

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA MARCET BOILER
KAPASITAS TEKANAN UAP 5 BAR**

SKRIPSI

OLEH :

MUHAMMAD RIVALDI

10.813.0044



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2014

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA MARCET BOILER
KAPASITAS TEKANAN UAP 5 BAR**

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD RIVALDI

10.813.0044

Skripsi sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Mesin
Universitas Medan Area

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2014

Judul Skripsi : Analisa Perpindahan Panas Pada Marcet Boiler Kapasitas
Tekanan Uap 5 kg/cm²

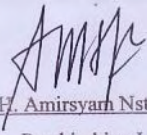
Nama : Muhammad Rivaldi

NPM : 10.813.0044


Fakultas : Teknik

Jurusan : Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. F. Amirsyah Nst, MT

Pembimbing I


Ir. H. Syafrian Lubis, MM

Pembimbing II


Ir. Hj. Haniza, MT.

Dekan

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rivaldi

NPM : 10.813.0044

Fakultas : Teknik

Jurusan : Mesin

Judul Skripsi : Analisa Perpindahan Panas Pada Marcet Boiler Kapasitas
Tekanan Uap 5 Bar.

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi – sanksi dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 23 Oktober 2014

MUHAMMAD RIVALDI

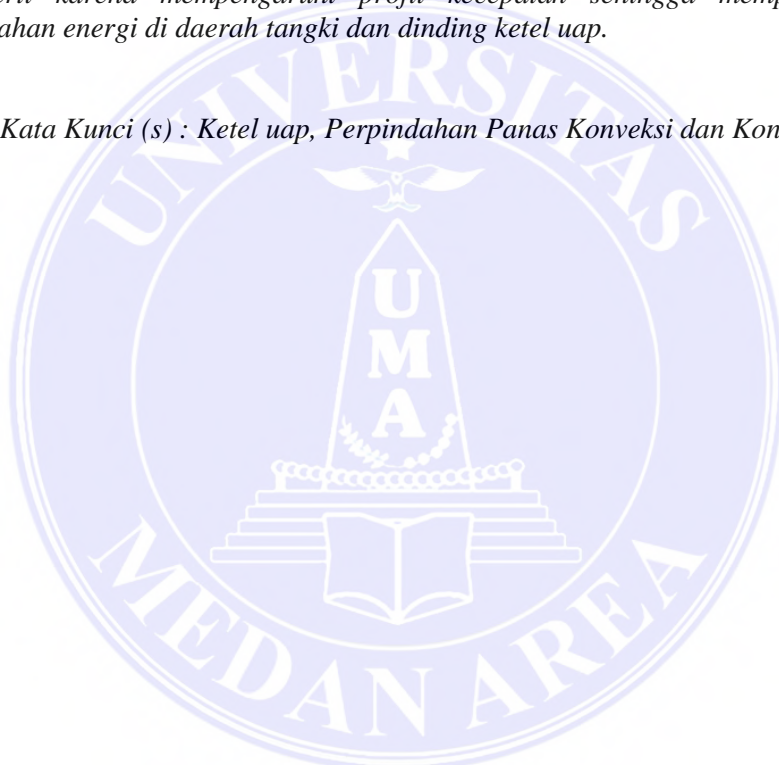
10.813.0044

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara tekanan dan suhu steam jenuh dalam kesetimbangan, selain itu penelitian ini juga dilakukan untuk menunjukkan kurva tekanan uap. Boiler pasar digunakan untuk percobaan ini. Ketika tekanan meningkat, suhu juga meningkat, oleh karena itu, hubungan tekanan dan suhu berbanding lurus. Rumus turunan dan data yang digunakan untuk menghitung lereng.

dT / Dp diukur harus hampir sama dengan nilai prediksi. Namun, pada titik tertentu, nilai-nilai yang tidak sama. Hal ini mungkin karena kesalahan yang dibuat dalam percobaan, Adapun persoalan dalam perpindahan panas itu melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi. Sedangkan hal yang sering terjadi suatu tantangan adalah diperlukan laju perpindahan panas semaksimal mungkin dan menjaga dalam satu kesatuan tentang ketahanan material pada lingkungan bertemperatur tinggi. Seperti halnya pada perpindahan panas secara konveksi dan secara konduksi. Perpindahan panas konveksi dan konduksi tergantung kepada sifat termal fluida. Hal tersebut dapat dimengerti karena mempengaruhi profil kecepatan sehingga mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah tangki dan dinding ketel uap.

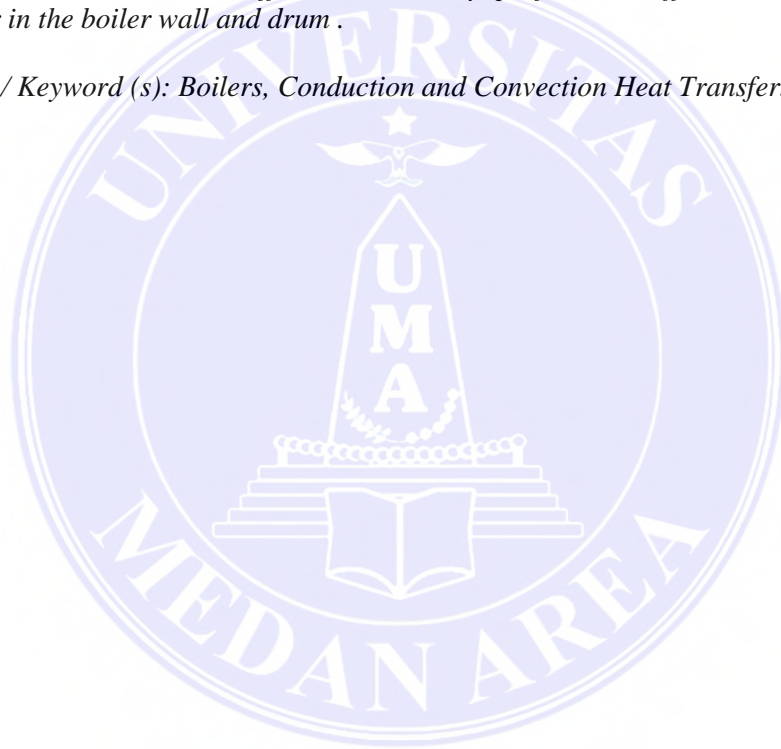
Subjek/ Kata Kunci (s) : Ketel uap, Perpindahan Panas Konveksi dan Konduksi.



