



TUGAS AKHIR – ME184834

TINJAUAN TEKNIS PENGAPLIKASIAN *STEAM RANKINE CYCLE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TERAPUNG 100 MW

PENULIS

Ignatius Timothy

NRP. 04211540000052

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TUGAS AKHIR – ME184834

TINJAUAN TEKNIS PENGAPLIKASIAN *STEAM RANKINE CYCLE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TERAPUNG 100 MW

PENULIS

Ignatius Timothy

NRP. 04211540000052

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME184834

TECHNICAL ANALYSIS OF STEAM RANKINE CYCLE USAGE ON 100 MW FLOATING BARGE POWER PLANT

AUTHOR

Ignatius Timothy

NRP. 04211540000052

SUPERVISORS

Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

FACULTY OF MARINE ENGINEERING

INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

TINJAUAN TEKNIS PENGAPLIKASIAN *STEAM RANKINE CYCLE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TERAPUNG 100 MW

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

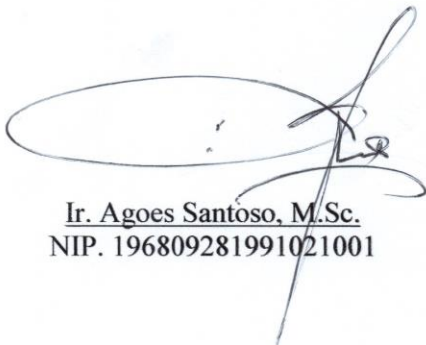
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis :

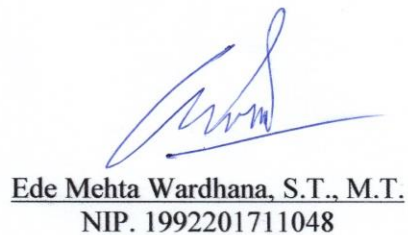
Ignatius Timothy

NRP. 0421154000052

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



Ir. Agoes Santoso, M.Sc.
NIP. 196809281991021001



Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.
NIP. 1992201711048

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**TINJAUAN TEKNIS PENGAPLIKASIAN *STEAM*
RANKINE CYCLE PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TERAPUNG 100 MW**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

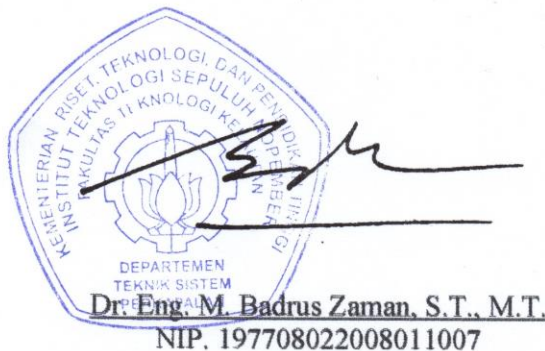
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis :

Ignatius Timothy

NRP. 0421154000052

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TINJAUAN TEKNIS PENGAPLIKASIAN *STEAM RANKINE CYCLE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK 100 MW

Nama Mahasiswa : Ignatius Timothy
NRP : 0421154000052
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Agoes Santoso, M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

Abstrak

Dalam memenuhi kebutuhan serta permintaan pasokan energi listrik, terutama di wilayah yang sedang memiliki urgensi pasokan energi listrik dan/atau wilayah yang tidak memiliki infrastruktur mumpuni untuk membangun serta mengoperasikan pembangkit listrik konvensional maka pembangkit listrik terapung bisa menjadi solusi. Namun dikarenakan bahan bakar yang dapat diangkut pembangkit listrik terapung terbatas, maka diperlukan pembangkit listrik terapung yang efisien dan hemat penggunaan bahan bakar. Efisiensi pembangkit listrik terapung dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan limbah panas. Limbah panas berasal dari mesin *dual fuel* yang merupakan media pembangkit energi listrik pada pembangkit listrik terapung 100 MW. Limbah panas berupa energi potensial pada gas buang mesin *dual fuel*. Dari potensi energi panas gas buang, dapat didaur ulang atau dimanfaatkan kembali oleh metode *steam rankine cycle* menjadi energi listrik. Untuk mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*), sekitar 25 % - 30 % energi bahan bakar dibawa ke lingkungan oleh gas buang. Tujuan dari pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*) di pembangkit listrik terapung adalah memanfaatkan sebanyak mungkin energi panas dari gas buang untuk menghasilkan energi listrik sehingga daya keluaran pembangkit listrik terapung bertambah. Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, objek yang dikaji adalah pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas jenis *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung 100 MW berbentuk tongkang yang terdapat mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) 7 x MAN 18V51/60DF. Untuk rencana pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung, nantinya 7 x MAN 18V51/60DF akan diubah menjadi 6 x MAN 18V51/60DF. Setiap 2 x MAN 18V51/60DF akan dipasang sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*) jenis *steam rankine cycle*. Perubahan yang dilakukan didasari oleh pertimbangan ketersediaan ruang pada pembangkit listrik terapung. Proses dalam pelaksanaan serta penuntasan yaitu menghitung potensi dari energi panas gas buang mesin *dual fuel*, kemudian merancang serta menentukan spesifikasi *steam rankine cycle*. Setelah melaksanakan serangkaian penelitian dan penulisan tugas akhir serta perhitungan, didapat bahwasannya setelah pengaplikasian *steam rankine cycle* efisiensi pembangkit listrik terapung secara keseluruhan meningkat 1.2 %.

Kata Kunci : Efisiensi, Limbah Panas, Mesin *Dual Fuel*, Pembangkit Listrik Terapung, *Steam Rankine Cycle*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TECHNICAL ANALYSIS OF STEAM RANKINE CYCLE USAGE ON 100 MW FLOATING BARGE POWER PLANT

Student Name : Ignatius Timothy
NRP : 0421154000052
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor 1 : Ir. Agoes Santoso, M.Sc.
Supervisor 2 : Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

Abstract

In meeting the needs and demand for electrical energy supply, especially in areas that have the urgency of electricity supply and/or areas that do not have a qualified infrastructure to build and operate conventional power plant, floating power plant can be a solution. However, due to the limited amount of fuel that can be transported by a floating power plant, it is necessary to have an efficient floating power plant that saves fuel consumption. The efficiency of a floating power plant can be improved by utilizing waste heat recovery system. Waste heat comes from dual fuel engine which is a medium for generating electricity in a 100 MW floating power plant. Waste heat in the form of potential energy in dual fuel engine exhaust gas. From the potential of exhaust gas heat energy, it can be recycled or reused by the steam rankine cycle method into electrical energy. For internal combustion engines, around 25% - 30% of fuel energy is brought to the environment by exhaust gases. The purpose of the application of a waste heat recovery system in a floating power plant is to utilize as much heat energy as possible from the exhaust gas to produce electricity so that the output power of the floating power plant increases. In the research and writing of the final assignment, the object studied is the application of steam rankine cycle type heat recovery system in a barge-shaped 100 MW floating power plant that has a 7 x MAN 18V51 / 60DF internal combustion engine. For the plan to apply steam rankine cycle to a floating power plant, later 7 x MAN 18V51 / 60DF will be converted to 6 x MAN 18V51 / 60DF. Every 2 x MAN 18V51 / 60DF will be installed a waste heat recovery system, the type of steam rankine cycle. Changes made are based on consideration of the availability of space at a floating power plant. The process of implementing and completing is calculating the potential of dual fuel exhaust engine heat energy, then designing and determining the steam rankine cycle specifications. After carrying out a series of research and final assignments and calculations, it was found that after the application of steam rankine cycle the overall efficiency of floating power plant increased by 1.2%.

Keywords : Dual Fuel Engine, Efficiency, Floating Power Plant, Steam Rankine Cycle, Waste Heat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Tinjauan Teknis Pengaplikasian *Steam Rankine Cycle* pada Pembangkit Listrik Terapung 100 MW” dengan baik dan sebagaimana mestinya. Tugas akhir merupakan salah satu syarat kelulusan program studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwasannya hasil dari tugas akhir masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat dinanti sebagai bahan pembelajaran ke depannya. Dalam proses menempuh program studi S-1 dan proses penyelesaian tugas akhir tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak berikut :

1. Keluarga penulis, Bapak Tan Hoen Sien, Ibu Leni Tutiana, Kakak Tania Tamara dan Adik Matthew Devin yang selalu mendukung dan mendoakan penulis di setiap langkah kehidupan.
2. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. selaku dosen wali yang senantiasa membimbing penulis di lingkungan institut terutama dalam bidang akademik.
3. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir pertama dan Bapak Ede Metha Wardhana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir kedua, yang telah membimbing penulis dalam proses pengerjaan maupun penyelesaian tugas akhir serta memberikan pembelajaran berharga yang tidak didapat di bangku kuliah.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS yang banyak berjasa dalam aspek akademik penulis.
5. Seluruh dosen dan tenaga didik Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS yang dengan ikhlas membagikan ilmu yang berharga kepada penulis agar menjadi sosok pribadi yang siap menghadapi dunia pasca kampus.
6. Seluruh anggota HIMASISKAL FTK-ITS, baik angkatan BISMARCK’ 12, BARAKUDA’ 13, MERCUSUAR’ 14, SALVAGE’ 15, VOYAGE’ 16 dan BADRIKARA’ 17 yang ikut andil dalam pembentukan karakter penulis ke arah yang lebih baik.
7. Abdul, Ambod, Andryan, Apoy, Bangun, Bella, Dekko, Diana, Diar, Dinda, Ebil, Efrem, Ferdy, Gerald, Hadyan, Holis, Indra, Jenggot, Kisserah, Nasa, Prima, Ramirez, Rana, Satrio, Shasa, There dan Yunan selaku teman seperjuangan Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem yang telah menemani, membantu dan menyemangati penulis terutama di tahun terakhir perkuliahan.
8. Alfon, Andrew, Andryan, Bimo, Bunga, Clara, Claudia, Dayinta, Devia, Gea, Josh, Linda, Lukman, Nadya, Nais, Nanda, Ratri, Rei, Ryan, There, Wilfeb dan Yudhit selaku teman Keluarga Mahasiswa Katolik yang telah memberikan pembelajaran berharga kepada penulis baik dari segi rohani, organisasi dan kehidupan.

9. Andryan, Fadhil, Firman, Hugo, Ojan dan Tangguh selaku teman seperjuangan yang telah menemani penulis dalam kegiatan kerja praktek.
10. Andryan, Apoy, Bella, Diar, Efrem, Ferdy, Jijah, Rana, Shasa, Sulfia dan Zulfar selaku teman Soto Djoni yang selalu menemani penulis dikala lapar menghampiri.
11. Angel, Brian, Cak, Clara, Cucum, Depe, Dino, Echi, Edo, Fellito, Indra, Irwan, Jeardin, Jenny, Jo, Juan, Kezia, Kurniawan, Ocep, Rafael, Sura, Tama, Timbul, Vano, Vincent dan Yoga selaku teman kampung halaman yang selalu ada dan mendoakan penulis.
12. Pihak yang belum sempat penulis cantumkan namanya satu per satu.

Surabaya, 24 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pembangkit Listrik Terapung.....	7
2.1.1. Spesifikasi Pembangkit Listrik Terapung	7
2.2. Mesin <i>Dual Fuel</i>	9
2.2.1. Spesifikasi Mesin <i>Dual Fuel</i>	10
2.3. Limbah Panas	11
2.3.1. Limbah Panas berdasarkan Sumber	12
2.4. Sistem Pemulihan Limbah Panas	13
2.4.1. Sistem Pemulihan Limbah Panas berdasarkan Tujuan.....	13
2.4.2. Sistem Pemulihan Limbah Panas berdasarkan Metode.....	14
2.5. <i>Steam Rankine Cycle</i>	17
2.5.1. Ketel Uap	18
2.5.2. Turbin Uap	23
2.5.3. Kondensor	25
2.5.4. Pompa.....	27
2.6. Tinjauan Teknis.....	29

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1. Deskripsi Umum	31
3.2. Metode Penelitian	31
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Perhitungan Gas Buang.....	36
4.2. Perancangan <i>Steam Rankine Cycle</i>	42
4.3. Penentuan Spesifikasi <i>Steam Rankine Cycle</i>	81
4.4. Peninjauan secara Teknis <i>Steam Rankine Cycle</i>	84
4.5. Penempatan <i>Steam Rankine Cycle</i>	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN A.....	93
LAMPIRAN B	94
LAMPIRAN C	106
LAMPIRAN D.....	109
LAMPIRAN E	110
LAMPIRAN F	111
LAMPIRAN G.....	113
LAMPIRAN H.....	131
LAMPIRAN I	132
LAMPIRAN J	133
BIODATA PENULIS	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Tren Kejadian Bencana 10 Tahun Terakhir di Indonesia	1
Gambar 1.2. Pembangkit Listrik Terapung Bentuk Kapal “Zeynep Sultan”	3
Gambar 1.3. Pembangkit Listrik Terapung Bentuk Tongkang	3
Gambar 1.4. Diagram Keseimbangan Panas Mesin tanpa dan dengan WHRS	4
Gambar 2.1. Skema Distribusi Pembangkit Listrik	7
Gambar 2.2. Rancang Umum 3 Dimensi Pembangkit Listrik Terapung 100 MW	8
Gambar 2.3. Skema Sistem Mesin Dual Fuel	9
Gambar 2.4. Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF	10
Gambar 2.5. Dimensi Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF	11
Gambar 2.6. Grafik Limbah Panas berdasarkan Sumber pada Mesin Pembakaran Internal	12
Gambar 2.7. Mechanical Turbo-Compounding	14
Gambar 2.8. Pembangkit Listrik Termoelektrik	15
Gambar 2.9. Siklus Stirling.....	16
Gambar 2.10. Siklus Rankine	17
Gambar 2.11. Ketel Uap	18
Gambar 2.12. Ketel Uap dengan Pembakaran Internal.....	19
Gambar 2.13. Ketel Uap dengan Pembakaran Eksternal	20
Gambar 2.14. Diagram Perubahan Fase.....	21
Gambar 2.15. Steam Turbine Generator	23
Gambar 2.16. Kondensor	25
Gambar 2.17. Diagram Perubahan Fase.....	26
Gambar 2.18. Pompa.....	27
Gambar 4.1. Skema Pengaplikasian Steam Rankine Cycle	35
Gambar 4.2. Grafik Daya vs Putaran	37
Gambar 4.3. Grafik Daya vs Laju Aliran Massa Bahan Bakar	38
Gambar 4.4. Grafik Daya vs Laju Aliran Massa Udara.....	38
Gambar 4.5. Grafik Daya vs Temperatur Gas Buang	39
Gambar 4.6. Grafik Daya vs Energi Panas Gas Buang (6 Mesin)	40
Gambar 4.7. Grafik Daya vs Energi Panas Gas Buang (2 Mesin)	41
Gambar 4.8. Penempatan Steam Rankine Cycle.....	86

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

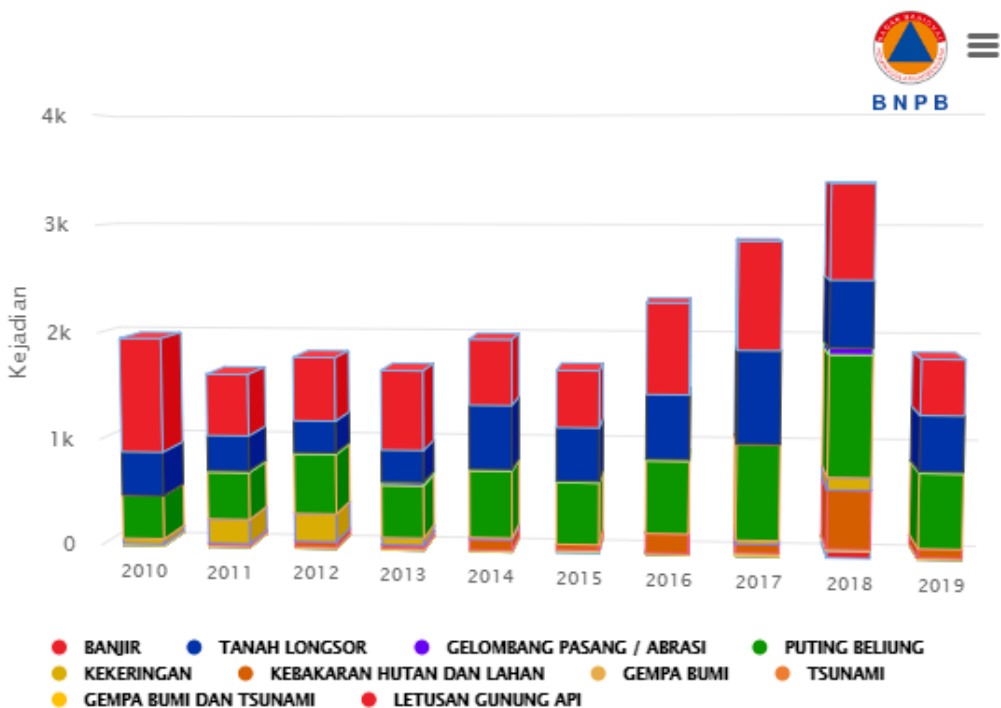
Tabel 1.1. Rasio Elektrifikasi Wilayah di Indonesia.....	2
Tabel 1.2. Pembangkit Listrik Terapung di Indonesia per Tahun 2019.....	2
Tabel 2.1. Spesifikasi Pembangkit Listrik Terapung 100 MW.....	8
Tabel 2.2. Spesifikasi Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF.....	10
Tabel 4.1. Daya Mesin vs Putaran Mesin	37
Tabel 4.2. Spesifikasi Gas Buang Mesin Dual Fuel.....	38
Tabel 4.3. Energi Panas Gas Buang (6 Mesin)	40
Tabel 4.4. Energi Panas Gas Buang (2 Mesin)	41
Tabel 4.5. Kondisi Operasional Steam Rankine Cycle	42
Tabel 4.6. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 4 kg/s	45
Tabel 4.7. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 5 kg/s	46
Tabel 4.8. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 6 kg/s	47
Tabel 4.9. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 7 kg/s	48
Tabel 4.10. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 8 kg/s ...	49
Tabel 4.11. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 9 kg/s ...	50
Tabel 4.12. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 10 kg/s .	51
Tabel 4.13. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 11 kg/s .	52
Tabel 4.14. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 12 kg/s .	53
Tabel 4.15. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 13 kg/s .	54
Tabel 4.16. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 14 kg/s .	55
Tabel 4.17. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 15 kg/s .	56
Tabel 4.18. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 16 kg/s .	57
Tabel 4.19. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 17 kg/s .	58
Tabel 4.20. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 18 kg/s .	59
Tabel 4.21. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 19 kg/s .	60
Tabel 4.22. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 20 kg/s .	61
Tabel 4.23. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 4 kg/s .	63
Tabel 4.24. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 5 kg/s .	64
Tabel 4.25. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 6 kg/s .	65
Tabel 4.26. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 7 kg/s .	66
Tabel 4.27. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 8 kg/s .	67

Tabel 4.28. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 9 kg/s.	68
Tabel 4.29. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 10 kg/s	69
Tabel 4.30. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 11 kg/s	70
Tabel 4.31. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 12 kg/s	71
Tabel 4.32. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 13 kg/s	72
Tabel 4.33. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 14 kg/s	73
Tabel 4.34. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 15 kg/s	74
Tabel 4.35. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 16 kg/s	75
Tabel 4.36. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 17 kg/s	76
Tabel 4.37. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 18 kg/s	77
Tabel 4.38. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 19 kg/s	78
Tabel 4.39. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 20 kg/s	79

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam memenuhi kebutuhan serta permintaan pasokan energi listrik, terutama di wilayah yang sedang memiliki urgensi pasokan energi listrik dan/atau wilayah yang tidak memiliki infrastruktur mumpuni untuk membangun serta mengoperasikan pembangkit listrik konvensional maka pembangkit listrik terapung bisa menjadi solusi. Dimana Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di cincin api pasifik sehingga sering dan rawan mengalami bencana seperti : gempa, tsunami, letusan gunung berapi dan sebagainya. Namun, kesiapsiagaan bencana di Indonesia masih kurang. Termasuk pemenuhan kebutuhan pasca bencana, seperti pangan, sandang, papan sekaligus fasilitas kritis seperti listrik dan alat komunikasi (Hidayati, 2018). Data mengenai kejadian bencana di Indonesia dapat dilihat pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1.1. Grafik Tren Kejadian Bencana 10 Tahun Terakhir di Indonesia
Sumber : <http://dibi.bnpb.go.id/>

Ditambah, pembangunan infrastruktur kelistrikan di Indonesia masih belum merata. Terdapat wilayah yang nyaris memiliki rasio elektrifikasi 100%, tetapi terdapat wilayah yang memiliki rasio elektrifikasi dibawah 50% (Nurtjahyo, 2017). Data mengenai rasio elektrifikasi pada beberapa wilayah di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1. Rasio Elektrifikasi Wilayah di Indonesia
 Sumber : <https://kumparan.com/>

Wilayah	Rasio Elektrifikasi (%)
Jawa Barat	99.87
Banten	99.00
DKI Jakarta	98.08
Kalimantan Utara	86.44
Sumatera Selatan	86.36
Sulawesi Barat	85.07
Sulawesi Tengah	83.77
Nusa Tenggara Barat	80.39
Sulawesi Tenggara	77.51
Kepulauan Riau	77.02
Kalimantan Tengah	76.23
Nusa Tenggara Timur	58.99
Papua	48.91

Pada beberapa wilayah di Indonesia per tahun 2019, sudah terdapat pembangkit listrik terapung berbentuk kapal (*marine vessel power plant*). Namun pembangkit listrik terapung berbentuk kapal (*marine vessel power plant*) merupakan solusi jangka pendek karena berupa kontrak peminjaman dari perusahaan energi luar negeri, dimana seharusnya Indonesia sebagai negara kepulauan membutuhkan pembangkit listrik terapung dalam jangka panjang. Data mengenai pembangkit listrik terapung berbentuk kapal (*marine vessel power plant*) yang berada di Indonesia per tahun 2019 dapat dilihat pada **Tabel 1.2**. Alasan dibalik diperlukannya pembangkit listrik terapung antara lain :

- Fleksibilitas dan mobilitas tinggi sehingga dapat berpindah dari satu titik ke titik lain melalui jalur laut.
- Operasi dapat dilakukan di wilayah yang memiliki infrastruktur dan logistik buruk terutama pasca terkena bencana.
- Respon cepat tanggap terhadap keperluan mendesak (seperti : wilayah yang memiliki urgensi pasokan energi listrik karena terkena bencana).

Tabel 1.2. Pembangkit Listrik Terapung di Indonesia per Tahun 2019
 Sumber : PT PLN (Persero) 35.000 MW untuk Pembangunan Berkelanjutan

Kapal	Jenis	Kapasitas (MW)
Gökhan Bey	Marine Vessel Power Plant	125
Mehmet Bey	Marine Vessel Power Plant	125
Nezih Bey	Marine Vessel Power Plant	37
Onur Sultan	Marine Vessel Power Plant	470
Yasin Bey	Marine Vessel Power Plant	125
Zeynep Sultan	Marine Vessel Power Plant	125

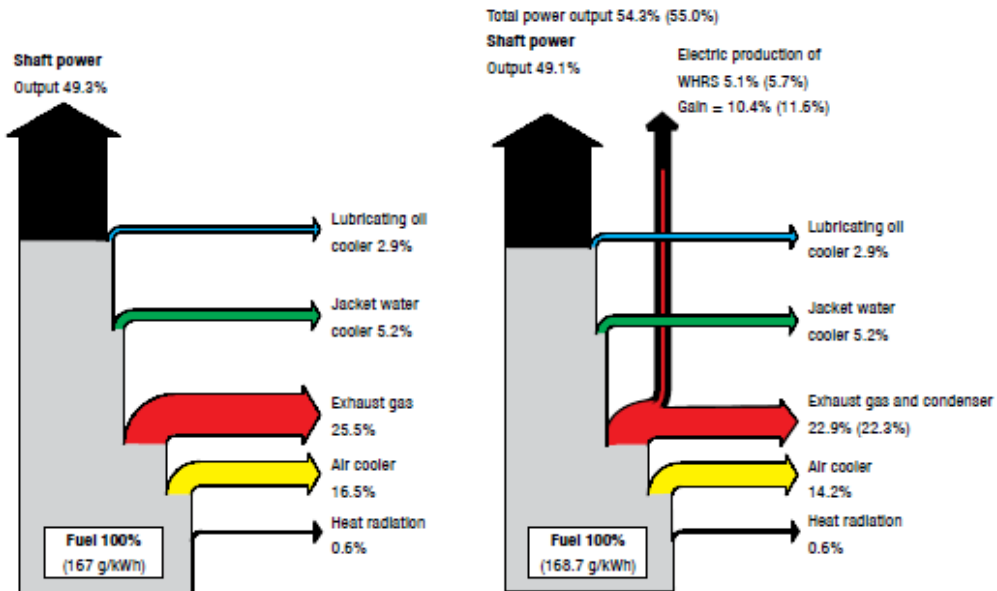


Gambar 1.2. Pembangkit Listrik Terapung Bentuk Kapal “Zeynep Sutan”
Sumber : <http://www.karpowership.com/>



Gambar 1.3. Pembangkit Listrik Terapung Bentuk Tongkang
Sumber : MAN Diesel & Turbo Floating Diesel Power Stations

Namun dikarenakan bahan bakar yang dapat diangkut pembangkit listrik terapung terbatas, maka diperlukan pembangkit listrik terapung yang efisien dan hemat penggunaan bahan bakar. Efisiensi pembangkit listrik terapung dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan limbah panas. Untuk mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*), sekitar 25% energi bahan bakar dibawa ke lingkungan oleh gas buang. Dengan pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*), maka sekitar 5% energi bahan bakar yang terbuang dapat dimanfaatkan kembali. Data mengenai limbah panas gas buang dan pengaplikasian *waste heat recovery system* dapat dilihat pada **Gambar 1.4**. Tujuan dari pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*) di pembangkit listrik terapung adalah memanfaatkan sebanyak mungkin energi panas dari gas buang untuk menghasilkan energi listrik sehingga daya keluaran pembangkit listrik terapung bertambah. Dapat dilihat pada **Gambar 1.2.** dan **Gambar 1.3.** pembangkit listrik terapung masih bisa memaksimalkan potensi panas terutama untuk gas buang, sehingga panas yang sebenarnya masih bisa digunakan kembali tidak langsung disalurkan ke lingkungan. Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, objek yang dikaji adalah pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas jenis *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung 100 MW berbentuk tongkang yang terdapat mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) 7 x MAN 18V51/60DF. Untuk rencana pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung, nantinya 7 x MAN 18V51/60DF akan diubah menjadi 6 x MAN 18V51/60DF. Setiap 2 x MAN 18V51/60DF akan dipasang sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*) jenis *steam rankine cycle*. Perubahan yang dilakukan didasari oleh pertimbangan ketersediaan ruang pada pembangkit listrik terapung.



Gambar 1.4. Diagram Kesetimbangan Panas Mesin tanpa dan dengan WHRS
 Sumber : MAN Diesel & Turbo Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penulisan tugas akhir adalah :

- Bagaimana cara menghitung laju energi gas buang (Q) dan temperatur gas buang (T) mesin *dual fuel*?
- Bagaimana cara merancang *steam rankine cycle* berdasarkan hasil perhitungan gas buang?
- Bagaimana cara menentukan spesifikasi *steam rankine cycle* berdasarkan hasil perancangan *steam rankine cycle*?
- Bagaimana cara meninjau secara teknis pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung?
- Bagaimana cara menempatkan *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung berdasarkan hasil penentuan spesifikasi *steam rankine cycle*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir adalah :

- Air yang digunakan pada *steam rankine cycle* diasumsikan sudah sesuai dengan kebutuhan operasional sistem.
- Faktor ekonomis pengaplikasian *steam rankine cycle* tidak dibahas.
- Faktor stabilitas pembangkit listrik terapung tidak dibahas.
- Mesin *dual fuel* dikondisikan pada variasi daya 100%, 85%, 75% dan 50%.
- Penurunan tekanan pada *steam rankine cycle* diabaikan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penulisan tugas akhir adalah :

- Mengetahui hasil perhitungan laju energi gas buang (Q) dan temperatur gas buang (T) mesin *dual fuel*.
- Mengetahui hasil perancangan *steam rankine cycle* berdasarkan hasil perhitungan gas buang.
- Mengetahui hasil penentuan spesifikasi *steam rankine cycle* berdasarkan hasil perancangan *steam rankine cycle*.
- Mengetahui hasil peninjauan secara teknis pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung.
- Mengetahui hasil penempatan *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung berdasarkan hasil penentuan spesifikasi *steam rankine cycle*.

1.5. Manfaat Penelitian

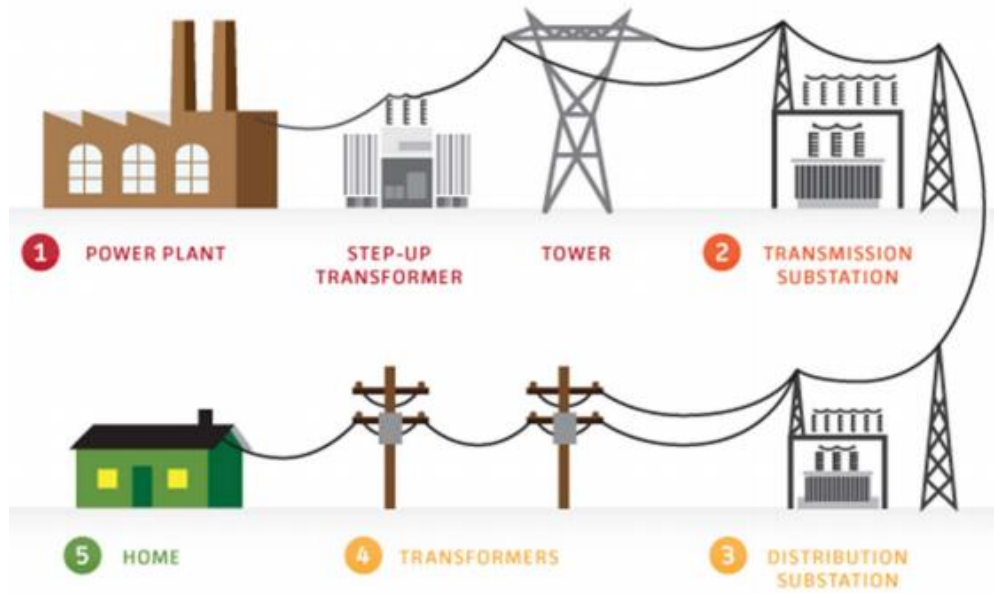
Manfaat penelitian pada penulisan tugas akhir adalah :

- Memberikan sumbangsih solusi untuk permasalahan pasokan energi listrik, terutama di wilayah Indonesia.
- Menciptakan pembangkit listrik terapung yang lebih efisien dengan pengaplikasian *steam rankine cycle*.
- Menjadi referensi untuk tinjauan teknis pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Terapung



Gambar 2.1. Skema Distribusi Pembangkit Listrik
Sumber : Transmission Lines in Saudi Arabia Conference

Gambar 2.1. mengenai skema distribusi pembangkit listrik menjabarkan alur distribusi listrik mulai dari produsen listrik sampai ke konsumen listrik. Pembangkit listrik berfungsi untuk memproduksi energi listrik dari berbagai sumber energi lain, dapat berupa energi terbarukan (seperti : energi air, energi angin, energi panas bumi, energi surya dan sebagainya) maupun energi tidak terbarukan (seperti : energi diesel, energi gas, energi uap dan sebagainya). Pembangkit listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat pengaplikasian menjadi pembangkit listrik tetap dan pembangkit listrik tidak tetap. Pembangkit listrik terapung yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir merupakan pembangkit listrik tidak tetap, karena dapat berpindah-pindah melalui jalur laut. Secara harafiah, pembangkit listrik terapung berarti pembangkit listrik yang diaplikasikan pada bangunan terapung dapat berupa kapal maupun tongkang.

