PO22.221.01 (KEPMEN tenaga kerja dan transmigrasi RI No. KEP.249/MEN/XII/2008) dilengkapi dengan contoh SOP.

5. Kesimpulan

.....
.....
.....
.....

9.7 Tes Formatif 8

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

1. Berikut ini yang merupakan tahapan persiapan pengoperasian turbin kecuali
 - a. Menjalankan *stand by lube oil pump*.
 - b. Memutar rotor turbin dengan *turning gear*.
 - c. Menjalankan *turning gear* selama kurang lebih 15 menit, dengan memperhatikan tekanan minyak pelumasan.
 - d. Menutup semua *manuvering valve* dan *ketel main stop valve*.
2. Alat apa yang digunakan untuk memutar rotor turbin sebelum turbin di jalankan
 - a. *Timing gear*
 - b. *Turning gear*
 - c. *Throttling valve*
 - d. *Ejector pump*
3. Yang bukan merupakan tahapan menghidupkan turbin adalah
 - a. Memeriksa peralatan pengaman
 - b. Menjalankan *main turbine*.



- c. Meningkatkan putaran secara bertahap.
 - d. Mengisi *engine log book*.
4. Alasan *stand by lube oil pump* dan *turning gear* selama kurang lebih 15 menit pada tahapan mematikan turbin adalah
- a. Untuk menjaga kondisi poros dari perubahan tekanan
 - b. Untuk menjaga kondisi tabung pancar dari perubahan tekanan
 - c. Untuk menjaga kondisi tabung pancar dari perubahan tekanan
 - d. Untuk menjaga kondisi sudu-sudu turbin dari perubahan kalor.
5. Berapa lama waktu yang direkomendasikan untuk menjalankan pompa air laut pendingin kondensor sampai *vacuum meter* menunjukkan 0 cmHg pada tahap mematikan turbin
- a. 1 jam
 - b. ½ jam
 - c. 2 jam
 - d. 1 ½ jam
6. Mencoba katup trip untuk mencegah terjadinya capuk karena endapan atau korosi. adalah tindakan perawatan
- a. Harian turbin
 - b. Mingguan turbin
 - c. Bulanan turbin
 - d. Tahunan turbin
7. Mengangkat katup rumah turbin dan memeriksa poros rotor, cakra, sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak serta tutupnya (*shrouding system*) adalah tindakan perawatan
- a. Harian turbin
 - b. Mingguan turbin
 - c. Bulanan turbin
 - d. Tahunan turbin

8. Yang tidak termasuk perawatan harian pada turbin uap adalah
 - a. Memeriksa sambungan governor dan mengganti bagian yang rusak.
 - b. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
 - c. Memeriksa temperatur bantalan dan oli lubrikasi.
 - d. Mengecek putaran tubin.
9. Yang bukan merupakan perawatan bulanan pada turbin yaitu
 - a. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
 - b. Memeriksa sampel oli lubrikasi dan apabila perlu diperbaharui.
 - c. Memeriksa sambungan governor dan mengganti bagian yang rusak.
 - d. Memeriksa trip kecepatan lebih, dengan menaikkan putaran turbin, jika beban dibebaskan.
10. Tindakan perawatan rutin tahunan di bawah ini yang benar adalah
 - a. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
 - b. Memeriksa temperatur bantalan dan oli lubrikasi.
 - c. Mengecek putaran tubin.
 - d. Membersihkan dan memeriksa katup trip.



X. KEGIATAN BELAJAR 9

10.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 9 ini adalah “**Pengertian, Prinsip Kerja, serta penggunaan Turbin Gas**”.

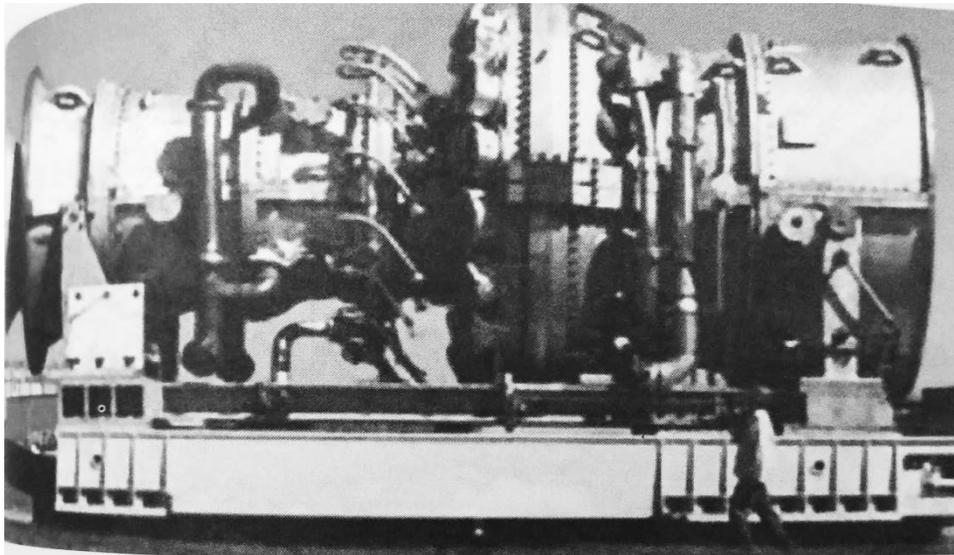
10.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 10 ini adalah:

1. Taruna mampu menjelaskan pengertian dan prinsip kerja turbin gas;
2. Taruna mampu menjelaskan penggunaan turbin gas di kapal.

10.3 Uraian Materi

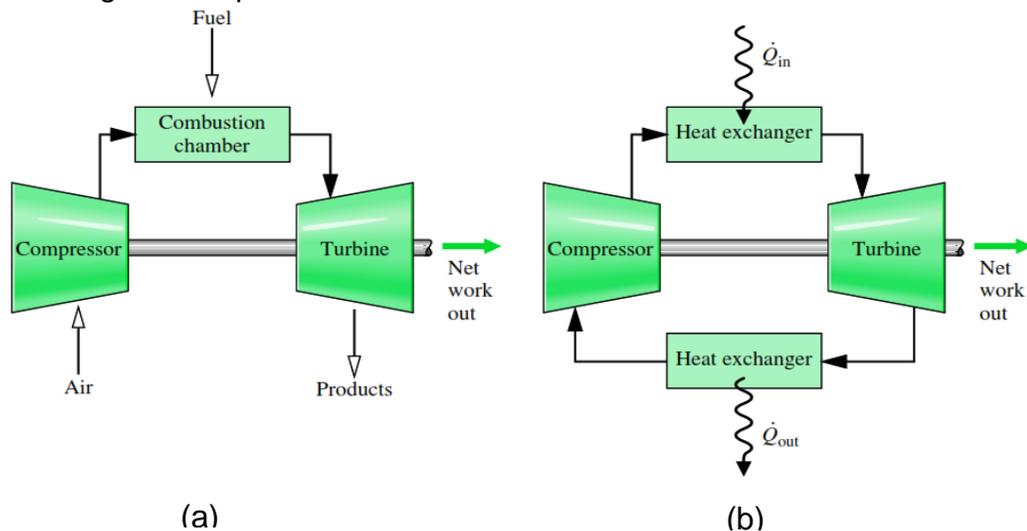
1. Pengertian dan Prinsip Kerja Turbin Gas



Gambar 35. Turbin gas penggerak utama kapal (Handoyo, 2015).

Turbin gas adalah sebuah turbin yang digerakkan oleh gas pembakaran bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang keluar dari ruang pembakaran yang dialirkan ke turbin gas melalui *nozzle* atau sudu

antar yang berfungsi untuk mengarahkan aliran gas ke sudu-sudu pada roda jalan (*rotor*) sehingga turbin gas berputar. Turbin gas ini biasa digunakan sebagai penggerak utama kapal. Gambar 35 menunjukkan salah satu contoh turbin gas penggerak utama kapal. Turbin gas dapat dioperasikan baik secara terbuka maupun tertutup. Gambar 36. (a) menunjukkan model turbin gas terbuka. Kompresor menghisap udara atmosfer ke dalam turbin untuk dikompresi menjadi udara bertekanan dan digunakan dalam proses pembakaran. Udara bertekanan masuk ke ruang pembakaran (*combuster*) yang akan dicampur dengan bahan bakar sehingga proses pembakaran terjadi. Hasil pembakaran tereksansi di dalam turbin untuk memutar sudu-sudu turbin. Sebagian kerja dari turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor, sedangkan yang lain digunakan untuk memutar poros baling-baling ataupun generator listrik kapal. Gambar 36. (b) Menunjukkan turbin gas sistem tertutup dimana fluida kerja menerima energi input dari sumber kalor eksternal di alat penukar kalor, contohnya gas pendingin reaktor nuklir. Gas yang keluar dari turbin didinginkan pada alat penukar kalor sebelum kembali lagi ke kompresor.

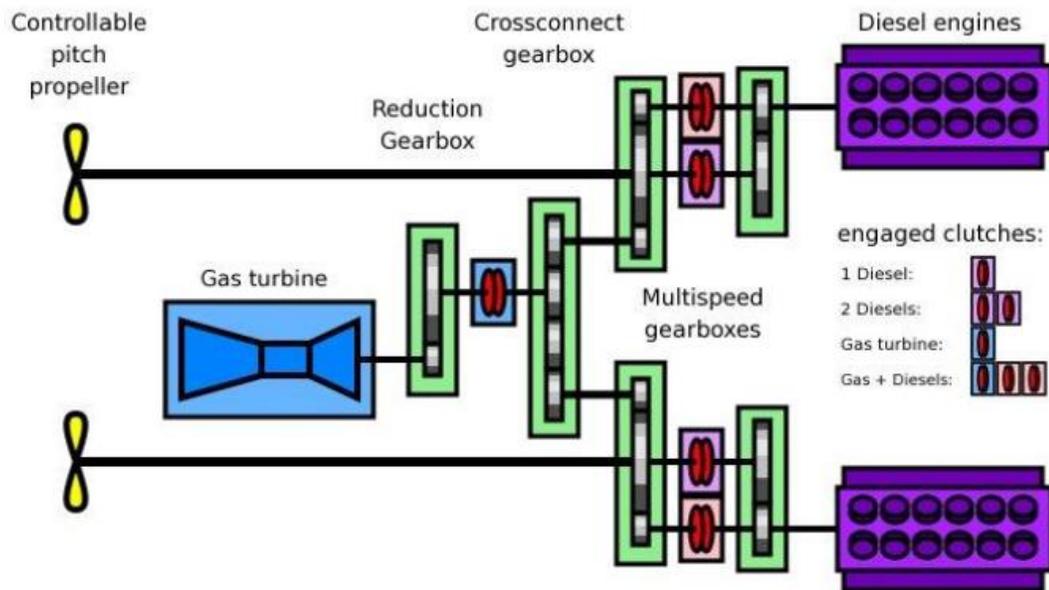


Gambar 36. Gas turbin sistem (a) terbuka (b) tertutup (Moran & Shapiro, 2006).