ABSTRACT

This experiment was carried out to determine the relationship between the pressure and the temperature of saturated steam in equilibrium , besides that this experiment was also done to demonstrate the vapor pressure curve. The market boiler was used for this experiment. When the pressure increases, the temperature also increases, therefore, the relationship of pressure and temperature is directly proportional. The derived formulae and the data were used to calculate the slope. The dT/Dp measured should be almost the same with the predicted values. However, at certain points, the values are not the same. This may because of the errors made in the experiment, the problems in the heat transfer through conduction , convection and radiation . While it is often the case a challenge is necessary heat transfer rate as much as possible and keep the unity of the resistance of the material at high temperature environment . As well as the heat transfer by conduction and convection . Conduction and convection heat transfer depends on the thermal properties of the fluid . This is understandable because it affects the velocity profile that affect the rate of energy transfer in the boiler wall and drum .

Subject / Keyword (s): Boilers, Conduction and Convection Heat Transfer.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Universitas Medan Area Jurusan Teknik Mesin dengan judul “ Analisa Perpindahan Panas Pada Marcet Boiler Kapasitas Tekanan Uap 5 Bar “.

Penulisan Tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan guna menyelesaikan program Sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area jurusan Teknik Mesin. Dengan selesainya penulisan Tugas Akhir ini penulis ingin mengucapkan terimakasih Kepada :

1. Bapak Drs. M. Erwin Siregar, MBA. Selaku Ketua Yayasan Pendidikan Haji Agus Salim Universitas Medan Area.
2. Bapak Prof. Dr. H.A.Ya'kub Matondang, MA. Selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Hj. Haniza, MT. Selaku Dekan Universitas Medan Area.
4. Ibu Sherlly Maulana, ST. MT. Selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Universitas Medan Area.
5. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT. Selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Universitas Medan Area.
6. Bapak DR. Ir. Suditama, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
7. Bapak DR. Ir. Suditama, MT. Selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
8. Bapak Ir. H. AmirsyamNasution, MT. Selaku dosen pembimbing I.
9. Bapak Ir. H. SyafrianLubis, MM. Selaku dosen pembimbing II.
10. Seluruh staff pengajar di Universitas Medan Area.
11. Ayahanda dan Ibunda tercinta serta keluarga yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana di Universitas Medan Area, baik bantuan moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
12. Teman – teman sejawat yang telah banyak member bantuan, saran serta masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis sangat mengharapkan adanya masukan berupa kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Dan penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun kepada pembaca.

Medan, Oktober 2014

Penulis

(MUHAMMAD RIVALDI)



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, Pada tanggal 23 Januari 1989 dari ayah Muhammad Abdi dan ibu Nurhayati, Penulis merupakan putra pertama dari tiga bersaudara.

Tahun 2007 Penulis lulus dari SMK Swasta Teladan Medan dan pada tahun 2010 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis banyak mendapatkan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang berharga, pada tahun 2013 Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di CV. Surya Engineering. Pada tahun 2014 Penulis menyelesaikan studi kuliah Strata I Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.



DAFTAR ISI

Halaman

LEMBARAN PENGESAHAN	
LEMBARAN PERNYATAAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	vi
RIWAYAT HIDUP	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Marcet Boiler	5
2.2. Klasifikasi Ketel	6
2.3. Susunan Umum Ketel	11
2.4. Komponen – Komponen Marcet Boiler	13
2.4.1. Tangki (Drum)	14
2.4.2. Heater (Pemanas)	15
2.4.3. Safety Valve (katup pengaman)	15
2.4.4. Pressure Gauge (alat ukur tekanan uap)	16
2.4.5. Manometer (alat ukur suhu)	17
2.4.6. Katup Buang (kran air)	17
2.5. Perpindahan Panas Dalam Instalasi Uap	18
2.5.1. Perpindahan Kalor Secara Konveksi	18
2.5.2. Perpindahan Kalor Secara Konduksi	21

2.5.3. Konduktivitas Termal.....	23
2.5.4. Isolasi dan Nilai R.....	24
2.5.5. Bidang Silinder.....	25
2.6. Proses Pembentukan Uap	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Konsep Penganalisaan	32
3.2. Start Penelitian.....	32
3.3. Persiapan Alat.....	32
3.4. Pengumpulan Data.....	32
3.5. Analisa Data.....	32
3.6. Kesimpulan dan Saran	32
3.7. Schedule Penelitian.....	33
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Proses Terbentuknya Uap pada Uji Coba marcet boiler.....	34
4.2. Hasil Uji Coba Marcet Boiler	35
4.3. Analisa Perpindahan Panas	40
4.3.1. Laju Perpindahan Panas Konveksi pada Dinding Ketel....	41
4.3.2. Laju Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding Ketel ...	45
4.3.3. Analisa Perpindahan Panas yang diterima air	50
4.4. Perbandingan dengan referensi (tabel uap).....	56
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Halaman