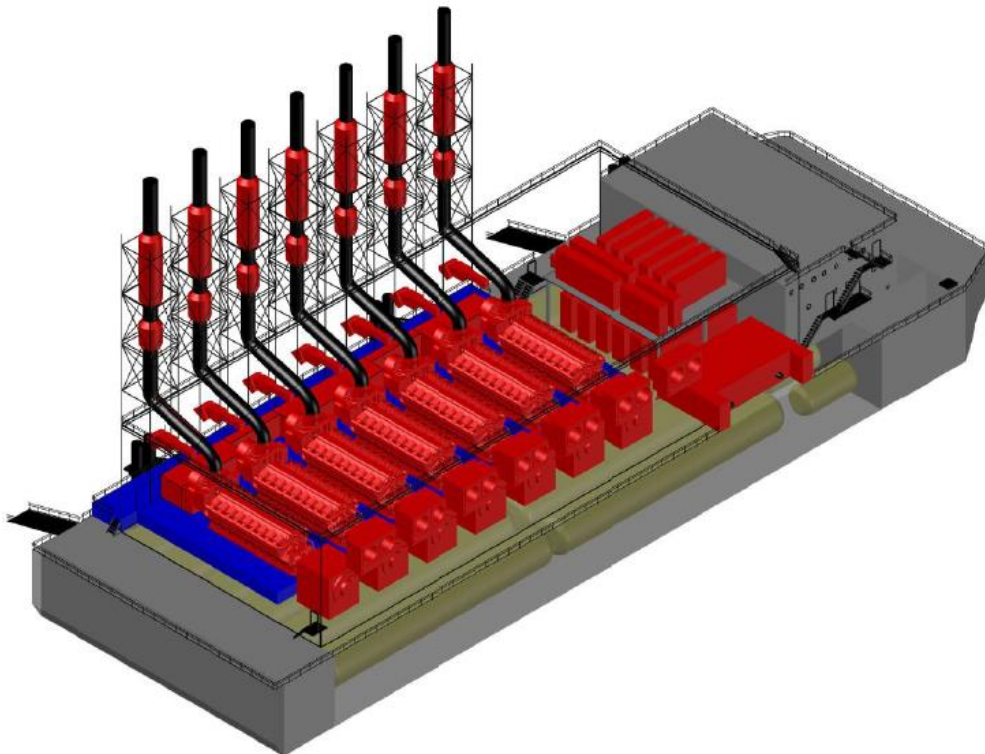
2.1.1. Spesifikasi Pembangkit Listrik Terapung

Pembangkit listrik terapung yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir berbentuk tongkang. Tongkang merupakan jenis kapal dengan lambung datar atau kotak besar yang mengapung dan umumnya tidak memiliki propulsi mandiri (Saleh, 2018). Pembangkit listrik terapung yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir ditenagai mesin *dual fuel* sebagai media pembangkit energi

listrik. Pembangkit listrik yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir diambil dari penelitian sebelumnya yang berjudul “*Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant*”. Spesifikasi mengenai pembangkit listrik terapung dapat dilihat pada **Tabel 2.1**. Sedangkan, rancang umum mengenai pembangkit listrik terapung dalam bentuk 3 dimensi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

Tabel 2.1. Spesifikasi Pembangkit Listrik Terapung 100 MW
Sumber : Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant Journal

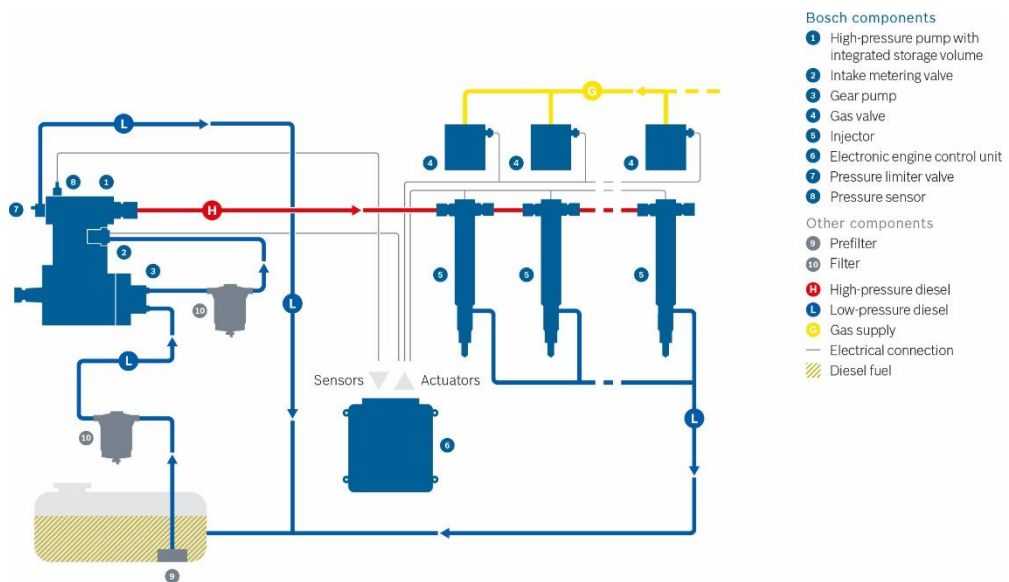
Length	97.5	m
Beam	32.2	m
Draft	6.2	m
Height	8.1	m
Vdisplacement	11,825.4	m ³
DWT	2,074.1	m ³
LWT	9,751.3	m ³
Engine	7 x MAN 18V51/60DF [7 x 18,900 kW]	



Gambar 2.2. Rancang Umum 3 Dimensi Pembangkit Listrik Terapung 100 MW
Sumber : Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant Journal

2.2. Mesin Dual Fuel

Mesin *dual fuel* merupakan mesin yang dapat beroperasi dalam 2 mode sistem bahan bakar yang berbeda yaitu sistem bahan bakar diesel dan sistem bahan bakar gas. Mesin *dual fuel* mulai dikembangkan dan banyak diaplikasikan di sektor maritim dewasa ini, terutama untuk pengaplikasian pada kapal pengangkut LNG karena dapat memanfaatkan kerugian BOG (*Boil Off Gas*) dari tangki LNG. Mesin *dual fuel* memiliki kelebihan serta keuntungan, dimana bahan bakar yang digunakan dapat menyesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan (fleksibel). Sistem bahan bakar dari mesin *dual fuel* menggunakan sistem pengabutan bahan bakar diesel dan sistem pengiriman bahan bakar gas (dalam mode sistem bahan bakar gas). Mesin *dual fuel* beroperasi dengan prinsip campuran bahan bakar dan udara (*lean burn principle*), dimana rasio antara bahan bakar gas dan udara 2.2 : 1. Gas yang digunakan untuk operasional mesin memiliki komposisi standar 95% mol CH₄, 4% mol C₂H₆, 1% mol C₃H₈ dan nilai panas rendah (LHV) 48,600 kJ/kg. Proses pembakaran pada mesin *dual fuel* dalam mode sistem bahan bakar gas dimulai dengan mengirimkan bahan bakar gas yang bercampur dengan udara ke dalam ruang bakar piston (*combustion chamber*), setelah dikompresi maka selanjutnya menyempromatkan sejumlah kecil bahan bakar diesel sebagai penyulut. Pada saat pengoperasian dalam mode sistem bahan bakar gas, jumlah bahan bakar diesel yang digunakan untuk penyulut kurang dari 1% dibandingkan dengan jumlah bahan bakar diesel yang digunakan pada saat beroperasi dengan mode sistem bahan bakar diesel. Kadar kandungan dari emisi pada pengoperasian dalam mode sistem bahan bakar gas dipertahankan oleh suatu alat pengontrol elektronik (*ECU – Electronic Control Unit*) yang memantau dan mengoptimalkan pembakaran di setiap silinder. Skema mengenai sistem mesin *dual fuel* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

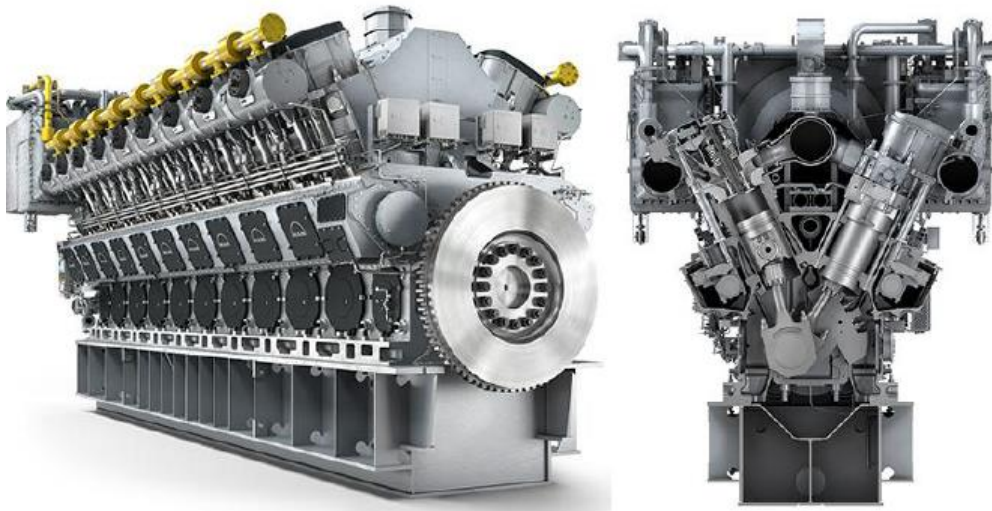


Gambar 2.3. Skema Sistem Mesin Dual Fuel

Sumber : <https://www.bosch-mobility-solutions.com/>

2.2.1. Spesifikasi Mesin *Dual Fuel*

Mesin *dual fuel* yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir merupakan mesin *dual fuel* yang berada pada pembangkit listrik terapung 100 MW. Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, mesin *dual fuel* akan dioperasikan pada mode sistem bahan bakar gas. Adapun, mesin *dual fuel* yang digunakan yaitu MAN 18V51/60DF. Tampilan mesin *dual fuel* MAN 18V51/60DF dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Sedangkan, spesifikasi mesin *dual fuel* MAN 18V51/60DF dapat dilihat pada **Tabel 2.2** dan **Gambar 2.5**.



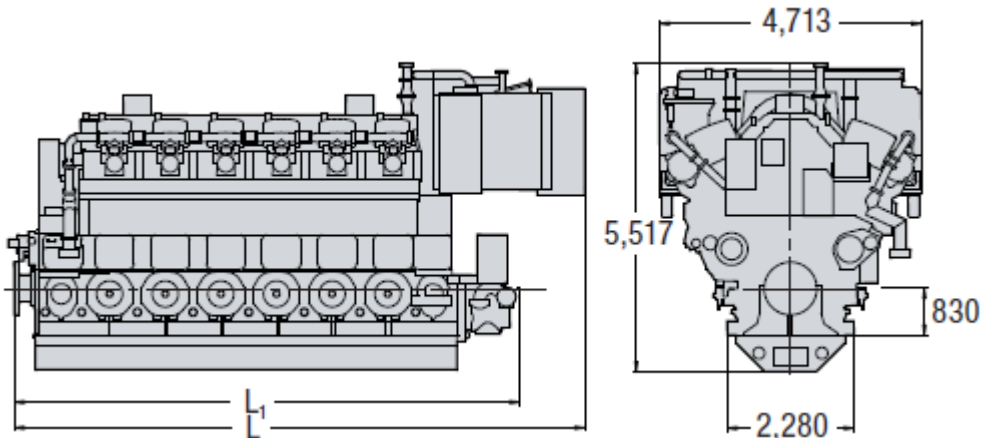
Gambar 2.4. Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

Tabel 2.2. Spesifikasi Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF

Sumber : MAN 51/60DF Project Guide - Marine

Number of Cylinders	18	
Vee Angle	50°	
Cylinder Bore	510	mm
Piston Stroke	600	mm
Maximum Engine Power	18,900	kW
Maximum Engine Speed	500	rpm
Mean Effective Pressure	20.6	bar
Dimension (L)	13,644	mm
Dimension (L₁)	12,088	mm
Dry Mass	265	ton



Gambar 2.5. Dimensi Mesin Dual Fuel MAN 18V51/60DF

Sumber : MAN 51/60DF Project Guide - Marine

Rumus perhitungan daya mesin terhadap putaran mesin :

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

P_1	= Daya mesin pada kondisi 1	[kW]
P_2	= Daya mesin pada kondisi 2	[kW]
n_1	= Putaran mesin pada kondisi 1	[rpm]
n_2	= Putaran mesin pada kondisi 2	[rpm]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

2.3. Limbah Panas

Limbah panas merupakan sisa hasil proses pembakaran atau reaksi kimia dalam bentuk panas yang tidak dimanfaatkan kembali dan langsung dibuang ke lingkungan.

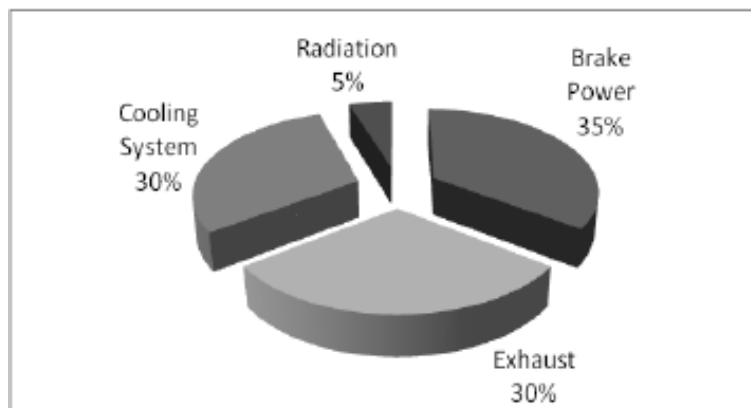
Limbah panas dapat diklasifikasikan berdasarkan temperatur menjadi :

- Limbah panas temperatur tinggi (> 650 °C)
- Limbah panas temperatur sedang (230 °C – 650 °C)
- Limbah panas temperatur rendah (< 230 °C)

Sejumlah limbah panas dihasilkan dari mesin berkapasitas besar, seperti : ketel uap, mesin diesel, mesin gas, turbin gas, turbin uap dan sebagainya. Energi yang terkandung dalam limbah panas dapat dimanfaatkan kembali, tetapi tidak dapat seluruhnya dimanfaatkan untuk kegunaan lainnya. Adapun, pada penelitian dan penulisan tugas akhir limbah panas yang dikaji berasal dari limbah panas mesin *dual fuel* MAN 18V51/60DF yang merupakan mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*).

2.3.1. Limbah Panas berdasarkan Sumber

Untuk mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*), sekitar 35 % energi dari hasil proses pembakaran dikonversikan menjadi energi mekanik (*brake power*). Sisanya, sekitar 65 % merupakan kerugian yang terjadi selama proses pembakaran berlangsung. Sekitar 30 % energi dari hasil proses pembakaran merupakan limbah panas dalam bentuk gas buang (*exhaust*), sekitar 30 % energi dari hasil proses pembakaran merupakan limbah panas dalam bentuk sistem pendingin (*cooling system*) dan sekitar 5 % energi dari hasil proses pembakaran merupakan limbah panas dalam bentuk radiasi (*radiation*). Data mengenai limbah panas berdasarkan sumber pada mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Dalam penelitian dan penulisan tugas akhir, limbah panas dalam bentuk gas buang akan menjadi objek. Jika limbah panas gas buang dapat dimanfaatkan kembali, sejumlah besar bahan bakar dapat dihemat. Pemanfaatan kembali limbah panas gas buang bergantung pada laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang. Diprediksi bahwa jika 6 % dari panas yang terkandung dalam gas buang dikonversi menjadi tenaga listrik, pengurangan konsumsi bahan bakar 10 % dapat dicapai (Jadhao, 2013).



Gambar 2.6. Grafik Limbah Panas berdasarkan Sumber pada Mesin Pembakaran Internal
Sumber : Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I. C. Engine Journal

Rumus perhitungan energi panas gas buang :

$$Q_{eg} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{eg} - T_{sk}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

Q_{eg}	= Energi panas gas buang	[kW]
\dot{m}_{eg}	= Laju aliran massa gas buang	[kg/s]
$C_{p_{eg}}$	= Panas spesifik gas buang	[kJ/kg.°C]
T_{eg}	= Temperatur gas buang	[°C]
T_{sk}	= Temperatur cerobong	[°C]

Sumber : Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I. C. Engine Journal

Rumus perhitungan laju aliran massa gas buang :

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{fl} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

\dot{m}_{eg}	= Laju aliran massa gas buang	[kg/s]
\dot{m}_{ar}	= Laju aliran massa udara	[kg/s]
\dot{m}_{fl}	= Laju aliran massa bahan bakar	[kg/s]

Sumber : Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I. C. Engine Journal

2.4. Sistem Pemulihan Limbah Panas

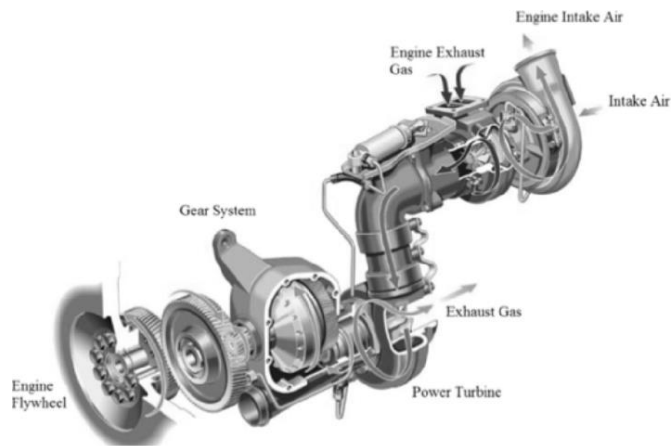
Limbah panas hasil proses pembakaran atau reaksi kimia dapat didaur ulang maupun dimanfaatkan kembali oleh sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*). Manfaat yang diperoleh setelah mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas dapat diklasifikasikan menjadi manfaat langsung dan manfaat tidak langsung. Manfaat langsung yang bisa didapat setelah mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas terletak pada peningkatan efisiensi pembangkit listrik secara keseluruhan dan berakibat pada pengurangan konsumsi bahan bakar serta biaya proses untuk mendapatkan daya keluaran yang sama. Sedangkan, manfaat tidak langsung yang bisa didapat setelah mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas yaitu terletak pada pengurangan polusi (sejumlah limbah beracun yang dibawa oleh gas buang, seperti : hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), sulfur oksida (SOx) dan sebagainya) yang terlepas ke lingkungan. Limbah panas yang didaur ulang maupun dimanfaatkan kembali dapat berdampak pada pengurangan ukuran komponen dan sistem (seperti : tangki bahan bakar dan sistem bahan bakar), karena mengurangi kebutuhan serta konsumsi bahan bakar. Limbah panas di mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) memiliki kisaran temperatur 315 °C – 600 °C (limbah panas temperatur sedang). Mesin *dual fuel* sebagai media pembangkit listrik pada penelitian dan penulisan tugas akhir umumnya beroperasi pada kondisi konstan untuk waktu yang lama selama periode tertentu, sehingga pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas akan lebih stabil. Pengaplikasian sistem pemulihan limbah panas akan berefek pada pemenuhan peraturan yang ditetapkan oleh IMO untuk memenuhi tingkat III (*Tier III*) dalam masalah limbah gas buang.

2.4.1. Sistem Pemulihan Limbah Panas berdasarkan Tujuan

Sistem pemulihan limbah panas dapat mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas hasil proses pembakaran atau reaksi kimia untuk tujuan tertentu. Sistem pemulihan limbah panas berdasarkan tujuan dapat diklasifikasikan menjadi :

- *Mechanical turbo-compounding*, gabungan antara komponen *turbocharger* dan kompresor pada poros tunggal. Energi yang tersedia dalam limbah panas gas buang mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) digunakan untuk menggerakkan *turbocharger* dan kompresor sehingga meningkatkan kepadatan udara (atau campuran) *inlet* sebelum masuk ke

setiap silinder mesin. Tampilan *mechanical turbo-compounding* dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



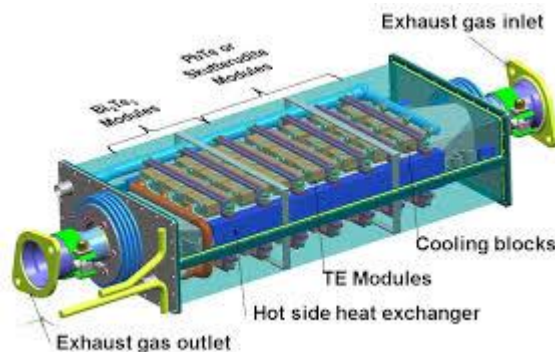
Gambar 2.7. Mechanical Turbo-Compounding
Sumber : Journal of Modern Science and Technology

- Pemanasan seperti pemanasan air umpan ketel uap, pemanasan bahan bakar, pemanasan ruangan, pemanasan udara masuk dan sebagainya dapat berasal dari energi yang terkandung dalam limbah panas gas buang. Dengan mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas gas buang untuk tujuan pemanasan, maka proses keseluruhan operasi dapat ditingkatkan. Studi kasus : pemanasan pada udara masuk dapat menurunkan emisi NO_x, temperatur udara masuk yang lebih tinggi menyebabkan penundaan pengapian dan bertanggung jawab untuk pembentukan NO_x yang lebih rendah. Pembakaran yang merata atau lebih baik terjadi karena pemanasan awal udara masuk, yang juga menyebabkan getaran dan kebisingan mesin lebih rendah. Energi panas yang diperoleh dari gas buang, menyebabkan penambahan energi panas sehingga meningkatkan efisiensi termal mesin (Karaosmanoglu, 2019).
- Generasi listrik tambahan bisa dihasilkan dengan mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas. Sistem pemulihan limbah panas untuk tujuan generasi listrik dapat dilaksanakan dengan beberapa metode. Dimana setiap metode memiliki karakteristik komponen dan sistem yang berbeda, pengaplikasian akan bergantung pada kondisi operasi mesin dan situasi lingkungan.

2.4.2. Sistem Pemulihan Limbah Panas berdasarkan Metode

Untuk mendaur ulang maupun memanfaatkan kembali limbah panas, sistem pemulihan limbah panas memiliki metode yang berbeda untuk mengkonversi energi limbah panas menjadi energi yang berguna. Sistem pemulihan limbah panas berdasarkan metode dapat diklasifikasikan menjadi :

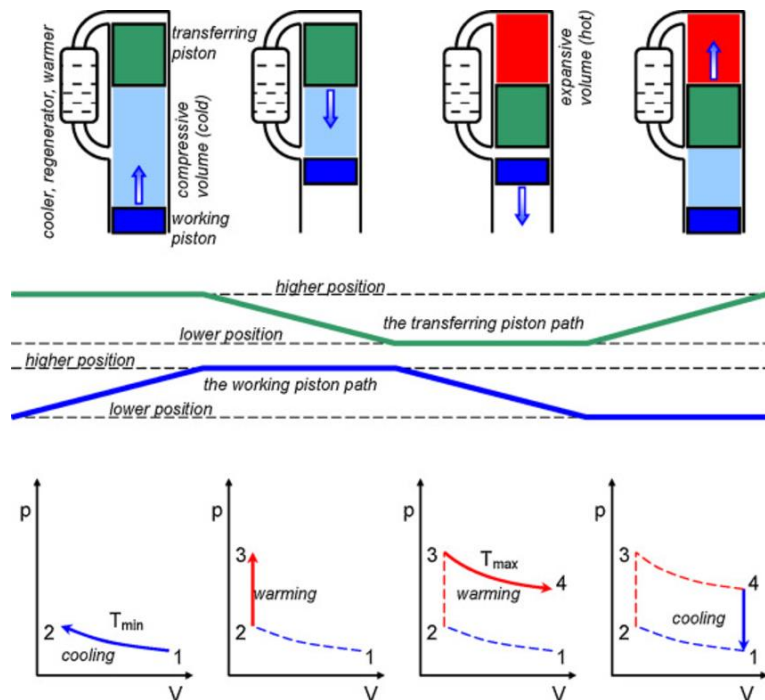
- Metode Langsung. Memanfaatkan daya dari limbah panas mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) untuk menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Faktor yang mempengaruhi sistem pemulihan limbah panas metode langsung adalah keterbatasan termodinamika untuk rentang temperatur yang berbeda. Efisiensi pembangkit listrik sangat bergantung pada laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang. Berikut merupakan beberapa metode yang termasuk metode langsung :
 - Pembangkit listrik termoelektrik, dengan pengaplikasian pipa gas buang berisi blok dengan termoelektrik dapat menghasilkan arus searah, sehingga mengubah energi panas dari gradien temperatur yang ada antara ujung panas dan dingin semikonduktor menjadi energi listrik. Dimana dua semikonduktor berbeda dialiri sumber panas dari limbah panas, sehingga tercipta tegangan antara dua konduktor. Efisiensi pembangkit listrik termoelektrik tergolong rendah (2 hingga 5 %) dan berbiaya tinggi. **Gambar 2.8.** menunjukkan pembangkit listrik termoelektrik dan komponennya.



Gambar 2.8. Pembangkit Listrik Termoelektrik
 Sumber : Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference

- Generasi piezoelektrik digunakan untuk kisaran temperatur rendah 100 °C hingga 150 °C. Perangkat piezoelektrik mengubah energi mekanik dalam bentuk getaran sekitar menjadi energi listrik. Komponen utama pada pembangkit listrik piezoelektrik adalah membran film tipis yang dapat mengambil keuntungan dari ekspansi gas beresilansi untuk menghasilkan keluaran tegangan.
- Generasi termionik adalah perangkat termoelektrik yang beroperasi pada emisi termionik. Dalam limbah panas gas buang, perbedaan temperatur mendorong aliran elektron melalui vakum dari logam ke permukaan oksida logam pada temperatur sekitar 100 °C.
- Metode tidak langsung
 - Siklus Stirling digunakan pada mesin pembakaran internal bolak-balik linier, memiliki banyak keuntungan dibandingkan mesin *crank-slider* konvensional (Jadhao, 2013). Manfaatnya termasuk

peningkatan efisiensi, rasio *power-to-weight* yang lebih tinggi dan kemampuan pengaplikasian beberapa sumber limbah panas. Mesin Stirling adalah mesin yang beroperasi dengan kompresi siklik dan ekspansi udara atau gas lain, pada tingkat temperatur yang berbeda sehingga ada konversi bersih energi panas menjadi kerja mekanis. Struktur sirip untuk pemanas dan pendingin dapat meningkatkan area pertukaran panas dan meningkatkan kinerja perpindahan panas. Ukuran celah yang digunakan untuk *seal clearance* dirancang dan dilengkapi oleh proses permesinan presisi, yang merupakan langkah utama dari seluruh pembuatan mesin. Mesin Stirling dirancang untuk beroperasi pada temperatur diferensial yang relatif rendah.



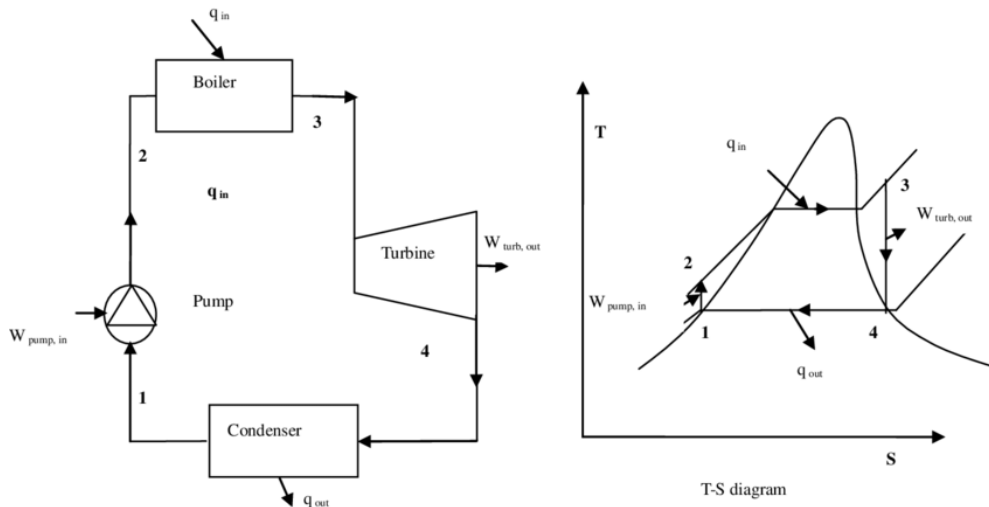
Gambar 2.9. Siklus Stirling
Sumber : <https://www.researchgate.net/>

- Siklus Rankine merupakan sistem yang mengambil prinsip kerja pembangkit listrik uap, namun diterapkan di siklus sekunder. Siklus Rankine memanfaatkan energi dari laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang untuk menghasilkan daya tambahan dengan mengemban uap. Untuk beberapa situasi dan kondisi, siklus Rankine menggunakan cairan organik. Siklus Rankine dengan fluida kerja air memiliki kelebihan karena fluida kerja murah dan tersedia luas, sementara cairan organik bisa sangat mahal atau penggunaannya bisa dibatasi oleh lingkungan. Untuk kapasitas besar, memerlukan fluida dalam jumlah besar dan hanya bisa dicakup oleh fluida kerja air

karena apabila menggunakan fluida organik akan terkendala biaya operasional. Pemanasan langsung dan penguapan saat menggunakan fluida kerja air tidak perlu perantara sirkuit (minyak termal). Beberapa fluida organik standar dirancang untuk bekerja dengan sirkuit minyak termal antara untuk mengangkut limbah panas ke *preheater* dan *evaporator*, sehingga cenderung membuat instalasi lebih kompleks, mahal dan menyebabkan tambahan penurunan temperatur serta meningkatkan risiko kecelakaan kebakaran dengan minyak termal sirkuit. Pemilihan fluida kerja yang efektif tergantung dari daya sumber panas, seperti berikut :

- ❖ Tenaga mesin utama > 25.000 kW \rightarrow *steam turbine* dan *power turbine*.
- ❖ Tenaga mesin utama < 25.000 kW \rightarrow *power turbine generator* atau *steam turbine generator* (dengan *super heater*).
- ❖ Tenaga mesin utama < 15.000 kW \rightarrow *power turbine generator* atau *organic rankine cycle*.

2.5. Steam Rankine Cycle



Gambar 2.10. Siklus Rankine
Sumber : <https://www.researchgate.net/>

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**, siklus rankine terdiri dari empat proses *steady state* sebagai berikut :

- Proses 1-2 : kompresi fluida cair dalam pompa. Fluida yang disimpan dalam tangki bah akan ditekan menggunakan pompa dan dikirim ke *boiler* / ketel uap.
- Proses 2-3 : penambahan panas isobarik ke fluida dalam penukar pemulihan panas gas buang. Fluida kerja bertekanan tinggi dipanaskan oleh limbah sumber panas, dan terbentuk tekanan tinggi dan temperatur tinggi uap lalu dikirim ke turbin uap.

- Proses 3-4 : ekspansi dalam turbin uap. Energi kinetik dalam temperatur tinggi dan fluida kerja tekanan tinggi dikonversi menjadi energi mekanik dan memutar bilah turbin uap yang terhubung ke generator untuk menghasilkan tenaga listrik.
- Proses 4-1 : penolakan panas isobarik di kondensor. Cerobong dari keluaran turbin uap akan didinginkan oleh sumber eksternal untuk membawa fluida kerja ke fase cair.

Keempat proses ini dapat membentuk siklus rankine sederhana. Sistem pemulihan limbah panas siklus rankine terdiri dari tiga sub-sistem : sistem sumber panas (uap panas limbah temperatur rendah – menengah), sistem siklus rankine dan sumber pendinginan sistem (air pendingin). Prinsip dasar dan proses sistem siklus rankine adalah memanfaatkan air dan uap tekanan tinggi. Cairan yang bekerja mengalami tiga tahap : pemanasan awal, penguapan, panas berlebih dan kemudian panasnya diserapan pada proses tekanan konstan.

2.5.1. Ketel Uap



Gambar 2.11. Ketel Uap
Sumber : <https://www.superiorboiler.com/>

Ketel uap atau *boiler* adalah komponen yang berfungsi untuk memanaskan air dengan menggunakan panas dari hasil limbah panas gas buang dan/atau pembakaran bahan bakar, panas hasil pembakaran selanjutnya dialirkan ke air sehingga menghasilkan *steam* (uap air yang memiliki temperatur tinggi). Dari definisi singkat, dapat disimpulkan bahwa ketel uap atau *boiler* berfungsi untuk memproduksi *steam* (uap) yang dapat digunakan untuk kebutuhan atau proses selanjutnya. Umumnya bakar yang digunakan untuk memanaskan ketel uap atau *boiler* yaitu batu bara, gas dan bahan bakar minyak. Ditinjau dari tekanan ruang bakar ketel uap atau *boiler* nya, ketel uap dapat diklasifikasikan menjadi :

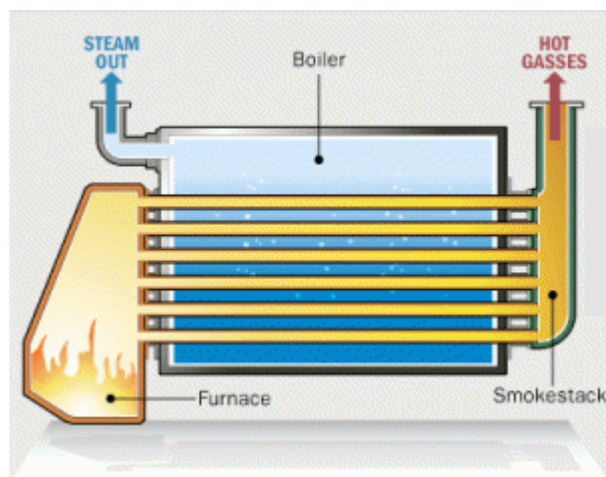
- *Pressurised Boiler* (ketel uap tekanan ruang bakar positif) digunakan untuk pembakaran bahan bakar minyak atau gas. Tekanan ruang bakar yang positif diakibatkan oleh hembusan udara dari kipas tekan paksa (*Forced Draft Fan*,

FDF). Gas buang keluar dari ruang bakar ke atmosfer lingkungan karena perbedaan tekanan dalam ketel uap.

- *Balanced Draft Boiler* (tekanan berimbang) biasa digunakan untuk pembakaran bahan bakar batubara. Tekanan ruang bakar dibuat sedikit dibawah tekanan atmosfer (atm), biasanya sekitar $-10 \text{ mmH}_2\text{O}$. Tekanan ini dihasilkan dari pengaturan dua buah kipas, yaitu kipas hisap paksa (*Induced Draft Fan, IDF*) dan kipas tekan paksa (*Forced Draft Fan, FDF*). FDF berfungsi untuk menyuplai udara pembakaran menuju ruang bakar (*furnace*) di ketel uap atau *boiler*, sedangkan IDF berfungsi untuk menghisap gas dari ruang bakar dan membuang ke atmosfer lingkungan melalui cerobong.
- *Vacuum Boiler* tidak dikembangkan lagi, sehingga saat ini tidak ada lagi yang menerapkan ketel uap atau *boiler* bertekanan negatif.

Sedangkan, bila ditinjau dari letak dapur (*furnace position*) ketel uap dapat diklasifikasikan menjadi :

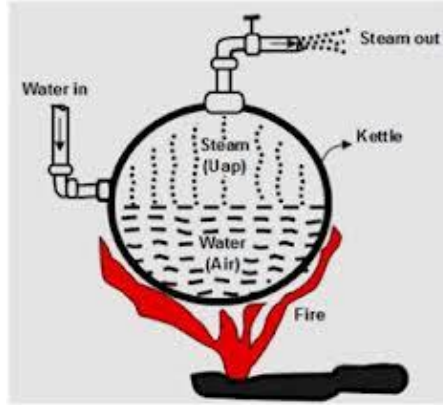
- Ketel dengan pembakaran dalam (*internally fired steam boiler*). Ketel uap jenis ini memiliki dapur (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. Ketel pipa api umumnya memakai sistem ketel dengan pembakaran dalam. Tampilan ketel uap dengan pembakaran dalam dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12. Ketel Uap dengan Pembakaran Internal

Sumber : <https://www.hima-tl.ppns.ac.id/>

- Ketel dengan pembakaran di luar (*externally fired steam boiler*). Ketel uap jenis ini memiliki dapur (pembakaran terjadi) di bagian luar ketel. Ketel pipa air umumnya memakai sistem ketel dengan pembakaran luar. Tampilan ketel uap dengan pembakaran dalam dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13. Ketel Uap dengan Pembakaran Eksternal
 Sumber : <https://www.hima-tl.ppns.ac.id/>

Rumus perhitungan energi panas ketel uap :

$$Q_{bo} = \frac{\dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{in})}{1 - \varepsilon} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

Q_{bo}	= Energi panas ketel uap	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg.°C]
T_{ot}	= Temperatur keluar ketel uap	[°C]
T_{in}	= Temperatur masuk ketel uap	[°C]
ε	= Rasio rugi panas	

Sumber : The Potential of Exhaust Waste Heat Recovery (WHR) from Marine Diesel Engines via Organic Rankine Cycle Journal

Rumus perhitungan energi panas pembakar tambahan :

$$Q_{bu} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{bu} - T_{eg}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

Q_{bu}	= Energi panas pembakar tambahan	[kW]
\dot{m}_{eg}	= Laju aliran massa gas buang	[kg/s]
$C_{p_{eg}}$	= Panas spesifik gas buang	[kJ/kg.°C]
T_{bu}	= Temperatur pembakar tambahan	[°C]
T_{eg}	= Temperatur gas buang	[°C]

Sumber : Tinjauan Teknis Penggunaan HRSG pada PLTG Gilimanuk

Rumus perhitungan energi panas bahan bakar tambahan :

$$Q_{rl} = Q_{bu} \times \eta_{bu} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- Q_{rl} = Energi panas bahan bakar tambahan [kW]
- Q_{bu} = Energi panas pembakar tambahan [kW]
- η_{bu} = Efisiensi pembakar tambahan [%]

Sumber : Tinjauan Teknis Penggunaan HRSG pada PLTG Gilimanuk

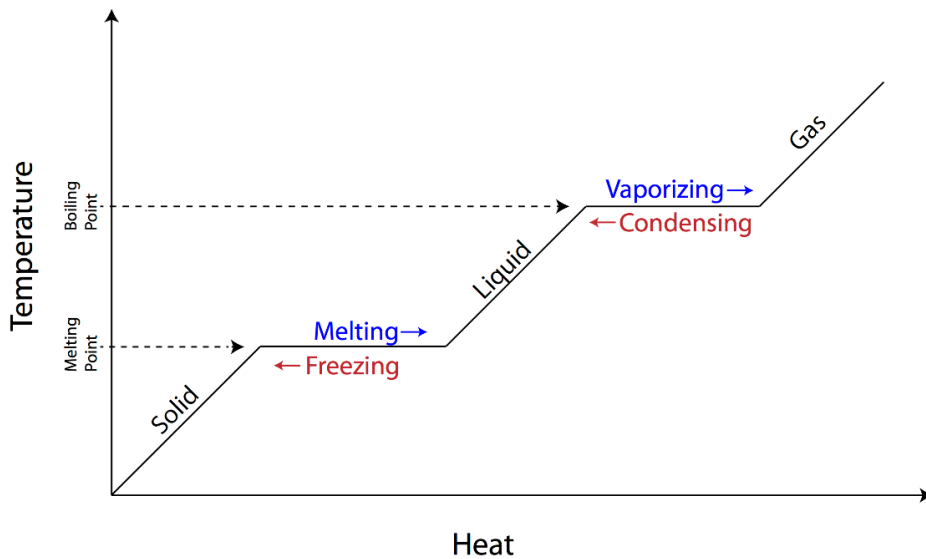
Rumus perhitungan laju aliran massa bahan bakar tambahan :

$$Q_{rl} = \dot{m}_{rl} \times LHV \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- Q_{rl} = Energi panas bahan bakar tambahan [kW]
- \dot{m}_{rl} = Laju aliran massa bahan bakar tambahan [kg/s]
- LHV = Nilai panas terendah [kJ/kg]

Sumber : Development of a Waste Heat Recovery System onboard LNG Carrier to meet IMO Regulations Journal



Gambar 2.14. Diagram Perubahan Fase
 Sumber : <https://www.aplusphysics.com/>

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_1 :

$$Q_1 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{sa} - T_{in}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

Q_1	= Energi panas pada kondisi Q_1	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg. °C]
T_{sa}	= Temperatur jenuh fluida kerja	[°C]
T_{in}	= Temperatur awal fluida kerja	[°C]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_2 :

$$Q_2 = \dot{m}_{wf} \times L_{wf} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

Q_2	= Energi panas pada kondisi Q_2	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
L_{wf}	= Kalor laten fluida kerja	[kJ/kg]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_3 :

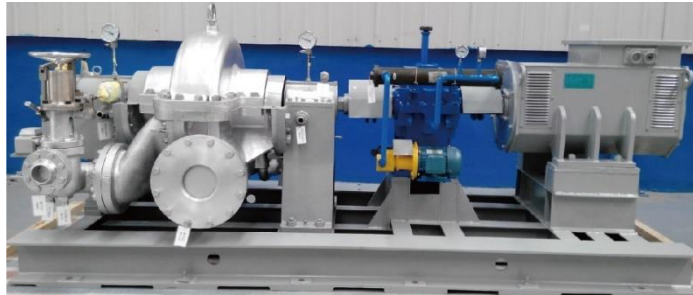
$$Q_3 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{sa}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

Q_3	= Energi panas pada kondisi Q_3	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg. °C]
T_{ot}	= Temperatur akhir fluida kerja	[°C]
T_{sa}	= Temperatur jenuh fluida kerja	[°C]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

2.5.2. Turbin Uap



Gambar 2.15. Steam Turbine Generator
Sumber : <https://qbraitway.en.made-in.china.com/>

Turbin uap adalah mesin tenaga yang berfungsi untuk mengubah energi thermal (energi panas yang terkandung dalam uap) menjadi energi poros (putaran). Sebelum energi thermal (enthalpi) diubah menjadi energi poros, energi thermal diubah dulu menjadi energi kinetik. Alat untuk mengubah menjadi energi kinetik adalah nosel. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi diarahkan menggunakan nosel untuk mendorong sudu turbin uap yang dipasang pada poros sehingga poros turbin uap berputar. Turbin uap terdiri dari sebuah atau lebih cakram (*impeller*) yang dikelilingi oleh daun-daun cakram yang disebut sudu-sudu. Sudu-sudu berputar karena suplai uap bertekanan yang berasal dari ketel uap. Uap hasil dari komponen ketel uap dialiri ke ruang ekspansi turbin uap dengan bantuan *control valve* yang akan dipakai untuk memutar turbin uap dan dikopelkan langsung dengan sebuah generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik. Setelah melewati turbin uap, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi akan menjadi uap bertekanan rendah. Terdapat banyak variasi, susunan, karakteristik dan konstruksi turbin uap yang diterapkan pada pembangkit listrik. Turbin uap dapat diklasifikasikan menjadi :

- Dari segi tekanan akhir uap
 - o Turbin tekanan lawan (*back pressure turbine*).
 - o Turbin kondensasi, dimana turbin yang akan mengalirkan uapnya untuk dikondensasi dalam kondensor. Sehingga, air kondensat dapat digunakan untuk air umpan ketel uap.
- Dari segi arah aliran uap
 - o Turbin aksial, dimana fluida kerja mengalir sejajar dengan arah sumbu turbin.
 - o Turbin radial, dimana fluida kerja mengalir tegak lurus dengan arah sumbu turbin.
 - o Turbin tangensial.
- Dari segi tekanan uap
 - o Turbin impuls, dimana energi potensial uap diubah menjadi energi kinetik dengan bantuan nosel yang disalurkan ke sudu-sudu gerak, lalu energi kinetik diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin.
 - o Turbin reaksi, dimana ekspansi uap diantara laluan sudu, baik sudu pengarah maupun sudu gerak.