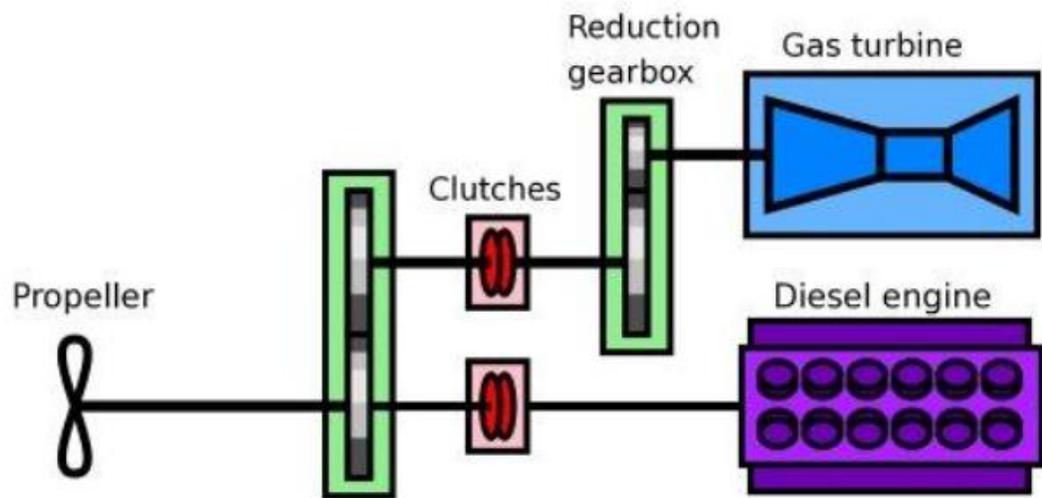
2. Penggunaan Turbin Gas di Kapal

CODAG (*combined cycle diesel and gas turbine*) atau siklus kombinasi antara motor diesel dan turbin gas ditunjukkan pada Gambar 37. CODAG digunakan untuk memutar baling-baling kapal. Motor diesel digunakan dalam operasi berdaya rendah sedangkan turbin gas pada saat pengoperasian berdaya tinggi.

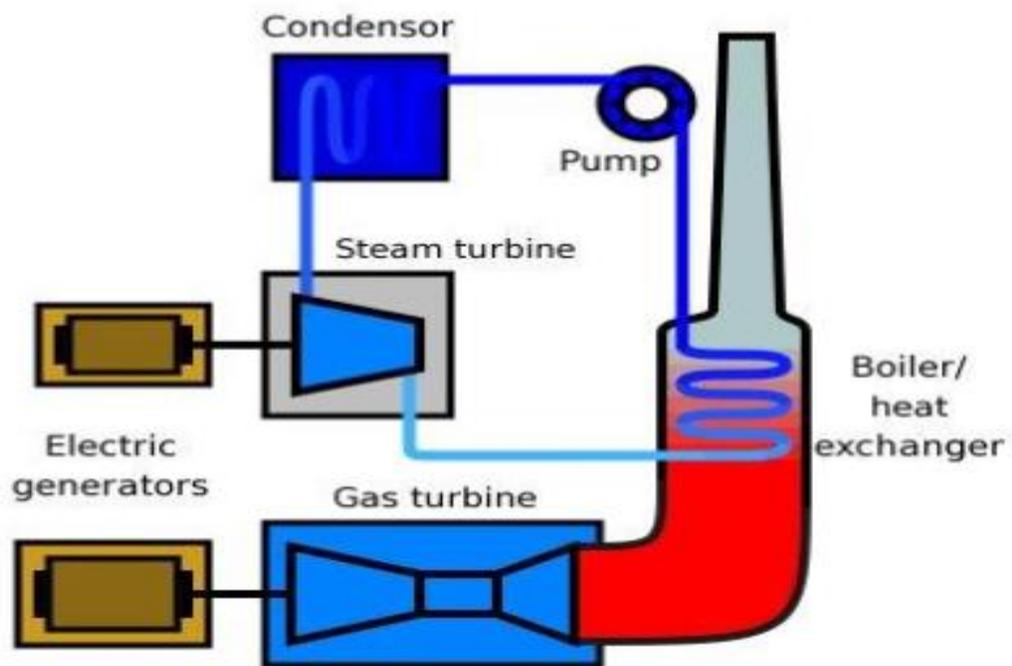


Gambar 37. Sistem penggerak utama kapal model CODAG (*combined cycle diesel and gas turbine*) (Kayadelen & Üst, 2013).

Pada sistem penggerak utama kapal yang menggunakan sistem CODOG (*combined cycle diesel or gas turbine*), setiap baling-baling kapal digerakkan oleh satu motor diesel dan turbin gas untuk kecepatan tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 38. Turbin gas dan motor diesel hanya dapat beroperasi secara terpisah dengan pengaturan *gearbox*. Turbin gas yang berukuran lebih besar digunakan saat daya puncak seperti yang digunakan kapal militer dengan kecepatan lebih tinggi daripada kecepatan jelajahnya.



Gambar 38. Sistem penggerak utama kapal model CODOG (Kayadelen & Üst, 2013)



Gambar 39. Sistem penggerak utama kapal model COGAS (Kayadelen & Üst, 2013).



Combined gas and steam (COGAS) adalah nama yang diberikan untuk pembangkit listrik di kapal yang terdiri dari turbin gas dan uap. Gas hasil pembakaran dari turbin gas digunakan untuk membangkitkan uap untuk memutar turbin uap. Dengan cara ini, sebagian energi yang terbuang dari turbin gas dapat dimanfaatkan kembali seperti ditunjukkan pada Gambar 39 untuk memutar generator listrik di kapal.

10.4 Rangkuman

Turbin gas adalah sebuah turbin yang digerakkan oleh gas pembakaran bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang keluar dari ruang pembakaran yang dialirkan ke turbin melalui *nozzle* atau sudu antar yang berfungsi untuk mengarahkan aliran gas ke sudu-sudu pada roda jalan (rotor) turbin sehingga turbin gas berputar. Turbin gas mempunyai tipe yaitu sistem terbuka dan tertutup. Turbin gas sistem terbuka menggunakan udara yang dikompresi dari luar untuk proses pembakaran dengan bahan bakar di ruang pembakaran. fluida kerja pada turbin gas sistem tertutup menerima energi kalor eksternal pada alat penukar kalor. Turbin gas ini biasa digunakan sebagai penggerak utama kapal atau pembangkit daya listrik di atas kapal. *Combined cycle diesel and gas turbine* (CODAG) dan *combined cycle diesel or gas turbine* (CODOG) digunakan untuk menggerakkan baling-baling kapal. Sedangkan *combined gas and steam* (COGAS) digunakan untuk memutar generator sebagai pembangkit daya listrik kapal.

10.5 Penugasan Teori

1. Jelaskan pengertian dari turbin gas!
2. Jelaskan perbedaan antara turbin gas sistem terbuka dan tertutup!
3. Jelaskan cara kerja *combined cycle diesel and gas turbine* (CODAG) untuk penggerak utama kapal!
4. Jelaskan cara kerja *combined cycle diesel or gas turbine* (CODOG) untuk penggerak utama kapal!

5. Jelaskan cara kerja *combined gas and steam* (COGAS) untuk pembangkit daya listrik kapal!

10.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 9 ini, masing-masing taruna ditugaskan menggambarkan skema dan meguraikan penjelasan skema mengenai
 - a. *combined cycle diesel and gas turbine* (CODAG)
 - b. *combined cycle diesel or gas turbine* (CODOG)
 - c. *combined gas and steam* (COGAS)
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. *Microsoft visio* (*software* untuk menggambar skema)
 - c. Buku/artikel jurnal
3. Cara kerja
 - a. Taruna mencari referensi di berbagai artikel maupun buku yang relevan.
 - b. Membuat skema sistem sesuai dengan tujuan poin (a), (b), dan (c) pada komputer menggunakan *Microsoft visio* ataupun *software* gambar teknik yang lain.
 - c. Membuat laporan dengan menguraikan gambar/skema sistem yang telah dibuat (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan *time news roman* ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat
4. Hasil
Berisikan Gambar skema dan uraian disertai dengan referensinya.
5. Kesimpulan

.....

.....

.....



10.7 Tes Formatif 9

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini :

1. Komponen turbin gas yang berfungsi untuk mengompresi udara untuk proses pembakaran adalah
 - a. Kompresor
 - b. Ruang pembakaran
 - c. *Nozzle*
 - d. *Heat exchanger*
2. Bagian yang digunakan dalam proses pembakaran pada turbin gas adalah
 - a. Kompresor
 - b. Ruang pembakaran (*combustor*)
 - c. *Nozzle*
 - d. *Heat exchanger*
3. Energi kalor eksternal yang dapat digunakan memanaskan fluida kerja pada turbin gas sistem tertutup adalah
 - a. Gas hasil pembakaran motor diesel
 - b. Gas hasil pembakaran motor bensin
 - c. Energi kalor dari uap turbin uap
 - d. Gas pendingin reaktor nuklir
4. Komponen yang berfungsi sebagai alat penukar kalor dari energi kalor input ke fluida kerja pada turbin gas sistem tertutup adalah
 - a. *Heat Exchanger*
 - b. Sudu jalan
 - c. Kompresor
 - d. *Nozzle*
5. Selain menghasilkan kerja untuk penggerak utama kapal atau sebagai penggerak generator, energi generator juga digunakan untuk

kebutuhan sistem pada turbin gas itu sendiri yaitu untuk menggerakkan.....