1. Tabel 2.1. Nilai Kira – Kira Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi .	20
2. Tabel 2.2. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C	23
3. Tabel 2.3. Jenis – Jenis Bahan Isolasi dan Penerapannya.....	24
4. Tabel 3.1. Schedule Penelitian Tugas Akhir.....	33
5. Tabel 4.1. Hasil Uji coba marcet boiler dengan menggunakan daya pemanas heater kapasitas 1000 watt	35
6. Tabel 4.2. Hasil Uji coba marcet boiler dengan menggunakan daya pemanas heater kapasitas 2000 watt.	37
7. Tabel 4.3. Temperature dinding dengan daya pemanas heater kapasitas 1000 watt	39
8. Tabel 4.4. Temperature dinding dengan daya pemanas heater kapasitas 2000 watt	40
9. Tabel 4.5. Data hasil perhitungan perpindahan panas secara konveksi pada percobaan marcet boiler dengan daya pemanas 1000 watt.....	42
10. Tabel 4.6. Data hasil perhitungan perpindahan panas secara konveksi pada percobaan marcet boiler dengan daya pemanas 2000 watt.....	44
11. Tabel 4.7. Data hasil perhitungan perpindahan panas secara konduksi pada percobaan marcet boiler dengan daya pemanas 1000 watt.....	47
12. Tabel 4.8. Data hasil perhitungan perpindahan panas secara konduksi pada percobaan marcet boiler dengan daya pemanas 1000 watt.....	49
13. Tabel 4.9. Tabel uap.....	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Boiler Tangki (Marcet Boiler)	6
2. Gambar 2.2. Ketel Pipa Api (fire tube boiler).....	7
3. Gambar 2.3. Ketel Pipa Air (water tube boiler).....	7
4. Gambar 2.4. Ketel Lokomotif dan Lokomobile.....	8
5. Gambar 2.5. Ketel B dan W	9
6. Gambar 2.6. Ketel Schott	9
7. Gambar 2.7. Ketel Benson	10
8. Gambar 2.8. Air yang tidak bersirkulasi	12
9. Gambar 2.9. Tangki (drum)	14
10. Gambar 2.10. Heater (pemanas).....	15
11. Gambar 2.11. Safety Valve (katup pengaman).....	15
12. Gambar 2.12. Pressure Gauge (alat ukur tekanan uap).....	16
13. Gambar 2.13. Manometer (alat ukur suhu).....	17
14. Gambar 2.14. Katup Buang (kran air).....	17
15. Gambar 2.15. Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat.....	19
16. Gambar 2.16. Volume unsur untuk analisis konduksi kalor satu dimensi	21
17. Gambar 2.17. Aliran kalor satu dimensi melalui silinder bolong dan analogi listriknya.....	26
18. Gambar 2.18. Aliran kalor satu dimensi melalui penampang silinder dan analogi listriknya	27
19. Gambar 2.19. Grafik proses pembentukan uap	28
20. Gambar 3.1. Flow chart metodologi penelitian.....	31
21. Gambar 4.1. Grafik temperature dan tekanan pada uji coba marcet boiler menggunakan sebuah heater	36
22. Gambar 4.2. Grafik temperature dan tekanan pada uji coba marcet boiler menggunakan 2 buah heater.....	38
23. Gambar 4.3. Grafik laju perpindahan panas konveksi pada uji coba marcet boiler dengan daya pemanas heater 1000 watt dan 2000 watt.	44
24. Gambar 4.4. Gambar konstruksi dinding marcet boiler	45
25. Gambar 4.5. Grafik laju perpindahan panas konduksi pada uji coba marcet boiler dengan daya pemanas heater 1000 watt dan 2000 watt.	50

Lampiran I

Tabel sifat – sifat air (Zat-cair jenuh)

Catatan $Gr_x Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$

$^{\circ}F$	$^{\circ}C$	$c_p,$ kJ/kg. $^{\circ}C$	$\rho,$ kg/m ³	$\mu,$ kg/m. s	$k,$ W/m. $^{\circ}C$	Pr	$\left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right)$ 1/m ³ . $^{\circ}C$
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, “ Introduction to Heat Transfer, “ 3d ed., McGraw Hill Book Company, New York, 1958.

Lampiran II

Lampiran persamaan – persamaan sederhana untuk konveksi – bebas dari berbagai permukaan ke udara pada tekanan atmosfer.

<i>Permukaan</i>	<i>Laminar,</i> $10^4 < Gr_f Pr_f < 10^9$	<i>Turbulen,</i> $Gr_f Pr_f > 10^9$
Bidang atau silinder vertical	$h = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1,31 (\Delta T)^{1/3}$
Silinder horizontal	$h = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4}$	$h = 1,24 (\Delta T)^{1/3}$
Plat horizontal :		
Plat panas menghadap ke atas atau plat dingin menghadap ke bawah	$h = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1,52 (\Delta T)^{1/3}$
plat panas menghadap ke bawah atau plat dingin menghadap ke atas	$h = 0,59 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	
di mana h = koefisien perpindahan-kalor, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ $\Delta T = T_\omega - T_\infty, ^\circ C$ L = dimensi vertikal atau horizontal, m d = diameter, m		