- Dari segi pembentukan tingkat uap
 - o Turbin tekanan bertingkat (Reteau)
 - o Turbin kecepatan bertingkat (Curtis)
- Dari segi aliran uap dan *casing*
 - o Turbin *reheat* dan *non-reheat*
 - o Turbin ekstraksi dan non-ekstraksi
 - o Turbin *single casing* dan *multi casing*
- Dari jumlah tingkat tekanan
 - o Turbin satu tingkat, dimana memiliki kapasitas relatif kecil. Digunakan untuk menggerakkan kompresor, pompa atau mesin tenaga kecil lainnya.
 - o Turbin bertingkat banyak, dimana terdapat kapasitas dari kecil sampai besar dan biasanya terdiri dari susunan beberapa nosel dan beberapa sudu yang ditempatkan berurutan serta berputar pada satu poros yang sama.
- Dari kondisi uap yang masuk ke dalam turbin
 - o Turbin tekanan rendah, dimana tekanan uapnya 2 kg/cm².
 - o Turbin tekanan menengah, tekanan uap sampai dengan 40 kg/cm².
 - o Turbin tekanan tinggi, tekanan uap sampai dengan 170 kg/cm².
 - o Turbin tekanan sangat tinggi, tekanan uap di atas 170 kg/cm².
 - o Turbin adikritis, turbin uap yang beroperasi dengan tekanan uap di atas 225 kg/cm².

Rumus perhitungan temperatur turbin uap terhadap tekanan turbin uap :

$$\frac{T_{ot}}{T_{in}} = \frac{P_{ot}}{P_{in}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

T_{in}	= Temperatur masuk turbin uap	[°C]
T_{ot}	= Temperatur keluar turbin uap	[°C]
P_{in}	= Tekanan masuk turbin uap	[bar]
P_{ot}	= Tekanan keluar turbin uap	[bar]
γ	= Konstanta kapasitas panas	

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Rumus perhitungan kerja turbin uap :

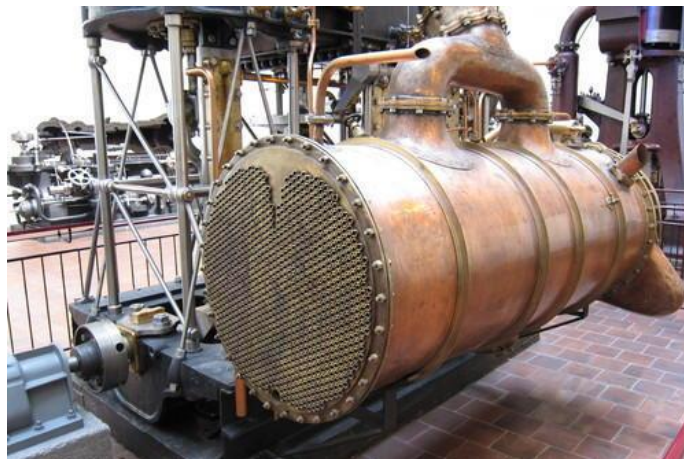
$$W_{st} = \eta_{st} \times \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{in}) \quad \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

W_{st}	= Kerja turbin uap	[kW]
η_{st}	= Efisiensi turbin uap	[%]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg. °C]
T_{ot}	= Temperatur keluar turbin uap	[°C]
T_{in}	= Temperatur masuk turbin uap	[°C]

Sumber : The Potential of Exhaust Waste Heat Recovery (WHR) from Marine Diesel Engines via Organic Rankine Cycle Journal

2.5.3. Kondensor



Gambar 2.16. Kondensor
Sumber : <https://www.indiamart.com/>

Kondensor adalah komponen yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah fluida dalam fase uap menjadi fluida dalam fase cair (kondensasi). Prinsip kerja kondensor yaitu proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*), sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor dengan prinsip kerja demikian disebut kondensor jenis *surface* (permukaan). Jenis Kondensor permukaan (*surface condenser*) banyak digunakan di PLTU. Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar, sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediaannya seperti dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin uap, sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin uap untuk masuk kondensor karena gravitasi.

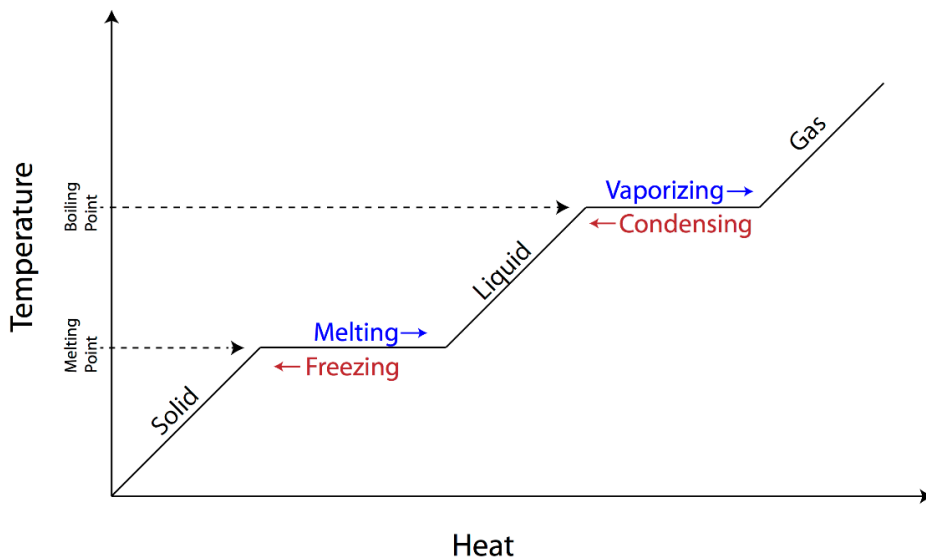
Rumus perhitungan energi panas kondensor :

$$Q_{cd} = \frac{\dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{in})}{1 - \varepsilon} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- Q_{bo} = Energi panas kondensor [kW]
- \dot{m}_{wf} = Laju aliran massa fluida kerja [kg/s]
- $C_{p_{wf}}$ = Panas spesifik fluida kerja [kJ/kg. °C]
- T_{ot} = Temperatur keluar kondensor [°C]
- T_{in} = Temperatur masuk kondensor [°C]
- ε = Rasio rugi panas

Sumber : The Potential of Exhaust Waste Heat Recovery (WHR) from Marine Diesel Engines via Organic Rankine Cycle Journal



Gambar 2.17. Diagram Perubahan Fase
 Sumber : <https://www.aplusphysics.com/>

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_1 :

$$Q_1 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{in} - T_{sa}) \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

- Q_1 = Energi panas pada kondisi Q_1 [kW]
- \dot{m}_{wf} = Laju aliran massa fluida kerja [kg/s]
- $C_{p_{wf}}$ = Panas spesifik fluida kerja [kJ/kg. °C]
- T_{in} = Temperatur awal fluida kerja [°C]
- T_{sa} = Temperatur jenuh fluida kerja [°C]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_2 :

$$Q_2 = \dot{m}_{wf} \times L_{wf} \quad \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

Q_2	= Energi panas pada kondisi Q_2	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
L_{wf}	= Kalor laten fluida kerja	[kJ/kg]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Rumus perhitungan energi panas pada kondisi Q_3 :

$$Q_3 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{sa} - T_{ot}) \quad \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

Q_3	= Energi panas pada kondisi Q_3	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg. °C]
T_{sa}	= Temperatur jenuh fluida kerja	[°C]
T_{ot}	= Temperatur akhir fluida kerja	[°C]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

2.5.4. Pompa



Gambar 2.18. Pompa

Sumber : <https://www.pumpindustry.com.au/>

Pompa adalah komponen / mesin fluida yang digunakan untuk mengalirkan atau memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan terhadap fluida kerja. Dalam pengoperasian, pompa mengubah energi mekanik poros untuk menggerakkan sudu-sudu menjadi energi gerak dan tekanan pada fluida kerja. Pada umumnya pompa dipergunakan untuk menaikkan fluida dari sebuah *reservoir*, pengairan, pengisi ketel uap dan sebagainya (Edwards, 1996). Pompa dapat diklasifikasikan menjadi 2 pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non-positive displacement pump*).

Rumus perhitungan kerja pompa :

$$W_{pm} = \frac{\dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{in})}{\eta_{pm}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

W_{pm}	= Kerja pompa	[kW]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
$C_{p_{wf}}$	= Panas spesifik fluida kerja	[kJ/kg. °C]
T_{ot}	= Temperatur keluar pompa	[°C]
T_{in}	= Temperatur masuk pompa	[°C]
η_{pm}	= Efisiensi pompa	[%]

Sumber : The Potential of Exhaust Waste Heat Recovery (WHR) from Marine Diesel Engines via Organic Rankine Cycle Journal

Rumus perhitungan laju aliran volume fluida kerja :

$$v_{wf} = \frac{\dot{m}_{wf}}{\rho_{wf}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

Dimana :

v_{wf}	= Laju aliran volume fluida kerja	[m ³ /s]
\dot{m}_{wf}	= Laju aliran massa fluida kerja	[kg/s]
ρ_{wf}	= Massa jenis fluida kerja	[kg/m ³]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

Head adalah bentuk energi yang dinyatakan dalam satuan panjang (m). Head terdiri dari head tekanan (P), head kecepatan (v) dan head ketinggian (Z). Head ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi (m) kolom air, head kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan air sepanjang (m) kolom air, sedangkan head tekanan adalah suatu energi aliran dari (m) kolom air yang memiliki berat sama dengan tekanan dari kolom (m) air.

Rumus perhitungan head pompa :

$$H_{pm} = H_p + H_v + H_z = \Delta \frac{P_{wf}}{\rho g} + \Delta \frac{v_{wf}^2}{2g} + \Delta Z \quad \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

H_{pm}	= Head pompa	[m]
H_p	= Head tekanan	[m]
H_v	= Head kecepatan	[m]
H_z	= Head elevasi	[m]

Sumber : Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship Journal

2.6. Tinjauan Teknis

Tinjauan teknis merupakan langkah untuk menilai pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung. Sesuai dengan hipotesa, dimana terjadi peningkatan efisiensi pembangkit listrik terapung secara keseluruhan (perbandingan antara sebelum dan sesudah pengaplikasian *steam rankine cycle*). Sehingga berdampak pada peningkatan daya keluaran dan penurunan konsumsi bahan bakar yang diperlukan untuk mendapat daya keluaran yang sama.

Rumus perhitungan kerja steam rankine cycle :

$$W_{sr} = W_{st} - W_{pm} \quad \dots\dots\dots(20)$$

Dimana :

W_{sr}	= Kerja steam rankine cycle	[kW]
W_{st}	= Kerja turbin uap	[kW]
W_{pm}	= Kerja pompa	[kW]

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

Rumus perhitungan efisiensi steam rankine cycle :

$$\eta_{sr} = \frac{W_{sr}}{Q_{bo} + Q_{bu}} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Dimana :

η_{sr}	= Efisiensi steam rankine cycle	[%]
W_{sr}	= Kerja steam rankine cycle	[kW]
Q_{bo}	= Energi panas ketel uap	[kW]
Q_{bu}	= Energi panas pembakar tambahan	[kW]

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

Rumus perhitungan efisiensi pembangkit listrik terapung :

$$\eta_{pp} = \frac{P_{me} + W_{sr}}{(\dot{m}_{fl} + \dot{m}_{rl}) \times LHV} \quad \dots\dots\dots(22)$$

Dimana :

η_{pp}	= Efisiensi pembangkit listrik terapung	[%]
P_{me}	= Daya mesin utama	[kW]
W_{sr}	= Kerja steam rankine cycle	[kW]
\dot{m}_{fl}	= Laju aliran massa bahan bakar	[kg/s]
\dot{m}_{rl}	= Laju aliran massa bahan bakar tambahan	[kg/s]
LHV	= Nilai panas terendah	[kJ/kg]

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

Rumus perhitungan efisiensi mesin utama :

$$\eta_{me} = \frac{P_{me}}{\dot{m}_{fl} \times LHV} \quad \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

η_{me}	= Efisiensi mesin utama	[%]
P_{me}	= Daya mesin utama	[kW]
\dot{m}_{fl}	= Laju aliran massa bahan bakar	[kg/s]
LHV	= Nilai panas terendah	[kJ/kg]

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

Rumus perhitungan perbedaan efisiensi :

$$\Delta \eta = \eta_{pp} - \eta_{me} \quad \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

$\Delta \eta$	= Perbedaan efisiensi	[%]
η_{pp}	= Efisiensi pembangkit listrik terapung	[%]
η_{me}	= Efisiensi mesin utama	[%]

Sumber : Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant Journal

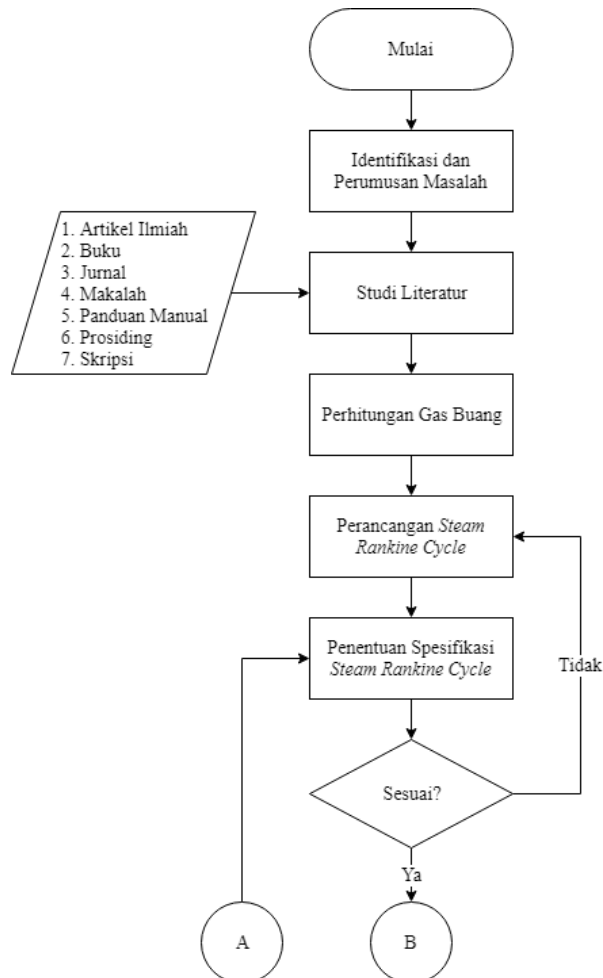
BAB III METODE PENELITIAN

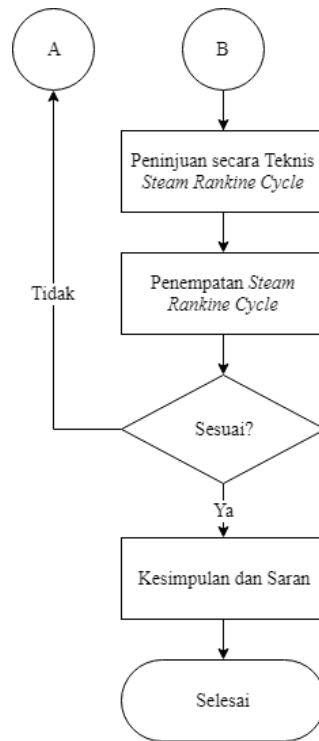
3.1. Deskripsi Umum

Bab III mengenai metode penelitian menjabarkan metode yang digunakan dan langkah sistematis dalam pelaksanaan serta penuntasan penelitian dan penulisan tugas akhir. Metode penelitian pun merupakan kerangka berpikir dan fondasi dasar dari tahapan serta proses penelitian dan penulisan tugas akhir. Seluruh kegiatan serta prosedur penelitian dan penulisan tugas akhir, secara garis besar merupakan identifikasi masalah, perumusan masalah, analisa masalah dan pemecahan masalah.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian pada tugas akhir secara detail dapat digambarkan dan diuraikan sebagai berikut :





3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pelaksanaan serta penuntasan penelitian dan penulisan tugas akhir dimulai dengan langkah identifikasi masalah dan perumusan masalah, sehingga bisa menentukan ke arah mana analisa masalah dan pemecahan masalah dilakukan. Batasan masalah perlu dicanangkan untuk mengerucutkan setiap tahapan serta proses penelitian dan penulisan tugas akhir, mulai dari identifikasi masalah, perumusan masalah, analisa masalah dan pemecahan masalah. Adapun masalah yang diangkat dalam penelitian dan penulisan tugas akhir adalah “Tinjauan Teknis Pengaplikasian *Steam Rankine Cycle* pada Pembangkit Listrik Terapung 100 MW”.

3.2.2. Studi Literatur

Penelitian dan penulisan tugas akhir harus didukung dengan studi literatur, sehingga setiap kegiatan serta prosedur penelitian dan penulisan tugas akhir mulai dari identifikasi masalah, perumusan masalah, analisa masalah dan pemecahan masalah dikerjakan atas dasaran yang kuat. Dasarannya yang dimaksud yaitu berupa penelitian ilmiah yang sudah pernah dibuat sebelumnya dan bisa menjadi acuan. Studi literatur dapat bersumber dari artikel ilmiah, buku, jurnal, makalah, panduan manual, prosiding dan skripsi.

3.2.3. Perhitungan Gas Buang

Berdasarkan data spesifikasi mengenai mesin *dual fuel* dan pembangkit listrik terapung, dapat dihitung laju energi gas buang (Q) dan temperatur gas buang (T) mesin *dual fuel* pada pembangkit listrik terapung. Data yang diperlukan diperoleh

dari panduan manual mesin *dual fuel* yaitu berupa laju aliran gas buang (\dot{m}), panas spesifik gas buang (C_p) dan temperatur gas buang (T) mesin *dual fuel*. Hasil perhitungan yang didapat berupa laju energi gas buang (Q) dan temperatur gas buang (T) mesin *dual fuel*.

3.2.4. Perancangan *Steam Rankine Cycle*

Berdasarkan hasil perhitungan gas buang, dapat dirancang *steam rankine cycle* yang merupakan kesatuan dari komponen ketel uap, turbin uap, kondensor dan pompa. Data yang diperlukan diperoleh dari studi literatur yaitu berupa rumus perhitungan untuk setiap komponen pada *steam rankine cycle*. Hasil perancangan yang didapat berupa kebutuhan serta standar untuk setiap komponen dalam *steam rankine cycle*.

3.2.5. Penentuan Spesifikasi *Steam Rankine Cycle*

Berdasarkan hasil perancangan *steam rankine cycle*, dapat ditentukan spesifikasi untuk setiap komponen dalam *steam rankine cycle*. Data yang diperlukan diperoleh dari panduan manual komponen yaitu berupa spesifikasi mengenai komponen ketel uap, turbin uap, kondensor dan pompa. Hasil penentuan spesifikasi yang didapat berupa spesifikasi untuk setiap komponen pada *steam rankine cycle*. Sebelum lanjut ke langkah berikutnya yaitu peninjauan secara teknis *steam rankine cycle*, harus diperiksa terlebih dahulu apakah penentuan spesifikasi *steam rankine cycle* sudah sesuai dengan kebutuhan sistem. Bila tidak sesuai, maka harus kembali ke langkah perancangan *steam rankine cycle* dimana bisa merancang *steam rankine cycle* dengan modifikasi komponen dan/atau penambahan komponen.

3.2.6. Peninjauan secara Teknis *Steam Rankine Cycle*

Langkah peninjauan secara teknis *steam rankine cycle* berguna untuk membuktikan hasil pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung secara teknis. Peninjauan secara teknis *steam rankine cycle* yaitu berupa peningkatan efisiensi dikaji berdasarkan konsumsi bahan bakar. Hipotesis penelitian dan penulisan tugas akhir yaitu berupa peningkatan efisiensi sesudah dibandingkan dengan sebelum pengaplikasian *steam rankine cycle* dalam pembangkit listrik terapung.

3.2.7. Penempatan *Steam Rankine Cycle*

Berdasarkan hasil penentuan spesifikasi *steam rankine cycle*, dapat ditempatkan *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung. Data yang diperlukan diperoleh dari rancangan pembangkit listrik terapung. Hasil penempatan yang didapat berupa penempatan *steam rankine cycle* dalam *layout* pembangkit listrik terapung. Sebelum lanjut ke langkah berikutnya yaitu kesimpulan dan saran harus diperiksa terlebih dahulu apakah penempatan *steam rankine cycle* sudah sesuai dengan ruang yang tersedia di pembangkit listrik terapung. Bila tidak sesuai, maka harus kembali ke langkah penentuan spesifikasi *steam rankine cycle* dimana bisa menentukan spesifikasi *steam rankine cycle* dengan perubahan jenis komponen dan/atau variasi jumlah komponen.

3.2.8. Kesimpulan dan Saran

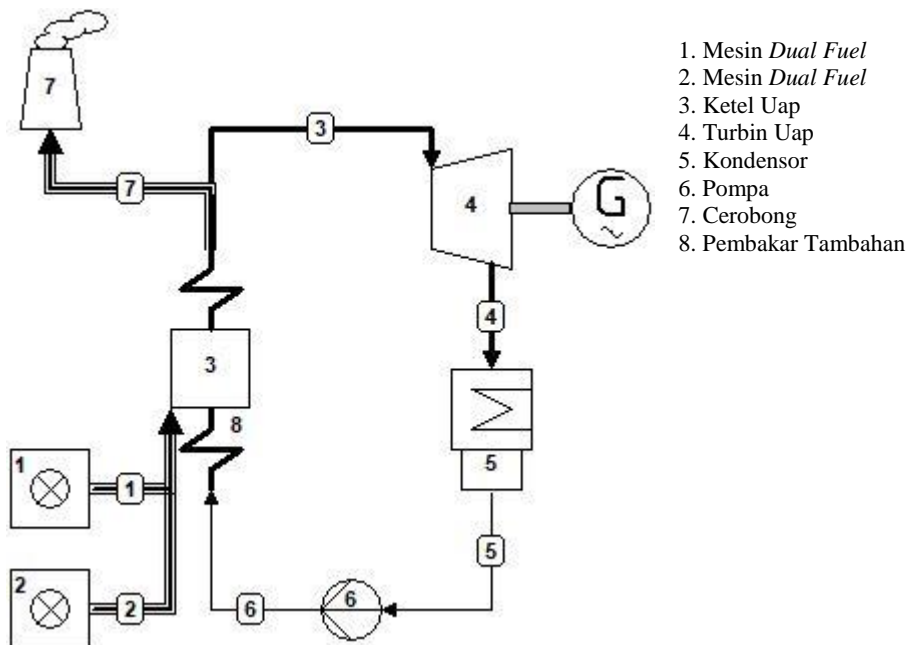
Penarikan kesimpulan dan saran diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan penulisan tugas akhir. Kesimpulan bertujuan untuk menjawab tujuan dari penelitian dan penulisan tugas akhir serta memberikan hasil penelitian dan penulisan tugas akhir secara ringkas kepada pembaca. Sedangkan saran berguna bagi peneliti serta penulis selanjutnya agar dapat menyempurnakan penelitian dan penulisan tugas akhir berikutnya.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Analisa data dan pembahasan merupakan salah satu proses penelitian dan penulisan tugas akhir yang bertujuan untuk meninjau secara teknis generasi listrik yang dihasilkan dari pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung 100 MW. Langkah-langkah yang diperlukan untuk mendapatkan besarnya generasi listrik yang dihasilkan dari pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung 100 MW adalah sebagai berikut :

- Perhitungan gas buang pada variasi kondisi beban 100 %; 85 %; 75 %; 50 %.
- Perancangan *steam rankine cycle*.
- Penentuan spesifikasi *steam rankine cycle*.
- Peninjauan secara teknis *steam rankine cycle*.
- Penempatan *steam rankine cycle*.

Catatan : Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, perhitungan gas buang mengacu pada kondisi beban 85 % (kondisi beban operasional). Perhitungan gas buang pada variasi kondisi 100 %; 85 %; 75 %; 50 % bertujuan untuk mengetahui karakteristik mesin *dual fuel* yang akan menjadi objek penelitian dan penulisan tugas akhir. Mesin *dual fuel* akan direncanakan berjumlah 6 pada pembangkit listrik terapung, berbeda dengan referensi penelitian sebelumnya yang berjudul “*Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant*” dimana mesin *dual fuel* berjumlah 7. Keputusan pengurangan jumlah mesin *dual fuel* diambil berdasarkan kebutuhan akan pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung yang dibatasi oleh ruang yang tersedia.



Gambar 4.1. Skema Pengaplikasian Steam Rankine Cycle

Adapun pada penelitian dan penulisan tugas akhir, direncanakan untuk setiap 2 mesin *dual fuel* akan terdapat 1 sistem pemulihan limbah panas (*steam rankine cycle*). Skema mengenai pengaplikasian *steam rankine cycle* pada pembangkit listrik terapung 100 MW dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Langkah serta proses dari pengaplikasian *steam rankine cycle* merupakan :

- Laju aliran gas buang mesin *dual fuel* dialirkan menuju ketel uap, yang nantinya akan mengubah fluida kerja dalam fase cair menjadi fase uap.
- Pembakar tambahan akan membantu proses perubahan fase dengan meningkatkan temperatur gas buang.
- Laju aliran gas buang yang sudah dimanfaatkan dibuang melalui cerobong ke lingkungan, sedangkan fluida kerja uap dialirkan menuju ke turbin uap.
- Pada turbin uap, energi potensial fluida kerja uap diubah menjadi energi mekanik yang nantinya digunakan untuk menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.
- Setelah fluida kerja uap dimanfaatkan oleh turbin uap, maka sisa fluida kerja uap akan mengalir ke kondensor dengan bantuan gaya gravitasi karena peletakan kondensor tepat berada dibawah turbin uap. Di kondensor, fluida kerja uap diubah kembali menjadi fluida kerja cair sehingga dapat dipindahkan oleh pompa dari satu tempat ke tempat lainnya.
- Pompa bertugas untuk menyuplai kebutuhan fluida kerja dalam fase cair ke dalam ketel uap, fluida kerja cair berasal dari hasil kondensasi kondensor.

4.1. Perhitungan Gas Buang

Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, kondisi beban mesin *dual fuel* akan divariasikan antara 100 %; 85 %; 75 %; 50 %. Adapun spesifikasi daya mesin *dual fuel* didapatkan dari panduan manual mesin *dual fuel* MAN 51/60DF. Langkah pertama yaitu mengetahui putaran mesin pada variasi kondisi beban 100 %; 85 %; 75 %; 50 %. Perhitungan untuk mendapatkan putaran mesin adalah sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3}$$

$$\frac{100}{85} = \frac{(500)^3}{(n_2)^3}$$

$$(n_2)^3 = \frac{125,000,000 \times 85}{100}$$

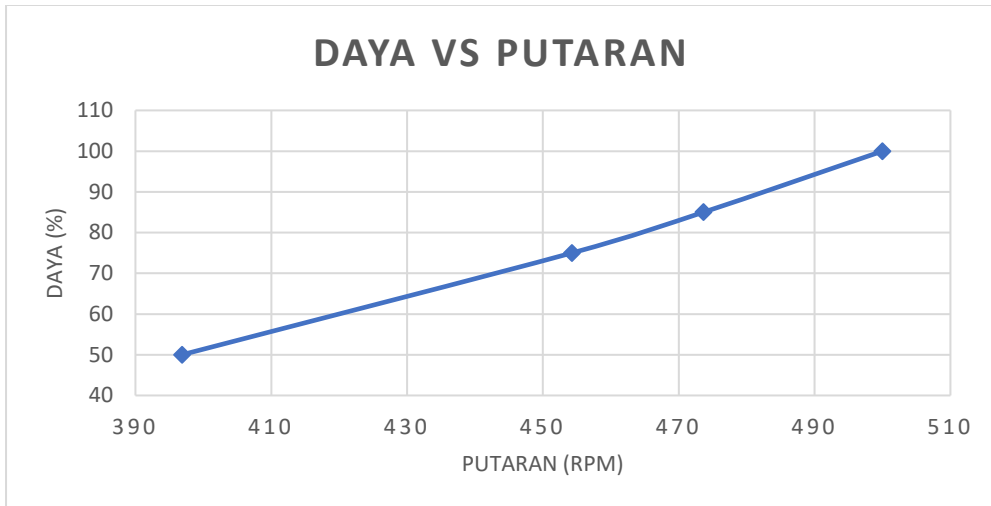
$$(n_2) = \sqrt[3]{106,250,000}$$

$$(n_2) = 473.63 \text{ rpm}$$

Sehingga, didapatkan nilai putaran mesin untuk setiap variasi kondisi beban antara 100 %; 85 %; 75 %; 50 % pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Daya Mesin vs Putaran Mesin

P (%)	100	85	75	50
n (rpm)	500	473.63	454.28	396.85



Gambar 4.2. Grafik Daya vs Putaran

Dari **Gambar 4.2.** mengenai grafik hubungan antara daya dan putaran, dapat diketahui bahwasannya saat kondisi beban naik maka putaran akan naik. Sedangkan, saat kondisi beban turun maka putaran akan turun. Hubungan antara daya dan putaran sesuai dengan rumus perhitungan daya *output* dan berupa hubungan eksponensial.

Langkah berikutnya yaitu mengetahui laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang pada mesin *dual fuel* MAN 18V51/60DF. Laju aliran massa gas buang merupakan gabungan antara laju aliran massa bahan bakar (dalam penelitian dan penulisan tugas akhir menggunakan mode sistem bahan bakar gas) dan laju aliran massa udara yang merupakan komponen penting pada proses pembakaran. Data mengenai laju aliran massa bahan bakar, laju aliran massa udara dan temperatur gas buang didapatkan dari panduan manual mesin *dual fuel* MAN 51/60DF. Perhitungan untuk mendapatkan laju aliran massa gas buang adalah sebagai berikut :

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{fl}$$

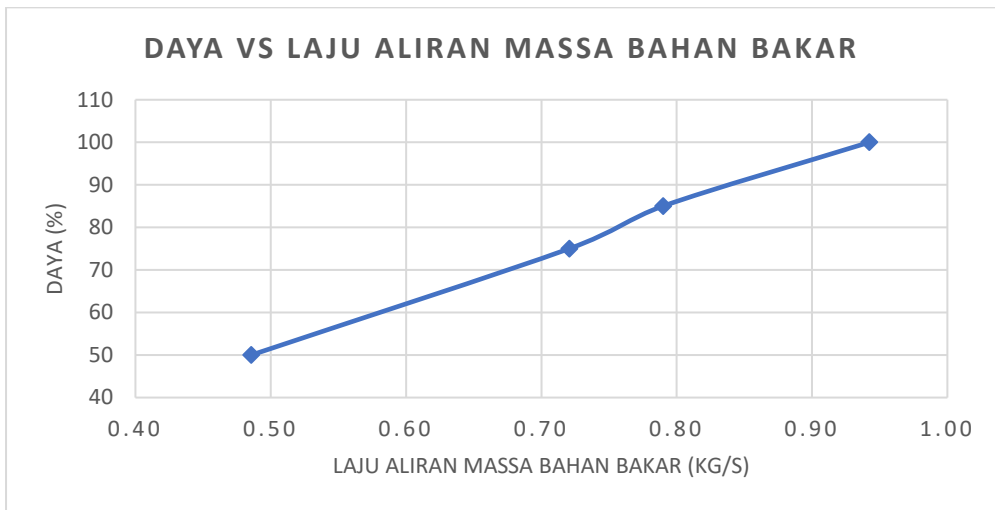
$$\dot{m}_{eg} = 0.79 + 25.17$$

$$\dot{m}_{eg} = 25.96 \text{ kg/s}$$

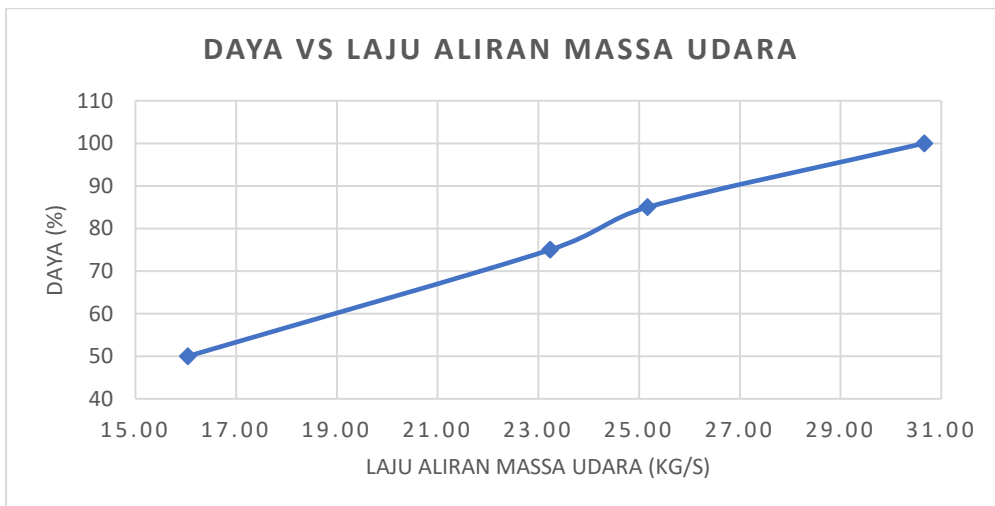
Sehingga, didapatkan nilai laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang untuk setiap variasi kondisi beban antara 100 %; 85 %; 75 %; 50 % pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2. Spesifikasi Gas Buang Mesin *Dual Fuel*

P (%)	100	85	75	50
n (rpm)	500	473.63	454.28	396.85
\dot{m}_{fi} (kg/s)	0.94	0.79	0.72	0.49
\dot{m}_{ar} (kg/s)	30.66	25.17	23.23	16.04
\dot{m}_{eg} (kg/s)	31.6	25.96	23.95	16.53
T_{eg} (°C)	286	332	363	428

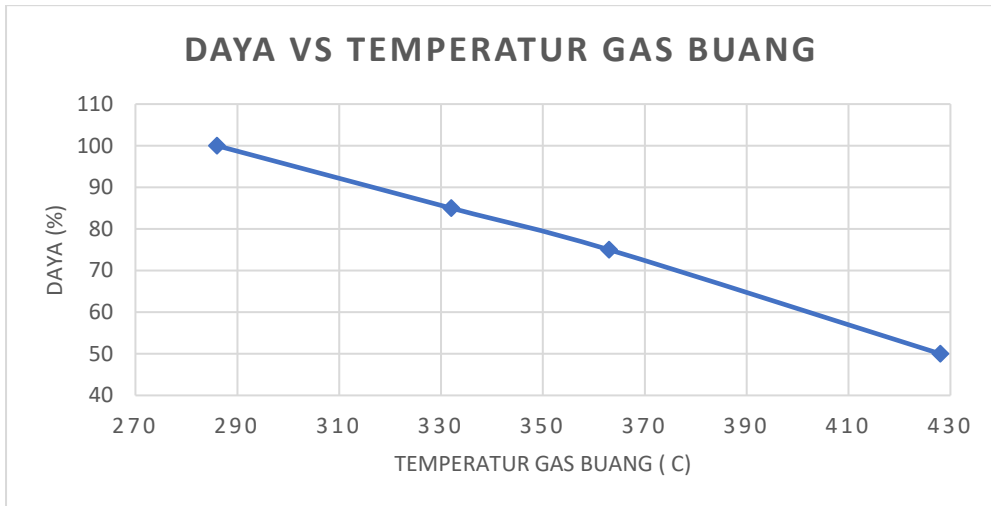


Gambar 4.3. Grafik Daya vs Laju Aliran Massa Bahan Bakar



Gambar 4.4. Grafik Daya vs Laju Aliran Massa Udara

Dari **Gambar 4.3.** dan **Gambar 4.4.** mengenai grafik hubungan antara daya dan laju aliran massa bahan bakar serta laju aliran massa udara, dapat diketahui bahwasannya saat kondisi beban naik maka suplai bahan bakar dan udara ke ruang bakar akan naik. Sedangkan, saat kondisi beban turun maka suplai bahan bakar dan udara ke ruang bakar akan turun. Hubungan antara daya dan laju aliran massa bahan bakar serta laju aliran massa udara adalah berbanding lurus.