- a. *Heat Exchanger*
- b. Sudu jalan
- c. Kompresor
- d. *Nozzle*

6. Sistem penggerak utama kapal model CODAG adalah kombinasi antara.....

- a. Motor *diesel* dan motor bensin
- b. Motor *diesel* atau turbin gas
- c. Motor *diesel* dan turbin gas
- d. Motor *diesel* dan turbin uap

7. Sistem penggerak utama kapal model CODOG adalah kombinasi antara

- a. Motor *diesel* atau turbin gas
- b. Motor *diesel* dan turbin gas
- c. Motor *diesel* dan turbin uap
- d. Turbin gas dan turbin uap

8. Sistem penggerak generator listrik kapal model COGAS adalah kombinasi antara

- a. Motor *diesel* atau turbin gas
- b. Motor *diesel* dan turbin gas
- c. Motor *diesel* dan turbin uap
- d. Turbin gas dan turbin uap

9. Model penggerak utama kapal di mana turbin gas dan motor *diesel* hanya dapat beroperasi secara terpisah dengan pengaturan *gearbox*.

- a. CODOG
- b. CODAG
- c. COGAS
- d. Semua benar



10. Sumber energi kalor untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit daya listrik model COGAS adalah
- a. Energi kalor dari pending reaktor nuklir
 - b. Gas hasil pembakara motor diesel
 - c. Gas hasil pembakaran turbin gas
 - d. Semua salah



XI. KEGIATAN BELAJAR 10

11.1 Judul

Judul untuk kegiatan belajar 10 ini adalah **“Pengoperasian dan Perawatan Turbin Gas”**.

11.2 Indikator

Indikator dari pelaksanaan kegiatan belajar 11 ini adalah:

1. Taruna mampu mengoperasikan turbin gas;
2. Taruna mampu merawat turbin gas di kapal.

11.3 Uraian Materi

1. Pengoperasian turbin gas
 - a. Secara umum jika ada kondisi yang dipertanyakan, tidak diperbolehkan mengoperasikan turbin gas sampai investigasi keseluruhan dilakukan. Tidak diperbolehkan melakukan restart setelah start awal, *stall* pada kompresor, atau masalah lainnya tanpa dilakukan investigasi terlebih dahulu. Kegagalan dapat mengakibatkan tekanan yang tidak normal pada komponen turbin gas, seperti kegagalan destruktif langsung atau seara terus menerus dari turbin gas.
 - b. *Motoring*. Selama motoring, sistem pasokan bahan bakar harus menyediakan bahan bakar bertekanan ke pompa bahan bakar untuk mencegah kerusakan pompa.
 - c. Starting. Shutdown turbin gas jika ada kebocoran bahan bakar atau oli terdeteksi. Maupun tidak ada indikasi tekanan oli.
 - d. Pemadam Api. Jika pemadam api Halon digunakan di kompartemen turbin gas, turbin gas eksterior harus dibersihkan sebelum pengoperasian lanjutan.

2. Pengecekan *prestart*

Secara umum, pengecekan sistem *prestart* dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Pengecekan sistem *prestart*

No	Kondisi	Kebutuhan
1	Sistem deteksi pengapian	ON
2	Sistem suplai starter hidrolik	Siap
3	Katup suplai bahan bakar	Terbuka
4	Pompa penyuplai bahan bakar	ON
5	Katup <i>Shutoff</i> bahan bakar turbin gas	Tertutup
6	Ventilasi udara masuk	
	<i>Fan</i>	ON
	<i>Fan damper</i>	Terbuka
	<i>Fan bypass damper</i>	Tertutup
7	Level oli pada tangki	Penuh
8	Temperatur oli pelumas	Minimum 4°C
9	Suplai air pencuci	Tertutup

(Sumber: MATEIUELKOMMANDO, 1997)

3. Prosedur *Motoring*

A. Kondisi kering (tanpa bahan bakar)

a. Melakukan pengecekan pada Tabel 8.

Bahan bakar tidak diperbolehkan masuk ke turbin gas selama proses *motoring*, Jika bahan bakar mengalir ke dalam turbin gas. Bahan bakar dibersihkan dengan menggerakkan turbin gas selama 60 (katup *shutoff* turbin gas tertutup). Memastikan selama proses *motoring*, sistem bahan bakar harus beroperasi



- untuk mencegah pompa bahan bakar turbin gas dalam kondisi kering saat *running*.
- b. Melakukan *motoring* turbin gas dengan *starter* untuk mencapai kecepatan motor maksimum.
 - c. Penjurnalan
 - Kecepatan *rotor* generator gas.
 - Tekanan suplai hidrolik untuk *start*.
 - Tekanan oli.
 - d. Pengecekan untuk
 - Kebocoran fluida;
 - Suara gesekan yang tidak normal.
 - e. Melakukan pengecekan suara yang tidak normal dan mencatat waktu keluar gas generator (XN_2) setelah proses *motoring* selesai
- B. Kondisi basah (dengan bahan bakar)
- a. Melakukan pengecekan pada Tabel 8. Memastikan sirkuit penyalan tetap dinonaktifkan selama prosedur ini.
 - b. Melakukan *motoring* Turbin gas dengan starter untuk mencapai kecepatan motor maksimum.
 - c. Ketika kecepatan stabil, katup *shutoff* bahan bakar dibuka.
 - d. Ketika tekanan bahan bakar stabil, dilakukan pencatatan mengenai
 - Tekanan *manifold* bahan bakar.
 - Kecepatan *rotor* generator gas
 - Tekanan suplai hidrolik untuk *start*.
 - Tekanan oli.
 - Temperatur bahan bakar.
 - e. Menutup katup *shutoff* bahan bakar.
 - f. Melakukan pengecekan untuk

- Kebocoran fluida;
 - Suara gesekan yang tidak normal.
- g. Melakukan *motoring* lanjutan selama 60 detik untuk mengeluarkan bahan bakar.
- h. Melakukan pengecekan suara yang tidak normal dan mencatat waktu keluar gas generator (XN₂) setelah proses *motoring* selesai

4. Prosedur *Starting*

- a. Melakukan pemeriksaan prestart yang tercantum dalam Tabel 8.
- b. Mengikuti batasan-batasan berikut ini yang dilakukan selama proses *start* untuk melindungi turbin gas. Jika ada batasan yang tidak sesuai, batalkan proses *starting* sesegera mungkin.
- *Rotor* generator gas harus mencapai 1200 rpm setelah 5 detik proses *starting*.
 - Temperatur *inlet* turbin daya harus mencapai 200 °C setelah 40 detik pembukaan katup *shutoff* bahan bakar.
 - *Rotor* generator gas harus mencapai 9500 rpm setelah 45 detik proses *starting*.
- c. Untuk *startup* normal. urutan kejadian berikut harus dipatuhi:
- Melakukan *reset alarm* dan saklar.
 - Menghidupkan *starter*.
 - Pada kecepatan *rotor* generator gas 1200 rpm, hidupkan sistem pengapian dan membuka katup *shutoff* bahan bakar.
 - Pada kecepatan *rotor* generator gas 9500 rpm matikan sistem pengapian dan mematikan *starter*.
 - Ketika turbin gas pada kondisi stasioner, pengaturan sistem kontrol untuk pengoperasian normal.



- Sebelum mempercepat di atas kondisi stasioner, harus dipastikan semua parameter turbin gas berada dalam kisaran operasi normal dan tidak ada kondisi di luar batasnya.

5. Pengoperasian normal

a. Rentang dan batas pengoperasian normal pada turbin gas ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rentang dan batas pengoperasian normal turbin gas

No	Hal	Nilai	Keterangan
1	Secara umum		
1.1	Kecepatan fisik (Cat : XN2R = Kecepatan generator gas terkoreksi, XN2 = Kecepatan generator gas fisik)		
1.1.1	<i>Rotor generator gas</i>		
1.1.1.a	Idle XN2 Idle XN2R	11.000 - 11.500 rpm 11.200 rpm	Rentang kecepatan khusus Kecepatan nominal
1.1.1.b	Batas pengoperasian XN2 XN2R	17.600 rpm 17.200 rpm	Nilai Maksimum
1.1.1.c	Batas <i>shutdown</i> XN2R	17.700 - 17.900 rpm	<i>Overspeed trip setpoint</i>
1.1.1.d	Batas <i>overspeed</i> XN2	18.150 rpm	Pemeriksaan generator gas dibutuhkan
1.1.2	Poros turbin daya (XNSD)		
1.1.2.a	Batas operasi	7.500 rpm	Nilai maksimum
1.1.2.b	Batas alarm	7.300 rpm	<i>Setpoint alarm</i>
1.1.2.c	<i>Batas overspeed</i>	7.650 - 7.750 rpm 7.826 rpm	<i>Overspeed trip setpoint</i> Setiap rpm yang diamati/dicurigai



			melebihi batas membutuhkan pemeriksaan turbin daya
1.1.3	<i>Rotor</i> terkunci	Maksimum 14 menit pada kondisi <i>idle</i>	
1.2	Temperatur total inlet turbin daya		
1.2.1	Batas pengoperasian	757 - 763 °C	Temperatur maksimal yang diperbolehkan selama start
1.2.2	Nilai maksimum	843 - 849 °C	Batas alarm
1.2.3	Batas <i>Shutdown</i>	860 - 866 °C	<i>Troubleshooting</i> harus dilakukan
1.2.4	Batas temperatur berlebih	885 °C	Pemeriksaan turbin daya harus dilakukan
1.3	Temperatur lingkungan	-54 – 52 °C	Dilarang melakukan pengoperasian turbin gas di luar nilai yang dianjurkan
2	Sistem bahan bakar (bahan bakar cair)		
2.1	Aliran bahan bakar	132 kg/hr – 1.543 kg/hr	Tipe bahan bakar NATO-F-76, MIL-F-1688A
2.2	Tekanan <i>manifold</i> bahan bakar	0 -1.862 kPa	
2.3	Kebocoran	Maksimal 5 cc/menit ketika <i>running</i>	