Lampiran III

Tabel temperatur – uap jenuh

SATURATED STEAM - TEMPERATURE TABLE									
T °C	P bar	Spec. vol. m ³ /kg		Int. Ener. kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/(kg°K)	
		Sat. liq. v _f X 1000	Sat. vap. v _g	Sat. liq. u _f	Sat. vap. u _g	Sat. liq. h _f	Sat. vap. h _g	Sat. liq. s _f	Sat. vap. s _g
0.01	0.0061	1.0002	206.1	0.01	2376	0.01	2501	0	9.156
4	0.0081	1.0001	157.2	16.79	2381	16.79	2509	0.061	9.051
5	0.0087	1.0001	147.1	21.00	2383	21	2511	0.0762	9.026
6	0.0093	1.0001	137.7	25.21	2384	25.21	2512	0.0912	9.000
8	0.0107	1.0001	120.9	33.61	2387	33.61	2516	0.1212	8.950
10	0.0123	1.0001	106.4	42.01	2389	42.01	2520	0.151	8.901
11	0.0131	1.0007	99.86	46.19	2391	46.19	2522	0.1658	8.876
12	0.0140	1.0007	93.79	50.40	2392	50.4	2523	0.1806	8.852
13	0.0150	1.0007	88.13	54.59	2393	54.59	2525	0.1953	8.828
14	0.0160	1.0007	82.85	58.80	2394	58.8	2527	0.2099	8.805
15	0.0170	1.0007	77.93	62.99	2396	62.99	2529	0.2245	8.781
16	0.0182	1.0013	73.34	67.17	2397	67.17	2531	0.239	8.758
17	0.0194	1.0013	69.05	71.36	2399	71.36	2533	0.2535	8.735
18	0.0206	1.0013	65.04	75.57	2400	75.57	2534	0.2679	8.712
19	0.0220	1.0013	61.30	79.76	2401	79.76	2536	0.2823	8.690
20	0.0234	1.002	57.79	83.94	2403	83.94	2538	0.2966	8.667
21	0.0249	1.002	54.52	88.13	2404	88.13	2540	0.3108	8.645
22	0.0264	1.002	51.45	92.32	2406	92.32	2542	0.3251	8.623
23	0.0281	1.0026	48.58	96.50	2407	96.5	2544	0.3392	8.601
24	0.0298	1.0026	45.89	100.7	2409	100.7	2545	0.3533	8.579
25	0.0317	1.0032	43.36	104.9	2410	104.9	2547	0.3673	8.558
26	0.0336	1.0032	41.00	109.0	2411	109.0	2549	0.3814	8.537
27	0.0357	1.0032	38.78	113.2	2412	113.2	2551	0.3953	8.515
28	0.0378	1.0038	36.69	117.4	2414	117.4	2553	0.4093	8.495
29	0.0401	1.0038	34.73	121.6	2415	121.6	2554	0.4231	8.474
30	0.0425	1.0045	32.90	125.8	2416	125.8	2556	0.4369	8.453
31	0.0450	1.0045	31.17	130.0	2418	130.0	2558	0.4507	8.433
32	0.0476	1.0051	29.54	134.1	2419	134.1	2560	0.4644	8.413
33	0.0503	1.0051	28.01	138.3	2421	138.3	2562	0.478	8.393
34	0.0532	1.0057	26.57	142.5	2422	142.5	2563	0.4917	8.373
35	0.0563	1.0057	25.22	146.7	2423	146.7	2565	0.5053	8.353
36	0.0595	1.0063	23.94	150.8	2425	150.8	2567	0.5188	8.333
38	0.0663	1.007	21.60	159.2	2427	159.2	2571	0.5457	8.295
40	0.0738	1.0076	19.52	167.5	2430	167.5	2574	0.5725	8.257
45	0.0959	1.010	15.26	188.4	2437	188.4	2583	0.6386	8.165
50	0.1235	1.012	12.03	209.3	2443	209.3	2592	0.7037	8.076
55	0.1576	1.015	9.569	230.2	2450	230.2	2601	0.7679	7.991
60	0.1994	1.017	7.671	251.1	2457	251.1	2610	0.8311	7.910
65	0.2503	1.020	6.197	272.0	2463	272.0	2618	0.8934	7.831
70	0.3119	1.023	5.042	293.0	2470	293.0	2627	0.9549	7.755
75	0.3858	1.026	4.131	313.9	2476	313.9	2635	1.016	7.682
80	0.4739	1.029	3.407	334.8	2482	334.9	2644	1.075	7.612

Lampiran IV

Tabel temperatur - uap jenuh (lanjutan)

SATURATED STEAM - TEMPERATURE TABLE (Continued)									
T °C	p bar	Spec. vol. m ³ /kg		Int. Ener. kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/(kg°K)	
		Sat. liq. v _f	Sat. vap. v _g	Sat. liq. u _f	Sat. vap. u _g	Sat. liq. h _f	Sat. vap. h _g	Sat. liq. s _f	Sat. vap. s _g
85	0.5783	1.033	2.828	355.8	2488	355.9	2652	1.134	7.544
90	0.7013	1.036	2.361	376.8	2494	376.9	2660	1.193	7.479
95	0.8455	1.039	1.982	397.9	2501	398.0	2668	1.250	7.416
100	1.013	1.044	1.673	418.9	2507	419.0	2676	1.307	7.355
110	1.433	1.052	1.21	461.1	2518	461.3	2691	1.418	7.239
120	1.985	1.060	0.892	503.5	2529	503.7	2706	1.528	7.130
130	2.701	1.069	0.669	546.0	2540	546.3	2720	1.634	7.027
140	3.613	1.080	0.509	588.7	2550	589.1	2734	1.739	6.930
150	4.758	1.091	0.393	631.7	2559	632.2	2746	1.842	6.838
160	6.178	1.102	0.307	674.9	2568	675.5	2758	1.943	6.750
170	7.916	1.114	0.243	718.3	2576	719.2	2769	2.042	6.666
180	10.02	1.127	0.194	762.1	2584	763.2	2778	2.140	6.586
190	12.54	1.141	0.157	806.2	2589	807.6	2786	2.236	6.508
200	15.54	1.156	0.127	850.6	2596	852.4	2793	2.331	6.432
210	19.06	1.172	0.104	895.5	2600	897.8	2798	2.425	6.358
220	23.18	1.190	0.086	940.8	2603	943.6	2802	2.518	6.286
230	27.95	1.209	0.072	986.7	2603	990.1	2804	2.610	6.215
240	33.44	1.229	0.06	1033	2603	1037.3	2804	2.702	6.144
250	39.73	1.251	0.05	1080	2603	1085.3	2802	2.793	6.073
260	46.88	1.275	0.042	1128	2600	1134.4	2797	2.884	6.002
270	54.98	1.302	0.036	1177	2592	1184.5	2790	2.975	5.930
280	64.11	1.332	0.03	1227	2587	1236.0	2780	3.067	5.857
290	74.36	1.365	0.026	1279	2573	1289.0	2766	3.159	5.782
300	85.81	1.403	0.022	1332	2560	1344.0	2749	3.253	5.704
320	112.7	1.499	0.015	1445	2531	1461.5	2700	3.448	5.536
340	145.9	1.638	0.011	1570	2462	1594.1	2622	3.659	5.336
360	186.5	1.893	0.007	1725	2351	1760.5	2481	3.915	5.053
374.14	220.9	3.155	0.003155	2030	2030	2099.3	2099	4.430	4.430

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Uap (*steam*) yang terjadi pada marcet boiler yaitu berawal dari pemanasan dimana dimulai dari awal masuk air yang bisa disebut sebagai temperatur awal, selanjutnya dipanaskan melalui proses aktif nya heater bekerja setelah percobaan awal boiler tersebut, setelah pemanasan terjadi air akan berubah menjadi gelembung – gelembung panas yang disebut uap panas yang mengalir naik ke atas tangki dan juga mengalir ke dinding tangki yang dilapisi bahan isolasi dalam boiler ini menggunakan rockwall yang berguna untuk meminimalkan kehilangan atau kerugian panas uap tersebut sehingga proses perpindahan panas yang diinginkan mulai terjadi hingga mencapai suhu maksimum yang juga bisa disebut sebagai temperatur akhir.