Gambar 4.5. Grafik Daya vs Temperatur Gas Buang

Dari **Gambar 4.5.** mengenai grafik hubungan antara daya dan temperatur gas buang, dapat diketahui bahwasannya saat kondisi beban naik maka temperatur gas buang akan turun. Sedangkan, saat kondisi beban turun maka temperatur gas buang akan naik. Hubungan antara daya dan temperatur gas buang adalah berbanding terbalik.

Setelah mengetahui laju aliran massa gas buang dan temperatur gas buang, maka dapat dicari energi panas yang terkandung pada gas buang mesin *dual fuel*. Data tambahan yang diperlukan untuk mencari besaran energi panas yang terkandung pada gas buang mesin *dual fuel* yaitu nilai panas spesifik gas buang dan batasan temperatur cerobong yang harus ditentukan. Nilai panas spesifik gas buang didapatkan dari panduan manual mesin *dual fuel* MAN 51/60DF. Sedangkan, nilai besaran temperatur cerobong diasumsikan tidak kurang dari 100 °C, karena sistem pemulihan limbah panas diisolasi sehingga panas dapat diserap maksimal oleh fluida kerja (Douvartzides, 2016). Asumsi temperatur yang digunakan memiliki sebaran antara temperatur 100 °C sampai 200 °C. Perhitungan untuk mendapatkan energi panas gas buang pada 6 mesin *dual fuel* adalah sebagai berikut :

$$Q_{eg} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{eg} - T_{sk})$$

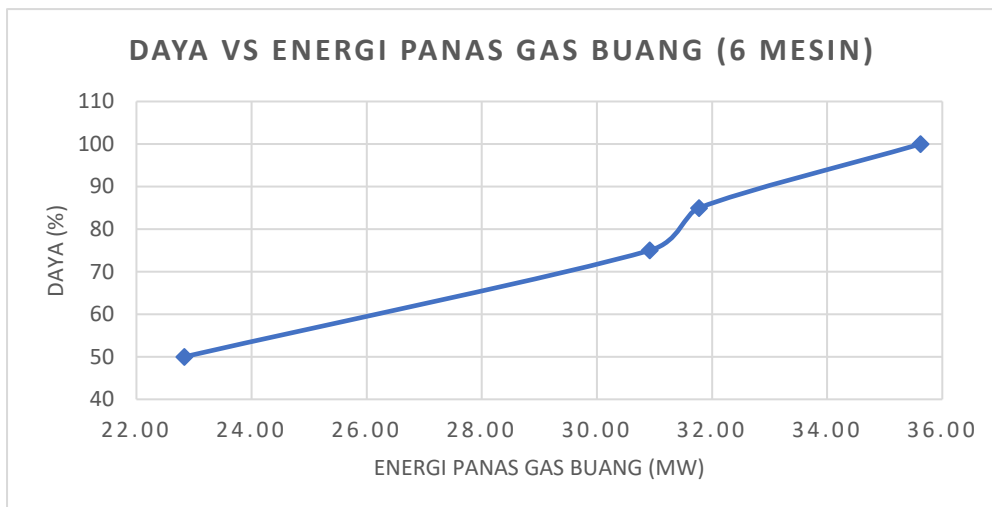
$$Q_{eg} = (6 \times 25.96) \times 1.01 \times (332 - 130)$$

$$Q_{eg} = 31,776.15 \text{ kW}$$

Sehingga, didapatkan nilai energi panas gas buang pada 6 mesin *dual fuel* untuk setiap variasi kondisi beban antara 100 %; 85 %; 75 %; 50 % pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3. Energi Panas Gas Buang (6 Mesin)

P (%)	100	85	75	50
\dot{m}_{eg} (kg/s)	189.61	155.75	143.71	99.15
$C_{p_{eg}}$	1.01	1.01	1.01	1.01
T_{eg} (°C)	286	332	363	428
T_s (°C)	100	130	150	200
ΔT (°C)	186	202	213	228
Q_{eg} (kW)	35,620.93	31,776.15	30,916.52	22,831.40
Q_{eg} (MW)	35.62	31.78	30.92	22.83



Gambar 4.6. Daya vs Energi Panas Gas Buang (6 Mesin)

Dari **Gambar 4.6**, mengenai grafik hubungan daya dan energi panas gas buang pada 6 mesin *dual fuel*, dapat diketahui bahwasannya saat kondisi beban naik maka energi panas gas buang akan cenderung naik. Sedangkan, saat kondisi beban turun maka energi panas gas buang akan cenderung turun. Hubungan antara daya dan energi panas gas buang pada 6 mesin *dual fuel* adalah berbanding lurus.

Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, 6 mesin *dual fuel* akan dipisah menjadi 2 mesin *dual fuel*. Setiap sepasang mesin *dual fuel* nantinya akan dimanfaatkan untuk sistem pemulihan limbah panas *steam rankine cycle*. Perhitungan untuk mendapatkan energi panas gas buang pada 2 mesin *dual fuel* adalah sebagai berikut :

$$Q_{eg} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{eg} - T_{sk})$$

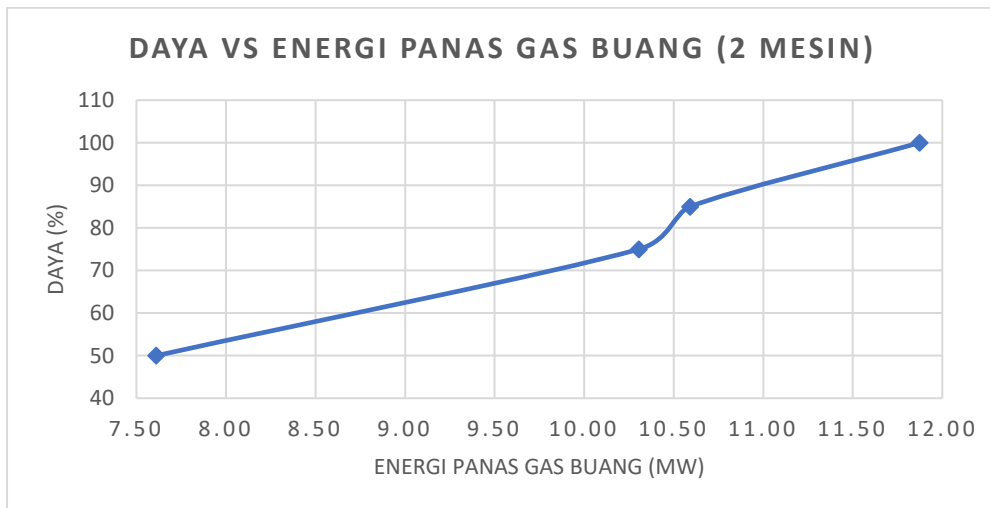
$$Q_{eg} = (2 \times 25.96) \times 1.01 \times (332 - 130)$$

$$Q_{eg} = 10,592.05 \text{ kW}$$

Sehingga, didapatkan nilai energi panas gas buang pada 2 mesin *dual fuel* untuk setiap variasi kondisi beban antara 100 %; 85 %; 75 %; 50 % pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.4. Energi Panas Gas Buang (2 Mesin)

P (%)	100	85	75	50
\dot{m}_{eg} (kg/s)	63.20	51.92	47.90	33.05
$C_{p_{eg}}$	1.01	1.01	1.01	1.01
T_{eg} (°C)	286	332	363	428
T_{st} (°C)	100	130	150	200
ΔT (°C)	186	202	213	228
Q_{eg} (kW)	11,873.64	10,592.05	10,305.51	7,610.47
Q_{eg} (MW)	11.87	10.59	10.31	7.61



Gambar 4.7. Daya vs Energi Panas Gas Buang (6 Mesin)

Dari **Gambar 4.7**, mengenai grafik hubungan daya dan energi panas gas buang pada 2 mesin *dual fuel*, dapat diketahui bahwasannya saat kondisi beban naik maka energi panas gas buang akan cenderung naik. Sedangkan, saat kondisi beban turun maka energi panas gas buang akan cenderung turun. Hubungan antara daya dan energi panas gas buang pada 2 mesin *dual fuel* adalah berbanding lurus.

4.2. Perancangan *Steam Rankine Cycle*

Steam rankine cycle merupakan sistem pemulihan limbah panas (*waste heat recovery system*) yang didalamnya terdapat komponen ketel uap, turbin uap, kondensor dan pompa. Pada penelitian dan penulisan tugas akhir akan dihitung kebutuhan serta standar untuk setiap komponen. Data yang diperlukan diperoleh dari studi literatur yaitu berupa rumus perhitungan untuk setiap komponen pada *steam rankine cycle*. Adapun, pada perancangan *steam rankine cycle* kondisi operasional akan divariasikan. Data mengenai kondisi operasional *steam rankine cycle* dapat dilihat pada **Tabel 4.5**. Variasi data yang digunakan yaitu variasi laju aliran massa fluida kerja dan temperatur masuk turbin uap.

Tabel 4.5. Kondisi Operasional Steam Rankine Cycle

Sumber : Comparative Study of Waste Heat Steam SRC, ORC and S-ORC Power Generation Systems in Medium-Low Temperature

P_{in} (bar)	2 - 14
T_{in} (°C)	45
T_{ot} (°C)	150 - 350

4.2.1. Ketel Uap

Ketel uap merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah fluida dari fase cair menjadi fase uap. Pada penelitian dan penulisan tugas akhir, nilai tekanan diambil 14 bar. Sedangkan, variasi akan mengambil nilai laju aliran massa fluida kerja (\dot{m}_{wf}) antara 4 – 20 kg/s dan temperatur masuk turbin uap 200 °C – 350 °C. Perhitungan ketel uap memiliki 3 perhitungan utama yaitu : perhitungan kebutuhan energi panas untuk memanaskan fluida kerja pada fase cair sampai ke titik jenuh (Q_1), lalu mengubah fluida kerja pada fase cair menjadi fase uap (Q_2) dan memanaskan fluida kerja pada fase uap sampai ke temperatur yang diinginkan (Q_3). Perhitungan untuk mendapatkan energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah fluida kerja pada fase cair menjadi fase uap pada ketel uap adalah sebagai berikut :

$$Q_1 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{sa} - T_{in})$$

$$Q_1 = 4 \times 4.18 \times (195.04 - 45)$$

$$Q_1 = 2,508.65 \text{ kW}$$

Dimana, $C_{p_{wf}} = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik fluida kerja pada temperatur masuk]

$T_{sa} = 195.04 \text{ }^\circ\text{C}$ [temperatur jenuh fluida kerja pada tekanan 14 bar]

$T_{in} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ [temperatur masuk ketel uap]

$$Q_2 = \dot{m}_{wf} \times L_{wf}$$

$$Q_2 = 4 \times 1,957.73$$

$$Q_2 = 7,830.92 \text{ kW}$$

Dimana, $L_{wf} = 1,957.73 \text{ kJ/kg}$ [kalor laten fluida kerja pada tekanan 14 bar]

$$Q_3 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{sa})$$

$$Q_3 = 4 \times 4.47 \times (220 - 195.04)$$

$$Q_3 = 446.30 \text{ kW}$$

Dimana, $C_{p_{wf}} = 4.47 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik fluida kerja pada temperatur jenuh]
 $T_{ot} = 220 \text{ }^\circ\text{C}$ [temperatur keluar ketel uap yang diinginkan]
 $T_{sa} = 195.04 \text{ }^\circ\text{C}$ [temperatur jenuh fluida kerja pada tekanan 14 bar]

$$Q_{bo} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{1 - \varepsilon}$$

$$Q_{bo} = \frac{2,508.65 + 7,830.92 + 446.30}{1 - 0.01}$$

$$Q_{bo} = \frac{10,785.87}{0.99}$$

$$Q_{bo} = 10,894.82 \text{ kW}$$

Dimana, $\varepsilon = 0.01$ [rasio rugi panas pada ketel uap]

Energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah fluida kerja dalam fase cair ke fase uap sampai titik temperatur yang diinginkan didapat dari energi panas gas buang dengan bantuan pembakaran tambahan. Adapun perhitungan kebutuhan temperatur untuk pembakaran tambahan sehingga temperatur gas buang mesin *dual fuel* sesuai dengan yang diinginkan adalah sebagai berikut :

$$Q_{eg} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{bu} - T_{st})$$

$$10,894.82 = 51.92 \times 1.01 \times (T_{bu} - T_{st})$$

$$(T_{bu} - T_{st}) = \frac{10,894.82}{51.92}$$

$$(T_{bu} - T_{st}) = 207.76 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dimana, $\dot{m}_{eg} = 51.92 \text{ kg/s}$ [laju aliran massa gas buang]
 $C_{p_{eg}} = 1.01 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik gas buang]

$$(T_{bu} - T_{st}) = 207.76$$

$$(T_{bu} - 130) = 207.76$$

$$T_{bu} = 337.76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Setelah mengetahui kebutuhan temperatur untuk pembakaran tambahan, maka dapat dicari energi panas yang dibutuhkan pembakar tambahan untuk menaikkan temperatur gas buang sampai ke titik yang diinginkan. Dan juga, dapat mengetahui konsumsi bahan bakar yang diperlukan. Adapun perhitungan disajikan sebagai berikut :

$$Q_{bu} = \dot{m}_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_{bu} - T_{eg})$$

$$Q_{bu} = 51.92 \times 1.01 \times (337.76 - 332)$$

$$Q_{bu} = 302.1 \text{ kW}$$

Dimana, $\dot{m}_{eg} = 51.92 \text{ kg/s}$ [laju aliran massa gas buang]
 $C_{p_{eg}} = 1.01 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$ [panas spesifik gas buang]

$$Q_{rl} = Q_{bu} \times \eta_{bu}$$

$$Q_{rl} = 302.1 \times 0.815$$

$$Q_{rl} = 370.68 \text{ kW}$$

Dimana, $\eta_{bu} = 0.815$ [efisiensi pembakar tambahan pada ketel uap]

$$Q_{rl} = \dot{m}_{rl} \times \text{LHV}$$

$$370.68 = \dot{m}_{rl} \times 48,600$$

$$\dot{m}_{rl} = \frac{370.68}{48,600}$$

$$\dot{m}_{rl} = 0.0076 \text{ kg/s}$$

Dimana, $\text{LHV} = 48,600 \text{ kJ/kg}$ [nilai panas bawah bahan bakar gas]

Dari contoh perhitungan untuk kebutuhan komponen ketel uap diatas, maka tabel berikut merupakan perhitungan untuk kebutuhan komponen ketel uap pada variasi nilai laju aliran massa fluida kerja (\dot{m}_{wf}) antara 4 – 20 kg/s dan temperatur masuk turbin uap $200 \text{ } ^\circ\text{C} - 350 \text{ } ^\circ\text{C}$:

Tabel 4.6. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 4 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	$C_{p_{eg}}$	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
4	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	10,71 4.22	51.92	1.01	332	130	204.32	334.32	2.32	121.50	0.815	149.08	48,600	0.0031
4	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	10,89 4.82	51.92	1.01	332	130	207.76	337.76	5.76	302.10	0.815	370.68	48,600	0.0076
4	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	11,07 5.43	51.92	1.01	332	130	211.21	341.21	9.21	482.71	0.815	592.28	48,600	0.0122
4	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	11,25 6.04	51.92	1.01	332	130	214.65	344.65	12.65	663.32	0.815	813.89	48,600	0.0167
4	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	11,43 6.64	51.92	1.01	332	130	218.09	348.09	16.09	843.92	0.815	1,035.49	48,600	0.0213
4	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	11,61 7.25	51.92	1.01	332	130	221.54	351.54	19.54	1,024.53	0.815	1,257.09	48,600	0.0259
4	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	11,79 7.85	51.92	1.01	332	130	224.98	354.98	22.98	1,205.13	0.815	1,478.69	48,600	0.0304
4	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	11,97 8.46	51.92	1.01	332	130	228.43	358.43	26.43	1,385.74	0.815	1,700.30	48,600	0.0350
4	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	12,15 9.07	51.92	1.01	332	130	231.87	361.87	29.87	1,566.35	0.815	1,921.90	48,600	0.0395
4	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	12,33 9.67	51.92	1.01	332	130	235.31	365.31	33.31	1,746.95	0.815	2,143.50	48,600	0.0441
4	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	12,52 0.28	51.92	1.01	332	130	238.76	368.76	36.76	1,927.56	0.815	2,365.10	48,600	0.0487
4	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	12,70 0.88	51.92	1.01	332	130	242.20	372.20	40.20	2,108.17	0.815	2,586.71	48,600	0.0532
4	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	12,88 1.49	51.92	1.01	332	130	245.65	375.65	43.65	2,288.77	0.815	2,808.31	48,600	0.0578
4	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	13,06 2.10	51.92	1.01	332	130	249.09	379.09	47.09	2,469.38	0.815	3,029.91	48,600	0.0623
4	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	13,24 2.70	51.92	1.01	332	130	252.53	382.53	50.53	2,649.98	0.815	3,251.51	48,600	0.0669

Tabel 4.7. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 5 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	$C_{p_{eg}}$	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
5	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	13,16 7.01	51.92	1.01	332	130	251.09	381.09	49.09	2,57 4.30	0.815	3,15 8.64	48,60 0	0.0650
5	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	13,39 2.77	51.92	1.01	332	130	255.40	385.40	53.40	2,80 0.05	0.815	3,43 5.65	48,60 0	0.0707
5	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	13,61 8.53	51.92	1.01	332	130	259.70	389.70	57.70	3,02 5.81	0.815	3,71 2.65	48,60 0	0.0764
5	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	13,84 4.29	51.92	1.01	332	130	264.01	394.01	62.01	3,25 1.57	0.815	3,98 9.65	48,60 0	0.0821
5	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	14,07 0.04	51.92	1.01	332	130	268.31	398.31	66.31	3,47 7.33	0.815	4,26 6.66	48,60 0	0.0878
5	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	14,29 5.80	51.92	1.01	332	130	272.62	402.62	70.62	3,70 3.08	0.815	4,54 3.66	48,60 0	0.0935
5	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	14,52 1.56	51.92	1.01	332	130	276.92	406.92	74.92	3,92 8.84	0.815	4,82 0.66	48,60 0	0.0992
5	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	14,74 7.32	51.92	1.01	332	130	281.23	411.23	79.23	4,15 4.60	0.815	5,09 7.67	48,60 0	0.1049
5	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	14,97 3.07	51.92	1.01	332	130	285.53	415.53	83.53	4,38 0.36	0.815	5,37 4.67	48,60 0	0.1106
5	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	15,19 8.83	51.92	1.01	332	130	289.84	419.84	87.84	4,60 6.11	0.815	5,65 1.67	48,60 0	0.1163
5	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	15,42 4.59	51.92	1.01	332	130	294.14	424.14	92.14	4,83 1.87	0.815	5,92 8.68	48,60 0	0.1220
5	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	15,65 0.35	51.92	1.01	332	130	298.45	428.45	96.45	5,05 7.63	0.815	6,20 5.68	48,60 0	0.1277
5	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	15,87 6.10	51.92	1.01	332	130	302.75	432.75	100.75	5,28 3.39	0.815	6,48 2.68	48,60 0	0.1334
5	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	16,10 1.86	51.92	1.01	332	130	307.06	437.06	105.06	5,50 9.14	0.815	6,75 9.69	48,60 0	0.1391
5	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	16,32 7.62	51.92	1.01	332	130	311.36	441.36	109.36	5,73 4.90	0.815	7,03 6.69	48,60 0	0.1448
5	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	16,55 3.38	51.92	1.01	332	130	315.67	445.67	113.67	5,96 0.66	0.815	7,31 3.69	48,60 0	0.1505

Tabel 4.8. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 6 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	Cp_{Tin} (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	Cp_{Tot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	Cp_{Tsa} (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	Cp_{eg}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
6	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	15,80 0.42	51.92	1.01	332	130	301.31	431.31	99.31	5,20 7.70	0.815	6,389.81	48,600	0.1315
6	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	16,07 1.33	51.92	1.01	332	130	306.48	436.48	104.48	5,47 8.61	0.815	6,722.22	48,600	0.1383
6	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	16,34 2.23	51.92	1.01	332	130	311.64	441.64	109.64	5,74 9.52	0.815	7,054.62	48,600	0.1452
6	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	16,61 3.14	51.92	1.01	332	130	316.81	446.81	114.81	6,02 0.43	0.815	7,387.02	48,600	0.1520
6	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	16,88 4.05	51.92	1.01	332	130	321.97	451.97	119.97	6,29 1.33	0.815	7,719.43	48,600	0.1588
6	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	17,15 4.96	51.92	1.01	332	130	327.14	457.14	125.14	6,56 2.24	0.815	8,051.83	48,600	0.1657
6	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	17,42 5.87	51.92	1.01	332	130	332.31	462.31	130.31	6,83 3.15	0.815	8,384.24	48,600	0.1725
6	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	17,69 6.78	51.92	1.01	332	130	337.47	467.47	135.47	7,10 4.06	0.815	8,716.64	48,600	0.1794
6	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	17,96 7.69	51.92	1.01	332	130	342.64	472.64	140.64	7,37 4.97	0.815	9,049.04	48,600	0.1862
6	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	18,23 8.60	51.92	1.01	332	130	347.80	477.80	145.80	7,64 5.88	0.815	9,381.45	48,600	0.1930
6	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	18,50 9.51	51.92	1.01	332	130	352.97	482.97	150.97	7,91 6.79	0.815	9,713.85	48,600	0.1999
6	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	18,78 0.42	51.92	1.01	332	130	358.14	488.14	156.14	8,18 7.70	0.815	10,046.26	48,600	0.2067
6	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	19,05 1.33	51.92	1.01	332	130	363.30	493.30	161.30	8,45 8.61	0.815	10,378.66	48,600	0.2136
6	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	19,32 2.23	51.92	1.01	332	130	368.47	498.47	166.47	8,72 9.52	0.815	10,711.06	48,600	0.2204
6	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	19,59 3.14	51.92	1.01	332	130	373.64	503.64	171.64	9,00 0.43	0.815	11,043.47	48,600	0.2272
6	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	19,86 4.05	51.92	1.01	332	130	378.80	508.80	176.80	9,27 1.33	0.815	11,375.87	48,600	0.2341

Tabel 4.9. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 7 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	$C_{pT_{tot}}$ (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C_{pe}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
7	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	18,43 3.82	51.92	1.01	332	130	351.53	481.53	149.53	7,841.10	0.815	9,620.98	48,600	0.1980
7	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	18,74 9.88	51.92	1.01	332	130	357.55	487.55	155.55	8,157.16	0.815	10,008.79	48,600	0.2059
7	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	19,06 5.94	51.92	1.01	332	130	363.58	493.58	161.58	8,473.22	0.815	10,396.59	48,600	0.2139
7	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	19,38 2.00	51.92	1.01	332	130	369.61	499.61	167.61	8,789.28	0.815	10,784.40	48,600	0.2219
7	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	19,69 8.06	51.92	1.01	332	130	375.64	505.64	173.64	9,105.34	0.815	11,172.20	48,600	0.2299
7	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	20,01 4.12	51.92	1.01	332	130	381.66	511.66	179.66	9,421.40	0.815	11,560.00	48,600	0.2379
7	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	20,33 0.18	51.92	1.01	332	130	387.69	517.69	185.69	9,737.46	0.815	11,947.81	48,600	0.2458
7	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	20,64 6.24	51.92	1.01	332	130	393.72	523.72	191.72	10,053.52	0.815	12,335.61	48,600	0.2538
7	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	20,96 2.30	51.92	1.01	332	130	399.74	529.74	197.74	10,369.59	0.815	12,723.42	48,600	0.2618
7	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	21,27 8.36	51.92	1.01	332	130	405.77	535.77	203.77	10,685.65	0.815	13,111.22	48,600	0.2698
7	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	21,59 4.43	51.92	1.01	332	130	411.80	541.80	209.80	11,001.71	0.815	13,499.03	48,600	0.2778
7	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	21,91 0.49	51.92	1.01	332	130	417.83	547.83	215.83	11,317.77	0.815	13,886.83	48,600	0.2857
7	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	22,22 6.55	51.92	1.01	332	130	423.85	553.85	221.85	11,633.83	0.815	14,274.64	48,600	0.2937
7	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	22,54 2.61	51.92	1.01	332	130	429.88	559.88	227.88	11,949.89	0.815	14,662.44	48,600	0.3017
7	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	22,85 8.67	51.92	1.01	332	130	435.91	565.91	233.91	12,265.95	0.815	15,050.24	48,600	0.3097
7	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	23,17 4.73	51.92	1.01	332	130	441.94	571.94	239.94	12,582.01	0.815	15,438.05	48,600	0.3177

Tabel 4.10. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 8 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _e g	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
8	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	21,06 7.22	51.92	1.01	332	13 0	401. 75	531 .75	199. 75	10,47 4.50	0.8 15	12,85 2.15	48,60 0	0.26 44
8	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	21,42 8.43	51.92	1.01	332	13 0	408. 63	538 .63	206. 63	10,83 5.72	0.8 15	13,29 5.36	48,60 0	0.27 36
8	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	21,78 9.65	51.92	1.01	332	13 0	415. 52	545 .52	213. 52	11,19 6.93	0.8 15	13,73 8.56	48,60 0	0.28 27
8	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	22,15 0.86	51.92	1.01	332	13 0	422. 41	552 .41	220. 41	11,55 8.14	0.8 15	14,18 1.77	48,60 0	0.29 18
8	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	22,51 2.07	51.92	1.01	332	13 0	429. 30	559 .30	227. 30	11,91 9.35	0.8 15	14,62 4.97	48,60 0	0.30 09
8	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	22,87 3.28	51.92	1.01	332	13 0	436. 19	566 .19	234. 19	12,28 0.56	0.8 15	15,06 8.18	48,60 0	0.31 00
8	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	23,23 4.49	51.92	1.01	332	13 0	443. 07	573 .07	241. 07	12,64 1.78	0.8 15	15,51 1.38	48,60 0	0.31 92
8	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	23,59 5.71	51.92	1.01	332	13 0	449. 96	579 .96	247. 96	13,00 2.99	0.8 15	15,95 4.59	48,60 0	0.32 83
8	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	23,95 6.92	51.92	1.01	332	13 0	456. 85	586 .85	254. 85	13,36 4.20	0.8 15	16,39 7.79	48,60 0	0.33 74
8	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	24,31 8.13	51.92	1.01	332	13 0	463. 74	593 .74	261. 74	13,72 5.41	0.8 15	16,84 1.00	48,60 0	0.34 65
8	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	24,67 9.34	51.92	1.01	332	13 0	470. 63	600 .63	268. 63	14,08 6.62	0.8 15	17,28 4.20	48,60 0	0.35 56
8	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	25,04 0.56	51.92	1.01	332	13 0	477. 52	607 .52	275. 52	14,44 7.84	0.8 15	17,72 7.41	48,60 0	0.36 48
8	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	25,40 1.77	51.92	1.01	332	13 0	484. 40	614 .40	282. 40	14,80 9.05	0.8 15	18,17 0.61	48,60 0	0.37 39
8	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	25,76 2.98	51.92	1.01	332	13 0	491. 29	621 .29	289. 29	15,17 0.26	0.8 15	18,61 3.82	48,60 0	0.38 30
8	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	26,12 4.19	51.92	1.01	332	13 0	498. 18	628 .18	296. 18	15,53 1.47	0.8 15	19,05 7.02	48,60 0	0.39 21
8	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	26,48 5.40	51.92	1.01	332	13 0	505. 07	635 .07	303. 07	15,89 2.69	0.8 15	19,50 0.23	48,60 0	0.40 12

Tabel 4.11. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 9 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C_{pe}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
9	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	23,70 0.62	51.92	1.01	332	13 0	451. 96	581 .96	249. 96	13,10 7.91	0.8 15	16,08 3.32	48,60 0	0.33 09
9	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	24,10 6.99	51.92	1.01	332	13 0	459. 71	589 .71	257. 71	13,51 4.27	0.8 15	16,58 1.93	48,60 0	0.34 12
9	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	24,51 3.35	51.92	1.01	332	13 0	467. 46	597 .46	265. 46	13,92 0.63	0.8 15	17,08 0.53	48,60 0	0.35 15
9	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	24,91 9.72	51.92	1.01	332	13 0	475. 21	605 .21	273. 21	14,32 7.00	0.8 15	17,57 9.14	48,60 0	0.36 17
9	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	25,32 6.08	51.92	1.01	332	13 0	482. 96	612 .96	280. 96	14,73 3.36	0.8 15	18,07 7.74	48,60 0	0.37 20
9	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	25,73 2.44	51.92	1.01	332	13 0	490. 71	620 .71	288. 71	15,13 9.72	0.8 15	18,57 6.35	48,60 0	0.38 22
9	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	26,13 8.81	51.92	1.01	332	13 0	498. 46	628 .46	296. 46	15,54 6.09	0.8 15	19,07 4.95	48,60 0	0.39 25
9	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	26,54 5.17	51.92	1.01	332	13 0	506. 21	636 .21	304. 21	15,95 2.45	0.8 15	19,57 3.56	48,60 0	0.40 27
9	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	26,95 1.53	51.92	1.01	332	13 0	513. 96	643 .96	311. 96	16,35 8.82	0.8 15	20,07 2.17	48,60 0	0.41 30
9	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	27,35 7.90	51.92	1.01	332	13 0	521. 71	651 .71	319. 71	16,76 5.18	0.8 15	20,57 0.77	48,60 0	0.42 33
9	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	27,76 4.26	51.92	1.01	332	13 0	529. 46	659 .46	327. 46	17,17 1.54	0.8 15	21,06 9.38	48,60 0	0.43 35
9	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	28,17 0.62	51.92	1.01	332	13 0	537. 21	667 .21	335. 21	17,57 7.91	0.8 15	21,56 7.98	48,60 0	0.44 38
9	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	28,57 6.99	51.92	1.01	332	13 0	544. 95	674 .95	342. 95	17,98 4.27	0.8 15	22,06 6.59	48,60 0	0.45 40
9	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	28,98 3.35	51.92	1.01	332	13 0	552. 70	682 .70	350. 70	18,39 0.63	0.8 15	22,56 5.19	48,60 0	0.46 43
9	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	29,38 9.72	51.92	1.01	332	13 0	560. 45	690 .45	358. 45	18,79 7.00	0.8 15	23,06 3.80	48,60 0	0.47 46
9	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	29,79 6.08	51.92	1.01	332	13 0	568. 20	698 .20	366. 20	19,20 3.36	0.8 15	23,56 2.41	48,60 0	0.48 48

Tabel 4.12. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 10 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C_{pe}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
10	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	26,33 4.03	51.92	1.01	332	130	502.18	632.18	300.18	15,74 1.31	0.815	19,31 4.49	48,60 0	0.39 74
10	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	26,78 5.54	51.92	1.01	332	130	510.79	640.79	308.79	16,19 2.82	0.815	19,86 8.50	48,60 0	0.40 88
10	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	27,23 7.06	51.92	1.01	332	130	519.40	649.40	317.40	16,64 4.34	0.815	20,42 2.50	48,60 0	0.42 02
10	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	27,68 8.57	51.92	1.01	332	130	528.01	658.01	326.01	17,09 5.85	0.815	20,97 6.51	48,60 0	0.43 16
10	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	28,14 0.09	51.92	1.01	332	130	536.62	666.62	334.62	17,54 7.37	0.815	21,53 0.51	48,60 0	0.44 30
10	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	28,59 1.60	51.92	1.01	332	130	545.23	675.23	343.23	17,99 8.88	0.815	22,08 4.52	48,60 0	0.45 44
10	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	29,04 3.12	51.92	1.01	332	130	553.84	683.84	351.84	18,45 0.40	0.815	22,63 8.53	48,60 0	0.46 58
10	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	29,49 4.63	51.92	1.01	332	130	562.45	692.45	360.45	18,90 1.91	0.815	23,19 2.53	48,60 0	0.47 72
10	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	29,94 6.15	51.92	1.01	332	130	571.06	701.06	369.06	19,35 3.43	0.815	23,74 6.54	48,60 0	0.48 86
10	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	30,39 7.66	51.92	1.01	332	130	579.67	709.67	377.67	19,80 4.95	0.815	24,30 0.55	48,60 0	0.50 00
10	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	30,84 9.18	51.92	1.01	332	130	588.28	718.28	386.28	20,25 6.46	0.815	24,85 4.55	48,60 0	0.51 14
10	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	31,30 0.69	51.92	1.01	332	130	596.89	726.89	394.89	20,70 7.98	0.815	25,40 8.56	48,60 0	0.52 28
10	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	31,75 2.21	51.92	1.01	332	130	605.51	735.51	403.51	21,15 9.49	0.815	25,96 2.57	48,60 0	0.53 42
10	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	32,20 3.72	51.92	1.01	332	130	614.12	744.12	412.12	21,61 1.01	0.815	26,51 6.57	48,60 0	0.54 56
10	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	32,65 5.24	51.92	1.01	332	130	622.73	752.73	420.73	22,06 2.52	0.815	27,07 0.58	48,60 0	0.55 70
10	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	33,10 6.75	51.92	1.01	332	130	631.34	761.34	429.34	22,51 4.04	0.815	27,62 4.58	48,60 0	0.56 84

Tabel 4.13. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 11 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	Cp_{Tin} (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	Cp_{Tot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	Cp_{Tsa} (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C_{pe}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
11	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	28,96 7.43	51.92	1.01	332	130	552.40	682.40	350.40	18,37 4.71	0.815	22,54 5.66	48,60 0	0.46 39
11	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	29,46 4.10	51.92	1.01	332	130	561.87	691.87	359.87	18,87 1.38	0.815	23,15 5.07	48,60 0	0.47 64
11	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	29,96 0.76	51.92	1.01	332	130	571.34	701.34	369.34	19,36 8.04	0.815	23,76 4.47	48,60 0	0.48 90
11	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	30,45 7.43	51.92	1.01	332	130	580.81	710.81	378.81	19,86 4.71	0.815	24,37 3.88	48,60 0	0.50 15
11	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	30,95 4.10	51.92	1.01	332	130	590.29	720.29	388.29	20,36 1.38	0.815	24,98 3.29	48,60 0	0.51 41
11	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	31,45 0.76	51.92	1.01	332	130	599.76	729.76	397.76	20,85 8.04	0.815	25,59 2.69	48,60 0	0.52 66
11	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	31,94 7.43	51.92	1.01	332	130	609.23	739.23	407.23	21,35 4.71	0.815	26,20 2.10	48,60 0	0.53 91
11	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	32,44 4.10	51.92	1.01	332	130	618.70	748.70	416.70	21,85 1.38	0.815	26,81 1.51	48,60 0	0.55 17
11	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	32,94 0.76	51.92	1.01	332	130	628.17	758.17	426.17	22,34 8.04	0.815	27,42 0.91	48,60 0	0.56 42
11	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	33,43 7.43	51.92	1.01	332	130	637.64	767.64	435.64	22,84 4.71	0.815	28,03 0.32	48,60 0	0.57 68
11	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	33,93 4.10	51.92	1.01	332	130	647.11	777.11	445.11	23,34 1.38	0.815	28,63 9.73	48,60 0	0.58 93
11	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	34,43 0.76	51.92	1.01	332	130	656.58	786.58	454.58	23,83 8.04	0.815	29,24 9.13	48,60 0	0.60 18
11	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	34,92 7.43	51.92	1.01	332	130	666.06	796.06	464.06	24,33 4.71	0.815	29,85 8.54	48,60 0	0.61 44
11	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	35,42 4.10	51.92	1.01	332	130	675.53	805.53	473.53	24,83 1.38	0.815	30,46 7.95	48,60 0	0.62 69
11	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	35,92 0.76	51.92	1.01	332	130	685.00	815.00	483.00	25,32 8.04	0.815	31,07 7.36	48,60 0	0.63 95
11	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	36,41 7.43	51.92	1.01	332	130	694.47	824.47	492.47	25,82 4.71	0.815	31,68 6.76	48,60 0	0.65 20