3	Pelumasan		
3.1	Aliran ke turbin gas	0 – 38 liter/menit	Cocok untuk kecepatan rotor generator gas (XN2)
3.2	Temperatur saat <i>startup</i>	Minimum 4 °C	Pemanasan awal pada oli jika dibutuhkan, dilakukan sebelum start
3.3	Temperatur suplai oli	120 °C	
3.4	Temperatur <i>Scavenge</i>	80 – 155 °C	Normal
		165 – 177 °C selama 15 menit	Batas alarm
		Di atas 177 °C	Batas maksimum
3.5	Tekanan oli turbin gas pada temperatur oli 93 °C Pengukuran tekanan diferensial diantara discharge filter (penghubung pompa) dan tekanan <i>scavenge</i> B-sump buritan kapal		
3.5.1	Kondisi <i>starting</i>	Tekanan oli harus menunjukkan nilai positif selama start dengan nilai tertinggi 689 kPa selama maksimum 2,5 menit	Jika melebihi batas harus dilakukan <i>shutdown</i> turbin dan dilakukan <i>troubleshooting</i>



		ketika pengoperasian pada musim dingin. Tekanan oli harus dikurangi setelah itu	
3.5.2	<i>Idle</i>	241 – 379 kPa	
3.5.3	Di atas kondisi <i>idle</i>	276 – 483 kPa	
3.5.4	Transien	Tekanan oli kondisi transien yang melebihi batas normal dapat terjadi maksimum selama 6 menit, jika selama periode 6 menit, penurunan tekanan kondisi <i>steady</i> terjadi untuk mengembalikan tekanan normal turbin gas	
3.6	Konsumsi oli 0,07 liter/jam		
3.7	Tekanan karter (<i>sump</i>)		

3.7.1	A- <i>sump</i> dan aksesoris <i>gearbox</i>	Lingkungan sampai 28 kPa	
3.7.2	B- <i>sump</i>	Maksimum 379 kPa	
3.7.3	C- <i>sump</i>	Lingkungan sampai 28 kPa	
3.8	Kebocoran oli selama operasi		
3.8.1	Aktuator VG	Maksimum 0,1 cc/menit	Mengisolasi aktuator yang gagal dan menggantinya
3.8.2	A- <i>sump drain</i>	Maksimum 1 cc/menit	Mengecek tekanan <i>sump</i> tinggi, tekanan rendah regulator udara, AGB <i>scavenge</i> yang tidak tepat, banjir pada <i>sump</i> .
3.8.3	Rongga <i>seal</i> aksesoris <i>gearbox</i>	Maksimum 3 cc/jam	
3.8.4	<i>Fitting</i> turbin gas atau penyangga tabung	Tidak boleh terjadi kebocoran	
3.9	Efisiensi filter	Maksimum 10 <i>micron</i> (oli dan oli hidrolik)	
4	Getaran Batas getaran ditampilkan pada nilai satu per revolusi dari rotor yang diindikasikan		
4.1	Lokasi Transduser di anjungan		



	GG	2,5	<i>Setpoint alarm</i>
	GG	3,5	<i>Setpoint shutdown</i>
	PT	3,5	<i>Setpoint alarm</i>
	PT	4,5	<i>Setpoint shutdown</i>
4.2	Lokasi Tranduser di buritan		
	GG	3	<i>Setpoint alarm</i>
	GG	4	<i>Setpoint shutdown</i>
	PT	5	<i>Setpoint alarm</i>
	PT	6	<i>Setpoint shutdown</i>
5	Starting		
	Tidak diperbolehkan melakukan restart sampai rotor generator gas telah dihentikan		
5.1	Waktu dari starter awal ke kondisi <i>idle</i>	Maksimum 90 detik	
5.2	Waktu untuk <i>lightoff</i> dari kondisi <i>starter</i> awal	Maksimum 20 detik	
5.3	Drainase pada <i>seal starter</i>	5 cc/jam	

(Sumber : MATEIUELKOMMANDO, 1997)

- b. Ventilasi udara inlet (pendinginan sekunder) ke ruang turbin gas harus disejajarkan berdasarkan kondisi operasi turbin gas: sebagai berikut:

Tabel 10. Kondisi operasi ventilasi udara inlet turbin gas

Kondisi Operasi	Fan	Fan Damper	Eductor Damper
Kecepatan <i>rotor</i> turbin daya (XNSD) 5.500 rpm	ON	Terbuka	Tertutup
Kecepatan <i>rotor</i> turbin (XNSD) 5.500 rpm	OFF	Terbuka	Terbuka
<i>Fire/Emergency Shutdown</i>	OFF	Tertutup	Tertutup

(Sumber : MATEIUELKOMMANDO, 1997)

6. Kondisi *Running Abnormal*

a. Secara umum

- 1) Jika kondisi turbin gas abnormal terjadi seperti *stall* kompresor, *flameout*, atau temperatur berlebih, *shutdown* turbin gas. Catat durasi dan nilai dari setiap kondisi abnormal. (Lihat Tabel 9 untuk batasan).
- 2) Pada sebagian besar kasus, pengoperasian lanjutan turbin gas diizinkan jika operator telah dapat memulihkan parameter turbin gas dengan batasan nilai alarm atau kondisi abnormal. Pemecahan masalah harus dilakukan sesegera mungkin untuk menemukan penyebab masalah untuk mencegah terulang kembali selama operasi. Penyebab operasi abnormal dapat melibatkan logika kontrol yang omplek dan atau interaksi antara beberapa sistem. Perbaikan harus dilakukan sebelum melakukan operasi kembali.



b. Temperatur berlebih

Dilarang mengoperasikan turbin gas sampai penyebab temperatur berlebih telah dipastikan. Pemeriksaan temperatur berlebih diperlukan.

- 1) Terdapat kondisi temperatur berlebih dan memerlukan pemeriksaan jika:
 - Selama starting, meningkat dengan cepat di atas temperatur 871°C setelah *lightoff*.
 - Setelah rotor generator gas mencapai 8.900 rpm, temperatur melebihi batas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.
- 2) Jika kondisi temperatur berlebih terjadi harus dilakukan *troubleshooting*.

c. Kecepatan berlebih

Dilarang mengoperasikan turbin gas sampai penyebab kecepatan berlebih telah dipastikan dan diperlukan tindakan. Jika tidak, kerusakan turbin gas dapat terjadi.

- 1) Jika kecepatan generator gas atau kecepatan poros turbin daya melebihi batas pada Tabel 9, atau kecepatan berlebih terjadi, *shutdown* turbin gas harus dilakukan.
- 2) Jika batas kecepatan operasi melebihi batas, harus dilakukan *troubleshooting*.

d. *Getaran abnormal*

- 1) Getaran tinggi dapat disebabkan ketidakseimbangan rotor dan pemasangan turbin gas atau penghubung eksternal lainnya yang longgar. Jika batas operasi telah melebihi batas normal pada Tabel 9, harus dilakukan *troubleshooting*.
- 2) Kadang-kadang, dapat dicatat bahwa getaran meningkat sebesar 3 *mils* setelah *shutdown* 1 sampai 2 jam. Penyebab paling mungkin

adalah *thermal rotor bow* sementara karena pendinginan yang tidak merata dari turbin daya atau rotor generator gas. Jika *shutdownnya* singkat (kurang dari 10 menit) atau lama (lebih dari 6 jam).

- 3) *Thermal rotor bow* dapat diidentifikasi dengan mencatat kenaikan tingkat getaran yang menurun secara bertahap dari tingkat nilai getaran sebelumnya sekitar 10 menit pengoperasian turbin gas. Selama getaran berkurang seiring waktu, pengoperasian turbin gas dapat dilanjutkan bahkan jika beberapa batas terlampaui untuk sementara waktu.

e. *Stall* kompresor

- 1) *Stall* kompresor disebabkan oleh gangguan aerodinamis pada pola aliran udara yang mulus melalui kompresor. Peningkatan temperatur yang cepat dan biasanya peningkatan kecepatan (meskipun beberapa *stall* diikuti oleh penurunan kecepatan secara tiba-tiba) adalah indikasi terjadinya *stall*. Perubahan tingkat kebisingan turbin gas juga dapat dicatat.
- 2) Jika *stall* terjadi, tindakan yang dapat dilakukan adalah:
 - Mematikan turbin gas sesegera mungkin. (tidak boleh melakukan restart sampai penyebab *stall* diinvestigasi).
 - Jika melebihi batas pengoperasian, harus dilakukan *troubleshooting*.

f. *Hot Start*

- 1) Jika selama start terjadi peningkatan temperatur yang tidak normal. *Shutdown* turbin gas harus dilakukan sesegera mungkin dan catat nilai temperatur tertinggi. (Nilai temperatur pengoperasian normal dapat dilihat pada Tabel 9).



2) Jika melebihi batas pengoperasian, harus dilakukan *troubleshooting*.

g. *Flameout* (penyalaan secara tiba-tiba)

1) *Shutdown* turbin gas harus dilakukan.

2) Jika melebihi batas pengoperasian, harus dilakukan *troubleshooting*.

h. Tekanan oli *abnormal*

1) Tidak diperbolehkan mengoperasikan turbin gas jika stabilitas nilai tekanan oli melebihi batas pada Tabel 9.

2) Jika melebihi batas pengoperasian, harus dilakukan *troubleshooting*.

i. Aliran bahan bakar *abnormal*

1) Aliran bahan bakar pada turbin gas abnormal jika nilainya melebihi batas pada Tabel 9,

2) Jika melebihi batas pengoperasian, harus dilakukan *troubleshooting*.

7. Prosedur *Shutdown* Normal

a. Prosedur *shutdown* normal harus digunakan untuk semua *shutdown* turbin gas. kecuali untuk turbin gas yang membutuhkan instan *shutdown* untuk mencegah kerusakan signifikan.

b. Untuk *shutdown* normal. urutan langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1) Pengaturan *throttle* (katup penutup) untuk kondisi *idle*.

2) Jalankan turbin gas pada kondisi *idle* selama 5 menit.

3) Setelah 5 menit kondisi *idle*, katup *shutoff* bahan bakar ditutup.

4) Jika temperatur tidak menurun di bawah 200°C dalam 90 detik. Penyelidikan kegagalan harus dilakukan. Jika temperatur melebihi

538 °C. Tindakan yang harus dilakukan setelah proses *shutdown* adalah:

- Memastikan katup *shutoff* bahan bakar ditutup.
- Memutar turbin gas dengan starter sampai temperatur menurun menjadi 316°C atau kurang.

5) Melakukan *shutdown* sistem pendukung turbin gas sesuai kebutuhan.