Uap (*steam*) dalam pembicaraan selanjutnya dimaksudkan uap air yaitu uap yang timbul akibat perubahan fase air (*cair*) menjadi uap dengan cara pendidihan (*boiling*). Untuk melakukan proses pendidihan diperlukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas , misalnya dari pembakaran bahan bakar (padat, cair, dan gas) tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir.

Penguapan bisa saja terjadi disembarang tempat dan waktu pada tekanan normal , bila diatas permukaan zat cair tekanan turun dibawah tekanan mutlak. Uap yang dihasilkan dengan cara demikian tidak mempunyai energi potensial, jadi tidak dapat digunakan sebagai sumber energi.

Sudah beribu-ribu tahun manusia bersahabat dengan uap air, yaitu semenjak manusia melakukan pekerjaan merebus (*boiling*), tetapi hanya baru dua abad ini mereka baru menemui bagaimana untuk mempergunakan uap bagi kepentingan mereka.

Para insinyur Yunani dan romawi telah mempunyai pengetahuan menarik tentang sifat-sifat uap dan air panas, tetapi tidak mencoba untuk memakai ilmunya tersebut. Hero dari Iskandar dengan Whirling aeolipyle mengembangkan prinsip turbin reaksi dan mesin jet sekarang dalam bentuk sederhana, tetapi pada waktu itu direncanakan hanya sebagai permainan.

Tahun 1606 Giovanni Battista Della Porta merencanakan dua buah laboratorium percobaan yang memperlihatkan tenaga uap dan sistem kondensasi.

Ketel sangat diperlukan di semua industri, baik industri kimia, tekstil maupun industri mekanik lainnya, serta merupakan alat utama pada pembangkit tenaga listrik (PLTU) juga merupakan kebutuhan di rumah-rumah sakit, perhotelan, dan dikalangan transportasi laut (pada kapal laut).

Dengan melihat kenyataan yang ada, bahwa pemilihan teknologi tepat guna, maka didalam penggunaan /pemakaian ketel, setiap pengoperasian dari alat tersebut harus melaksanakan ketentuan-ketentuan yang berlaku pada undang-undang dan peraturannya serta standar yang ada untuk keselamatan kerjanya.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang **Analisa Perpindahan Panas Pada Marcet Boiler Kapasitas Tekanan Uap 5 Bar.**

Dengan adanya analisa ini diharapkan agar para pembaca, khususnya orang-orang yang terlibat dalam perencanaan ketel dapat mengetahui besaran perpindahan panas yang dihasilkan pada ketel uap jenis tangki.

1.2.Perumusan Masalah

Melihat latar belakang permasalahan maka masalah yang dirumuskan yaitu :

- a. Bagaimana proses perpindahan panas yang terjadi pada marcet boiler.
- b. Berapa energi kalor perpindahan panas konveksi dan konduksi yang dihasilkan dalam proses pemanasan air dan perambatan panas di dinding tangki pada marcet boiler.
- c. Berapa energi kalor yang diterima oleh air.
- d. Berapa nilai efisiensi dan errornya berdasarkan perbandingan dengan tabel uap

1.3.Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan/pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan, adapun batasan masalah dalam penyelesaian Proposal Tugas Sarjana ini yaitu :

- a. Proses perpindahan panas dari suhu awal sampai suhu akhir sehingga menghasilkan kapasitas tekanan uap 5 bar.
- b. Analisa laju perpindahan panas konveksi dan konduksi pada dinding ketel marcet boiler.
- c. Analisa kalor yang diterima oleh air.
- d. Nilai efisiensi dan error dari perbandingan dengan tabel uap.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya analisa ini antara lain yaitu :

1. Mengetahui dan membuktikan laju perpindahan panas konveksi dan konduksi pada dinding ketel.
2. Menerapkan ilmu pengetahuan yang didapat dari perkuliahan baik secara teori maupun praktek.

1.5. Manfaat Penelitian.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu :

a. Bagi Peneliti

Menambah wawasan, pengetahuan dan pemahaman ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah khususnya mengenai studi perpindahan panas.

b. Bagi Perusahaan

Sebagai masukan yang bermanfaat dan tambahan informasi bagi perusahaan dalam meningkatkan proses produksi di dunia industri.

c. Bagi Universitas Medan Area

Sebagai tambahan literature kepustakaan di bangku perkuliahan khususnya mengenai studi perpindahan panas.

d. Bagi Peneliti Lain

Sebagai referensi yang dapat menjadi pertimbangan bagi peneliti lain yang ingin meneliti objek yang sejenis dan untuk mengembangkan penelitian di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Marcet Boiler.

Marcet boiler (ketel uap) yaitu merupakan suatu alat konversi energi dengan mengubah air menjadi energi panas. Ketel ini merupakan salah satu jenis dari pada ketel yang ditinjau dari sumber panas (*Heat Source*) untuk pembuatan uap dengan menggunakan elemen pemanas.

Fungsi dari ketel pada umumnya untuk mengubah air menjadi uap, dimana uap ini diperoleh dengan memberikan sejumlah kalor terhadap air yang merupakan bahan bakarnya dengan perkataan lain merupakan pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi listrik dari elemen pemanas menjadi energi panas (uap) yang selanjutnya dapat digunakan untuk kepentingan pada proses industri (dapat digunakan sebagai pembangkit listrik melalui turbin dan dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan pada suatu pabrik industri).

Ketel bertenaga listrik pada dasarnya terdiri dari suatu bejana bertekanan dimana didalamnya terdapat rangkaian elemen-elemen pemanas yang dialiri oleh arus listrik. Ketel bertenaga listrik ini merupakan pembangkit tenaga uap yang sangat sederhana sekali, dan terbatas hanya untuk tekanan uap yang relatif rendah.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan, berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan-temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan

menjalankan suatu mesin (commercial and industrial boilers), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (power boilers).



Gambar 2.1. Boiler Tangki (Marcet Boiler).