Tabel 4.14. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 12 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C_{pe}	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
12	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	31,60 0.83	51.92	1.01	332	130	602.62	732.62	400.62	21,00 8.11	0.815	25,77 6.83	48,60 0	0.5304
12	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	32,14 2.65	51.92	1.01	332	130	612.95	742.95	410.95	21,54 9.93	0.815	26,44 1.63	48,60 0	0.5441
12	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	32,68 4.47	51.92	1.01	332	130	623.28	753.28	421.28	22,09 1.75	0.815	27,10 6.44	48,60 0	0.5577
12	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	33,22 6.29	51.92	1.01	332	130	633.62	763.62	431.62	22,63 3.57	0.815	27,77 1.25	48,60 0	0.5714
12	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	33,76 8.11	51.92	1.01	332	130	643.95	773.95	441.95	23,17 5.39	0.815	28,43 6.06	48,60 0	0.5851
12	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	34,30 9.92	51.92	1.01	332	130	654.28	784.28	452.28	23,71 7.21	0.815	29,10 0.87	48,60 0	0.5988
12	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	34,85 1.74	51.92	1.01	332	130	664.61	794.61	462.61	24,25 9.02	0.815	29,76 5.67	48,60 0	0.6125
12	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	35,39 3.56	51.92	1.01	332	130	674.94	804.94	472.94	24,80 0.84	0.815	30,43 0.48	48,60 0	0.6261
12	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	35,93 5.38	51.92	1.01	332	130	685.28	815.28	483.28	25,34 2.66	0.815	31,09 5.29	48,60 0	0.6398
12	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	36,47 7.20	51.92	1.01	332	130	695.61	825.61	493.61	25,88 4.48	0.815	31,76 0.10	48,60 0	0.6535
12	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	37,01 9.01	51.92	1.01	332	130	705.94	835.94	503.94	26,42 6.30	0.815	32,42 4.90	48,60 0	0.6672
12	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	37,56 0.83	51.92	1.01	332	130	716.27	846.27	514.27	26,96 8.11	0.815	33,08 9.71	48,60 0	0.6809
12	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	38,10 2.65	51.92	1.01	332	130	726.61	856.61	524.61	27,50 9.93	0.815	33,75 4.52	48,60 0	0.6945
12	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	38,64 4.47	51.92	1.01	332	130	736.94	866.94	534.94	28,05 1.75	0.815	34,41 9.33	48,60 0	0.7082
12	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	39,18 6.29	51.92	1.01	332	130	747.27	877.27	545.27	28,59 3.57	0.815	35,08 4.13	48,60 0	0.7219
12	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	39,72 8.11	51.92	1.01	332	130	757.60	887.60	555.60	29,13 5.39	0.815	35,74 8.94	48,60 0	0.7356

Tabel 4.15. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 13 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{tot} (°C)	$C_{pT_{tot}}$ (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C pe g	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
13	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	34,23 4.24	51.92	1.01	332	130	652.84	782.84	450.84	23,64 1.52	0.815	29,00 8.00	48,60 0	0.59 69
13	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	34,82 1.21	51.92	1.01	332	130	664.03	794.03	462.03	24,22 8.49	0.815	29,72 8.20	48,60 0	0.61 17
13	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	35,40 8.17	51.92	1.01	332	130	675.22	805.22	473.22	24,81 5.46	0.815	30,44 8.41	48,60 0	0.62 65
13	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	35,99 5.14	51.92	1.01	332	130	686.42	816.42	484.42	25,40 2.43	0.815	31,16 8.62	48,60 0	0.64 13
13	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	36,58 2.11	51.92	1.01	332	130	697.61	827.61	495.61	25,98 9.40	0.815	31,88 8.83	48,60 0	0.65 61
13	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	37,16 9.08	51.92	1.01	332	130	708.80	838.80	506.80	26,57 6.37	0.815	32,60 9.04	48,60 0	0.67 10
13	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	37,75 6.05	51.92	1.01	332	130	720.00	850.00	518.00	27,16 3.34	0.815	33,32 9.25	48,60 0	0.68 58
13	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	38,34 3.02	51.92	1.01	332	130	731.19	861.19	529.19	27,75 0.30	0.815	34,04 9.45	48,60 0	0.70 06
13	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	38,92 9.99	51.92	1.01	332	130	742.38	872.38	540.38	28,33 7.27	0.815	34,76 9.66	48,60 0	0.71 54
13	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	39,51 6.96	51.92	1.01	332	130	753.58	883.58	551.58	28,92 4.24	0.815	35,48 9.87	48,60 0	0.73 02
13	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	40,10 3.93	51.92	1.01	332	130	764.77	894.77	562.77	29,51 1.21	0.815	36,21 0.08	48,60 0	0.74 51
13	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	40,69 0.90	51.92	1.01	332	130	775.96	905.96	573.96	30,09 8.18	0.815	36,93 0.29	48,60 0	0.75 99
13	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	41,27 7.87	51.92	1.01	332	130	787.16	917.16	585.16	30,68 5.15	0.815	37,65 0.49	48,60 0	0.77 47
13	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	41,86 4.84	51.92	1.01	332	130	798.35	928.35	596.35	31,27 2.12	0.815	38,37 0.70	48,60 0	0.78 95
13	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	42,45 1.81	51.92	1.01	332	130	809.54	939.54	607.54	31,85 9.09	0.815	39,09 0.91	48,60 0	0.80 43
13	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	43,03 8.78	51.92	1.01	332	130	820.74	950.74	618.74	32,44 6.06	0.815	39,81 1.12	48,60 0	0.81 92

Tabel 4.16. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 14 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _e (kJ/kg.°C)	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
14	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	36,86 7.64	51.9 2	1. 01	332	13 0	703. 05	833. 05	501. 05	26,27 4.92	0.8 15	32,23 9.17	48,60 0	0.66 34
14	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	37,49 9.76	51.9 2	1. 01	332	13 0	715. 11	845. 11	513. 11	26,90 7.04	0.8 15	33,01 4.77	48,60 0	0.67 93
14	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	38,13 1.88	51.9 2	1. 01	332	13 0	727. 16	857. 16	525. 16	27,53 9.16	0.8 15	33,79 0.38	48,60 0	0.69 53
14	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	38,76 4.00	51.9 2	1. 01	332	13 0	739. 22	869. 22	537. 22	28,17 1.28	0.8 15	34,56 5.99	48,60 0	0.71 12
14	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	39,39 6.12	51.9 2	1. 01	332	13 0	751. 27	881. 27	549. 27	28,80 3.40	0.8 15	35,34 1.60	48,60 0	0.72 72
14	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	40,02 8.24	51.9 2	1. 01	332	13 0	763. 33	893. 33	561. 33	29,43 5.53	0.8 15	36,11 7.21	48,60 0	0.74 32
14	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	40,66 0.37	51.9 2	1. 01	332	13 0	775. 38	905. 38	573. 38	30,06 7.65	0.8 15	36,89 2.82	48,60 0	0.75 91
14	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	41,29 2.49	51.9 2	1. 01	332	13 0	787. 44	917. 44	585. 44	30,69 9.77	0.8 15	37,66 8.43	48,60 0	0.77 51
14	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	41,92 4.61	51.9 2	1. 01	332	13 0	799. 49	929. 49	597. 49	31,33 1.89	0.8 15	38,44 4.04	48,60 0	0.79 10
14	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	42,55 6.73	51.9 2	1. 01	332	13 0	811. 54	941. 54	609. 54	31,96 4.01	0.8 15	39,21 9.64	48,60 0	0.80 70
14	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	43,18 8.85	51.9 2	1. 01	332	13 0	823. 60	953. 60	621. 60	32,59 6.13	0.8 15	39,99 5.25	48,60 0	0.82 29
14	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	43,82 0.97	51.9 2	1. 01	332	13 0	835. 65	965. 65	633. 65	33,22 8.25	0.8 15	40,77 0.86	48,60 0	0.83 89
14	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	44,45 3.09	51.9 2	1. 01	332	13 0	847. 71	977. 71	645. 71	33,86 0.37	0.8 15	41,54 6.47	48,60 0	0.85 49
14	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	45,08 5.21	51.9 2	1. 01	332	13 0	859. 76	989. 76	657. 76	34,49 2.50	0.8 15	42,32 2.08	48,60 0	0.87 08
14	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	45,71 7.34	51.9 2	1. 01	332	13 0	871. 82	1,00 1.82	669. 82	35,12 4.62	0.8 15	43,09 7.69	48,60 0	0.88 68
14	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	46,34 9.46	51.9 2	1. 01	332	13 0	883. 87	1,01 3.87	681. 87	35,75 6.74	0.8 15	43,87 3.30	48,60 0	0.90 27

Tabel 4.17. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 15 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _e ($\frac{C}{g}$)	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
15	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	39,50 1.04	51.9 2	1. 01	332	13 0	753. 27	883. 27	551. 27	28,90 8.32	0.8 15	35,47 0.33	48,60 0	0.72 98
15	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	40,17 8.31	51.9 2	1. 01	332	13 0	766. 19	896. 19	564. 19	29,58 5.60	0.8 15	36,30 1.34	48,60 0	0.74 69
15	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	40,85 5.59	51.9 2	1. 01	332	13 0	779. 10	909. 10	577. 10	30,26 2.87	0.8 15	37,13 2.35	48,60 0	0.76 40
15	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	41,53 2.86	51.9 2	1. 01	332	13 0	792. 02	922. 02	590. 02	30,94 0.14	0.8 15	37,96 3.36	48,60 0	0.78 11
15	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	42,21 0.13	51.9 2	1. 01	332	13 0	804. 93	934. 93	602. 93	31,61 7.41	0.8 15	38,79 4.37	48,60 0	0.79 82
15	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	42,88 7.40	51.9 2	1. 01	332	13 0	817. 85	947. 85	615. 85	32,29 4.69	0.8 15	39,62 5.38	48,60 0	0.81 53
15	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	43,56 4.68	51.9 2	1. 01	332	13 0	830. 77	960. 77	628. 77	32,97 1.96	0.8 15	40,45 6.39	48,60 0	0.83 24
15	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	44,24 1.95	51.9 2	1. 01	332	13 0	843. 68	973. 68	641. 68	33,64 9.23	0.8 15	41,28 7.40	48,60 0	0.84 95
15	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	44,91 9.22	51.9 2	1. 01	332	13 0	856. 60	986. 60	654. 60	34,32 6.50	0.8 15	42,11 8.41	48,60 0	0.86 66
15	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	45,59 6.50	51.9 2	1. 01	332	13 0	869. 51	999. 51	667. 51	35,00 3.78	0.8 15	42,94 9.42	48,60 0	0.88 37
15	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	46,27 3.77	51.9 2	1. 01	332	13 0	882. 43	1,01 2.43	680. 43	35,68 1.05	0.8 15	43,78 0.43	48,60 0	0.90 08
15	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	46,95 1.04	51.9 2	1. 01	332	13 0	895. 34	1,02 5.34	693. 34	36,35 8.32	0.8 15	44,61 1.44	48,60 0	0.91 79
15	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	47,62 8.31	51.9 2	1. 01	332	13 0	908. 26	1,03 8.26	706. 26	37,03 5.60	0.8 15	45,44 2.45	48,60 0	0.93 50
15	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	48,30 5.59	51.9 2	1. 01	332	13 0	921. 17	1,05 1.17	719. 17	37,71 2.87	0.8 15	46,27 3.46	48,60 0	0.95 21
15	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	48,98 2.86	51.9 2	1. 01	332	13 0	934. 09	1,06 4.09	732. 09	38,39 0.14	0.8 15	47,10 4.47	48,60 0	0.96 92
15	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	49,66 0.13	51.9 2	1. 01	332	13 0	947. 00	1,07 7.00	745. 00	39,06 7.41	0.8 15	47,93 5.48	48,60 0	0.98 63

Tabel 4.18. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 16 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	Cp_{Tin} (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	Cp_{Tot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	Cp_{Tsa} (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C pe g	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
16	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	42,13 4.44	51.9 2	1. 01	332	13 0	803. 49	933. 49	601. 49	31,54 1.73	0.8 15	38,70 1.50	48,60 0	0.79 63
16	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	42,85 6.87	51.9 2	1. 01	332	13 0	817. 27	947. 27	615. 27	32,26 4.15	0.8 15	39,58 7.91	48,60 0	0.81 46
16	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	43,57 9.29	51.9 2	1. 01	332	13 0	831. 04	961. 04	629. 04	32,98 6.57	0.8 15	40,47 4.32	48,60 0	0.83 28
16	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	44,30 1.72	51.9 2	1. 01	332	13 0	844. 82	974. 82	642. 82	33,70 9.00	0.8 15	41,36 0.73	48,60 0	0.85 10
16	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	45,02 4.14	51.9 2	1. 01	332	13 0	858. 60	988. 60	656. 60	34,43 1.42	0.8 15	42,24 7.14	48,60 0	0.86 93
16	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	45,74 6.56	51.9 2	1. 01	332	13 0	872. 37	1,00 2.37	670. 37	35,15 3.85	0.8 15	43,13 3.55	48,60 0	0.88 75
16	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	46,46 8.99	51.9 2	1. 01	332	13 0	886. 15	1,01 6.15	684. 15	35,87 6.27	0.8 15	44,01 9.96	48,60 0	0.90 58
16	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	47,19 1.41	51.9 2	1. 01	332	13 0	899. 93	1,02 9.93	697. 93	36,59 8.69	0.8 15	44,90 6.37	48,60 0	0.92 40
16	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	47,91 3.84	51.9 2	1. 01	332	13 0	913. 70	1,04 3.70	711. 70	37,32 1.12	0.8 15	45,79 2.78	48,60 0	0.94 22
16	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	48,63 6.26	51.9 2	1. 01	332	13 0	927. 48	1,05 7.48	725. 48	38,04 3.54	0.8 15	46,67 9.19	48,60 0	0.96 05
16	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	49,35 8.69	51.9 2	1. 01	332	13 0	941. 26	1,07 1.26	739. 26	38,76 5.97	0.8 15	47,56 5.60	48,60 0	0.97 87
16	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	50,08 1.11	51.9 2	1. 01	332	13 0	955. 03	1,08 5.03	753. 03	39,48 8.39	0.8 15	48,45 2.01	48,60 0	0.99 70
16	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	50,80 3.53	51.9 2	1. 01	332	13 0	968. 81	1,09 8.81	766. 81	40,21 0.82	0.8 15	49,33 8.42	48,60 0	1.01 52
16	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	51,52 5.96	51.9 2	1. 01	332	13 0	982. 58	1,11 2.58	780. 58	40,93 3.24	0.8 15	50,22 4.83	48,60 0	1.03 34
16	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	52,24 8.38	51.9 2	1. 01	332	13 0	996. 36	1,12 6.36	794. 36	41,65 5.66	0.8 15	51,11 1.24	48,60 0	1.05 17
16	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	52,97 0.81	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,01 0.14	1,14 0.14	808. 14	42,37 8.09	0.8 15	51,99 7.65	48,60 0	1.06 99

Tabel 4.19. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 17 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	$C_{pT_{ot}}$ (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _e (g)	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
17	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	44,76 7.85	51.9 2	1. 01	332	13 0	853. 71	983. 71	651. 71	34,17 5.13	0.8 15	41,93 2.67	48,60 0	0.86 28
17	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	45,53 5.42	51.9 2	1. 01	332	13 0	868. 35	998. 35	666. 35	34,94 2.70	0.8 15	42,87 4.48	48,60 0	0.88 22
17	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	46,30 3.00	51.9 2	1. 01	332	13 0	882. 98	1,01 2.98	680. 98	35,71 0.28	0.8 15	43,81 6.29	48,60 0	0.90 16
17	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	47,07 0.57	51.9 2	1. 01	332	13 0	897. 62	1,02 7.62	695. 62	36,47 7.86	0.8 15	44,75 8.10	48,60 0	0.92 09
17	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	47,83 8.15	51.9 2	1. 01	332	13 0	912. 26	1,04 2.26	710. 26	37,24 5.43	0.8 15	45,69 9.92	48,60 0	0.94 03
17	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	48,60 5.72	51.9 2	1. 01	332	13 0	926. 90	1,05 6.90	724. 90	38,01 3.01	0.8 15	46,64 1.73	48,60 0	0.95 97
17	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	49,37 3.30	51.9 2	1. 01	332	13 0	941. 53	1,07 1.53	739. 53	38,78 0.58	0.8 15	47,58 3.54	48,60 0	0.97 91
17	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	50,14 0.88	51.9 2	1. 01	332	13 0	956. 17	1,08 6.17	754. 17	39,54 8.16	0.8 15	48,52 5.35	48,60 0	0.99 85
17	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	50,90 8.45	51.9 2	1. 01	332	13 0	970. 81	1,10 0.81	768. 81	40,31 5.73	0.8 15	49,46 7.16	48,60 0	1.01 78
17	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	51,67 6.03	51.9 2	1. 01	332	13 0	985. 45	1,11 5.45	783. 45	41,08 3.31	0.8 15	50,40 8.97	48,60 0	1.03 72
17	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	52,44 3.60	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,00 0.08	1,13 0.08	798. 08	41,85 0.89	0.8 15	51,35 0.78	48,60 0	1.05 66
17	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	53,21 1.18	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,01 4.72	1,14 4.72	812. 72	42,61 8.46	0.8 15	52,29 2.59	48,60 0	1.07 60
17	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	53,97 8.76	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,02 9.36	1,15 9.36	827. 36	43,38 6.04	0.8 15	53,23 4.40	48,60 0	1.09 54
17	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	54,74 6.33	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,04 4.00	1,17 4.00	842. 00	44,15 3.61	0.8 15	54,17 6.21	48,60 0	1.11 47
17	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	55,51 3.91	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,05 8.63	1,18 8.63	856. 63	44,92 1.19	0.8 15	55,11 8.02	48,60 0	1.13 41
17	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	56,28 1.48	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,07 3.27	1,20 3.27	871. 27	45,68 8.76	0.8 15	56,05 9.83	48,60 0	1.15 35

Tabel 4.20. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 18 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	Cp_{Tin} (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	Cp_{Tot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	Cp_{Tsa} (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C pe g	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
18	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	47,40 1.25	51.9 2	1. 01	332	13 0	903. 93	1,03 3.93	701. 93	36,80 8.53	0.8 15	45,16 3.84	48,60 0	0.92 93
18	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	48,21 3.98	51.9 2	1. 01	332	13 0	919. 43	1,04 9.43	717. 43	37,62 1.26	0.8 15	46,16 1.05	48,60 0	0.94 98
18	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	49,02 6.70	51.9 2	1. 01	332	13 0	934. 92	1,06 4.92	732. 92	38,43 3.99	0.8 15	47,15 8.26	48,60 0	0.97 03
18	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	49,83 9.43	51.9 2	1. 01	332	13 0	950. 42	1,08 0.42	748. 42	39,24 6.71	0.8 15	48,15 5.48	48,60 0	0.99 09
18	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	50,65 2.16	51.9 2	1. 01	332	13 0	965. 92	1,09 5.92	763. 92	40,05 9.44	0.8 15	49,15 2.69	48,60 0	1.01 14
18	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	51,46 4.89	51.9 2	1. 01	332	13 0	981. 42	1,11 1.42	779. 42	40,87 2.17	0.8 15	50,14 9.90	48,60 0	1.03 19
18	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	52,27 7.61	51.9 2	1. 01	332	13 0	996. 92	1,12 6.92	794. 92	41,68 4.89	0.8 15	51,14 7.11	48,60 0	1.05 24
18	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	53,09 0.34	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,01 2.42	1,14 2.42	810. 42	42,49 7.62	0.8 15	52,14 4.32	48,60 0	1.07 29
18	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	53,90 3.07	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,02 7.92	1,15 7.92	825. 92	43,31 0.35	0.8 15	53,14 1.53	48,60 0	1.09 34
18	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	54,71 5.79	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,04 3.41	1,17 3.41	841. 41	44,12 3.08	0.8 15	54,13 8.74	48,60 0	1.11 40
18	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	55,52 8.52	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,05 8.91	1,18 8.91	856. 91	44,93 5.80	0.8 15	55,13 5.95	48,60 0	1.13 45
18	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	56,34 1.25	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,07 4.41	1,20 4.41	872. 41	45,74 8.53	0.8 15	56,13 3.17	48,60 0	1.15 50
18	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	57,15 3.98	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,08 9.91	1,21 9.91	887. 91	46,56 1.26	0.8 15	57,13 0.38	48,60 0	1.17 55
18	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	57,96 6.70	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,10 5.41	1,23 5.41	903. 41	47,37 3.99	0.8 15	58,12 7.59	48,60 0	1.19 60
18	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	58,77 9.43	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,12 0.91	1,25 0.91	918. 91	48,18 6.71	0.8 15	59,12 4.80	48,60 0	1.21 66
18	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	59,59 2.16	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,13 6.40	1,26 6.40	934. 40	48,99 9.44	0.8 15	60,12 2.01	48,60 0	1.23 71

Tabel 4.21. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 19 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	$C_{pT_{ot}}$ (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _e (g)	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{rl} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{rl} (kg/s)
19	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	50,03 4.65	51.9 2	1. 01	332	13 0	954. 15	1,08 4.15	752. 15	39,44 1.93	0.8 15	48,39 5.01	48,60 0	0.99 58
19	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	50,89 2.53	51.9 2	1. 01	332	13 0	970. 51	1,10 0.51	768. 51	40,29 9.81	0.8 15	49,44 7.62	48,60 0	1.01 74
19	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	51,75 0.41	51.9 2	1. 01	332	13 0	986. 86	1,11 6.86	784. 86	41,15 7.69	0.8 15	50,50 0.23	48,60 0	1.03 91
19	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	52,60 8.29	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,00 3.22	1,13 3.22	801. 22	42,01 5.57	0.8 15	51,55 2.85	48,60 0	1.06 08
19	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	53,46 6.17	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,01 9.58	1,14 9.58	817. 58	42,87 3.45	0.8 15	52,60 5.46	48,60 0	1.08 24
19	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	54,32 4.05	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,03 5.94	1,16 5.94	833. 94	43,73 1.33	0.8 15	53,65 8.07	48,60 0	1.10 41
19	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	55,18 1.92	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,05 2.30	1,18 2.30	850. 30	44,58 9.21	0.8 15	54,71 0.68	48,60 0	1.12 57
19	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	56,03 9.80	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,06 8.66	1,19 8.66	866. 66	45,44 7.08	0.8 15	55,76 3.29	48,60 0	1.14 74
19	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	56,89 7.68	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,08 5.02	1,21 5.02	883. 02	46,30 4.96	0.8 15	56,81 5.91	48,60 0	1.16 91
19	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	57,75 5.56	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,10 1.38	1,23 1.38	899. 38	47,16 2.84	0.8 15	57,86 8.52	48,60 0	1.19 07
19	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	58,61 3.44	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,11 7.74	1,24 7.74	915. 74	48,02 0.72	0.8 15	58,92 1.13	48,60 0	1.21 24
19	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	59,47 1.32	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,13 4.10	1,26 4.10	932. 10	48,87 8.60	0.8 15	59,97 3.74	48,60 0	1.23 40
19	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	60,32 9.20	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,15 0.46	1,28 0.46	948. 46	49,73 6.48	0.8 15	61,02 6.35	48,60 0	1.25 57
19	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	61,18 7.08	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,16 6.82	1,29 6.82	964. 82	50,59 4.36	0.8 15	62,07 8.97	48,60 0	1.27 73
19	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	62,04 4.95	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,18 3.18	1,31 3.18	981. 18	51,45 2.24	0.8 15	63,13 1.58	48,60 0	1.29 90
19	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	62,90 2.83	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,19 9.54	1,32 9.54	997. 54	52,31 0.12	0.8 15	64,18 4.19	48,60 0	1.32 07

Tabel 4.22. Perhitungan Ketel Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 20 kg/s

\dot{m}_{wf} (kg/s)	T_{in} (°C)	$C_{pT_{in}}$ (kJ/kg.°C)	T_{ot} (°C)	C_{pTot} (kJ/kg.°C)	T_{sa} (°C)	$C_{pT_{sa}}$ (kJ/kg.°C)	L (kJ/kg)	Q_{wf} (kW)	\dot{m}_{eg} (kg/s)	C p _g	T_{eg} (°C)	T_s (°C)	ΔT_1 (°C)	T_{bu} (°C)	ΔT_2 (°C)	Q_{bu} (kW)	η_{bu}	Q_{r1} (kW)	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{r1} (kg/s)
20	45	4.18	200	2.78	195.04	4.47	1,95 7.73	52,66 8.05	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,00 4.36	1,13 4.36	802. 36	42,07 5.34	0.8 15	51,62 6.18	48,60 0	1.06 23
20	45	4.18	210	2.61	195.04	4.47	1,95 7.73	53,57 1.08	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,02 1.58	1,15 1.58	819. 58	42,97 8.37	0.8 15	52,73 4.19	48,60 0	1.08 51
20	45	4.18	220	2.51	195.04	4.47	1,95 7.73	54,47 4.11	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,03 8.81	1,16 8.81	836. 81	43,88 1.40	0.8 15	53,84 2.20	48,60 0	1.10 79
20	45	4.18	230	2.44	195.04	4.47	1,95 7.73	55,37 7.15	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,05 6.03	1,18 6.03	854. 03	44,78 4.43	0.8 15	54,95 0.22	48,60 0	1.13 07
20	45	4.18	240	2.38	195.04	4.47	1,95 7.73	56,28 0.18	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,07 3.25	1,20 3.25	871. 25	45,68 7.46	0.8 15	56,05 8.23	48,60 0	1.15 35
20	45	4.18	250	2.34	195.04	4.47	1,95 7.73	57,18 3.21	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,09 0.47	1,22 0.47	888. 47	46,59 0.49	0.8 15	57,16 6.24	48,60 0	1.17 63
20	45	4.18	260	2.30	195.04	4.47	1,95 7.73	58,08 6.24	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,10 7.69	1,23 7.69	905. 69	47,49 3.52	0.8 15	58,27 4.25	48,60 0	1.19 91
20	45	4.18	270	2.27	195.04	4.47	1,95 7.73	58,98 9.27	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,12 4.91	1,25 4.91	922. 91	48,39 6.55	0.8 15	59,38 2.27	48,60 0	1.22 19
20	45	4.18	280	2.24	195.04	4.47	1,95 7.73	59,89 2.30	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,14 2.13	1,27 2.13	940. 13	49,29 9.58	0.8 15	60,49 0.28	48,60 0	1.24 47
20	45	4.18	290	2.22	195.04	4.47	1,95 7.73	60,79 5.33	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,15 9.35	1,28 9.35	957. 35	50,20 2.61	0.8 15	61,59 8.29	48,60 0	1.26 75
20	45	4.18	300	2.21	195.04	4.47	1,95 7.73	61,69 8.36	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,17 6.57	1,30 6.57	974. 57	51,10 5.64	0.8 15	62,70 6.31	48,60 0	1.29 03
20	45	4.18	310	2.19	195.04	4.47	1,95 7.73	62,60 1.39	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,19 3.79	1,32 3.79	991. 79	52,00 8.67	0.8 15	63,81 4.32	48,60 0	1.31 31
20	45	4.18	320	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	63,50 4.42	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,21 1.01	1,34 1.01	1,00 9.01	52,91 1.70	0.8 15	64,92 2.33	48,60 0	1.33 59
20	45	4.18	330	2.18	195.04	4.47	1,95 7.73	64,40 7.45	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,22 8.23	1,35 8.23	1,02 6.23	53,81 4.73	0.8 15	66,03 0.34	48,60 0	1.35 86
20	45	4.18	340	2.17	195.04	4.47	1,95 7.73	65,31 0.48	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,24 5.45	1,37 5.45	1,04 3.45	54,71 7.76	0.8 15	67,13 8.36	48,60 0	1.38 14
20	45	4.18	350	2.16	195.04	4.47	1,95 7.73	66,21 3.51	51.9 2	1. 01	332	13 0	1,26 2.67	1,39 2.67	1,06 0.67	55,62 0.79	0.8 15	68,24 6.37	48,60 0	1.40 42

4.2.2. Turbin Uap

Turbin uap merupakan komponen yang berfungsi mengubah energi potensial dari fluida kerja menjadi energi mekanik. Adapun, sebelum menentukan nilai kerja turbin maka harus mencari terlebih dahulu temperatur keluar turbin uap sehingga nantinya dapat mencari nilai kerja turbin uap. Perhitungan untuk mendapatkan temperatur keluar turbin uap adalah sebagai berikut :

$$\frac{T_{ot}}{T_{in}} = \frac{P_{ot}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_{in}}$$

$$\frac{T_{ot}}{220} = \frac{1^{\frac{1.4-1}{1.4}}}{14}$$

$$T_{ot} = 220 \times 0.47$$

$$T_{ot} = 103.28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dimana, $\gamma = 1.4$ [rasio panas spesifik]

Setelah mendapatkan temperatur keluar turbin uap, maka dapat dicari kerja turbin uap. Efisiensi turbin uap diambil sebesar 92 % dan laju aliran massa fluida kerja merupakan variasi operasional yang tersebar antara 4 – 20 kg/s. Perhitungan untuk mendapatkan nilai kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

$$W_{st} = \eta_{st} \times \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{ot} - T_{in})$$

$$W_{st} = 0.92 \times 4 \times 2.51 \times (103.28 - 220)$$

$$W_{st} = -1,079.52 \text{ kW}$$

Dimana, $C_{p_{wf}} = 2.51 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik fluida kerja pada temperatur masuk]

Dari contoh perhitungan untuk kebutuhan komponen turbin uap diatas, maka tabel berikut merupakan perhitungan untuk kebutuhan komponen ketel uap pada variasi nilai laju aliran massa fluida kerja (\dot{m}_{wf}) antara 4 – 20 kg/s dan temperatur masuk turbin uap 200 °C – 350 °C :

Tabel 4.23. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 4 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	4	2.61	1,087.28	32,130	0.4185	0.4318
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	4	2.51	1,079.52	32,130	0.4185	0.4305
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	4	2.44	1,081.80	32,130	0.4185	0.4293
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	4	2.38	1,089.82	32,130	0.4185	0.4282
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	4	2.34	1,101.86	32,130	0.4185	0.4271
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	4	2.30	1,117.02	32,130	0.4185	0.4261
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	4	2.27	1,134.72	32,130	0.4185	0.4251
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	4	2.24	1,154.54	32,130	0.4185	0.4241
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	4	2.22	1,176.15	32,130	0.4185	0.4232
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	4	2.21	1,199.28	32,130	0.4185	0.4223
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	4	2.19	1,223.69	32,130	0.4185	0.4215
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	4	2.18	1,249.21	32,130	0.4185	0.4206
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	4	2.18	1,275.69	32,130	0.4185	0.4198
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	4	2.17	1,302.99	32,130	0.4185	0.4189
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	4	2.16	1,331.02	32,130	0.4185	0.4181

Tabel 4.24. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 5 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	5	2.78	1,397.67	32,130	0.4185	0.4194
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	5	2.61	1,359.09	32,130	0.4185	0.4175
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	5	2.51	1,349.40	32,130	0.4185	0.4160
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	5	2.44	1,352.25	32,130	0.4185	0.4146
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	5	2.38	1,362.28	32,130	0.4185	0.4133
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	5	2.34	1,377.32	32,130	0.4185	0.4121
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	5	2.30	1,396.27	32,130	0.4185	0.4109
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	5	2.27	1,418.40	32,130	0.4185	0.4098
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	5	2.24	1,443.18	32,130	0.4185	0.4087
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	5	2.22	1,470.19	32,130	0.4185	0.4076
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	5	2.21	1,499.10	32,130	0.4185	0.4066
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	5	2.19	1,529.61	32,130	0.4185	0.4056
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	5	2.18	1,561.52	32,130	0.4185	0.4047
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	5	2.18	1,594.61	32,130	0.4185	0.4037
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	5	2.17	1,628.74	32,130	0.4185	0.4028
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	5	2.16	1,663.77	32,130	0.4185	0.4019

Tabel 4.25. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 6 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	6	2.78	1,677.20	32,130	0.4185	0.4065
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	6	2.61	1,630.91	32,130	0.4185	0.4043
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	6	2.51	1,619.27	32,130	0.4185	0.4026
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	6	2.44	1,622.70	32,130	0.4185	0.4010
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	6	2.38	1,634.73	32,130	0.4185	0.3996
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	6	2.34	1,652.79	32,130	0.4185	0.3983
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	6	2.30	1,675.52	32,130	0.4185	0.3970
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	6	2.27	1,702.08	32,130	0.4185	0.3957
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	6	2.24	1,731.82	32,130	0.4185	0.3946
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	6	2.22	1,764.23	32,130	0.4185	0.3934
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	6	2.21	1,798.92	32,130	0.4185	0.3923
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	6	2.19	1,835.54	32,130	0.4185	0.3912
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	6	2.18	1,873.82	32,130	0.4185	0.3902
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	6	2.18	1,913.53	32,130	0.4185	0.3891
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	6	2.17	1,954.49	32,130	0.4185	0.3881
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	6	2.16	1,996.52	32,130	0.4185	0.3871

Tabel 4.26. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 7 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	7	2.78	1,956.74	32,130	0.4185	0.3945
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	7	2.61	1,902.73	32,130	0.4185	0.3922
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	7	2.51	1,889.15	32,130	0.4185	0.3903
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	7	2.44	1,893.15	32,130	0.4185	0.3886
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	7	2.38	1,907.19	32,130	0.4185	0.3870
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	7	2.34	1,928.25	32,130	0.4185	0.3856
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	7	2.30	1,954.78	32,130	0.4185	0.3842
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	7	2.27	1,985.76	32,130	0.4185	0.3828
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	7	2.24	2,020.45	32,130	0.4185	0.3816
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	7	2.22	2,058.27	32,130	0.4185	0.3804
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	7	2.21	2,098.73	32,130	0.4185	0.3792
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	7	2.19	2,141.46	32,130	0.4185	0.3780
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	7	2.18	2,186.12	32,130	0.4185	0.3769
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	7	2.18	2,232.45	32,130	0.4185	0.3758
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	7	2.17	2,280.24	32,130	0.4185	0.3747
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	7	2.16	2,329.28	32,130	0.4185	0.3737

Tabel 4.27. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 8 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	8	2.78	2,236.27	32,130	0.4185	0.3834
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	8	2.61	2,174.55	32,130	0.4185	0.3809
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	8	2.51	2,159.03	32,130	0.4185	0.3788
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	8	2.44	2,163.60	32,130	0.4185	0.3770
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	8	2.38	2,179.64	32,130	0.4185	0.3754
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	8	2.34	2,203.71	32,130	0.4185	0.3738
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	8	2.30	2,234.03	32,130	0.4185	0.3724
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	8	2.27	2,269.44	32,130	0.4185	0.3710
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	8	2.24	2,309.09	32,130	0.4185	0.3696
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	8	2.22	2,352.31	32,130	0.4185	0.3683
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	8	2.21	2,398.55	32,130	0.4185	0.3671
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	8	2.19	2,447.38	32,130	0.4185	0.3659
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	8	2.18	2,498.43	32,130	0.4185	0.3647
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	8	2.18	2,551.37	32,130	0.4185	0.3636
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	8	2.17	2,605.99	32,130	0.4185	0.3625
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	8	2.16	2,662.03	32,130	0.4185	0.3614

Tabel 4.28. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 9 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	9	2.78	2,515.81	32,130	0.4185	0.3731
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	9	2.61	2,446.37	32,130	0.4185	0.3704
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	9	2.51	2,428.91	32,130	0.4185	0.3682
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	9	2.44	2,434.05	32,130	0.4185	0.3663
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	9	2.38	2,452.10	32,130	0.4185	0.3646
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	9	2.34	2,479.18	32,130	0.4185	0.3630
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	9	2.30	2,513.28	32,130	0.4185	0.3614
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	9	2.27	2,553.12	32,130	0.4185	0.3600
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	9	2.24	2,597.72	32,130	0.4185	0.3586
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	9	2.22	2,646.34	32,130	0.4185	0.3572
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	9	2.21	2,698.37	32,130	0.4185	0.3560
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	9	2.19	2,753.31	32,130	0.4185	0.3547
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	9	2.18	2,810.73	32,130	0.4185	0.3535
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	9	2.18	2,870.30	32,130	0.4185	0.3523
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	9	2.17	2,931.73	32,130	0.4185	0.3512
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	9	2.16	2,994.79	32,130	0.4185	0.3501