8. Prosedur *Shutdown* Darurat

Shutdown darurat terjadi ketika sistem kontrol mengalami *shutdown trip* atau ketika katup *shutoff* bahan bakar ditutup sebelum 5 menit periode *idle*. Prosedur *shutdown darurat* adalah sebagai berikut:

- a. Mengamati instrumen penyebab *shutdown*.
- b. Menutup ventilasi *fan* udara mencegah pendinginan eksterior yang tidak teratur.
- c. Jika pengendali rotor tampak normal, turbin gas harus diputar selama 2 menit dan memeriksa kelainannya.
- d. Melakukan troubleshooting dan menemukan penyebab *shutdown*.

9. Perawatan Turbin Gas

Perawatan adalah tindakan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan seperti kerusakan terlalu cepat terhadap semua peralatan di pabrik, baik yang sedang beroperasi maupun yang berfungsi sebagai sluku cadang. Perawatan pada turbin gas selalu bergantung dari faktor-faktor perasional dengan kondisi yang berbeda-beda di setiap wilayah. Semua pabrikan turbin gas telah menetapkan suatu ketetapan yang aman dalam pengoperasian sehingga turbin selalu dalam batas kondisi aman. Suatu kegiatan perawatan yang direncanakan baik itu secara rutin



maupun periodik. Apabila perawatan dilakukan tepat pada waktunya akan mengurangi *downtime* peralatan. Adapun contoh perawatan periodik dari turbin gas dapat dilihat pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Perawatan dan pemeriksaan periodik turbin gas

No	Tindakan Perawatan	Bulanan	Pergantian Mesin	100 Jam Operasi	6 Bulan	12 Bulan
1	Pemeriksaan Inlet turbin gas				X	
2	Pemeriksaan <i>borscope</i>				X	
3	Pemeriksaan <i>exhaust</i> turbin gas				X	
4	Pemeriksaan sistem <i>Variable Stator Vanes</i> (VSV)				X	
5	Permeriksaan <i>chip detektor</i> dan <i>drain plug</i>	X				
6	Pemeriksaan <i>Spectrometric Oil Analysis Program</i> (SOAP)	X				
7	Pemeriksaan eksternal turbin gas	X				
8	Pembersihan kompresor (pencucian dengan air)	Jika dibutuhkan				
9	Melakukan pengetesan sistem pengapian				X	
10	Perawatan sistem pelumasan				X	
11	Perawatan sistem bahan bakar	Jika dibutuhkan				

No	Tindakan Perawatan	Bulanan	Pergantian Mesin	100 Jam Operasi	6 Bulan	12 Bulan
12	Melakukan kalibrasi kecepatan		X	X		X
13	Melakukan kalibrasi pada <i>accelerometer</i>					X

(MATEIUELKOMMANDO, 1997)

11.4 Rangkuman

Tahapan pengoperasian turbin gas antara lain pengecekan *prestart*, prosedur motoring, prosedur starting, pengoperasian normal ataupun dalam kondisi abnormal, *shutdown* normal dan darurat. Perawatan rutin turbin gas antara lain pemeriksaan inlet turbin gas, pemeriksaan *borscope*, pemeriksaan *exhaust* turbin gas, pemeriksaan sistem Variable Stator Vanes (VSV), pemeriksaan chip detektor dan *drain plug*, pemeriksaan *Spectrometric Oil Analysis Program* (SOAP), pemeriksaan eksternal turbin gas, pembersihan kompresor (pencucian dengan air), melakukan pengetesan sistem pengapian, perawatan sistem pelumasan, perawatan sistem bahan bakar, melakukan kalibrasi kecepatan, dan melakukan kalibrasi pada *accelerometer*.

11.5 Penugasan Teori

1. Sebutkan pengecekan kondisi sistem *prestart* pada turbin gas!
2. Jelaskan perbedaan tahapan prosedur motoring pada turbin gas kondisi kering dan basah!
3. Jelaskan prosedur starting turbin gas!
4. Jelaskan prosedur *shutdown* darurat pada turbin gas!
5. Sebutkan tindakan perawatan rutin pada turbin gas!



11.6 Penugasan Praktikum

1. Tujuan : Dalam kegiatan belajar 10 ini, masing-masing kelompok ditugaskan untuk menjelaskan tahapan pengoperasian turbin gas penggerak generator (*power plant*) berdasarkan daftar standar kompetensi operator pembangkit tenaga listrik PLTG gas/minyak dengan kode unit : KGG/M.OUL.301 (2) A (mengoperasikan turbin gas PLTG).
2. Alat dan bahan
 - a. Komputer
 - b. daftar standar kompetensi operator pembangkit tenaga listrik PLTG gas/minyak dengan kode unit : KGG/M.OUL.301 (2) A (mengoperasikan turbin gas PLTG).
3. Cara Kerja
 - a. Membaca daftar standar kompetensi operator pembangkit tenaga listrik PLTG gas/minyak dengan kode unit : KGG/M.OUL.301 (2) A tentang mengoperasikan turbin gas PLTG.
 - b. Mendiskusikan dengan kelompok mengenai standar operasional prosedur pengoperasian turbin gas (standar operator pembangkit tenaga listrik PLTG gas/minyak dilengkapi dengan contoh SOP pengoperasian turbin).
 - c. Membuat laporan hasil diskusi (diktik pada kertas A4 dengan margin kiri 4 cm, kanan, atas dan bawah 3 cm, tulisan Time news roman ukuran 12).
 - d. Mempresentasikan hasil laporan yang telah dibuat.
4. Hasil

Setiap kelompok mendiskusikan mengenai pengoperasian turbin gas berdasarkan daftar standar kompetensi operator pembangkit tenaga listrik PLTG gas/minyak dengan kode unit : KGG/M.OUL.301 (2) A (mengoperasikan turbin gas PLTG).dilengkapi dengan contoh SOP.

5. Kesimpulan

.....
.....
.....
.....

11.7 Tes Formatif 10

Pilihlah salah satu jawaban yang benar dari pertanyaan di bawah ini:

1. Kondisi yang salah pada saat pengecekan *prestart* adalah
 - a. Sistem deteksi pengapian ON
 - b. Katup suplai bahan bakar terbuka
 - c. Pompa penyuplai bahan bakar pada posisi ON
 - d. Level oli pada tangki *low*
2. Kondisi batas minimum temperatur oli pelumas turbin gas pada saat *prestart* adalah
 - a. 4 °C
 - b. 24 °C
 - c. 44 °C
 - d. 64 °C
3. Parameter yang tidak perlu dijurnal pada prosedur motoring kondisi kering adalah
 - a. Kecepatan rotor generator gas
 - b. Tekanan suplai hidrolik untuk *start*
 - c. Tekanan oli
 - d. Temperatur bahan bakar
4. Besarnya nilai RPM rotor generator setelah 45 detik kondisi *start* harus mencapai
 - a. 1200 RPM
 - b. 2400 RPM
 - c. 9500 RPM



- d. 8500 RPM
- 5. Nilai temperatur untuk batas *shutdown* saat pengoperasian normal turbin gas adalah
 - a. 685 °C
 - b. 785 °C
 - c. 885 °C
 - d. 985 °C
- 6. Batas kebocoran oli untuk *fitting* turbin gas atau penyangga tabung saat pengoperasian turbin gas adalah
 - a. 1 cc/menit
 - b. 2 cc/menit
 - c. 3 cc/menit
 - d. Tidak boleh terjadi kebocoran
- 7. Tindakan yang tidak diperbolehkan untuk mengatasi kondisi stall pada turbin gas adalah
 - a. Diperbolehkan *restart* turbin gas
 - b. Tidak diperbolehkan *restart* turbin gas
 - c. Mematikan turbin gas sesegera mungkin
 - d. Melakukan *troubleshooting* jika stall melebihi batas pengoperasian
- 8. Yang bukan merupakan urutan langkah-langkah *shutdown* normal turbin gas adalah
 - a. Pengaturan *throttle* (katup penutup) untuk kondisi *idle*.
 - b. Jalankan turbin gas pada kondisi *idle* selama 5 menit.
 - c. Setelah 5 menit kondisi *idle*, katup *shutoff* bahan bakar ditutup.
 - d. Tidak melakukan penyelidikan kegagalan jika temperatur tidak menurun di bawah 200°C dalam 90 detik
- 9. Tindakan perawatan pada turbin gas yang harus dilakukan per bulan adalah
 - a. Pemeriksaan *Inlet* turbin gas
 - b. Pemeriksaan *borscope*

- c. Pemeriksaan *chip detektor* dan *drain plug*
 - d. Pemeriksaan *exhaust* turbin gas
10. Waktu yang direkomendasikan untuk kalibrasi kecepatan turbin gas kecuali
- a. Mingguan
 - b. 100 jam operasi
 - c. 1 tahun
 - d. Pada saat pergantian mesin



PENUTUP

Demikian penyusun modul ini disusun untuk dapat digunakan sebagai salah satu media pembelajaran pada penyelenggaraan pendidikan vokasi di satuan pendidikan kelautan dan perikanan.

Rekomendasi: **Tuntas/Tidak Tuntas**

“Untuk dapat melanjutkan pada kegiatan pembelajaran pada modul berikutnya”

Keterangan: *) 1. CORET pada kata **Tuntas** apabila taruna belum memenuhi nilai minimal 80

*) 2. CORET pada kata ~~Tidak Tuntas~~ apabila taruna telah memenuhi nilai minimal 80



TES SUMATIF 1

I. Soal Pilihan Ganda

1. Bagian instalasi tenaga kapal tenaga uap sebagai sumber energi kalor disebut
 - a. Ketel
 - b. Turbin
 - c. Kondensor
 - d. Pompa air umpan
2. Energi yang digunakan untuk mengubah air umpan menjadi uap air jenuh adalah
 - a. Energi kalor dari pembakaran pada attemperator
 - b. Energi kalor dari pembakaran pada drum uap
 - c. Energi kalor dari pembakaran pada *superheater*
 - d. Energi kalor dari pembakaran pada dapur
3. Bagian instalasi tenaga penggerak kapal tenaga uap yang mengubah energi kalor menjadi energi mekanik untuk memutar baling-baling adalah
 - a. Ketel
 - b. Turbin
 - c. Kondensor
 - d. Pompa air umpan
4. Ketel yang pipa-pipanya berisi api atau gas kalor untuk memanaskan air di balik dinding-dinding pipanya disebut
 - a. Ketel pipa api
 - b. Ketel pipa air
 - c. Ketel pipa gas
 - d. Ketel pipa uap
5. Ketel uap tekanan rendah memiliki tekanan kerja sebesar
 - a. Di bawah 150 Psi