Cara kerja boiler type ini yaitu :

Proses pemanasan terjadi di dalam tangki yang dilengkapi dengan perendaman tekanan tinggi pemanas listrik yang disebut heater yang dihubungkan ke panel kontrol listrik kemudian dihubungkan ke listrik melalui panel, setelah pemanasan air yang didalam tangki akan berubah menjadi uap, uap tidak diperbolehkan untuk keluar maka akan menyebabkan peningkatan tekanan sehingga suhu meningkat.

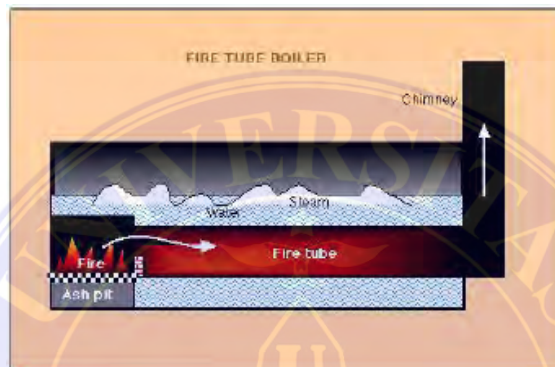
2.2. Klasifikasi Ketel

Ketel pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

Dalam hal ini ketel diklasifikasikan dalam kelas yaitu :

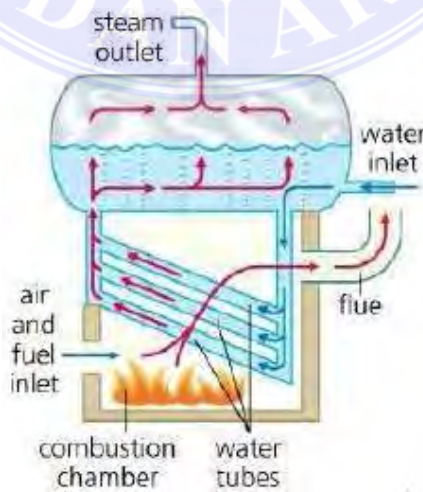
1. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai :

a. Ketel pipa api (*Fire tube boiler*), fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala yang membawa energi panas yang segera mentransfernya ke air ketel melalui bidang pemanas.



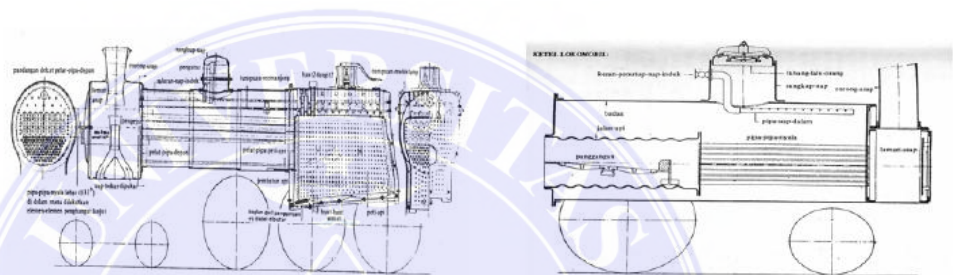
Gambar 2.2. Ketel Pipa Api (fire tube boiler).

b. Ketel pipa air (*Water tube boiler*), fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransferkan dari luar pipa ke air ketel.



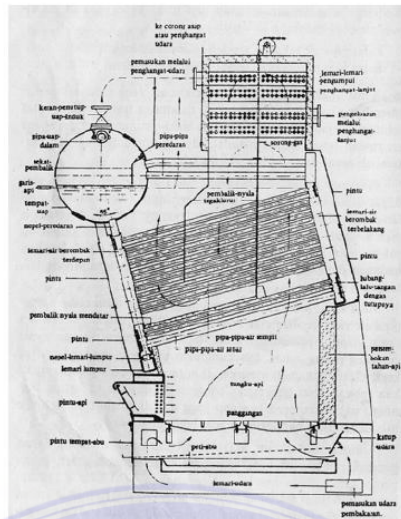
Gambar 2.3. Ketel Pipa Air (water tube boiler).

2. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai berikut :
 - a. Ketel Stasioner (*stationary boiler*) yaitu ketel-ketel yang didudukkan diatas pondasi yang tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga, industri dan lain-lain.
 - b. Ketel Mobil (*Mobile boiler*) yaitu ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah seperti boiler lokomotif dan loko mobil.



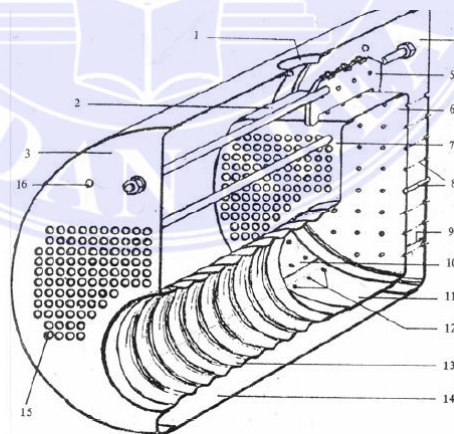
Gambar 2.4. Ketel Lokomotif dan Lokomobile.

3. Berdasarkan letak dapur (*Furnace position*), ketel uap diklasifikasikan sebagai berikut :
 - a. Ketel dengan pembakaran dalam (*internally fired steam boiler*), kebanyakan ketel pipa api memakai sistem ini.
 - b. Ketel dengan pembakaran luar (*outternally fired steam boiler*), kebanyakan ketel pipa air memakai system ini.
4. Menurut jumlah lorong (*boiler tube*), ketel diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*). Pada ketel ini hanya terdapat satu lorong saja, apakah itu lorong api atau saluran air saja contoh : *Cornish boiler dan simple vertical boiler*.
 - b. Ketel dengan lorong ganda (*multi tube steam boiler*). Misalnya ketel B dan W.



Gambar 2.5. Ketel B dan W

5. Tergantung pada poros tutup drum (*shell*), ketel diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel tegak (*vertical steam boiler*), seperti Ketel Cochran, Clarkson.
 - b. Ketel mendatar (*horizontal steam boiler*), seperti Ketel Cornish, Lancashire, Schott dan lain – lain.