Tabel 4.29. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 10 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	10	2.78	2,795.34	32,130	0.4185	0.3635
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	10	2.61	2,718.19	32,130	0.4185	0.3606
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	10	2.51	2,698.79	32,130	0.4185	0.3583
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	10	2.44	2,704.50	32,130	0.4185	0.3564
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	10	2.38	2,724.55	32,130	0.4185	0.3546
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	10	2.34	2,754.64	32,130	0.4185	0.3529
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	10	2.30	2,792.54	32,130	0.4185	0.3513
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	10	2.27	2,836.80	32,130	0.4185	0.3498
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	10	2.24	2,886.36	32,130	0.4185	0.3483
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	10	2.22	2,940.38	32,130	0.4185	0.3470
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	10	2.21	2,998.19	32,130	0.4185	0.3457
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	10	2.19	3,059.23	32,130	0.4185	0.3444
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	10	2.18	3,123.03	32,130	0.4185	0.3431
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	10	2.18	3,189.22	32,130	0.4185	0.3419
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	10	2.17	3,257.48	32,130	0.4185	0.3408
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	10	2.16	3,327.54	32,130	0.4185	0.3396

Tabel 4.30. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 11 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	11	2.78	3,074.87	32,130	0.4185	0.3545
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	11	2.61	2,990.01	32,130	0.4185	0.3514
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	11	2.51	2,968.67	32,130	0.4185	0.3491
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	11	2.44	2,974.95	32,130	0.4185	0.3471
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	11	2.38	2,997.01	32,130	0.4185	0.3452
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	11	2.34	3,030.11	32,130	0.4185	0.3435
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	11	2.30	3,071.79	32,130	0.4185	0.3418
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	11	2.27	3,120.48	32,130	0.4185	0.3403
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	11	2.24	3,175.00	32,130	0.4185	0.3388
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	11	2.22	3,234.42	32,130	0.4185	0.3374
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	11	2.21	3,298.01	32,130	0.4185	0.3361
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	11	2.19	3,365.15	32,130	0.4185	0.3348
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	11	2.18	3,435.34	32,130	0.4185	0.3335
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	11	2.18	3,508.14	32,130	0.4185	0.3323
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	11	2.17	3,583.23	32,130	0.4185	0.3311
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	11	2.16	3,660.29	32,130	0.4185	0.3300

Tabel 4.31. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 12 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	12	2.78	3,354.41	32,130	0.4185	0.3460
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	12	2.61	3,261.83	32,130	0.4185	0.3429
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	12	2.51	3,238.55	32,130	0.4185	0.3405
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	12	2.44	3,245.40	32,130	0.4185	0.3384
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	12	2.38	3,269.46	32,130	0.4185	0.3365
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	12	2.34	3,305.57	32,130	0.4185	0.3347
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	12	2.30	3,351.05	32,130	0.4185	0.3330
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	12	2.27	3,404.16	32,130	0.4185	0.3315
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	12	2.24	3,463.63	32,130	0.4185	0.3300
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	12	2.22	3,528.46	32,130	0.4185	0.3285
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	12	2.21	3,597.83	32,130	0.4185	0.3272
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	12	2.19	3,671.07	32,130	0.4185	0.3259
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	12	2.18	3,747.64	32,130	0.4185	0.3246
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	12	2.18	3,827.06	32,130	0.4185	0.3234
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	12	2.17	3,908.98	32,130	0.4185	0.3222
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	12	2.16	3,993.05	32,130	0.4185	0.3210

Tabel 4.32. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 13 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	13	2.78	3,633.94	32,130	0.4185	0.3381
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	13	2.61	3,533.64	32,130	0.4185	0.3349
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	13	2.51	3,508.43	32,130	0.4185	0.3324
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	13	2.44	3,515.85	32,130	0.4185	0.3302
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	13	2.38	3,541.92	32,130	0.4185	0.3283
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	13	2.34	3,581.03	32,130	0.4185	0.3265
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	13	2.30	3,630.30	32,130	0.4185	0.3248
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	13	2.27	3,687.84	32,130	0.4185	0.3232
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	13	2.24	3,752.27	32,130	0.4185	0.3217
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	13	2.22	3,822.50	32,130	0.4185	0.3202
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	13	2.21	3,897.65	32,130	0.4185	0.3189
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	13	2.19	3,977.00	32,130	0.4185	0.3175
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	13	2.18	4,059.94	32,130	0.4185	0.3163
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	13	2.18	4,145.98	32,130	0.4185	0.3150
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	13	2.17	4,234.73	32,130	0.4185	0.3139
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	13	2.16	4,325.80	32,130	0.4185	0.3127

Tabel 4.33. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 14 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	14	2.78	3,913.48	32,130	0.4185	0.3306
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	14	2.61	3,805.46	32,130	0.4185	0.3273
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	14	2.51	3,778.31	32,130	0.4185	0.3248
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	14	2.44	3,786.30	32,130	0.4185	0.3226
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	14	2.38	3,814.37	32,130	0.4185	0.3206
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	14	2.34	3,856.50	32,130	0.4185	0.3188
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	14	2.30	3,909.55	32,130	0.4185	0.3171
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	14	2.27	3,971.52	32,130	0.4185	0.3155
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	14	2.24	4,040.90	32,130	0.4185	0.3139
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	14	2.22	4,116.54	32,130	0.4185	0.3125
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	14	2.21	4,197.47	32,130	0.4185	0.3111
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	14	2.19	4,282.92	32,130	0.4185	0.3098
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	14	2.18	4,372.25	32,130	0.4185	0.3085
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	14	2.18	4,464.90	32,130	0.4185	0.3073
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	14	2.17	4,560.48	32,130	0.4185	0.3061
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	14	2.16	4,658.56	32,130	0.4185	0.3049

Tabel 4.34. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 15 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	15	2.78	4,193.01	32,130	0.4185	0.3236
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	15	2.61	4,077.28	32,130	0.4185	0.3202
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	15	2.51	4,048.19	32,130	0.4185	0.3176
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	15	2.44	4,056.75	32,130	0.4185	0.3154
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	15	2.38	4,086.83	32,130	0.4185	0.3134
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	15	2.34	4,131.96	32,130	0.4185	0.3115
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	15	2.30	4,188.81	32,130	0.4185	0.3098
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	15	2.27	4,255.20	32,130	0.4185	0.3082
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	15	2.24	4,329.54	32,130	0.4185	0.3067
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	15	2.22	4,410.57	32,130	0.4185	0.3052
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	15	2.21	4,497.29	32,130	0.4185	0.3038
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	15	2.19	4,588.84	32,130	0.4185	0.3025
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	15	2.18	4,684.55	32,130	0.4185	0.3012
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	15	2.18	4,783.83	32,130	0.4185	0.3000
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	15	2.17	4,886.22	32,130	0.4185	0.2988
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	15	2.16	4,991.31	32,130	0.4185	0.2977

Tabel 4.35. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 16 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	16	2.78	4,472.54	32,130	0.4185	0.3170
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	16	2.61	4,349.10	32,130	0.4185	0.3135
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	16	2.51	4,318.07	32,130	0.4185	0.3109
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	16	2.44	4,327.20	32,130	0.4185	0.3086
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	16	2.38	4,359.28	32,130	0.4185	0.3066
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	16	2.34	4,407.43	32,130	0.4185	0.3047
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	16	2.30	4,468.06	32,130	0.4185	0.3030
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	16	2.27	4,538.88	32,130	0.4185	0.3014
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	16	2.24	4,618.18	32,130	0.4185	0.2998
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	16	2.22	4,704.61	32,130	0.4185	0.2984
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	16	2.21	4,797.11	32,130	0.4185	0.2970
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	16	2.19	4,894.77	32,130	0.4185	0.2957
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	16	2.18	4,996.85	32,130	0.4185	0.2944
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	16	2.18	5,102.75	32,130	0.4185	0.2932
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	16	2.17	5,211.97	32,130	0.4185	0.2920
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	16	2.16	5,324.06	32,130	0.4185	0.2909

Tabel 4.36. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 17 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	17	2.78	4,752.08	32,130	0.4185	0.3107
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	17	2.61	4,620.92	32,130	0.4185	0.3072
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	17	2.51	4,587.95	32,130	0.4185	0.3045
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	17	2.44	4,597.65	32,130	0.4185	0.3022
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	17	2.38	4,631.74	32,130	0.4185	0.3002
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	17	2.34	4,682.89	32,130	0.4185	0.2983
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	17	2.30	4,747.31	32,130	0.4185	0.2965
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	17	2.27	4,822.56	32,130	0.4185	0.2949
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	17	2.24	4,906.81	32,130	0.4185	0.2934
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	17	2.22	4,998.65	32,130	0.4185	0.2919
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	17	2.21	5,096.93	32,130	0.4185	0.2906
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	17	2.19	5,200.69	32,130	0.4185	0.2892
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	17	2.18	5,309.16	32,130	0.4185	0.2880
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	17	2.18	5,421.67	32,130	0.4185	0.2868
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	17	2.17	5,537.72	32,130	0.4185	0.2856
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	17	2.16	5,656.82	32,130	0.4185	0.2845

Tabel 4.37. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 18 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	18	2.78	5,031.61	32,130	0.4185	0.3048
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	18	2.61	4,892.74	32,130	0.4185	0.3012
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	18	2.51	4,857.82	32,130	0.4185	0.2985
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	18	2.44	4,868.10	32,130	0.4185	0.2962
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	18	2.38	4,904.19	32,130	0.4185	0.2941
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	18	2.34	4,958.36	32,130	0.4185	0.2922
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	18	2.30	5,026.57	32,130	0.4185	0.2905
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	18	2.27	5,106.24	32,130	0.4185	0.2888
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	18	2.24	5,195.45	32,130	0.4185	0.2873
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	18	2.22	5,292.69	32,130	0.4185	0.2859
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	18	2.21	5,396.75	32,130	0.4185	0.2845
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	18	2.19	5,506.61	32,130	0.4185	0.2832
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	18	2.18	5,621.46	32,130	0.4185	0.2819
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	18	2.18	5,740.59	32,130	0.4185	0.2807
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	18	2.17	5,863.47	32,130	0.4185	0.2796
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	18	2.16	5,989.57	32,130	0.4185	0.2785

Tabel 4.38. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 19 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	19	2.78	5,311.15	32,130	0.4185	0.2991
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	19	2.61	5,164.56	32,130	0.4185	0.2955
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	19	2.51	5,127.70	32,130	0.4185	0.2927
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	19	2.44	5,138.54	32,130	0.4185	0.2904
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	19	2.38	5,176.65	32,130	0.4185	0.2883
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	19	2.34	5,233.82	32,130	0.4185	0.2865
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	19	2.30	5,305.82	32,130	0.4185	0.2847
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	19	2.27	5,389.92	32,130	0.4185	0.2831
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	19	2.24	5,484.08	32,130	0.4185	0.2816
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	19	2.22	5,586.73	32,130	0.4185	0.2801
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	19	2.21	5,696.56	32,130	0.4185	0.2788
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	19	2.19	5,812.53	32,130	0.4185	0.2775
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	19	2.18	5,933.77	32,130	0.4185	0.2762
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	19	2.18	6,059.51	32,130	0.4185	0.2750
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	19	2.17	6,189.22	32,130	0.4185	0.2739
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	19	2.16	6,322.32	32,130	0.4185	0.2728

Tabel 4.39. Perhitungan Turbin Uap pada Laju Aliran Massa Fluida Kerja 20 kg/s

P_{in} (bar)	P_{ot} (bar)	T_{in} (°C)	C_p	C_v	γ	T_{ot} (°C)	ΔT (°C)	\dot{m}_{wf} (kg/s)	$C_{p_{wf}}$	W_{st} (kW)	P_{me} (kW)	η_{me}	η_{pp}
14	1	200	2.78	1.95	1.43	90.73	109.27	20	2.78	5,590.68	32,130	0.4185	0.2938
14	1	210	2.61	1.85	1.41	97.01	112.99	20	2.61	5,436.38	32,130	0.4185	0.2901
14	1	220	2.51	1.79	1.40	103.28	116.72	20	2.51	5,397.58	32,130	0.4185	0.2873
14	1	230	2.44	1.75	1.39	109.52	120.48	20	2.44	5,408.99	32,130	0.4185	0.2850
14	1	240	2.38	1.72	1.38	115.71	124.29	20	2.38	5,449.10	32,130	0.4185	0.2829
14	1	250	2.34	1.70	1.37	121.87	128.13	20	2.34	5,509.28	32,130	0.4185	0.2810
14	1	260	2.30	1.68	1.37	128.00	132.00	20	2.30	5,585.08	32,130	0.4185	0.2793
14	1	270	2.27	1.67	1.36	134.12	135.88	20	2.27	5,673.60	32,130	0.4185	0.2776
14	1	280	2.24	1.66	1.36	140.21	139.79	20	2.24	5,772.72	32,130	0.4185	0.2761
14	1	290	2.22	1.65	1.35	146.30	143.70	20	2.22	5,880.77	32,130	0.4185	0.2747
14	1	300	2.21	1.64	1.35	152.39	147.61	20	2.21	5,996.38	32,130	0.4185	0.2733
14	1	310	2.19	1.64	1.34	158.47	151.53	20	2.19	6,118.46	32,130	0.4185	0.2721
14	1	320	2.18	1.63	1.34	164.56	155.44	20	2.18	6,246.07	32,130	0.4185	0.2708
14	1	330	2.18	1.63	1.33	170.65	159.35	20	2.18	6,378.44	32,130	0.4185	0.2697
14	1	340	2.17	1.63	1.33	176.75	163.25	20	2.17	6,514.97	32,130	0.4185	0.2685
14	1	350	2.16	1.63	1.33	182.86	167.14	20	2.16	6,655.08	32,130	0.4084	0.2674

4.2.3. Kondensor

Kondensor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah fluida dari fase uap menjadi fase cair. Nilai keluar tekanan turbin 1 bar dan laju aliran massa fluida kerja 4 kg/s. Perhitungan kondensor memiliki 3 perhitungan utama yaitu : perhitungan kebutuhan energi panas untuk mendinginkan fluida kerja pada fase uap sampai ke titik jenuh (Q_1), lalu mengubah fluida kerja pada fase uap menjadi fase cair (Q_2) dan mendinginkan fluida kerja pada fase cair sampai ke temperatur yang diinginkan (Q_3). Perhitungan untuk mendapatkan energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah fluida kerja pada fase uap menjadi fase cair pada kondensor adalah sebagai berikut :

$$Q_1 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{in} - T_{sa})$$

$$Q_1 = 4 \times 2.06 \times (103 - 99.61)$$

$$Q_1 = 30.30 \text{ kW}$$

Dimana, $C_{p_{wf}} = 2.06 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik fluida kerja pada temperatur masuk]
 $T_{sa} = 99.61 \text{ }^\circ\text{C}$ [temperatur jenuh fluida kerja pada tekanan 1 bar]

$$Q_2 = \dot{m}_{wf} \times L_{wf}$$

$$Q_2 = 4 \times 2,257.9$$

$$Q_2 = 9,031.6 \text{ kW}$$

Dimana, $L_{wf} = 2,257.9 \text{ kJ/kg}$ [kalor laten fluida kerja pada tekanan 1 bar]

$$Q_3 = \dot{m}_{wf} \times C_{p_{wf}} \times (T_{sa} - T_{ot})$$

$$Q_3 = 4 \times 2.08 \times (99.61 - 45)$$

$$Q_3 = 453.43 \text{ kW}$$

Dimana, $C_{p_{wf}} = 2.08 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ [panas spesifik fluida kerja pada temperatur jenuh]

$$Q_{cd} = \frac{Q_1 \times Q_2 \times Q_3}{1 - \varepsilon}$$

$$Q_{cd} = \frac{30.30 \times 9,031.6 \times 453.43}{1 - 0.01}$$

$$Q_{cd} = 9,519.91 \text{ kW}$$

Dimana, $\varepsilon = 0.01$ [rasio rugi panas pada kondensor]

4.2.4. Pompa

Pompa merupakan komponen yang berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Dalam pemilihan pompa, dibutuhkan data mengenai laju aliran volume pompa dan head pompa. Laju aliran massa fluida kerja sebesar 4 kg/s dan temperatur kondensasi sebesar 45 °C. Perhitungan untuk mendapatkan nilai laju aliran volume pompa dan head pompa adalah sebagai berikut :

$$v_{wf} = \frac{\dot{m}_{wf}}{\rho_{wf}}$$

$$v_{wf} = \frac{4}{990.2}$$

$$v_{wf} = 0.00404 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_{wf} = 14.54 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimana, $\rho_{wf} = 990.2 \text{ kg/m}^3$ [densitas fluida kerja pada temperatur 45 °C]

$$H_{pm} = H_p + H_v + H_z = \Delta \frac{P_{wf}}{\rho g} + \Delta \frac{v_{wf}^2}{2g} + \Delta Z$$

$$H_{pm} = \Delta \frac{P_{wf}}{\rho g} + 0 + 0$$

$$H_{pm} = \frac{(816,000 - 500,000)}{990.2 \times 9.81} + 0 + 0$$

$$H_{pm} = 32.53 \text{ m}$$

4.3. Penentuan Spesifikasi *Steam Rankine Cycle*

Penentuan spesifikasi komponen pada *steam rankine cycle*, ditentukan berdasarkan kebutuhan dan kondisi operasional komponen serta sistem *steam rankine cycle*. Berikut merupakan kebutuhan kondisi operasional untuk setiap komponen pada *steam rankine cycle* :

(a) Ketel Uap		
Laju Aliran Massa Uap Jenuh	4	kg/s
Tekanan Uap	14	bar
Laju Aliran Massa Limbah Panas Gas Buang	51.92	kg/s
Temperatur Masuk Limbah Panas Gas Buang	332	°C
Laju Aliran Massa Fluida Kerja	4	kg/s
Tekanan Fluida Kerja	8.16	bar

(b) Turbin Uap

Laju Aliran Massa Fluida Kerja	4	kg/s
Tekanan Masuk Turbin Uap	14	bar
Tekanan Keluar Turbin Uap	1	bar
Temperatur Masuk Turbin Uap	220	°C
Temperatur Keluar Turbin Uap	103.28	°C
Kerja Turbin Uap	1,079.52	kW
Efisiensi Turbin Uap	92	%

(c) Kondensor

Laju Aliran Massa Fluida Kerja	4	kg/s
Tekanan Masuk Kondensor	1	bar
Temperatur Masuk Kondensor	103.28	°C
Temperatur Keluar Kondensor	45	°C

(d) Pompa

Fluida Kerja	Air	
Laju Aliran Massa Fluida Kerja	4	kg/s
Panas Spesifik Fluida Kerja	4.18	kJ/kg.°C
Tekanan Masuk Pompa	5	bar
Tekanan Keluar Pompa	8.16	bar
Temperatur Masuk Pompa	45	°C
Efisiensi Pompa	85	%
Laju Aliran Volume Pompa	14.54	m ³ /h
Head Pompa	32.53	m

Setelah mengetahui kebutuhan dan kondisi operasional komponen, dapat ditentukan spesifikasi komponen pada *steam rankine cycle*.

(a) Ketel Uap

Merek	Johnston Boiler			
Jenis	WHR1 123x268			
Laju Aliran Massa Uap Jenuh	2,000 - 165,000	Lbs/hr	0.25 - 20.8	kg/s
Tekanan Uap	15 - 300	PSIG	1 - 20	bar
Laju Aliran Massa Limbah Panas Gas Buang	1,000 - 400,000	Lbs/hr	0.13 - 50.4	kg/s
Temperatur Masuk Limbah Panas Gas Buang	600 - 2,500	°F	315 - 1371	°C
Laju Aliran Massa Fluida Kerja	2,000 - 165,000	MBH	0.25 - 20.8	kg/s
Tekanan Fluida Kerja	30 - 160	PSIG	2 - 11	bar

(b) Turbin Uap

Merek	Mitsubishi			
Jenis	AT42C			
Tekanan Masuk Turbin Uap	0.4 - 12.3	MPa	4 - 123	bar
Tekanan Keluar Turbin Uap	400 - 722	mmHg	0.5 - 1	bar
Kerja Turbin Uap	1,000 - 4,000	kW		
Putaran Turbin Uap	8,500 - 11,700	rpm		
Temperatur Masuk Turbin Uap	sampai 540 °C			

(c) Kondensor

Merek	ITT			
Jenis	S 1000 R			
Tekanan Masuk Kondensor	0 - 15	PSI	0 - 1	bar
Tekanan Keluar Kondensor	75	PSI	5	bar
Temperatur Masuk Kondensor	sampai 149 °C			
Temperatur Keluar Kondensor	sampai 65 °C			

(d) Pompa

Merek	TAIKO		
Jenis	EHC - 51 J 5.5		
Kapasitas Pompa	18	m ³ /h	
Head pompa	40	m	
Daya	5.5	kW	

4.4. Peninjauan secara Teknis *Steam Rankine Cycle*

Setelah merancang *steam rankine cycle* dengan variasi nilai laju aliran massa fluida kerja 4 – 20 kg/s dan temperatur masuk turbin 200 – 350 °C. Didapat nilai laju aliran massa fluida kerja 4 kg/s dan temperatur masuk turbin 220 °C sebagai kondisi variasi paling optimal. Adapun. perhitungan untuk mendapatkan nilai perbedaan efisiensi sebelum dan sesudah pengaplikasian *steam rankine cycle* adalah sebagai berikut :

- Perhitungan kerja *steam rankine cycle* :

$$W_{sr} = W_{st} - W_{pm}$$

$$W_{sr} = 1,079.52 - 5.5$$

$$W_{sr} = 1,074.02 \text{ kW}$$

- Perhitungan efisiensi *steam rankine cycle* :

$$\eta_{sr} = \frac{W_{sr}}{Q_{bo} + Q_{bu}}$$

$$\eta_{sr} = \frac{1,074.02}{10,894.02 + 302.1}$$

$$\eta_{sr} = \frac{1,074.02}{10,894.02 + 302.1}$$

$$\eta_{sr} = 9.593 \%$$

- Perhitungan efisiensi pembangkit listrik terapung :

$$\eta_{me} = \frac{32,130}{(2 \times 0.79) \times 48,600}$$

$$\eta_{me} = \frac{32,130}{76,788}$$

$$\eta_{me} = 41.85 \%$$

- Perhitungan efisiensi mesin utama :

$$\eta_{pp} = \frac{P_{me} + W_{sr}}{(\dot{m}_{fl} + \dot{m}_{rl}) \times LHV}$$

$$\eta_{pp} = \frac{32,130 + 1,074.02}{((2 \times 0.79) + 0.0076) \times 48,600}$$

$$\eta_{pp} = \frac{33,204.02}{77,157.36}$$

$$\eta_{pp} = 43.05 \%$$

- Perhitungan perbedaan efisiensi :

$$\Delta \eta = \eta_{pp} - \eta_{me}$$

$$\Delta \eta = 43.05 - 41.85$$

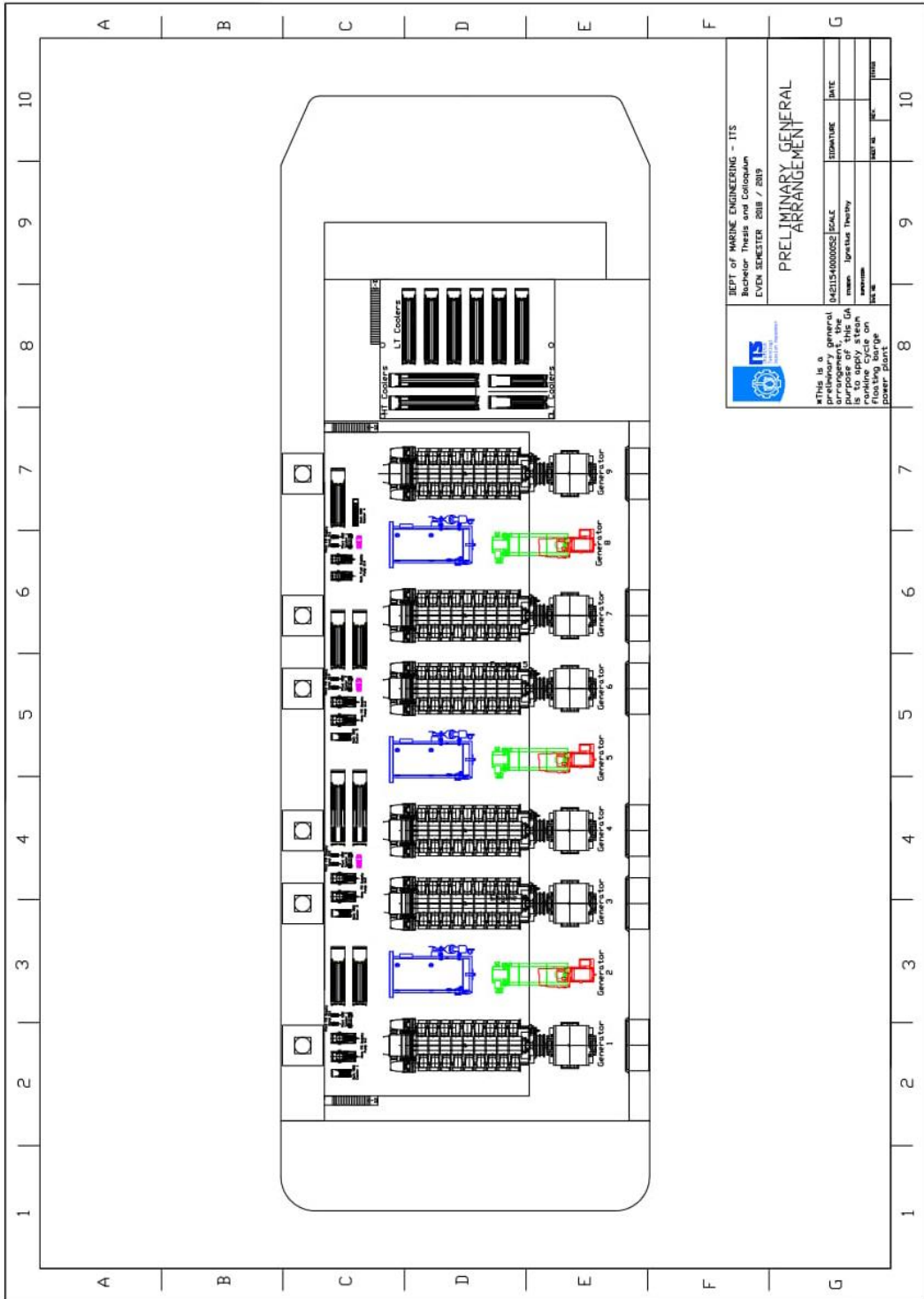
$$\Delta \eta = 1.2 \%$$

4.5. Penempatan *Steam Rankine Cycle*

Setelah menentukan spesifikasi untuk komponen ketel uap, turbin uap, kondensor dan pompa pada *steam rankine cycle*, maka langkah selanjutnya yaitu menempatkan *steam rankine cycle* pada *layout* pembangkit listrik terapung 100 MW. Adapun, beberapa pertimbangan dalam penempatan *steam rankine cycle* antara lain :

- Tersediannya ruang untuk pekerja dalam instalasi, operasi dan *maintenance* komponen *steam rankine cycle*.
- Penempatan komponen generator turbin uap dirancang sejajar dengan generator mesin *dual fuel*.
- Peletakan kondensor berada tepat di bawah turbin uap, untuk memudahkan perpindahan uap setelah dimanfaatkan turbin uap.
- Posisi ketel uap diletakan berdekatan dengan cerobong gas buang mesin *dual fuel*.

Dengan pertimbangan tersebut, maka penempatan *steam rankine cycle* pada *layout* pembangkit listrik terapung dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8. Penempatan Steam Rankine Cycle

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melalui kegiatan penelitian dan penulisan tugas akhir, didapatkan beberapa poin kesimpulan dari Studi Tinjauan Teknis Pengaplikasian *Steam Rankine Cycle* pada Pembangkit Listrik Terapung 100 MW yaitu :

- Perhitungan gas buang untuk 6 pasang mesin *dual fuel* (pada kondisi operasional), didapatkan energi panas gas buang sebesar 31,776.15 kW. Sedangkan perhitungan gas buang untuk 2 pasang mesin *dual fuel* (pada kondisi operasional), didapatkan energi panas gas buang sebesar 10,592.05 kW. Energi panas gas buang pada mesin *dual fuel* merupakan energi potensial yang akan dimanfaatkan kembali oleh *steam rankine cycle*, dan ditujukan untuk menghasilkan generasi listrik tambahan.
- Perancangan *steam rankine cycle*
 - o Ketel uap dirancang dengan tambahan komponen berupa pembakar tambahan, karena energi panas gas buang dari mesin *dual fuel* tidak cukup untuk mengubah fluida kerja cair menjadi fluida kerja uap pada tekanan kerja. Ketel uap memiliki energi panas 10,894.82 kW.
 - o Turbin uap bertujuan untuk memanfaatkan fluida kerja hasil proses ketel uap menjadi energi mekanik (gerak) dan nantinya digunakan untuk memutar generator listrik. Turbin uap memiliki nilai kerja 1,079.52 kW.
 - o Kondensor berfungsi untuk mengubah fluida kerja dari fase uap (hasil turbin uap) ke fase cair, untuk nantinya digunakan kembali oleh ketel uap. Kondensor memiliki energi panas 9,519.91 kW.
 - o Pompa digunakan untuk memindahkan fluida kerja dalam fase cair dari hasil proses kondensasi pada kondensor ke ketel uap (*boiler feedwater*). Pompa memiliki nilai kerja 5.5 kW.
- Penentuan spesifikasi *steam rankine cycle*, setiap komponen pada *steam rankine cycle* ditentukan dengan pertimbangan kondisi operasi yang didapatkan saat merancang *steam rankine cycle*. Adapun penentuan spesifikasi komponen pada *steam rankine cycle* sebagai berikut :
 - o Ketel uap menggunakan Johnston Boiler WHR 123x268.
 - o Turbin uap menggunakan Mitsubishi AT42C.
 - o Kondensor menggunakan ITT S1000R.
 - o Pompa menggunakan Taiko EHC – 51J 5.5.
- Peninjauan secara teknis pengaplikasian *steam rankine cycle*, didapatkan bahwasannya terjadi peningkatan efisiensi sebesar 1.2 % pada variasi laju aliran massa 4 kg/s dan temperatur keluar ketel uap 220 °C.
- Penempatan *steam rankine cycle* dilaksanakan atas pertimbangan matang, seperti ruang untuk instalasi, operasi dan *maintenance* serta penempatan setiap komponen *steam rankine cycle* pada *layout* pembangkit listrik terapung 100 MW.

5.2. Saran

Setelah melalui kegiatan penelitian dan penulisan tugas akhir, didapatkan beberapa poin saran untuk selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya :

- Fluida kerja air bisa diganti dengan fluida kerja organik, karena spesifikasi fluida kerja organik akan lebih cocok dengan karakteristik limbah panas gas buang dari mesin *dual fuel* yang berupa limbah panas gas buang temperatur sedang.
- Pemanfaatan potensi limbah panas gas buang mesin *dual fuel* menggunakan metode *steam rankine cycle* masih kurang maksimal, penggunaan metode lain dalam pemanfaatan potensi limbah panas gas buang dapat dilakukan sehingga nantinya akan diketahui sistem pemulihan limbah panas mana yang paling sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi limbah panas gas buang dari mesin *dual fuel* yang berupa limbah panas gas buang temperatur sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariana, I Made; Endrianto, Ennol. (2009). *Tinjauan Teknis Penggunaan HRSG pada PLTG Gilimanuk*. Indonesia : Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ariana, I Made; Prastowo, Hari; Paruna, Aldio. (2017). *Design of 100 MW LNG Floating Barge Power Plant*. Indonesia : International Journal of Marine Engineering Innovation and Research (IJMEIR).
- Auld, Alison; Berson, Argantheal; Hogg, Simon. (2013). *Organic Rankine Cycles in Waste Heat Recovery : A Comparative Study*. Inggris : International Journal of Low-Carbon Technologies.
- Douvanrtzides, S; Karmalis, I. (2016). *Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant*. Yunani : Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference (IManEE).
- Dzida, Marek; Olszewski, Wojciech. (2011). *Comparing Combined Gas Turbine/Steam Turbine and Marine Low Speed Piston Engine/Steam Turbine Systems in Naval Applications*. Polandia : Polish Maritime Research.
- Faisal, Akram; Nugroho, Taufik Fajar. (2016). *Technical Analysis of Organic Rankine Cycle System Using Low-Temperature Source to Generate Electricity in Ship*. Indonesia : Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fitri, Sutopo Purwono; Santoso, Agoes; Anggriawan, Nizar Febri. (2018). *Perencanaan Pemanfaatan Panas Buang Exhaust Gas dan Cooling Water sebagai Water Heater pada Sistem Domestik Kapal Pesiar 48 Meter*. Indonesia : Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Franco, A.; Carsarosa, C. (2014). *Thermodynamic and Heat Transfer Analysis of LNG Energy Recovery for Power Production*. Italia : UIT (Italian Union of Thermo-fluid Dynamics) Heat Transfer Conference.
- Hoang, Anh Tuan. (2018). *Waste Heat Recovery from Diesel Engines Based on Organic Rankine Cycle*. Viet Nam : Elsevier.
- Jadhao, J. S.; Thombare, D. G. (2013). *Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I. C. Engine*. India : International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT).
- Kapooria, R. K.; Kumar, S.; Kasana, K. S. (2008). *An Analysis of a Thermal Power Plant Working on a Rankine Cycle : A Theoretical Investigation*. Afrika Selatan : Journal of Energy in Southern Africa.

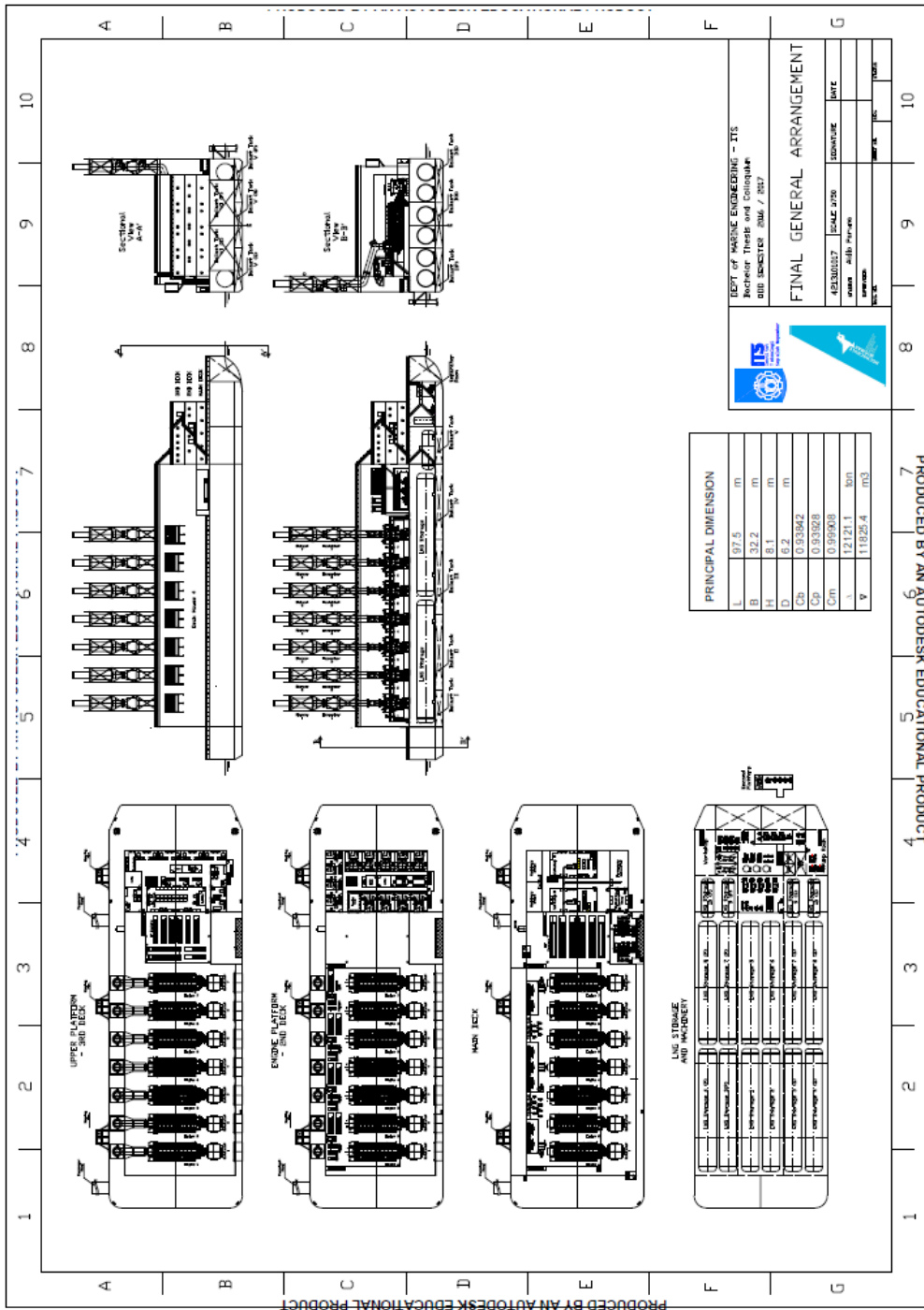
- Mrzljak, Vedran; Mrakovic, Tomislav. (-). *Comparison of COGES and Diesel-Electric Ship Propulsion Systems*. Kroasia : Pomorski Zbornik Posebno Izdanje.
- Nawi, Z. Mat; Kamarudin, S. K.; Abdullah, S. R. Sheikh; Lam, S. S. (2018). *The Potential of Exhaust Waste Heat Recovery (WHR) from Marine Diesel Engines via Organic Rankine Cycle*. Malaysia : Elsevier.
- Pariotis, Efthimios G.; Katsanis, Ioannis; Roumeliotis, Ioannis. (2012). *Feasibility Analysis on a Steam Rankine Cycle to Recover Heat from a Gas Turbine used on a Naval Vessel*. Yunani : Naosivios Chora – Naval Sciences and Technology Journal.
- Pethurajan, Vignesh; Sivan, Suresh; Joy, Grashin C. (2018). *Issues, Comparisons, Turbine Selections and Applications – An Overview in Organic Rankine Cycle*. India : Elsevier.
- Pritchard, Philip J. (2011). *Fox and McDonald's : Introduction to Fluid Mechanics*. Amerika Serikat : John Wiley & Sons, Inc.
- Qazizada, Mohammad Emal; Pivarciova, Elena. (2018). *Reliability of Parallel and Serial Centrifugal Pumps for Dewatering in Mining Process*. Slovakia : Acta Montanistica Slovaca Journal.
- Quoilin, Sylvain. (2008). *An Introduction to Thermodynamics Applied to Organic Rankine Cycle*. Amerika Serikat : STG International.
- Reddy, Vundela Siva; Kaushik; Subhash Chandra; Tyagi, Sudhir Kumar; Panwar, Naraya Lal. (2010). *An Approach to Analyse Energy and Exergy Analysis of Thermal Power Plants : A Review*. India : Smart Grid and Renewable Energy Journal.
- Roy, Prosun. (2015). *Analysis of Rankine Cycle and Its Utility in Thermal Power Plant – A Theoretical Approach*. India : International Journal of Mechanical and Production Engineering.
- Senary, Khaled; Tawfik, Adel; Hegazy, Elsayed; Ali, Amr. (2016). *Development of a Waste Heat Recovery System onboard LNG Carrier to Meet IMO Regulations*. Mesir : Alexandria Engineering Journal.
- Song, Jian; Gu, Chun-wei. (2015). *Parametric Analysis of a Dual Loop Organic Rankine Cycle (ORC) System for Engine Waste Heat Recovery*. China : Elsevier.
- Sung, Taehong; Kim, Kyung Chun. (2017). *An Organic Rankine Cycle for Two Different Heat Sources : Steam and Hot Water*. Italia : ORC 2017 Fourth International Seminar on ORC Power Systems.