- b. Di antara 150 – 300 Psi
 - c. Di atas 300 Psi
 - d. Semua Benar
6. Berikut ini yang bukan termasuk turbin Aksi adalah
- a. Turbin Parson
 - b. Turbin de Laval
 - c. Turbin Zoelly
 - d. Turbin Curtis
7. Ketel yang kedudukan pipa bembangkitnya horizontal adalah
- a. Ketel B&W seksi
 - b. Ketel B&W integral
 - c. Ketel *Foster Wheeler*-ISD
 - d. Ketel *Sunrod*
8. Air umpan yang ke luar dari *economizer* pada ketel B&W integral mempunyai nilai temperatur sebesar
- a. ± 100 °C
 - b. ± 120 °C
 - c. ± 140 °C
 - d. ± 160 °C
9. Tabung pancar yang diameter saluran masuk lebih besar dari pada diameter saluran keluar disebut
- a. Tabung pancar lurus
 - b. Tabung pancar cembung
 - c. Tabung pancar cekung
 - d. Tabung pancar cembung-cekung
10. Pengetesan air ketel terhadap keasaman, basa dan kandungan garam, dan kondisi air ketel merupakan tahapan ketel uap pada tahap
- a. Pemeriksaan sebelum pengopakan
 - b. Pengisian air ketel uap
 - c. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap



- d. Pengopakal awal
- 11. Persiapan instalasi kelistrikan pada panel ketel uap dengan memastikan semua indikator pada panel bekerja dengan baik merupakan tahapan ketel uap pada tahap
 - a. Pemeriksaan sebelum pengopakan
 - b. Pengisian air ketel uap
 - c. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap
 - d. Pengopakal awal
- 12. Alasan *stand by lube oil pump* dan *turning gear* selama kurang lebih 15 menit pada tahapan mematikan turbin adalah
 - a. Untuk menjaga kondisi poros dari perubahan tekanan
 - b. Untuk menjaga kondisi tabung pancar dari perubahan tekanan
 - c. Untuk menjaga kondisi tabung pancar dari perubahan tekanan
 - d. Untuk menjaga kondisi sudu-sudu turbin dari perubahan kalor.
- 13. Apakah yang menjadi penyebab ledakan di dalam dapur pada ketel
 - a. Kebocoran pada pipa-pipa air
 - b. Pembakaran awal yang tidak sempurna
 - c. Suplai udara yang baik pada dapur
 - d. Pembakaran yang berlangsung sempurna
- 14. Setiap gagal pembakaran, *blow up* harus dijalankan dengan waktu minimum 5 menit, bila diperlukan diulang kembali merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
 - a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar
- 15. Mengangkat katup rumah turbin dan memeriksa poros rotor, cakra, sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak serta tutupnya (*shrouding system*) adalah tindakan perawatan
 - a. Harian turbin

- b. Mingguan turbin
 - c. Bulanan turbin
 - d. Tahunan turbin
16. Apakah yang dimaksud dengan kalor *input* ketel?
- a. Kalor yang masuk ekonomiser
 - b. Kalor *input* bahan bakar
 - c. Kalor yang masuk *superheater*
 - d. Jawaban a, b, c salah
17. Semakin besar kalor input pada ketel dan semakin kecil kalor *output* pada ketel maka
- a. Rendemen ketel semakin besar
 - b. Rendemen ketel semakin kecil
 - c. Tidak ada perubahan rendemen
 - d. Jawaban salah semua
18. Apakah yang dimaksud dengan jatuh kalor teoritis?
- a. Penurunan entalpi
 - b. Energi kalor yang diubah menjadi kecepatan
 - c. Penurunan tekanan
 - d. Jawaban a dan b benar
19. Selisih entalpi uap masuk dan keluar semakin besar maka
- a. Putaran rotor turbin semakin cepat
 - b. Putaran rotor turbin semakin lambat
 - c. Nilai jatuh kalor semakin besar
 - d. Nilai jatuh kalor semakin kecil
20. Berapa besar nilai rendemen dalam pada turbin jika nilai jatuh kalor teoritisnya 600 kJ/kg sedangkan jatuh kalor praktisnya 450 kJ/kg
- a. Tidak dapat dihitung
 - b. 0,75
 - c. 7,5
 - d. 1,3



21. Komponen turbin gas yang berfungsi untuk mengompresi udara untuk proses pembakaran adalah
- Kompresor
 - Ruang pembakaran
 - Nozzle*
 - Heat exchanger*
22. Bagian yang digunakan dalam proses pembakaran pada turbin gas adalah
- Kompresor
 - Ruang pembakaran (*combustor*)
 - Nozzle*
 - Heat exchanger*
23. Kondisi yang salah pada saat pengecekan *prestart* adalah
- Sistem deteksi pengapian ON
 - Katup suplai bahan bakar terbuka
 - Pompa penyuplai bahan bakar pada posisi ON
 - Level oli pada tangki *low*
24. Kondisi batas minimum temperatur oli pelumas turbin gas pada saat *prestart* adalah
- 4 °C
 - 24 °C
 - 44 °C
 - 64 °C
25. Sumber energi kalor untuk menggerakkan turbin uap sebagai pembangkit daya listrik model COGAS adalah
- Energi kalor dari pending reaktor nuklir
 - Gas hasil pembakara motor diesel
 - Gas hasil pembakaran turbin gas
 - Semua salah

II. Soal Esai

1. Jelaskan yang dimaksud dengan istilah berikut ini !
 - a. Ekonomiser
 - b. Drum uap
 - c. Drum air
 - d. *Superheater*
2. Jelaskan yang dimaksud dengan istilah
 - a. *Fire tube steam boiler*
 - b. *Water tube steam boiler*
3. Sebutkan bagian dari turbin uap dan jelaskan fungsinya!
4. Jelaskan tahapan pengopakan awal dari ketel uap!
5. Hitunglah efisiensi ketel uap secara langsung jika laju aliran uap adalah 10.000 kg/jam, entalpi uap jenuh adalah 665 kcal/kg, entalpi air umpan adalah 85 kcal/kg, Laju aliran bahan bakar adalah 2.250 kg/jam, dan GCV Gross Calorific Value (nilai kalor bahan bakar) 3200 kcal/kg !



TES SUMATIF 2

I. Soal Pilihan Ganda

1. Bagian ketel yang menampung uap jenuh hasil pemanasan air umpan adalah
 - a. *Attemperator*
 - b. *Drum uap*
 - c. *Drum air*
 - d. *Ekonomiser*
2. Komponen pada ketel yang berfungsi mengubah uap jenuh menjadi uap kalor lanjut adalah
 - a. *Superheater*
 - b. *Ekonomiser*
 - c. *Feedwater pump*
 - d. Dapur
3. Gaya yang memutar roda turbin merupakan perkalian antara
 - a. Aliran massa uap x perubahan percepatan
 - b. Aliran massa uap x perubahan kecepatan
 - c. Aliran massa air x perubahan percepatan
 - d. Aliran massa air x perubahan kecepatan
4. Ketel yang di dalam pipa-pipanya terdapat air yang dipanaskan untuk diubah menjadi uap disebut
 - a. Ketel pipa api
 - b. Ketel pipa air
 - c. *Scotch ketel*
 - d. *Spanner ketel*
5. Berikut ini adalah keuntungan penggunaan turbin Parson kecuali
 - a. Daya turbin sangat besar
 - b. Harga relatif murah
 - c. Perawatan lebih mudah

- d. Kontruksi sederhana
- 6. Turbin yang bentuk sudu jalannya adalah tidak setangkup (asimetris)
 - a. Turbin Curtis
 - b. Turbin de Laval
 - c. Turbin Zoelly
 - d. Turbin Parson
- 7. Ketel yang pemasukan pipa air ke drum uap dilakukan secara radial (tegak lurus ke titik pusat drum)
 - a. Ketel B&W seksi
 - b. Ketel B&W integral
 - c. Ketel Foster Wheeler-ISD
 - d. Ketel Sunrod
- 8. Bagian yang berfungsi untuk menahan kebocoran pada ujung rotor turbin uap adalah
 - a. *Nozzle*
 - b. *Labyrinth*
 - c. Poros turbin
 - d. Rumah turbin
- 9. Yang dimaksud dengan sudu simetri pada turbin adalah
 - a. Sudu jalan sisi uap masuk lebih besar dari sisi keluar
 - b. Sudu jalan sisi uap masuk lebih kecil dari sisi keluar
 - c. $\beta_1 > \beta_2$
 - d. $\beta_1 = \beta_2$
- 10. Prosedur pembakaran awal dilakukan dengan menggunakan bahan bakar *marine diesel oil* (MDO) secara manual yang benar adalah
 - a. ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop
 - b. ± 10 menit bakar dan ± 5 menit stop
 - c. ± 15 menit bakar dan ± 10 menit stop
 - d. ± 10 menit bakar dan ± 15 menit stop



11. Posisi katup pada tahapan persiapan yang berhubungan dengan ruang uap sebelum pengopakan harus ditutup adalah
 - a. Katup utama
 - b. Katup manometer
 - c. Katup cerat udara
 - d. Katup gelas penduga sisi uap
12. Alat apa yang digunakan untuk memutar rotor turbin sebelum turbin di jalankan
 - a. *Timing gear*
 - b. *Turning gear*
 - c. *Throttling valve*
 - d. *Ejector pump*
13. Perawatan pada alat pengaman "*lower water level alarm*" dan "*lower water level trip off*" dilakukan setiap saat untuk mengecek peralatan tersebut masih bekerja baik atau sudah rusak merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
 - a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar
14. Menjaga kebersihan seluruh permukaan lantai di bawah badan ketel uap dari genangan minyak, kotoran minyak, kain-kain majun bekas yang berminyak atau bahan-bahan yang mudah terbakar merupakan tindakan pencegahan dan perawatan
 - a. Ledakan di dalam dapur ketel uap
 - b. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap
 - c. Kebakaran di bawah ketel uap
 - d. Semuanya benar
15. Yang bukan merupakan perawatan bulanan pada turbin yaitu