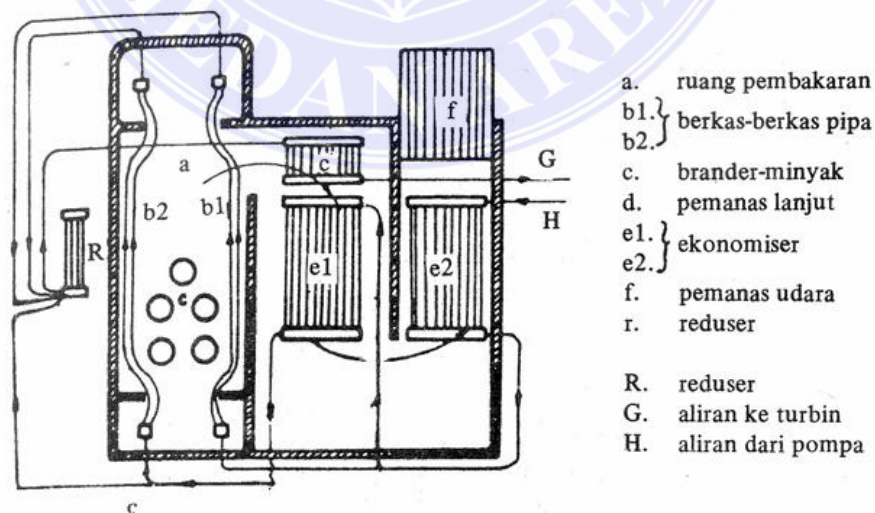


KETEL SCHOTT

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. lubang lala orang | 10. dinding lemari nyala |
| 2. plat puncak lemari nyala | 11. plat dasar lemari nyala |
| 3. fron muka | 12. baut-baut semat pada dinding sisi dan bawah |
| 4. fron belakang | 13. jalan api berombak |
| 5. tumpuan jembatan | 14. badan ketel |
| 6. dinding belakang lemari nyala | 15. pipa-pipa nyala api |
| 7. plat pipa lemari nyala | 16. tumpuan memanjang |
| 8. baut-baut semat | |
| 9. spasi air | |

Gambar 2.6. Ketel Schott

6. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap diklasifikasikan sebagai :
- Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekuk (*straight, bent and sinous tube heating surface*).
 - Ketel dengan pipa miring – datar dan miring – tegak (*horizontal, inclined or vertical tube heating surface*).
7. Menurut sistem peredaran air ketel (*water circulation*), ketel uap diklasifikasikan sebagai :
- Ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*), peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedangkan air yang berat turun, sehingga terjadi konveksi secara alami. Contoh : Ketel Lancarshire, Ketel B & W
 - Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*), aliran paksa diperoleh dari sejumlah pompa sentrifugal yang digerakkan dengan elektrik motor. Contoh : La-mont Boiler, Benson Boiler, Loeffler Boiler dan Vencal Boiler.



Gambar 2.7. Ketel Benson

8. Tergantung pada sumber panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap, ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai :

a. Ketel dengan bahan bakar alami

Contoh dari bahan bakar alami adalah bahan bakar kayu (*wood*), sekam padi (*rice husk*), serutan kayu (*sawdust*), batubara coklat (*lignite*), batubara bituminous (seperti aspal), batubara jenis antrasit (*antrasite coal*).

b. Ketel dengan bahan bakar buatan

Contoh dari bahan bakar buatan adalah bahan bakar arang kayu (*wood charcoal*), kokas (*coke*), briket (*briquette*), ampas (misalnya serabut kelapa sawit atau ampas tebu).

c. Ketel dengan dapur listrik

Ketel dengan dapur listrik yaitu ketel dengan menggunakan energi listrik dimana terdapat elemen pemanas sebagai pemanas air ketel.

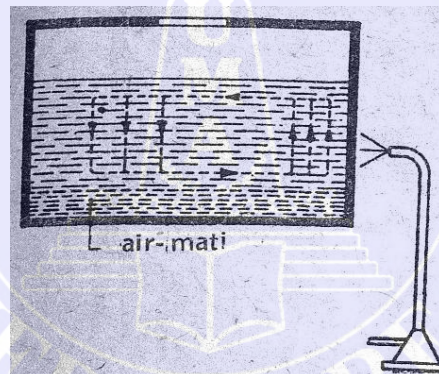
d. Ketel dengan air panas

Energi panas yang diperoleh dapat berupa energi panas matahari ataupun energi panas bumi.

2.3. Susunan Umum Ketel

Supaya konstruksi dari ketel dapat dipahami betul-betul, haruslah diketahui sifat-sifat dari uap dan peristiwa pembentukan pada uap, dalam bentuknya yang sederhana, dapat dimisalkan ketel uap sebagai tong logam yang sebahagian berisi dengan air. Air merupakan fluida yang sukar untuk merambat panas, sehingga dengan demikian perpindahan panas didalam air yang ada didalam ketel uap hampir berlangsung secara konveksi.

Bila didalam sebuah tempat terdapat air dingin didalamnya, yang kemudian dipanasi pada bagian bawahnya maka air akan menjadi panas. Air menjadi panas karena berat jenisnya menjadi berkurang, maka akan naik keatas. Dibekas tempatnya akan digantikan oleh air dingin dibagian atas, yang berat jenisnya lebih besar dibandingkan dengan air panas tersebut. Air yang tidak turut beredar dalam ketel dinamai air yang tidak bersirkulasi, jadi temperatur air ini tidak secepat air yang beredar naiknya. Ini dapat membahayakan bagi ketel karena dinding ketel juga tidak akan rata panas. Pemuaiian ketel tidak sama dan karena ini mungkin terjadi tekanan-tekanan yang besar dalam pelat-pelat ketel ataupun pada sambungan-sambungannya.



Gambar 2.8. Air yang tidak bersirkulasi

Gambar 2.8. memperlihatkan bagai mana pengaruh letak pemanas pada peredaran air. Ketika seluruh temperatur air $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, gelembung-gelembung uap yang dibentuk dalam seluruh zat cair, sampai pada permukaan dan lepas dari zat cair, karena tong ini terbuka, uap yang terbentuk lepas keluar melalui bahagian yang terbuka. Dikatakan sekarang air mendidih. Jadi mendidih adalah suatu peristiwa dimana pembentukan uap terjadi didalam seluruh massa zat-cair.