- Vankeirsbilck, Ignace; Vanslambrouck, Bruno; Gusev, Sergei. (2011). *Energetical, Technical and Economical Considerations by Choosing between a Steam and an Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation*. Belanda : ORC 2011 First International Seminar on ORC Power Systems.
- Vanslambrouck, Bruno; Vankeirsbilck, Ignace; van den Broek, M.; Gusev, Sergei; De Paepe, M. (2012). *Efficiency Comparison between the Steam Cycle and the Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation*. Amerika Serikat : Renewable Energy World Conference & Expo North America.
- Zhang, Xiaojun; Wu, Lijun; Wang, Xiaoliu; Ju, Guidong. (2016). *Comparative Study of Waste Heat Steam SRC, ORC and S-ORC Power Generation Systems in Medium-Low Temperature*. China : Elsevier.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

RANCANG UMUM PEMBANGKIT LISTRIK TERAPUNG 100 MW



LAMPIRAN B

PANDUAN MANUAL MESIN *DUAL FUEL*

2.4.2 Engine designations – Design parameters

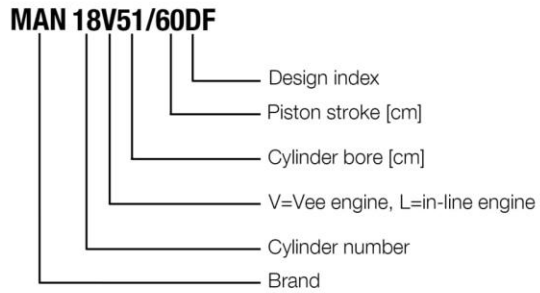


Figure 7: Example to declare engine designations

Parameter	Value	Unit
Number of cylinders	6, 7, 8, 9, 12, 14, 16, 18	-
Cylinder bore	510	mm
Piston stroke	600	
Displacement per cylinder	122.5	litre
Distance between cylinder centres, in-line engine	820	mm
Distance between cylinder centres, vee engine	1,000	
Vee engine, vee angle	50	°
Crankshaft diameter at journal, in-line engine	415	mm
Crankshaft diameter at journal, vee engine	480	
Crankshaft diameter at crank pin	415	

Table 1: Design parameters

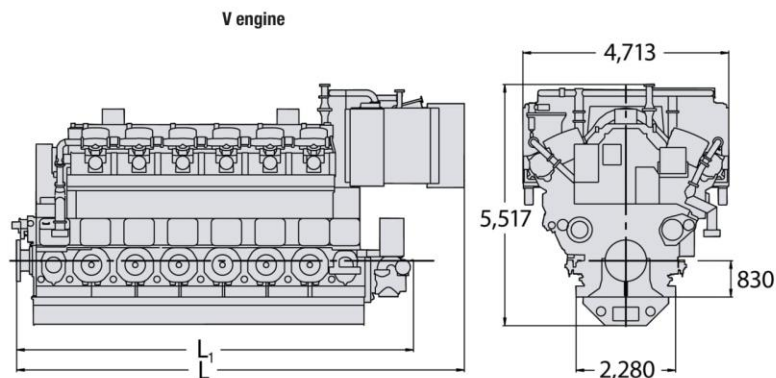


Figure 9: Main dimensions and weights – V engine

No. of cylinders, config.	L	L ₁	Weight without flywheel
	mm		tons
12V	10,254	9,088	187
14V	11,254	10,088	213
16V	12,254	11,088	240
18V	13,644	12,088	265

The dimensions and weights are given for guidance only.

Minimum centreline distance for multi-engine installation, see section [Installation drawings, Page 432](#).

Flywheel data, see section [Moments of inertia – Crankshaft, damper, flywheel, Page 186](#).

2.4.5 Main dimensions, weights and views of SCR components

Depending on the individual projects SCR properties may vary. The following dimensions and weights are for guidance only.

2.5 Ratings (output) and speeds

2.5.1 General remark

The engine power which is stated on the type plate derives from the following sections and corresponds to $P_{\text{Operating}}$ as described in section [Derating, definition of \$P_{\text{Operating}}\$, Page 41](#).

2.5.2 Standard engine ratings

$P_{\text{ISO, standard}}$: ISO standard output (as specified in DIN ISO 3046-1)

No. of cylinders, config.	Engine rating, $P_{\text{ISO, standard}}$ ^{1) 2)}			
	1,050 kW/cyl., 500 or 514 rpm		1,150 kW/cyl., 500 or 514 rpm	
	Available turning direction CW/CCW ³⁾	kW	Available turning direction CW/CCW ³⁾	kW
6L	Yes/Yes	6,300	Yes/Yes	6,900
7L	Yes/Yes	7,350	Yes/Yes	8,050
8L	Yes/Yes	8,400	Yes/Yes	9,200
9L	Yes/Yes	9,450	Yes/Yes	10,350
12V	Yes/Yes	12,600	Yes/Yes	13,800
14V	Yes/Yes	14,700	Yes/Yes	16,100
16V	Yes/Yes	16,800	Yes/Yes	18,400
18V	Yes/Yes	18,900	Yes/Yes	20,700

Note:
Power take-off on engine free end up to 100 % of rated output.

Note:
 Nm^3 corresponds to one cubic meter of gas at 0 °C and 101.32 kPa(a).

¹⁾ $P_{\text{ISO, standard}}$ as specified in DIN ISO 3046-1, see paragraph [Reference conditions for engine rating, Page 41](#).

²⁾ Engine fuel: Liquid fuel mode = Distillate according to ISO 8217 DMA/DMB/DMZ-grade fuel or RM-grade fuel, fulfilling the stated quality requirements. Gas mode = Natural gas with a methane number ≥ 80 , NCV $\geq 28,000$ kJ/ Nm^3 and fulfilling the stated quality requirements.

³⁾ CW = clockwise; CCW = counter clockwise.

Table 11: Engine ratings

2.5.5 Engine speeds and related main data

Rated speed	rpm	500	514
Mean piston speed	m/s	10.0	10.3
Ignition speed (starting device deactivated)	rpm	65	
Engine running (activation of alarm- and safety system)		200	
Speed set point – Deactivation prelubrication pump (engines with attached lube oil pump)		250	
Speed set point – Deactivation external cooling water pump (engines with attached cooling water pump)		350	
Minimum engine operating speed ¹⁾		not available	
FPP (30 % of nominal speed)		not available	not available
CPP (60 % of nominal speed)		300	308
Electric propulsion (100 % of nominal speed)		500	514
Clutch			
Minimum engine speed for activation (FPP)		not available	not available
Minimum engine speed for activation (CPP)		"Minimum engine operating speed" x 1.1	"Minimum engine operating speed" x 1.1
Maximum engine speed for activation		500 ²⁾	514 ²⁾
Highest engine operating speed		520 ³⁾	535 ³⁾
Alarm overspeed (110 % of nominal speed)		550	566
Auto shutdown overspeed (115 % of nominal speed) via control module/alarm		575	591
Speed adjusting range		See section Speed adjusting range, Page 47	
Alternator frequency for GenSet	Hz	50	60
Number of pole pairs	-	6	7
Note: Power take-off on engine free end up to 100 % of rated output.			
¹⁾ In rare occasions it might be necessary that certain engine speed intervals have to be barred for continuous operation. For FPP applications as well as for applications using resilient mounted engines, the admissible engine speed range has to be confirmed (preferably at an early project phase) by a torsional vibration calculation, by a dimensioning of the resilient mounting, and, if necessary, by an engine operational vibration calculation.			
²⁾ May possibly be restricted by manufacturer of clutch.			
³⁾ This concession may possibly be restricted, see section Available outputs and permissible frequency deviations, Page 75 .			

Table 15: Engine speeds and related main data

- Oil vapors
- Torque measurement flange must withstand torque fluctuations and torsional vibrations.
- Torque measurement flange must be accessible for check.
- Implementation of torque measurement flange between engine and gear box.
- Specific signal quality:
 - Specified for highest possible torque according to engines operating range.
 - High accuracy:
 - Total deviation (inclusive non linearity, drift, hysteresis) of < 5 % of nominal (rated) signal in whole operating range of the engine.
 - Signal 4 – 20 mA.
 - Low pass filter 1 Hz to remove torque ripple.

2.15 Fuel oil, urea, lube oil, starting air and control air consumption

2.15.1 Fuel oil consumption for emission standard: IMO Tier III

Note:

The engine's certification for compliance with the NO_x limits according to NO_x technical code will be done within the scope of supply of the factory acceptance test as member or parent engine for IMO Tier II without SCR installation. Accordingly the stated figures for the fuel oil consumption are without SCR installation.

The impact of the SCR installation on the fuel oil consumption depends on the plant layout and ambient conditions (see paragraph [Additions to fuel consumption, Page 96](#)).

MAN 51/60DF (1,050 kW/cyl.) – Electric propulsion (speed = constant)

1,050 kW/cyl., 500 rpm or 1,050 kW/cyl., 514 rpm

% Load		100	85	75	50	25
Spec. fuel consumption in gas mode without attached pumps^{1) 2) 3)}						
a) Natural gas	kJ/kWh	7,090	7,075	7,190	7,600	8,565
b) Pilot fuel	g/kWh	2.3	2.9	3.3	5.1	10.2
	kJ/kWh	100	125	140	220	435

% Load		100	85	75	50	25
Spec. fuel consumption in gas mode without attached pumps^{1) 2) 3)}						
c) Total = a + b ⁴⁾	kJ/kWh	7,190	7,200 ⁵⁾	7,330	7,820	9,000

¹⁾ Based on reference conditions, see table [Reference conditions for fuel consumption, Page 98](#).

²⁾ Tolerance +5 %.

Note: The additions to fuel consumption must be considered before the tolerance for warranty is taken into account.

³⁾ Relevant for engine's certification for compliance with the NO_x limits according E2 test cycle.

⁴⁾ Gas operation (including pilot fuel).

⁵⁾ Warranted fuel consumption at 85 % MCR.

Table 26: Fuel consumption MAN 51/60DF (1,050 kW/cyl.) in gas mode – Electric propulsion (speed = constant)

1,050 kW/cyl., 500 rpm or 1,050 kW/cyl., 514 rpm

% Load		100	85	75	50	25
Standard						
Spec. fuel oil consumption with HFO, MDO (DMB), MGO (DMA, DMZ) without attached pumps ¹⁾²⁾³⁾						
a) Main fuel	g/kWh	177.7	175.0	180.6	181.5	193.0
b) Pilot fuel	g/kWh	1.8	2.0	2.4	3.5	7.0
	kJ/kWh	77	85	102	149	299
c) Total = a + b ⁴⁾	g/kWh	179.5	177.0 ⁵⁾	183.0	185.0	200.0
	kJ/kWh	7,665	7,558	7,814	7,900	8,540
Optional no VIT, but VIT for low soot emission						
Spec. fuel oil consumption with HFO, MDO (DMB), MGO (DMA, DMZ) without attached pumps ¹⁾²⁾³⁾						
a) Main fuel	g/kWh	182.7	181.0	179.6	181.0	202.0
b) Pilot fuel	g/kWh	1.8	2.0	2.4	3.5	7.0
	kJ/kWh	77	85	102	149	299
c) Total = a + b ⁴⁾	g/kWh	184.5	183.0 ⁵⁾	182.0	184.5	209.0
	kJ/kWh	7,878	7,814	7,771	7,878	8,924

¹⁾ Based on reference conditions, see table [Reference conditions for fuel consumption, Page 98](#).

²⁾ Tolerance +5 %.

Note: The additions to fuel consumption must be considered before the tolerance for warranty is taken into account.

³⁾ Relevant for engine's certification for compliance with the NO_x limits according E2 test cycle.

⁴⁾ Liquid fuel operation (including pilot fuel). For consideration of fuel leakage amount, consider table [Leakage rate, Page 161](#) for conventional injection.

⁵⁾ Warranted fuel consumption at 85 % MCR.

Table 27: Fuel consumption MAN 51/60DF (1,050 kW/cyl.) in liquid fuel mode – Electric propulsion (speed = constant)

No. of cylinders, config.		12V	14V	16V	18V
Permissible exhaust gas back pressure	mbar(g)	≤ 50			
¹⁾ For design see figures Cooling water system diagrams, Page 350 . ²⁾ Under mentioned above reference conditions. ³⁾ Tolerance: Quantity ±5 %, temperature ±20 °C. ⁴⁾ Calculated based on stated temperature at turbine outlet and total barometric pressure according mentioned above reference conditions.					

Table 52: Temperature basis, nominal air and exhaust gas data – MAN V51/60DF, 1,050 kW/cyl., liquid fuel mode – Electric propulsion

2.16.6 Temperature basis, nominal air and exhaust gas data – MAN V51/60DF IMO Tier II, 1,050 kW/cyl., gas mode – Electric propulsion

Note:

Operating pressure data without further specification are given below/above atmospheric pressure.

1,050 kW/cyl., 500 rpm or 1,050 kW/cyl., 514 rpm – Electric propulsion

Reference conditions: Tropics		
Air temperature	°C	45
Cooling water temp. before charge air cooler (LT stage)		38
Total barometric pressure	mbar	1,000
Relative humidity	%	60

Table 53: Reference conditions: Tropics

No. of cylinders, config.		12V	14V	16V	18V
Engine output	kW	12,600	14,700	16,800	18,900
Speed	rpm	500/514			
Temperature basis					
HT cooling water engine outlet	°C	90			
LT cooling water charge air cooler inlet		38 ¹⁾			
Lube oil engine inlet		55			
Cooling water fuel nozzles inlet		60			
Air data					
Temperature of charge air at charge air cooler outlet	°C	54.9	57.2	56.2	58.3
Air flow rate ²⁾	m ³ /h	67,170	81,590	97,700	106,790
	t/h	73.6	89.4	100.5	117.0
Charge air pressure (absolute)	bar(a)	4.62	4.80	4.72	4.88
Air required to dissipate heat radiation (engine) (t ₂ - t ₁ = 10 °C)	m ³ /h	100,810	117,505	134,200	150,890

2016-09-12 - 3.1

2.16 Planning data for emission standard: IMO Tier II, 1,050 kW/cyl. – Electric propulsion

2 Engine and operation



No. of cylinders, config.		12V	14V	16V	18V
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)	kW	314	366	418	470
Exhaust gas data ³⁾					
Volume flow (temperature turbine outlet) ⁴⁾	m ³ /h	121,460	145,350	164,270	189,230
Mass flow	t/h	75.7	91.9	103.3	120.3
Temperature at turbine outlet	°C	286	278	281	275
Heat content (180 °C)	kW	2,431	2,732	3,175	3,443
Permissible exhaust gas back pressure	mbar(g)	≤ 50			

¹⁾ For design see figures [Cooling water system diagrams, Page 350](#).

²⁾ Under mentioned above reference conditions.

³⁾ Tolerance: Quantity ±5 %, temperature ±20 °C.

⁴⁾ Calculated based on stated temperature at turbine outlet and total barometric pressure according mentioned above reference conditions.

Table 54: Temperature basis, nominal air and exhaust gas data – MAN V51/60DF, 1,050 kW/cyl., gas mode – Electric propulsion

2.16.7 Load specific values at ISO conditions – MAN L/V51/60DF IMO Tier II, 1,050 kW/cyl., liquid fuel mode – Electric propulsion

Note:
Operating pressure data without further specification are given below/above atmospheric pressure.
1,050 kW/cyl., 500 rpm or 1,050 kW/cyl., 514 rpm – Electric propulsion

Reference conditions: ISO		
Air temperature	°C	25
Cooling water temp. before charge air cooler (LT stage)		25
Total barometric pressure	mbar	1,000
Relative humidity	%	30

Table 55: Reference conditions: ISO

Engine output	%	100	85	75	50
	rpm	500/514			
Heat to be dissipated ¹⁾					
Charge air:	kJ/kWh				
Charge air cooler (HT stage) ²⁾		1,123	1,005	1,051	635
Charge air cooler (LT stage) ²⁾		344	345	371	368
Lube oil cooler ³⁾		363	391	421	567
Jacket cooling		331	332	364	446
Water for fuel valves		8	8	8	8

Engine output	%	100	85	75	50
	rpm	500/514			
Heat to be dissipated ¹⁾					
Charge air:	kJ/kWh				
Charge air cooler (HT stage) ²⁾		1,321	1,209	1,272	854
Charge air cooler (LT stage) ²⁾		489	429	436	216
Lube oil cooler ³⁾		392	423	455	613
Jacket cooling		383	384	421	515
Water for fuel valves		8	8	8	8
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)	90	90	96	122	
Air data					
Temperature of charge air:	°C				
After compressor		266	242	237	182
At charge air cooler outlet	58.0	58.0	58.0	58.0	
Air flow rate	kg/kWh	7.00	7.30	7.93	8.19
Charge air pressure (absolute)	bar(a)	4.93	4.34	4.16	2.87
Exhaust gas data ⁴⁾					
Mass flow	kg/kWh	7.20	7.49	8.13	8.39
Temperature at turbine outlet	°C	330	317	313	335
Heat content (190 °C)	kJ/kWh	1,083	1,021	1,070	1,303
Permissible exhaust gas back pressure after turbo-charger (maximum)	mbar(g)	50		-	
¹⁾ Tolerance: +10 % for rating coolers, -15 % for heat recovery. ²⁾ The values of the particular cylinder numbers can differ depending on the charge air cooler specification. ³⁾ Addition required for separator heat (30 kJ/kWh). ⁴⁾ Tolerance: Quantity ±5 %, temperature ±20 °C.					

Table 60: Load specific values at tropic conditions – MAN L/V51/60DF, 1,050 kW/cyl., liquid fuel mode – Electric propulsion

2.16.10 Load specific values at tropic conditions – MAN L/V51/60DF IMO Tier II, 1,050 kW/cyl., gas mode – Electric propulsion

Note:
 Operating pressure data without further specification are given below/above atmospheric pressure.
 1,050 kW/cyl., 500 rpm or 1,050 kW/cyl., 514 rpm – Electric propulsion

Reference conditions: Tropics	
Air temperature	°C
	45
Cooling water temp. before charge air cooler (LT stage)	
	38

Reference conditions: Tropics		
Total barometric pressure	mbar	1,000
Relative humidity	%	60

Table 61: Reference conditions: Tropics

Engine output	%	100	85	75	50
	rpm	500/514			
Heat to be dissipated ¹⁾					
Charge air:	kJ/kWh				
Charge air cooler (HT stage) ²⁾		1,183	853	783	452
Charge air cooler (LT stage) ²⁾		441	411	415	291
Lube oil cooler ³⁾		284	346	350	488
Jacket cooling		320	352	382	484
Water for fuel valves		8	8	8	8
Heat radiation engine (based on 55 °C engine room temperature)		90	90	97	122
Air data					
Temperature of charge air:	°C				
After compressor		276	226	208	154
At charge air cooler outlet		54.9	51.0	49.4	48.0
Air flow rate	kg/kWh	5.84	5.64	5.90	6.11
Charge air pressure (absolute)	bar(a)	4.62	3.59	3.11	2.13
Exhaust gas data ⁴⁾					
Mass flow	kg/kWh	6.01	5.80	6.06	6.28
Temperature at turbine outlet	°C	286	332	363	428
Heat content (180 °C)	kJ/kWh	695	967	1,222	1,729
Permissible exhaust gas back pressure after turbo-charger (maximum)	mbar(g)	50	-		
¹⁾ Tolerance: +10 % for rating coolers, –15 % for heat recovery. ²⁾ The values of the particular cylinder numbers can differ depending on the charge air cooler specification. ³⁾ Addition required for separator heat (30 kJ/kWh). ⁴⁾ Tolerance: Quantity ±5 %, temperature ±20 °C.					

Table 62: Load specific values at tropic conditions – MAN LV51/60DF, 1,050 kW/cyl., gas mode – Electric propulsion

$$V = \frac{Q}{\Delta t \times c_p \times \rho_t}$$

V [m ³ /h]	Air required
Q [kJ/h]	Heat to be dissipated
Δt [°C]	Air temperature rise in engine room (10 – 12.5)
c _p [kJ/kg·K]	Specific heat capacity of air (1.01)
ρ _t [kg/m ³]	Air density at 35 °C (1.15)

Ventilator capacity

The capacity of the air ventilators (without separator room) must be large enough to cover at least the sum of the following tasks:

- The combustion air requirements of all consumers.
- The air required for carrying off the radiant heat.

A rule-of-thumb applicable to plants operating on heavy fuel oil is 20 – 24 m³/kWh.

Moreover it is recommended to apply variable ventilator speed to regulate the air flow. This prevents excessive energy consumption and cooling down of engines in stand-by.

5.6.2 External intake air supply system

General recommendations for layout of Intake air ducting

The design of the intake air system ducting is crucial for reliable operation of the engine. The following points need to be considered:

- According to classification rules it may be required to install two air inlets from the exterior, one at starboard and one at portside.
- It must be prevented that exhaust gas and oil dust is sucked into the intake air duct as fast filter blocking will be the consequence.
- Suitable corrosion resistant materials like stainless steel should be applied especially for hot surfaces. For some surfaces a corrosion protection class of C5 (according to EN ISO 12944-2) might be sufficient.
- Due to the flow and load changes, especially with high air velocities, the intake air pipe is subject to vibrations. This has to be considered within the overall layout.
- Besides the air duct and its components need to be insulated properly. Especially a vapor barrier has to be applied to prevent atmospheric moisture freezing in the insulation material.
- The overall pressure drop of intake air system ducting and its components is to be limited to 20 mbar(g). If this requirement cannot be met, increased fuel consumption must be considered or customised engine matching is required. Moreover the differential pressure of the intake air filter should be monitored to keep this requirement.
- The turbocharger as a flow machine is dependent on a uniform inflow. Therefore, the ducting must enable an air flow without disturbances or constrictions. For this, multiple deflections with an angle > 45° have to be avoided.

2019-09-12 - 3.1

LAMPIRAN C PANDUAN MANUAL KETEL UAP

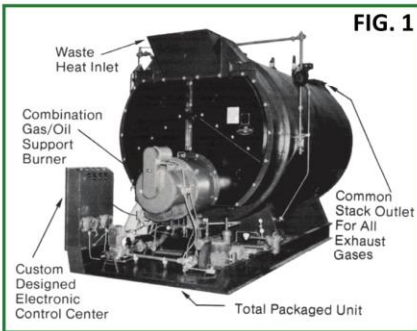
MAKE EVERY BTU COUNT

Waste heat is a valuable resource. **Johnston Boiler Company's** line of single and triple pass Waste Heat Recovery (WHR) boilers offer your company a way to save valuable energy, energy typically lost in waste heat. The WHR series are used in petrochemical plants, refineries, steel mills, ore converters, brick or cement plants, glass works, and food processing plants. The WHR boiler extracts the BTU from these exhaust gasses, putting them to use generating plant steam or hot water.

Example:

A combination waste heat recovery unit (See **FIG. 1**) with an auxiliary gas/oil burner returned its capital investment 18 months after installation in an east coast chemical plant. Estimates indicate that #2 fuel oil usage dropped from 45 gallons per hour to approximately 7 gallons per hour. As an added benefit, the lower fuel consumption made it possible for management to add to its built-in fuel reserve for periods when fuel supplies are in short supply.

This "Hybrid" WHR boiler with supplemental fuel burners generates heat continuously to meet plant steam or hot water requirements. During periods when the heat content of waste exhaust gas is insufficient, the support burner will fire to provide steam within the desired range of operation.



Find out how you can get the most out of every BTU. Call **Johnston Boiler Company** and our design team will use our resources to help you save your resources.

WHR Boilers allow for:

- High efficiency heat transfer
- Minimum gas side pressure drop
- Reduced installation time and cost
- Use of a wide range of gas types, gas weights and gas temperatures

Design and Operating Range

Saturated Steam	Lbs/hr	2,000—165,000
Steam Design Pressure	PSIG	15—300
Hot Water	MBH	2,000—165,000
Hot Water Design Pressure	PSIG	30—160
Waste Heat Inlet Gas Temperature	°F	600—2,500
Waste Heat Mass Gas Flow	Lbs/hr	1,000—400,000

Note: Design and operating conditions listed and nominal. Increased capacities and higher design pressures may be available for some applications.

Since 1864 **Johnston Boiler Company** has built a reputation on innovative designs and rigid adherence to quality. We believe that boilers must be dependable. Today, as in 1864, Johnston's employees take personal pride in the quality and craftsmanship of each boiler produced.

Following is a typical waste heat recovery application involving operating conditions relating to a **Johnston Boiler Company** WHR boiler installation.

Gas Flow Lb/Hr	Inlet Gas Temperature °F	Boiler Model Number	Gas Side Pressure Drop " WC	Outlet Gas Temperature °F	Heat Recovered MBH
100,000	1,200	WHR-132-16	4.5	435	21,369

We can calculate the energy conservation and applicable fuel cost reduction for this application and compare the zero fuel cost of **Johnston Boiler Company's** WHR boiler with the fuel cost of a traditional gas or oil fired boiler, using the following equation.

$$\frac{\text{BTU/Lb. Steam} \times \text{Lb./Hr. Steam Capacity}}{\% \text{ Efficiency of Fuel Fired Boiler}} \times \frac{\text{Fuel Cost}}{\text{Fuel Fired}} = \text{Fuel Cost Per Hour}$$

Example:

Using the example from the table above with the following assumed operating conditions:

- Steam Operating Pressure = 100 PSIG
- Feedwater Temperature = 212°F
- Fuel Fired = #2 Oil having a HHV of 140,000 BTU/Gal.
- Fuel Cost = 3.58/Gal.
- Boiler Efficiency = 81.5%
- Steam Capacity = 21,165 Lb/Hr. [21,369 MBH + (1,189.7 BTU/Lb. Steam @ 100 PSIG - 180.07 BTU/Lb. of Feedwater @212°F.)]

In this example the **Johnston Boiler Company** waste heat recovery boiler is capable of reducing fuel costs by as much as:

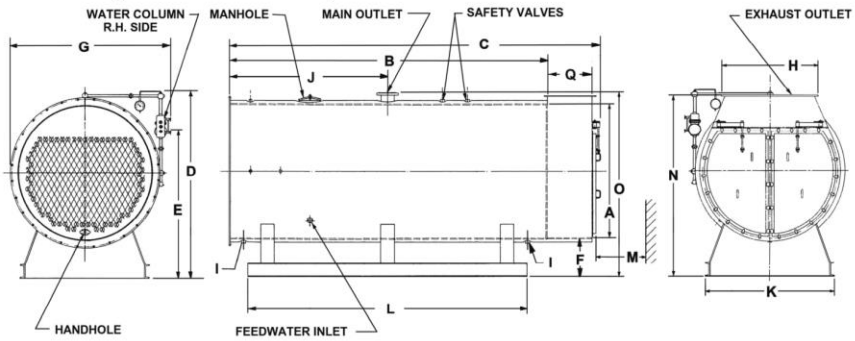
- \$402.00/Hr
- \$9,655.00/Day
- \$67,768.00/Week
- \$293,662.00/Month

Factor this savings out for one year and the numbers become staggering

$$\frac{1009.63 \times 21,165}{81.5\% \times 140,000} = 187.28 \times \$3.58/\text{Gal} \times 5,256 = \boxed{\$3,523,950.00/\text{Year}}$$

Estimated fuel savings are based on a conservative duty cycle of 60%

WHR-1 Single Pass Waste Heat Recovery Boiler



SPECIFICATIONS ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE
 MANUFACTURER RESERVES THE RIGHT TO CHANGE SPECIFICATIONS AT ANY TIME WITHOUT INCURRING ANY OBLIGATION FOR ANY EQUIPMENT PREVIOUSLY OR SUBSEQUENTLY SOLD

MODEL NUMBER														
Dimension	WHR1 54X114	WHR1 58X115	WHR1 64X115	WHR1 64X131	WHR1 72X131	WHR1 80X131	WHR1 80X179	WHR1 85X179	WHR1 91X216	WHR1 99X216	WHR1 108X216	WHR1 112X244	WHR1 112X268	WHR1 123X268
A	54	58	64	64	72	80	80	85	91	99	108	112	112	123
B	114	114	114	130	130	130	178	178	215	215	215	243	267	267
C	129	130	130	148	149	150	200	201	239	241	242	271	295	296
D	81	85	91	93	101	109	111	116	122	130	140	144	144	155
E	60	66	70	72	77	84	86	91	97	102	108	112	112	121
F	18	18	18	20	20	20	22	22	22	22	22	22	22	22
G	67	71	77	77	85	93	93	98	104	112	121	125	125	136
H	12	14	15	16	18	21	21	23	25	28	31	32	32	35
I	1.50	1.50	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
K	51	54	60	60	66	72	75	80	84	90	100	102	102	112
L	81	81	81	102	102	102	132	132	168	168	168	180	204	204
M	107	107	107	123	123	123	169	169	206	206	206	234	258	258
N	75	79	86	89	95	103	105	110	116	124	134	138	138	149
O	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Notes: 1. Models listed are representative tabulations only. Consult factory for specific applications
 2. Consult factory for specific dimensions, weights, and capacities

Standard Trim/Equipment:

- | | |
|--|--|
| Insulation with sheet metal jacket | Gauge glass with valves, try cocks, and chain operator |
| Flanged exhaust gas inlet/outlet | Safety relief valves |
| Hinged front and rear tube access doors | Steam pressure gauge |
| Structural steel base | Blowdown valves |
| Manholes and handholes for inspection and cleaning | Main Blow-off valves |
| Steam trim and water column including related piping | Primary low water cutoff with pump control |

LAMPIRAN D

PANDUAN MANUAL TURBIN UAP

HOME - PRODUCTS STEAM TURBINE GENERATORS (AT-TYPE)

» Inquiry

Products

MET Turbochargers

Propellers

Deck Cranes

Deck Machinery

Bollers and Turbines

Waste Heat Recovery Systems (WHRS)

Steam Turbine Generators (AT-Type)

Auxiliary Boilers

Marine Boiler and Steam Turbine Generator for FPSO/FSO/FSRU/PLNG

Turbine Plant for Steam Propulsion Vessels (LST)

Organic Rankin Cycle (ORC)

Fin Stabilizers

Steering Gears

Other MHI Group Products

Steam Turbine Generators (AT-Type)

MHI-MME's highly reliable AT-type steam turbine generators were developed using our original MHI-MME technology and feature excellent durability and cost performance.



AT-type

Main Features

- Economical
 - High thermal efficiency
- Compact design
- Reliable and durable
- Easy maintenance
 - Replacement parts delivered quickly
- Easy operation
- Environmentally friendly
 - Low vibration and noise
- Compact Design

Lineup and Specifications

History

After-Sales Services

Lineup and Specifications

Frames		AT34C	AT42C	AT52C	AT64C	AT76C	AT92C
Particulars							
Turbines	Type	Horizontal, multi-stage impulse condensing tu					
	No. of stages	4 to 10 Rateau			4 to 12 Ra		
	Power range (kW)	200 to 2,000	1,000 to 4,000	1,500 to 6,000	3,000 to 15,000	5,000 to 18,000	15,000 to 27,000
	Speed range (rpm)	11,000 to 15,000	8,500 to 11,700	6,500 to 9,500	5,000 to 7,500	5,000 to 6,000	4,000 to 4,500
	Steam inlet pressure (MPa)	0.4 to 12.3					
	Steam inlet temperature (°C)	Saturated temperature to 540					
	Exhaust pressure (mmHg)	400 to 722					
Reduction gears	Type	Single helical, single reduction gear					
	Output shaft speed (rpm)	900 to 3,600					
Dimensions	Width (mm)	1,600	1,800	2,000	2,300	4,000	4,000
	Length (mm)	3,785	4,075	4,390	4,750	6,800	7,400
	Height (mm)	1,635	1,890	2,185	2,500	3,000	3,100
Approximate weights (kg) (excluding driven equipment)		6,000	7,100	8,400	10,500	30,000	38,000

LAMPIRAN E PANDUAN MANUAL KONDENSOR



S 1000[®]R surface condensers.