- a. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
 - b. Memeriksa sampel oli pelumasan dan apabila perlu diperbaharui.
 - c. Memeriksa sambungan *governor* dan mengganti bagian yang rusak.
 - d. Memeriksa trip kecepatan lebih, dengan menaikkan putaran turbin, jika beban dibebaskan.
16. Persamaan berikut merupakan persamaan kalor yang diambil air umpan pada ekonomiser
- a. Berat air umpan dikalikan dengan selisih entalpi air umpan pada ekonomiser
 - b. Berat air umpan dikalikan dengan entalpi air umpan masuk ekonomiser
 - c. Berat air umpan dikalikan dengan entalpi air umpan keluar ekonomiser
 - d. Jawaban a, b, c benar
17. Berikut merupakan rugi-rugi yang terjadi pada ketel uap
- a. Rugi-rugi karena gas yang tidak terbakar
 - b. Rugi-rugi karena adanya kadungan uap air pada udara dan bahan bakar
 - c. Rugi-rugi karena radiasi kalor ke lingkungan
 - d. Jawaban a, b, c benar
18. Nilai konstanta pada rumus kecepatan mutlak jika diketahui nilai jatuh kalor pada turbin adalah
- a. 90,5
 - b. 91,5
 - c. 92,5
 - d. 93,5
19. Besarnya nilai kecepatan mutlak jika diketahui jatuh kalor pada turbin sebesar 10^4 kcal adalah
- a. $9,05 \times 10^3$ m/detik



- b. $9,05 \times 10^4$ m/detik
 - c. $9,15 \times 10^3$ m/detik
 - d. $9,15 \times 10^4$ m/detik
20. Daya teoristis turbin adalah 1000 PK. Berapa besar daya sudu jika rendemennya 0,8?
- a. 800 kW
 - b. 800 PK
 - c. 1250 kW
 - d. 1250 PK
21. Energi kalor eksternal yang dapat digunakan memanaskan fluida kerja pada turbin gas sistem tertutup adalah
- a. Gas hasil pembakaran motor *diesel*
 - b. Gas hasil pembakaran motor bensin
 - c. Energi kalor dari uap turbin uap
 - d. Gas pendingin reaktor nuklir
22. Komponen yang berfungsi sebagai alat penukar kalor dari energi kalor input ke fluida kerja pada turbin gas sistem tertutup adalah
- a. *Heat Exchanger*
 - b. Sudu jalan
 - c. Kompresor
 - d. *Nozzle*
23. Selain menghasilkan kerja untuk penggerak utama kapal atau sebagai penggerak generator, energi generator juga digunakan untuk kebutuhan sistem pada turbin gas itu sendiri yaitu untuk menggerakkan.....
- a. *Heat Exchanger*
 - b. Sudu jalan
 - c. Kompresor
 - d. *Nozzle*

24. Parameter yang tidak perlu dijurnal pada prosedur motoring kondisi kering adalah
- Kecepatan rotor generator gas
 - Tekanan suplai hidrolik untuk *start*
 - Tekanan oli
 - Temperatur bahan bakar
25. Besarnya nilai RPM rotor generator setelah 45 detik kondisi *start* harus mencapai
- 1200 RPM
 - 2400 RPM
 - 9500 RPM
 - 8500 RPM

II. Soal Esai

- Jelaskan yang dimaksud dengan istilah berikut ini!
 - Air umpan
 - Uap jenuh
 - Uap kalor lanjut
- Jelaskan jenis ketel uap berdasarkan tingkat produksinya!
- Jelaskan perbedaan sudu simetris dan sudu asimetris pada sudu jalan turbin!
- Jelaskan tindakan perawatan dan pencegahan ledakan di dalam dapur ketel uap!
- Hitunglah efisiensi ketel uap secara tidak langsung jika laju aliran bahan bakar adalah 2.250 kg/jam, GCV *Gross Calorific Value* (nilai kalor bahan bakar) 3200 kcal/kg, Rugi-rugi karena gas yang tidak terbakar (H_2O dan CO) 511.200 kcal/kg, Rugi-rugi karena gas buang adalah 668.880 kcal/kg, Rugi-rugi karena radiasi kalor ke lingkungan 144.000 kcal/kg, Rugi-rugi karena adanya kandungan uap air pada bahan bakar & udara 22.824 kcal/kg !



KUNCI JAWABAN

1. Tes Formatif 1

1. A Ketel
2. D Energi kalor dari pembakaran pada dapur
3. B Turbin
4. A *Nozzle*
5. B Sudu
6. B Aliran massa uap x perubahan kecepatan
7. A kg.m/detik^2
8. C memanaskan bahan bakar
9. B *Retort*
10. D *Gearbox*

2. Tes Formatif 2

1. A. Ketel pipa api
2. B. Ketel pipa air
3. A. Di bawah 150 Psi
4. C. Ketel uap tekanan tinggi
5. D. Ketel *Cross tube* dan ketel *Sunrod*
6. B. Howden Jonsen dan ketel Capus
7. A. Turbin Parson
8. B. Harga relatif murah
9. D. Turbin Parson
10. B. Turbin Reaksi

3. Tes Formatif 3

1. A. Ketel B&W seksi
2. D. $\pm 160\text{ }^\circ\text{C}$
3. C. Ketel *Foster Wheeler*-ISD
4. B. *Drum* uap
5. A. *Superheater*

6. B. Ekonomiser
7. B. *Labyrinth*
8. D. $\beta_1 = \beta_2$
9. B. Rotor
10. B. Tabung pancar cembung

4. Tes Formatif 4

1. B. Kalor input bahan bakar
2. A. kcal/kg
3. A. Berat air umpan dikalikan dengan selisih entalpi air umpan pada ekonomiser
4. D. 500 kcal
5. C. Lebih rendah dari temperatur uap jenuhnya
6. C. Selisih entalpi dari uap jenuh dan air umpan dari ekonomiser
7. D. Selisih entalpi dari uap kalor lanjut superheater dan uap jenuh dari steam generator
8. B. Rendemen ketel semakin kecil
9. C. Kalor input dikurangi rugi-rugi dibagi kalor input dikalikan dengan seratus
10. Jawaban a, b, c benar

5. Tes Formatif 5

1. B. Mengubah energi kalor menjadi kecepatan
2. A. Penurunan entalpi
3. C. Nilai jatuh kalor semakin besar
4. A. Kecepatan mutlak
5. A. C
6. B. 91,5
7. C. $9,15 \times 10^3$ m/detik
8. D. Jawaban a, b, c benar
9. C. Diameter roda
10. C. Kecepatan keliling turbin semakin cepat



6. Tes Formatif 6

1. B. Jatuh kalor teoritis dikurangi kerugian dalam
2. B. Semakin kecil rendemen dalam
3. B. 0,75
4. C. Semakin besar rendemen termis
5. C. 400 kJ/kg
6. C. Banyaknya uap
7. D. Jawaban a, b, c benar
8. B. Daya dalam
9. B. 800 PK
10. B. 600 PK

7. Tes Formatif 7

1. A. Pemeriksaan sebelum pengopakan
2. C. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap
3. A. ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop
4. A. Katup utama
5. C. 16-20 atm
6. A. Marine Diesel Oil (MDO)
7. B. Pembakaran awal yang tidak sempurna.
8. A. Ledakan di dalam dapur ketel uap.
9. B. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap.
10. C. Kebakaran di bawah ketel uap

8. Tes Formatif 8

1. D. Menutup semua *manuvering valve* dan *boiler main stop valve*.
2. B. *Turning gear*
3. A. Memeriksa peralatan pengaman.
4. D. Untuk menjaga kondisi sudu-sudu turbin dari perubahan kalor.
5. B. $\frac{1}{2}$ jam
6. B. Mingguan turbin
7. D. Tahunan turbin

8. A. Memeriksa sambungan governor dan mengganti bagian yang rusak.
9. A. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
- 10.D. Membersihkan dan memeriksa katup trip

9. Tes Formatif 9

1. A. Kompresor
2. B. Ruang pembakaran (*combustor*)
3. D. Gas pendingin reaktor nuklir
4. A. *Heat exchanger*
5. C. Kompresor
6. C. Motor *diesel* dan turbin gas
7. A. Motor *diesel* atau turbin gas
8. D. Turbin gas dan turbin uap
9. A. CODOG
10. C. Gas hasil pembakaran turbin gas

10. Tes Formatif 10

1. D. Level oli pada tangki *low*
2. A. 4 °C
3. D. Temperatur bahan bakar
4. C. 9500 RPM
5. C. 885 °C
6. D. Tidak boleh terjadi kebocoran
7. A. Diperbolehkan merestart turbin gas
8. D. Tidak melakukan penyelidikan kegagalan jika temperatur tidak menurun di bawah 200°C dalam 90 detik
9. C. Permeriksaan *chip detektor* dan *drain plug*
- 10.A. Mingguan

11. Tes Sumatif 1

- I. Pilihan Ganda
 1. A. Ketel



2. D Energi kalor dari pembakaran pada dapur
3. B Turbin
4. A. Ketel pipa api
5. A. Di bawah 150 Psi
6. A. Turbin Parson
7. A. Ketel B&W seksi
8. D. ± 160 °C
9. B. Tabung pancar cembung
10. A. Pemeriksaan sebelum pengopakan
11. C. Pemeriksaan penunjang operasi ketel uap
12. D. Untuk menjaga kondisi sudu-sudu turbin dari perubahan kalor
13. B. Pembakaran awal yang tidak sempurna.
14. A. Ledakan di dalam dapur ketel uap.
15. D. Tahunan turbin
16. B. Kalor input bahan bakar
17. B. Rendemen ketel semakin kecil
18. A. Penurunan entalpi
19. C. Nilai jatuh kalor semakin besar
20. B. 0,75
21. A. Kompresor
22. B. Ruang pembakaran (*combustor*)
23. D. Level oli pada tangki *low*
24. A 4 °C
25. C. Gas hasil pembakaran turbin gas

II. Pilihan Esai

1. a. Ekonomiser adalah komponen yang berfungsi untuk memanaskan air umpan dengan memanfaatkan kalor dari gas sisa pembakaran di dalam ketel.
- b. Drum uap adalah drum yang berfungsi sebagai *reservoir* uap dari hasil pemanasan dan sebagai pemisah fasa untuk campuran

uap/air.