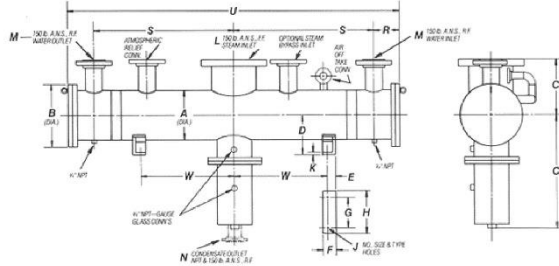
design pressures and temperatures

units designed to ASME, HEI or commercial standards

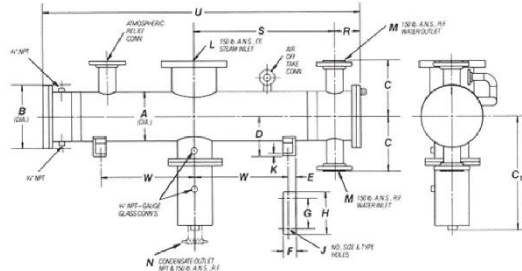
ASME Code	design pressure		test pressure		design temperature	
	PSI	kPa	PSI	kPa	°F	°C
shell side	full vacuum or 15	103	*flooded		300	149
tube side	75	517	115	793	150	65
	150	1034	225	1551	150	65
	300	2068	450	3103	150	65

*Test to 20 PSI if required by customer specifications

singlepass design



multipass design



Notes:

1. Dimensions R, S and U are based on 75 lb. tube side design to ASME Code. For other tube side pressures, dimensions will vary.
2. Dimensions S, U and X are based on tube lengths (in inches) as shown in the table. For shorter tube lengths, subtract the difference.
3. Catalog dimensions are subject to variation. Use only certified drawings for construction purposes.
4. Contact your local ITT Standard representative for sizes and tube side nozzle orientations not covered here. The S 1000 R design is available in models up to 69" in diameter; call us for full details.

dimensional data

(DIMENSIONS IN INCHES)

Unit Size & Tube Length	A	B	C	C ₁	D	E	F	G	H	J	K	L	M		N	R		S		U		W Max.
													Single-Pass	Two-Pass		Single-Pass	Two-Pass	Single-Pass	Two-Pass	Single-Pass	Two-Pass	
15120	16.00	19.50	16.75	53.00	11.50	2.00	3.25	8.50	10.75	2-.75 x 1.25 slot/ted	.38	14	8	6	2NPT	8.50	7.25	67.50	66.25	152.25	141.00	54.00
17120	18.00	21.62	18.00	54.00	12.00	2.00	3.25	9.50	11.75	2-.75 x 1.25 slot/ted	.38	15	8	6	2NPT	8.50	7.25	67.50	66.25	152.25	141.00	54.00
19144	20.00	23.62	19.00	55.00	13.00	2.75	4.00	10.50	12.75	2-.75 x 1.25 slot/ted	.50	18	10	6	2NPT	9.75	7.75	80.62	78.62	161.00	166.00	65.25
21144	21.75	25.75	20.00	56.00	13.69	2.75	4.00	13.50	15.50	2-.75 x 1.25 slot/ted	.50	20	10	8	3NPT	9.88	8.88	80.62	79.62	181.00	168.50	65.25
23144	24.00	27.75	21.50	57.00	15.00	2.75	4.00	13.50	15.50	2-.75 x 1.25 slot/ted	.50	22	12	8	3NPT	11.25	9.12	81.88	79.75	186.25	169.00	65.00
25144	25.75	29.38	22.50	58.00	16.00	1.00	5.00	14.00	16.00	4-.88 dia.	.544 avg.	24	12	8	3NPT	11.25	9.12	81.88	79.75	186.25	175.00	66.75
27144	27.75	31.62	23.50	59.00	17.00	1.00	5.00	15.00	17.00	4-.88 dia.	.544 avg.	26	14	10	3NPT	12.00	10.50	82.62	81.00	189.50	178.25	66.75
29144	29.75	33.50	24.50	60.00	18.00	1.00	5.00	16.00	18.00	4-.88 dia.	.544 avg.	28	16	10	3NPT	13.38	10.75	83.88	81.25	194.50	180.25	66.50
31144	31.75	35.62	25.50	61.00	19.00	1.00	5.00	17.00	19.00	4-.88 dia.	.544 avg.	30	16	12	3NPT	13.38	11.88	83.88	82.25	194.50	182.75	66.50
33144	33.75	38.00	26.50	76.50	22.00	1.25	6.00	19.50	22.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	32	18	12	4FLGD	14.62	12.00	85.00	82.38	199.50	183.75	66.25
35144	35.75	39.88	27.50	77.50	23.00	1.25	6.00	20.50	23.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	34	18	12	4FLGD	14.75	12.25	85.00	82.50	199.50	184.25	66.25
37144	37.75	42.00	29.00	78.50	24.00	1.25	6.00	21.50	24.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	36	20	14	4FLGD	16.12	13.12	86.25	83.25	204.75	186.75	66.25
39144	39.75	44.00	30.00	79.50	25.00	1.25	6.00	22.50	25.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	38	20	14	4FLGD	16.25	13.25	86.25	83.25	205.00	187.25	66.00
42192	42.75	46.88	32.00	81.50	26.00	1.25	6.00	23.50	26.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	40	24	16	6FLGD	18.50	14.50	112.50	106.50	262.00	238.50	90.00
45192	45.75	50.38	33.50	83.00	28.00	1.25	6.00	24.50	27.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	44	24	16	6FLGD	18.00	13.75	111.75	107.75	259.00	237.00	89.50
48192	48.75	53.38	35.00	84.50	29.00	1.25	6.00	26.50	29.00	4-1.00 dia.	.691 avg.	46	24	18	6FLGD	18.50	18.50	112.00	112.00	261.00	261.00	89.50

LAMPIRAN F PANDUAN MANUAL POMPA



TAIKO

CENTRIFUGAL PUMP EHC-J



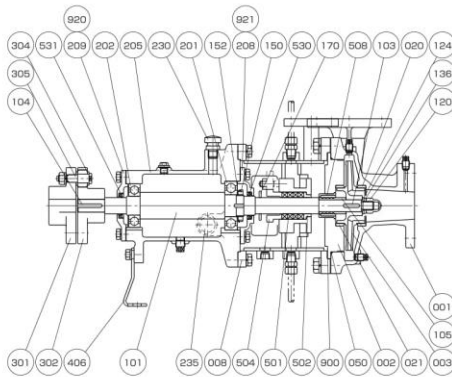
Application

Boiler Water Circulating Pump

Feature

Horizontal Single-stage Single-suction
Jacket Type

Structure & Material



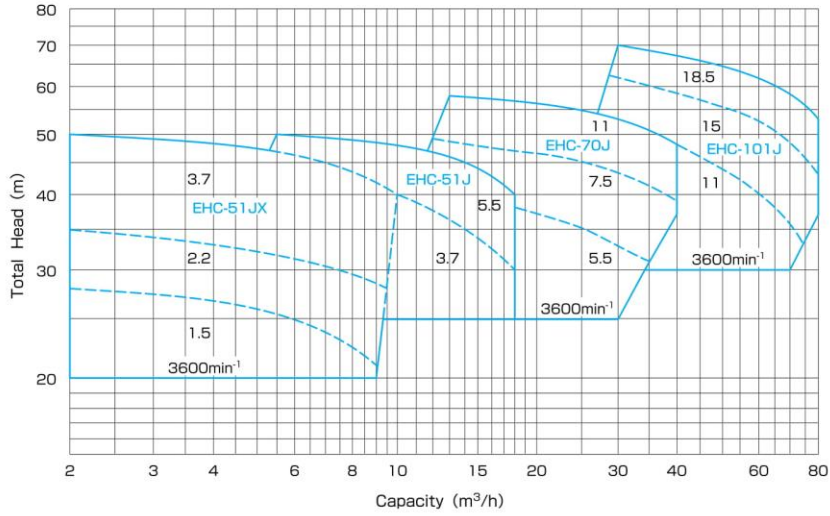
10-1

Part No.	Name	Req. No.	Boiler Water		Part No.	Name	Req. No.	Boiler Water	
			Material	JIS				Material	JIS
001	CASING	1	DUCTILE CAST IRON	FC0400	205	BEARING HOUSING	1	CAST IRON	FC200
002	CASING COVER	1	MILD STEEL	SS400	208	BEARING COVER	1	CAST IRON	FC200
003	IMPELLER	1	STAINLESS STEEL	SCS13	209	BEARING COVER	1	CAST IRON	FC200
008	STUFFING BOX	1	MILD STEEL	SS400	230	OIL PLUG	1	BRASS	C3602
020	CASING RING	1	CAST IRON	FC200	235	OIL LEVEL GAUGE	1	PLASTIC	-
021	CASING RING	1	CAST IRON	FC200	301	COUPLING	1	CAST IRON	FC200
050	O-RING	1	TEFLON	PTFE	302	COUPLING	1	CAST IRON	FC200
101	SHAFT	1	STAINLESS STEEL	SUS420J2	304	COUPLING RING	8	RUBBER	NBR
103	KEY	1	STAINLESS STEEL	SUS304	305	COUPLING BOLT & NUT	8	MILD STEEL	SS400
104	KEY	1	CARBON STEEL	S45C	406	SUPPORT	1	MILD STEEL	SS400
105	SLEEVE	1	STAINLESS STEEL	SUS304	501	GLAND PACKING	4	CARBONIZED FIBER	-
120	IMPELLER NUT	1	STAINLESS STEEL	SUS304	502	NECK BUSH	1	CAST IRON	FC200
124	IMPELLER WASHER	1	STAINLESS STEEL	SUS304	504	GLAND	1	BRONZE	CAC402
136	SPRING WASHER	1	STAINLESS STEEL	SUS304	508	THROTTLE BUSH	1	CARBON	-
150	BEARING NUT	1	MILD STEEL	SS400	530	OIL SEAL	1	RUBBER	NBR
152	BEARING WASHER	1	MILD STEEL	SS400	531	OIL SEAL	1	RUBBER	NBR
170	FLINGER	1	STAINLESS STEEL	SUS304	900	GASKET	1	PAPER	-
201	BALL BEARING	1	BEARING STEEL	SUJ2	920	GASKET	1	PAPER	-
202	BALL BEARING	1	BEARING STEEL	SUJ2	921	GASKET	1	PAPER	-

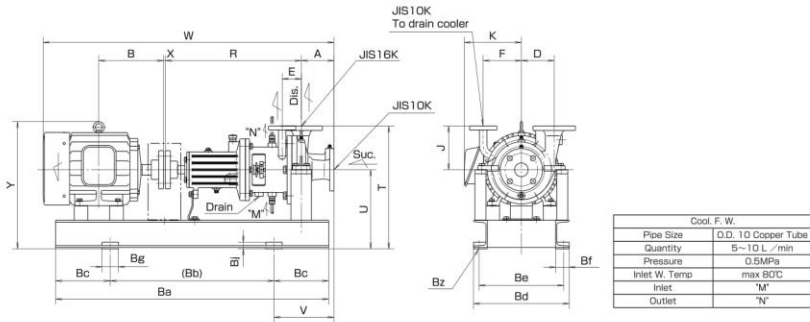
CENTRIFUGAL PUMP

EHC-J

Performance



Dimension



Cool. F. W.	
Pipe Size	O.D. 10 Copper Tube
Quantity	5~10 L / min
Pressure	0.5MPa
Inlet W. Temp	max 80°C
Inlet	"M"
Outlet	"N"

Model No.	Motor		Bore		Dimension (mm)																						
	kW	min⁻¹	Suc.	Dis.	A	B	D	E	F	J	K	R	T	U	V	W	X	Y	Ba	Bb	Bc	Bd	Be	Bf	Bg	Bj	Bz
EHC-51J	3.7	3600	50	50	120	200	120	70	140	160	212	500	450	290	195	1021	3	436	900	550	175	350	310	50	60	25	4+φ19
	5.5	3600	50	50	120	239	120	70	140	160	245	500	450	290	220	1077	3	448	1000	600	200	350	310	50	60	25	4+φ19
	1.5	3600	50	50	120	168.5	120	70	140	160	188	500	450	290	195	954	3	385	900	550	175	350	310	50	60	25	4+φ19
EHC-51JX	2.2	3600	50	50	120	200	120	70	140	160	212	500	450	290	195	1021	3	436	900	550	175	350	310	50	60	25	4+φ19
	3.7	3600	50	50	120	239	120	70	140	160	245	500	450	290	220	1077	3	448	1000	600	200	350	310	50	60	25	4+φ19
	5.5	3600	50	50	120	168.5	120	70	140	160	188	500	450	290	195	954	3	385	900	550	175	350	310	50	60	25	4+φ19
EHC-70J	7.5	3600	65	65	120	239	140	81	140	210	285	500	490	290	220	1077	3	448	1000	600	200	430	390	50	60	25	4+φ19
	11	3600	65	65	120	323	120	80	140	210	285	585	490	310	170	1231	3	520	1100	400	150	450	410	50	60	25	φ19
	18.5	3600	100	100	120	323	120	80	140	210	285	585	490	310	170	1316	3	540	1200	450	150	450	410	50	60	25	φ19

LAMPIRAN G SPESIFIKASI AIR – UAP JENUH

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables Setup Pane

Input Data
 Select function: 1. function (p, t) Calculate
 1. Pressure (absolute): 1 bar
 2. Temperature: 45 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
 Steam Tables
 Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	1.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K)
2. Temperature	t	45.000000000	°C	Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K)
3. Density	d	990.2227910385	kg/m³	Molar mass: M = 18.015257 g/mol
4. Specific volume	v	0.001098738	m³/kg	Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C)
5. Specific enthalpy	h	188.5162113524	kJ/kg	Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar)
6. Specific entropy	s	0.6385856817	kJ/(kg·K)	Critical density: rhoc = 322 kg/m³
7. Specific exergy	ex	139.3451138615	kJ/kg	Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C)
8. Specific internal energy	u	188.4152239686	kJ/kg	Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
9. Specific isobaric heat capacity	cp	4.1787798637	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	4.0486431653	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	1539.042966726	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	Kt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m³/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m³/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 1 bar

2. Temperature: 103 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	1.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	103.000000000	°C	
3. Density	d	0.5845652132	kg/m³	
4. Specific volume	v	1.7106731249	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2681.9704307045	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	7.3775563245	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2113.8985937180	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2510.9031182111	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.0616772599	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.5426945050	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	474.4645376923	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dv/dT)p	dvdT		m³/(kg·K)	
21. Partial derivative (dv/dP)T	dvdP		m³/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 200 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Setup Pane

- UNITS
 - SI Units
 - English Units
- FORMULATION
 - IAPWS-IF97
 - IAPWS-95
- AMBIENT
 - Temperature: 25 °C
 - Update
- Required for exergy calculation.
- CALCULATORS
 - Visit our other Online Calculators:
 - CO2 Tables
 - NH3 Tables
 - Psychrometrics

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	200.000000000	°C	
3. Density	d	6.9924713625	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1430109539	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2802.9799881632	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.4974544387	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2302.6759963833	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2602.7646526363	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.7807522357	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.9479001533	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	508.1470921181	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login

Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t)

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 210 °C

Calculate

Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	210.000000000	°C	
3. Density	d	6.7857387646	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.14737678894	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2829.8752264651	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.5537110137	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2325.2394784102	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2623.5601812548	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.6148335341	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.8496088405	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	516.7149630134	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft

You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables Setup Pane

Input Data
 Select function: 1. function (p, t) Calculate
 1. Pressure (absolute): 14 bar
 2. Temperature: 220 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
 Steam Tables
 Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	220.000000000	°C	
3. Density	d	6.5977910393	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1515658793	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2855.4831819411	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.6061755777	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2346.807624582	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2643.290598855	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.5132561799	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.7931202547	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	524.4019482995	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 230 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	230.000000000	°C	
3. Density	d	6.424769879	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1556475981	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2880.2322395835	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.6558616424	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2367.7308931187	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2662.3256021756	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.4399094655	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.7539043003	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	531.6042656102	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 240 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	*	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main					
1. Pressure (absolute)	p		14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t		240.000000000	°C	
3. Density	d		6.2642220619	kg/m³	
4. Specific volume	v		0.1596367418	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h		2904.3347249676	kJ/kg	
6. Specific entropy	s		6.7022968472	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex		2388.1808677332	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u		2680.8432864207	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp		2.3827669949	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv		1.7240888225	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w		538.4713865696	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)					
12. Isentropic exponent	kapa			dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H			kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G			kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z			dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality			%	
17. Region	region			dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha			1/K	
19. Isothermal compressibility	xt			1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT			m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP			m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

*	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 250 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	250.000000000	°C	
3. Density	d	6.1143594680	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1635494291	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2927.9248641018	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.7488273093	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2408.2651612857	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2698.9556634304	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.3368764153	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.7006616275	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	545.0715472382	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 260 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	260.000000000	°C	
3. Density	d	5.9737923721	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1673978501	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2951.100855879	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.7927111909	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2428.0620941586	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2716.7438657257	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.2995938845	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6821252449	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	551.4448104491	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data
 Select function: 1. function (p, t)
 1. Pressure (absolute): 14 bar
 2. Temperature: 270 °C
 Calculate
 Register and Create Account

MegaWatSoft
 Steam Tables
 Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	270.000000000	°C	
3. Density	d	5.8414056564	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1711916718	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2973.9395991361	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.8351526499	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2447.6328450938	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2734.2712586114	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.2691828661	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6675283050	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	557.6196852250	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft

You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 280 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.0000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	280.0000000000	°C	
3. Density	d	5.7142870918	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1749387293	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	2996.503190606	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.8763175188	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2467.0266701130	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2751.588980789	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.2443628029	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6561694479	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	563.6186364122	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login

Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 290 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.0000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	290.0000000000	°C	
3. Density	d	5.5976796761	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1786454492	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3018.8421494827	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.9163424760	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2486.2837788307	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2768.7385205546	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.2241376667	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6474956201	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	569.4601861869	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft

You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables Setup Pane

Input Data
 Select function: 1. function (p, t) Calculate
 1. Pressure (absolute): 14 bar
 2. Temperature: 300 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
 Steam Tables
 Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.0000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	300.0000000000	°C	
3. Density	d	5.4849476356	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1823171462	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3040.9985272306	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.955913153	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2505.4372459525	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2785.7545225441	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.2077146573	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6410587653	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	575.1599162396	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 310 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	310.000000000	°C	
3. Density	d	5.3775512801	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1859582453	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3063.0069575498	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	6.9934095849	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2524.5144195125	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2802.6654141445	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.1944525065	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6364919823	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	580.7310716386	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dv/dT)p	dvdT		m³/(kg·K)	
21. Partial derivative (dv/dP)T	dvdP		m³/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 320 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	320.000000000	°C	
3. Density	d	5.2750280082	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1895724532	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3084.8963769494	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	7.0306281467	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2543.538096535	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2818.4949425249	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.1838339975	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6334933851	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	586.1849873838	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 330 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	330.000000000	°C	
3. Density	d	5.1769777470	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1931628933	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3106.6910278704	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	7.0670659558	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2562.5269492738	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2836.2629772915	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.1754351346	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6318139055	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	591.5314187421	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dP)T	dvdP		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables Setup Pane

Input Data
 Select function: 1. function (p, t) Calculate
 1. Pressure (absolute): 14 bar
 2. Temperature: 340 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
 Steam Tables
 Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	340.000000000	°C	
3. Density	d	5.0830516580	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.1967322127	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3128.4113154429	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	7.1027822534	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2581.4970819311	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2852.9862176465	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.168990527	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6312476282	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	596.7788044979	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m³/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m³/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

Home Calculator Help-Calculator Spreadsheet Help-Spreadsheet Links, Books Free Gadgets Videos Power Generating Capacity Maps Contact Us Register

File Theme Diagrams Language Help Login Set Zoom Level Full Screen Mode

1. General Properties 2. Saturation Properties 3. Steam Turbine 4. Flash Evaporator 5. T-S Diagram 6. H-S Diagram 7. H-S Diagram (vapor) 8. Gas Tables

Input Data

Select function: 1. function (p, t) Calculate

1. Pressure (absolute): 14 bar

2. Temperature: 350 °C Register and Create Account

MegaWatSoft
Steam Tables
Excel Add-In ActiveX DLL Win32 App

Property Name	Property ID	Results	Units (SI)	Constants used in calculation
1. Thermodynamic Properties - Main				
1. Pressure (absolute)	p	14.000000000	bar	Specific gas constant: R = 0.461526 kJ/(kg·K) Molar gas constant: Rm = 8.31451 J/(mol·K) Molar mass: M = 18.015257 g/mol Critical temperature: Tc = 647.096 K, (373.946 °C) Critical pressure: pc = 22.064 MPa, (220.64 bar) Critical density: rho_c = 322 kg/m³ Triple-point temperature: Tt = 273.16 K, (0.01 °C) Triple-point pressure: pt = 611.657 Pa, (0.00611657 bar)
2. Temperature	t	350.000000000	°C	
3. Density	d	4.9929432846	kg/m³	
4. Specific volume	v	0.2002826676	m³/kg	
5. Specific enthalpy	h	3150.0744951023	kJ/kg	
6. Specific entropy	s	7.1378283080	kJ/(kg·K)	
7. Specific energy	ex	2600.4617153863	kJ/kg	
8. Specific internal energy	u	2869.6787605244	kJ/kg	
9. Specific isobaric heat capacity	cp	2.1639794740	kJ/(kg·K)	
10. Specific isochoric heat capacity	cv	1.6316239876	kJ/(kg·K)	
11. Speed of sound	w	601.9344816987	m/s	
2. Thermodynamic Properties - Other (* registration required)				
12. Isentropic exponent	kapa		dimensionless	
13. Specific Helmholtz free energy	H		kJ/kg	
14. Specific Gibbs free energy	G		kJ/kg	
15. Compressibility factor	Z		dimensionless	
16. Quality (vapor mass fraction)	quality		%	
17. Region	region		dimensionless	
18. Isobaric volume expansion coefficient	alpha		1/K	
19. Isothermal compressibility	xt		1/MPa	
20. Partial derivative (dh/dT)p	dvdT		m²/(kg·K)	
21. Partial derivative (dh/dp)T	dvdp		m²/(kg·MPa)	

Output Pane (* registration required)

#	p [bar]	t [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg·K)]	ex [kJ/kg]	u [kJ/kg]	cp [kJ/(kg·K)]	cv [kJ/(kg·K)]	w [m/s]	kapa [-]	quality [%]	region [-]	Z [-]	JTC [K/MPa]
1															
2															
3															
4															
5															

SI Units English Units

Steam Tables Calculator v8.0 -> IAPWS-IF97 (Industrial Formulation) - Powered by Steam97 ActiveX DLL from MegaWatSoft You are not logged in.

LAMPIRAN H DENSITAS AIR

Density of liquid water from 0 °C to 100 °C

www.vaxasoftware.com

External pressure: 1 atm = 101 325 Pa

Temperature °C	Density kg/m ³	Temperature °C	Density kg/m ³	Temperature °C	Density kg/m ³
0 (ice)	917.00	33	994.76	67	979.34
0	999.82	34	994.43	68	978.78
1	999.89	35	994.08	69	978.21
2	999.94	36	993.73	70	977.63
3	999.98	37	993.37	71	977.05
4	1000.00	38	993.00	72	976.47
5	1000.00	39	992.63	73	975.88
6	999.99	40	992.25	74	975.28
7	999.96	41	991.86	75	974.68
8	999.91	42	991.46	76	974.08
9	999.85	43	991.05	77	973.46
10	999.77	44	990.64	78	972.85
11	999.68	45	990.22	79	972.23
12	999.58	46	989.80	80	971.60
13	999.46	47	989.36	81	970.97
14	999.33	48	988.92	82	970.33
15	999.19	49	988.47	83	969.69
16	999.03	50	988.02	84	969.04
17	998.86	51	987.56	85	968.39
18	998.68	52	987.09	86	967.73
19	998.49	53	986.62	87	967.07
20	998.29	54	986.14	88	966.41
21	998.08	55	985.65	89	965.74
22	997.86	56	985.16	90	965.06
23	997.62	57	984.66	91	964.38
24	997.38	58	984.16	92	963.70
25	997.13	59	983.64	93	963.01
26	996.86	60	983.13	94	962.31
27	996.59	61	982.60	95	961.62
28	996.31	62	982.07	96	960.91
29	996.02	63	981.54	97	960.20
30	995.71	64	981.00	98	959.49
31	995.41	65	980.45	99	958.78
32	995.09	66	979.90	100	958.05

LAMPIRAN I KALOR LATEN UAP JENUH



Engineering Toolbox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!

-

Properties of Saturated Steam - Pressure in Bar

Saturated Steam Table with properties like boiling point, specific volume, density, specific enthalpy, specific heat and latent heat of vaporization

Absolute Pressure (bar)	Boiling Point (°C)	Specific Volume (steam) (m ³ /kg)	Density (steam) (kg/m ³)	Specific Enthalpy of Liquid Water (sensible heat)		Specific Enthalpy of Steam (total heat)		Latent heat of Vaporization		Specific Heat (kJ/kg K)
				(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	(kJ/kg)	(kcal/kg)	
0.02	17.51	87.008	0.015	73.45	17.54	2533.84	605.15	2460.19	587.81	1.8844
0.03	24.10	45.867	0.022	101.00	24.12	2545.84	608.02	2444.85	583.89	1.8894
0.04	28.98	34.802	0.029	121.41	29.00	2554.51	610.13	2433.10	581.14	1.8738
0.05	32.90	28.194	0.035	137.77	32.91	2561.59	611.83	2423.82	578.92	1.8774
0.06	36.18	23.741	0.042	151.50	36.19	2567.51	613.24	2416.01	577.05	1.8808
0.07	39.02	20.531	0.049	163.38	39.02	2572.62	614.46	2409.24	575.44	1.8840
0.08	41.53	18.105	0.055	173.87	41.53	2577.11	615.53	2403.25	574.01	1.8871
0.09	43.79	16.204	0.062	183.28	43.78	2581.14	616.49	2397.85	572.72	1.8899
0.1	45.83	14.675	0.068	191.84	45.82	2584.78	617.38	2392.94	571.54	1.8927
0.2	60.09	7.850	0.131	251.46	60.06	2609.86	623.35	2358.40	563.30	1.9156
0.3	69.13	5.229	0.191	289.31	69.10	2626.43	627.07	2336.13	557.97	1.9343
0.4	75.89	3.993	0.250	317.05	75.87	2638.88	629.81	2319.23	553.94	1.9506
0.5	81.35	3.240	0.309	340.57	81.34	2646.99	631.98	2305.42	550.64	1.9654
0.6	85.95	2.732	0.366	359.93	85.97	2653.57	633.79	2293.84	547.83	1.9790
0.7	89.96	2.365	0.423	376.77	89.99	2660.07	635.35	2283.30	545.36	1.9919
0.8	93.51	2.087	0.479	391.73	93.56	2666.77	636.71	2274.05	543.15	2.0040
0.9	96.71	1.869	0.535	405.21	96.78	2670.85	637.92	2265.65	541.14	2.0156
1)	99.63	1.694	0.590	417.51	99.72	2675.43	639.02	2257.92	539.30	2.0267
1.1	102.32	1.549	0.645	428.84	102.43	2679.61	640.01	2250.76	537.56	2.0373
1.2	104.81	1.428	0.700	439.36	104.94	2683.44	640.93	2244.08	535.99	2.0476
1.3	107.13	1.325	0.755	449.19	107.29	2686.98	641.77	2237.79	534.49	2.0576
1.4	109.32	1.236	0.809	458.42	109.49	2690.28	642.56	2231.86	533.07	2.0673
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768
1.6	113.32	1.091	0.916	475.38	113.54	2696.25	643.99	2220.87	530.45	2.0860
1.7	115.17	1.031	0.970	483.22	115.42	2698.97	644.64	2215.75	529.22	2.0950
1.8	116.93	0.977	1.023	490.70	117.20	2701.54	645.25	2210.84	528.05	2.1037
1.9	118.62	0.929	1.076	497.85	118.91	2703.98	645.83	2206.13	526.92	2.1124
2	120.23	0.885	1.129	504.71	120.55	2706.29	646.39	2201.59	525.84	2.1208
2.2	123.27	0.810	1.235	517.63	123.63	2710.60	647.42	2192.98	523.78	2.1372
2.4	126.09	0.746	1.340	526.64	126.50	2714.55	648.36	2184.91	521.86	2.1531
2.6	128.73	0.693	1.444	540.88	129.19	2718.17	649.22	2177.30	520.04	2.1685
2.8	131.20	0.646	1.548	551.45	131.71	2721.54	650.03	2170.08	518.32	2.1835
3	133.54	0.606	1.651	561.44	134.10	2724.66	650.77	2163.22	516.68	2.1981
3.5	138.87	0.524	1.908	584.28	139.55	2731.63	652.44	2147.35	512.89	2.2331
4	143.83	0.462	2.163	604.68	144.43	2737.63	653.87	2132.95	509.45	2.2664
4.5	147.92	0.414	2.417	623.17	148.84	2742.88	655.13	2119.71	506.29	2.2983
5	151.85	0.375	2.669	640.12	152.89	2747.54	656.24	2107.42	503.35	2.3289
5.5	155.47	0.342	2.920	655.81	156.64	2751.70	657.23	2095.90	500.60	2.3585
6	158.84	0.315	3.170	670.43	160.13	2755.46	658.13	2085.03	498.00	2.3873
6.5	161.99	0.292	3.419	684.14	163.40	2758.87	658.94	2074.73	495.54	2.4152
7	164.96	0.273	3.667	697.07	166.49	2761.98	659.69	2064.92	493.20	2.4424
7.5	167.76	0.255	3.915	709.30	169.41	2764.84	660.37	2055.53	490.99	2.4690
8	170.42	0.240	4.162	720.94	172.19	2767.46	661.00	2046.53	488.80	2.4951
8.5	172.94	0.227	4.409	732.03	174.84	2769.89	661.58	2037.86	486.73	2.5206
9	175.36	0.215	4.655	742.64	177.38	2772.13	662.11	2029.49	484.74	2.5456
9.5	177.67	0.204	4.901	752.82	179.81	2774.22	662.61	2021.40	482.80	2.5702
10	179.88	0.194	5.147	762.60	182.14	2776.16	663.07	2013.56	480.93	2.5944
11	184.06	0.177	5.638	781.11	186.57	2779.66	663.91	1998.55	477.35	2.6418
12	187.96	0.163	6.127	798.42	190.70	2782.73	664.64	1984.31	473.94	2.6878
13	191.60	0.151	6.617	814.88	194.58	2785.42	665.29	1970.73	470.70	2.7327
14	195.04	0.141	7.106	830.05	198.20	2787.79	665.85	1957.73	467.60	2.7767
15	198.28	0.132	7.595	844.64	201.74	2789.88	666.35	1945.24	464.61	2.8197
16	201.37	0.124	8.085	858.54	205.06	2791.73	666.79	1933.19	461.74	2.8620
17	204.30	0.117	8.575	871.82	208.23	2793.37	667.18	1921.55	458.95	2.9036
18	207.11	0.110	9.065	884.55	211.27	2794.81	667.53	1910.27	456.26	2.9445
19	209.79	0.105	9.555	896.78	214.19	2796.09	667.83	1899.31	453.64	2.9849
20	212.37	0.100	10.047	908.56	217.01	2797.21	668.10	1888.65	451.10	3.0248
21	214.85	0.095	10.539	919.93	219.72	2798.18	668.33	1878.25	448.61	3.0643
22	217.24	0.091	11.032	930.92	222.35	2799.03	668.54	1868.11	446.19	3.1034
23	219.55	0.087	11.525	941.57	224.89	2799.77	668.71	1858.20	443.82	3.1421
24	221.78	0.083	12.020	951.90	227.36	2800.39	668.86	1848.49	441.50	3.1805
25	223.94	0.080	12.515	961.93	229.75	2800.91	668.98	1838.98	439.23	3.2187
26	226.03	0.077	13.012	971.69	232.08	2801.35	669.08	1829.66	437.01	3.2567
27	228.06	0.074	13.509	981.19	234.35	2801.69	669.17	1820.50	434.82	3.2944
28	230.04	0.071	14.008	990.46	236.57	2801.96	669.24	1811.50	432.67	3.3320
29	231.96	0.069	14.508	999.50	238.73	2802.15	669.28	1802.65	430.56	3.3695
30	233.84	0.067	15.009	1008.33	240.84	2802.27	669.31	1793.94	428.48	3.4069

LAMPIRAN J

NILAI PANAS BAHAN BAKAR



www.EngineeringToolBox.com

Engineering Toolbox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!

Ads by Google

gas water heater

steam boiler

property value estimator

pipe pressure calculator

a heating system

Fuels - Higher and Lower Calorific Values

Higher and lower calorific values (=heating values) for some common fuels - coke, oil, wood, hydrogen and others

Fuel	Density @0°C/32°F, 1 bar		Higher Heating Value (HHV) (Gross Calorific Value - GCV)					Lower Heating Value (LHV) (Net Calorific Value - NCV)				
	[kg/m ³]	[g/ft ³]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]	[MJ/m ³]	[Btu/ft ³]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]	[MJ/m ³]	[Btu/ft ³]
Gaseous fuels												
Acetylene	1.097	31.1	13.9	49.9	21453	54.7	1468					
Ammonia				22.5	9690							
Hydrogen	0.090	2.55	39.4	141.7	60920	12.7	341	33.3	120.0	51591	10.8	290
Methane	0.716	20.3	15.4	55.5	23874	39.8	1069	13.9	50.0	21496	35.8	964
Natural gas (US market)*	0.777	22.0	14.5	52.2	22446	40.6	1090	13.1	47.1	20262	36.6	983
Town gas						18.0	483					
	@15°C/60°F, 1 bar											
Liquid fuels	[kg/l]	[g/gal]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]	[MJ/l]	[Btu/gal]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]	[MJ/l]	[Btu/gal]
Acetone	0.787	2.979	8.83	31.8	13671	25.0	89792	8.22	29.6	12726	23.3	83580
Butane	0.601	3.065	13.64	49.1	21109	29.5	105875	12.58	45.3	19475	27.2	97681
Butanol	0.810		10.36	37.3	16036	30.2	108359	9.56	34.4	14789	27.9	99934
Diesel fuel*	0.846	3.202	12.67	45.6	19604	38.6	138412	11.83	42.6	18315	36.0	129306
Dimethyl ether (DME)	0.665	2.518	8.81	31.7	13629	21.1	75655	8.03	28.9	12425	19.2	68973
Ethane	0.572	2.165	14.42	51.9	22313	29.7	106513	13.28	47.8	20550	27.3	98098
Ethanol (100%)	0.789	2.987	8.25	29.7	12769	23.4	84076	7.42	26.7	11479	21.1	75583
Diethyl ether (ether)	0.716	2.710	11.94	43.0	18487	30.8	110464					
Gasoline (petrol)*	0.737	2.790	12.89	46.4	19948	34.2	122694	12.06	43.4	18659	32.0	114761
Gas oil (heating oil)*	0.84	3.180	11.95	43.0	18495	36.1	129654	11.89	42.8	18401	36.0	128991
Glycerin	1.263	4.781	5.28	19.0	8169	24.0	86098					
Heavy fuel oil*	0.98	3.710	11.61	41.8	17971	41.0	146974	10.83	39.0	16767	38.2	137129
Kerosene*	0.821	3.108	12.83	46.2	19862	37.9	126663	11.94	43.0	18487	35.3	126663
Light fuel oil*	0.96	3.634	12.22	44.0	18917	42.2	151552	11.28	40.6	17455	39.0	139841
LNG*	0.428	1.621	15.33	55.2	23732	23.6	84810	13.50	48.6	20894	20.8	74670
LPG*	0.537	2.033	13.69	49.3	21195	26.5	94986	12.64	45.5	19561	24.4	87664
Marine gas oil*	0.855	3.237	12.75	45.9	19733	39.2	140804	11.89	42.8	18401	36.6	131295
Methanol	0.791	2.994	6.39	23.0	9888	18.2	65274	5.54	19.9	8568	15.8	56562
Methyl ester (biodiesel)	0.888	3.361	11.17	40.2	17283	35.7	128062	10.42	37.5	16122	33.3	119460
MTBE	0.743	2.811	10.56	38.0	16337	28.2	101244	9.75	35.1	15090	26.1	93517
Oils vegetable (biodiesel)*	0.92	3.483	11.25	40.5	17412	37.3	133684	10.50	37.8	16251	34.8	124772
Paraffin (wax)*	0.90	3.407	12.78	46.0	19776	41.4	148538	11.53	41.5	17842	37.4	134007
Pentane	0.63	2.385	13.50	48.6	20894	30.6	109854	12.60	45.4	19497	28.6	102507
Petroleum naphtha*	0.725	2.745	13.36	48.1	20679	34.9	125145	12.47	44.9	19303	32.6	116819
Propane	0.498	1.885	13.99	50.4	21647	25.1	89963	12.88	46.4	19927	23.1	82816
Residual oil*	0.991	3.752				41.8	150072	10.97	39.5	16982	39.2	140470
Tar*			10.00	36.0	15477							
Turpentine	0.865	3.274	12.22	44.0	18917	38.1	136555					
Solid fuels*			[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]			[kWh/kg]	[MJ/kg]	[Btu/lb]		
Anthracite coal			9.06	32.6	14015							
Bituminous coal			8.39	30.2	12984			8.06	29.0	12468		
Carbon			9.11	32.8	14101							
Charcoal			8.22	29.6	12726			7.89	28.4	12210		
Coke			7.22	26.0	11178							
Lignite (brown coal)			3.89	14.0	6019							
Peat			4.72	17.0	7309							
Petroleum coke			8.69	31.3	13457			8.19	29.5	12683		
Semi anthracite			8.19	29.5	12683							
Sub-Bituminous coal			6.78	24.4	10490							
Sulfur (s)			2.56	9.2	3955			2.55	9.2	3939		
Wood (dry)	0.701		4.50	16.2	6965			4.28	15.4	6621		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ignatius Timothy, dilahirkan di Kota Jakarta pada tanggal 2 Juni 1997. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal di SD Santa Ursula BSD (2003-2009), SMP Strada Bhakti Nusa BSD (2009-2012), SMAK Ora et Labora BSD (2012-2015) dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan pendalaman bidang studi *Marine Machinery and System* (MMS). Penulis sempat menjadi asisten laboratorium dan koordinator laboratorium (*Supervisor*) *Marine Machinery and System* (MMS) pada tahun 2018/2019.

Penulis pernah menjalani Kerja Praktek di perusahaan PT. Daya Radar Utama (DRU) Jakarta dan PT. Goltens Jakarta. Selain aktivitas akademik, penulis aktif dan berpengalaman dalam berbagai organisasi serta kepanitiaan. Penulis pernah menjadi Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa KMK ITS 2016/2017, Kepala Departemen *Big Event* KMK ITS 2017/2018, Staf Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASISKAL FTK-ITS 2016/2017, Wakil Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASISKAL FTK-ITS 2017/2018, Staf Seksi Acara 3C *Catholic Community Cup* 2016, Koordinator Seksi Acara 3C *Catholic Community Cup* 2017, Koordinator Seksi Kreatif KMK *Leadership Training* 2018 dan Staf Seksi Acara Kemah Rohani XX 2016 KMK ITS. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir serta ingin memberikan kritik dan saran, penulis dapat dihubungi melalui :

ignatiustimothy1@gmail.com / 081384258882

“Halaman ini sengaja dikosongkan”