- c. Drum air adalah drum yang berfungsi sebagai reservoir air umpan di dalam ketel yang disalurkan oleh pompa.
 - d. *Superheater* adalah komponen dari ketel yang berfungsi sebagai pemanas uap jenuh yang dihasilkan di dalam drum uap menjadi uap kalor lanjut.
2. a. Ketel uap yang menggunakan pipa api (*fire tube steam boiler*) yaitu ketel yang menggunakan ratusan pipa untuk dilalui api atau gas kalor yang memanaskan sejumlah air di balik dinding pipa-pipa api tersebut.
b. Ketel uap yang menggunakan pipa air (*water tube steam boiler*) yaitu ketel yang menggunakan ratusan/ribuan pipa berisi air tawar yang terletak di dalam dapur dan dipanaskan oleh sejumlah api dan gas kalor dari dapur api tersebut.
3. a. Pipa pancar berfungsi sebagai pengarah aliran uap baru (UBA) dari ketel uap masuk ke sudu jalan supaya uap lebih efektif dan mengubah energi kalor menjadi energi kecepatan.
b. Rotor turbin adalah poros turbin yang melekat jadi satu dengan roda jalan dan pada ujung roda jalan dipasang sudu-sudu jalan.
c. Rumah turbin adalah penopang dan penutup turbin dimana rotor turbin juga didukung oleh rumah turbinnya.
d. Sudu jalan adalah bagian yang sangat penting dari turbin karena berputarnya rotor turbin disebabkan tenaga uap yang mendorong sudu-sudu jalan tersebut sehingga memutar rotor turbin.
4. a. Pembakaran awal dilakukan dengan menggunakan bahan bakar *marine diesel oil* (MDO) secara manual selama ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop. Hal ini dilakukan secara terus menerus sampai katup cerat udara mengeluarkan udara bertekanan dan selanjutnya mengeluarkan uap bertekanan meskipun manometer



uap belum terlihat tekanan.

- b. Membakar dapur dengan menaikkan tekanan secara bertahap bakar ± 10 menit dan stop selama ± 15 menit sampai manometer uap menunjukkan tekanan ± 1 atm kemudian katup cerat udara segera ditutup.
- c. Pembakaran berikutnya selama ± 15 menit, stop selama ± 20 menit, sampai tekanan uap menunjukkan ± 4 atm.
- d. Pembakaran normal, pertama menggunakan MDO selanjutnya diganti dengan *marine fuel oil* (MFO) yang sudah melalui pemanasan (*FO Heater*) pada temperatur $90-110^{\circ}\text{C}$ (*Flash point* MFO pada temperatur 130°C).
- e. Pembakaran dapur ketel uap sampai tekanan kerja normal 12-16 atm, sedangkan untuk ketel uap induk tekanan kerja dapat mencapai 16-20 atm uap jenuh, yang selanjutnya dipanaskan lagi di dalam *superheater* sampai menjadi uap kalor lanjut dengan tekanan mencapai 40-60 atm.
- f. Memeriksa peralatan keamanan ketel uap sudah bekerja dengan baik dan normal.

5. Diketahui :

- $\dot{m}_{sg} = 10.000 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$
- $h_{sg} = 665 \text{ kcal/kg}$
- $h_{fw} = 85 \text{ kcal/kg}$
- $\dot{m}_{bb} = 2.250 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$
- $\text{GCV} = 3.200 \text{ kcal/kg}$

Ditanya : η

Jawab :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{sg} \times (h_{sg} - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times \text{GCV}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{10.000 \frac{kg}{jam} \times (665 - 85) kcal/kg}{2.250 \frac{kg}{jam} \times 3.200 kcal/kg} \times 100\%$$

$$\eta = 80,56 \%$$

12. Tes Sumatif 2

I. Pilihan Ganda

1. B Drum uap
2. A *Superheater*
3. B Aliran massa uap x perubahan kecepatan
4. B. Ketel pipa air
5. B. Harga relatif murah
6. D. Turbin Parson
7. C. Ketel *Foster Wheeler*-ISD
8. B. *Labyrinth*
9. D. $\beta_1 = \beta_2$
10. A. ± 5 menit bakar dan ± 10 menit stop
11. A. Katup utama
12. B. *Turning gear*
13. B. Kebocoran pipa-pipa air di dalam ketel uap.
14. C. Kebakaran di bawah ketel uap
15. A. Mengecek oli dan tambah apabila perlu.
16. A. Berat air umpan dikalikan dengan selisih entalpi air umpan pada ekonomiser
17. D. Jawaban a, b, c benar
18. B. 91,5
19. C. $9,15 \times 10^3$ m/detik
20. B. 800 PK
21. D. Gas pendingin reaktor nuklir



- 22.A. *Heat Exchanger*
- 23.C. Kompresor
- 24.D. Temperatur bahan bakar
- 25.C. 9500 RPM

II. Pilihan Esai

1.
 - a. Air umpan adalah air (cairan) yang disuplai ke ketel oleh pompa dari tangki atau kondensor untuk diubah menjadi uap.
 - b. Uap jenuh adalah uap yang terbentuk pada tekanan dan temperatur didih dari hasil pemanasan air umpan pada *generating tube* di dalam ketel.
 - c. Uap kalor lanjut adalah uap jenuh yang dipanaskan pada tekanan tetap di dalam komponen *superheater* oleh gas hasil pembakaran sehingga uap mendapatkan pemanasan lanjut (temperatur naik).
2.
 - a. Ketel uap tekanan rendah, bila tekanan kerja uapnya di bawah 10 bar (10 kg/cm^2) atau di bawah 150 psi.
 - b. Ketel uap tekanan menengah, bila tekanan kerja uapnya di bawah 10-20 bar ($10\text{-}20 \text{ kg/cm}^2$) atau di bawah 300 psi.
 - c. Ketel uap tekanan tinggi, bila tekanan kerja uapnya di atas 20 bar (20 kg/cm^2) atau di atas 300 psi.
3.
 - Sudu simetris
Sudu simetris bila sudut sudu jalan sisi uap masuk β_1 sama besarnya dengan sudut sudu jalan sisi uap keluar β_2 . Sudu simetris dapat dijumpai pada turbin-turbin Aksi saja.
 - Sudu asimetris
Sudu simetris bila sudut sudu jalan sisi uap masuk β_1 tidak sama besarnya dengan sudut sudu jalan sisi uap keluar β_2 . Sudu asimetris dapat dijumpai pada turbin reaksi saja.
4.
 - Setiap gagal pembakaran, *blow up* harus dijalankan dengan waktu minimum 5 menit, bila diperlukan diulang kembali.

- Pada saat ketel uap sedang tidak bekerja, diperlukan pemeriksaan semua katup bahan bakar minyak yang menuju FO *brunder* dan memastikan tidak ada yang bocor.
- Mencegah MFO *brunder* yang menetes-netes dan terkumpul di bagian dalam dapur dan pada saat kalor yang cukup dapat terbakar sendiri secara terus menerus. *Atomizer* FO *brunder* diganti dengan yang baru serta memiliki ukuran yang tepat.
- Memeriksa dan memastikan bahwa semua indikator di panel ketel uap dalam keadaan baik.
- Memeriksa dan memastikan *fuel oil solenoid valve* bekerja dengan baik sehingga perintah auto stop dari semua switching on/off dapat diterima dengan baik oleh katup solenoid tersebut.

5. Diketahui :

- $\dot{m}_{bb} = 2.250 \frac{kg}{jam}$
- GCV = 3.200 kcal/kg
- Rugi-rugi gas yang tidak terbakar (1) = 511.200 kcal/kg
- Rugi-rugi gas buang (2) = 668.880 kcal/kg
- Rugi-rugi radiasi (3) = 144.000kcal/kg
- Rugi-rugi kandungan uap air BB (4) = 22.824 kcal/kg
- Total rugi-rugi 1,2,3,4 = 1.346.904 kcal/kg

Ditanya : η

Jawab :

$$\eta = \frac{(\dot{m}_{bb} \times GCV) - (rugi - rugi\ 1,2,3,4)}{\dot{m}_{bb} \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\left(2.250 \frac{kg}{jam} \times 3.200 \frac{kcal}{kg}\right) - 1.346.904\ kcal/kg}{2.250 \frac{kg}{jam} \times 3.200\ kcal/kg} \times 100\%$$

$$\eta = 81,29 \%$$



DAFTAR PUSTAKA

- Anish. (2017). Types of Exhaust Gas Boiler (EGB) Fires and Ways to Prevent Them.
- Benvenuto, G., Campora, U., & Trucco, A. (2014). Comparison of ship plant layouts for power and propulsion systems with energy recovery. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 13(3), 3–15.
- Bora, M. K., & Nakkeeran, S. (2014). Performance Analysis from The Efficiency Estimation of Coal Fired Boiler. *International Journal of Advanced Research*, 2(5), 561–574.
- Handoyo, J. . (2015). *Ketel Uap, Turbin Uap. dan Turbin Gas Penggerak Utama Kapal*. Jakarta: Maritim Djangkar.
- Karakurt, A. S., & Ust, Y. (2011). Marine Steam Turbines. In *1st International Symposium on Naval Architecture and Maritime* (pp. 713–723).
- Kayadelen, H. K., & Üst, Y. (2013). Marine Gas Turbines. *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)*, (November 2013), 34–38.
- MATEIUELKOMMANDO, S. J. (1997). *Gas turbine LM 500 (GEK 99441) operation and maintenance manual* (Vol. 500). Ohio.
- Milton, J. H., & Leach, R. M. (1980). *Marine Steam Boiler*. wellington: Butterworths.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 5th Edition*. Nature (Vol. 181).
- Saidur, R., Ahamed, J. U., & Masjuki, H. H. (2010). Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. *Energy Policy*, 38(5), 2188–2197.
- Shah, S., & Adhyaru, D. M. (2011). Boiler efficiency analysis using direct method. In *International Conference on Current Trends in Technology, 'NUiCONE-2011'*.
- Taylor, D. A. (1996). *Introducing to Marine Engineering* (2nd Editio). Burlington: Elsevier Butterworth-Heinermann.

Warne, D. (1988). *Manual on Fish Canning. Food and Agriculture Organization.*



AMaFRaD  PRESS

Diterbitkan oleh :
AMAFRAD Press
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia
Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6,
Jl. Medan Merdeka Timur,
Jakarta Pusat 10110
Telp. (021) 3513300 Fax: 3513287
Email : amafradpress@gmail.com
Nomor IKAPI: 501/DKI/2014

ISBN 978-623-7651-50-5 (PDF)



9 786237 651505

ISBN 978-623-7651-49-9



9 786237 651499