Titik didih dari suatu zat cair tergantung kepada tekanan yang dilakukan pada permukaan zat cair. Pada tong yang terbuka, tekanan udara luar yang dilakukan pada permukaan air, besarnya 1 atmosfer (1,0332 kg / cm²) pada tekanan ini air mendidih pada 100 °C, kalau tekanan lebih besar dari 1 atm umpamanya 5 kg / cm², air akan mendidih pada temperatur 151,1 °C. Bila tekanan rendah dari 1 atm , umpamanya 0,12575 kg / cm² air mendidih pada temperatur 50 °C. Kalau pada gambar 2.5 diteruskan pemanasan sesudah air sesampai kepada titik didihnya akan terjadi bahwa temperatur air tidak akan lebih 100 °C. Untuk mengubah 1 kg air dari 100 °C air menjadi 100 °C uap perlu 537 kilo kalori dinamai panas laten.

2.4. Komponen – Komponen Marcet Boiler.

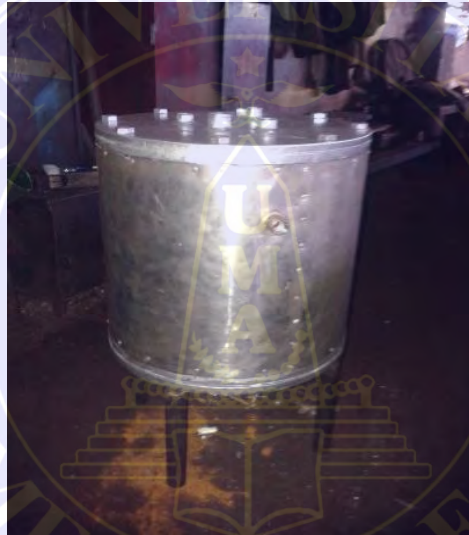
Spesifikasi Marcet Boiler.

- Jenis ketel : Ketel tangki
- Tangki : kapasitas air 29 liter
- Pressure gauge : kapasitas tekanan max 10 bar.
- Safety valve : kapasitas tekanan ijin max 10 kg/cm².
- Termometer kaca (manometer) : kapasitas suhu max 200 °C.
- Heater : kapasitas 1000 watt
- Katup pembuangan : kran air
- Tekanan kerja ketel : 5 bar
- Temperatur kerja : 150 °C.

Tangki ketel uap.

- Bahan : Pelat besi dan Pelat aluminium
- Tinggi : 44 cm
- Diameter luar : 42,5 cm
- Diameter dalam : 30,4 cm
- Bahan isolasi : rockwool(busa uretana)

2.4.1. Tangki (drum).



Gambar 2.9. Tangki (drum)

Komponen ini merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan steam, tangki atau drum sering disebut juga badan ketel uap yaitu tempat beroperasinya ketel uap di dalamnya terdapat instrumen – instrument yang menjalankan proses pemindah panas seperti heater, dalam badan ketel inilah sejumlah air ditampung untuk dipanaskan.

2.4.2. Heater (pemanas).



Gambar 2.10. Heater (pemanas)

Komponen ini berfungsi sebagai alat pemanas yang terletak didalam tangki untuk memanaskan air yang dididihkan agar menjadi uap (steam).

2.4.3. Safety valve (katup pengaman).



Gambar 2.11. Safety Valve (katup pengaman)

Komponen ini berfungsi untuk menjaga tekanan kerja ketel uap agar tidak melebihi tekanan maksimum, katup pengaman ini akan bekerja dengan sendirinya apabila terjadi kelebihan tekanan kerja yaitu uap akan dikeluarkan sehingga ketel bekerja sesuai dengan tekanan yang diinginkan, namun apabila melebihi tekanan maksimal dan katup ini tidak berfungsi maka akan menyebabkan peledakan.

2.4.4. Pressure Gauge (alat ukur tekanan uap)



Gambar 2.12. Pressure Gauge (alat ukur tekanan uap).

Komponen ini digunakan sebagai alat untuk menunjukkan tekanan uap pada ketel uap, pemasangan pressure gauge ini ditujukan agar besar kecilnya tekanan didalam ketel uap dapat diketahui sehingga memudahkan untuk mengontrolnya, penempatan pressure gauge terletak pada bagian dimana uap hampir tidak mengalir.

2.4.5. Manometer (alat ukur suhu).



Gambar 2.13. Manometer (alat ukur suhu)

Komponen ini digunakan sebagai alat untuk menunjukkan tekanan suhu pada ketel uap, pemasangan thermometer ini ditujukan agar besar kecilnya tekanan suhu didalam ketel uap dapat diketahui sehingga memudahkan untuk mengontrolnya.

2.4.6. Katup Buang (kran air).



Gambar 2.14. Katup Buang (kran air)

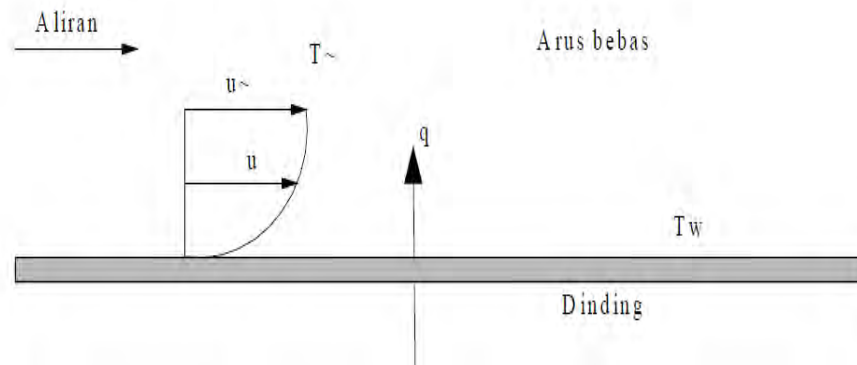
Komponen ini berfungsi untuk membuang segala kotoran-kotoran yang mengendap didalam tangki, endapan ini apabila tidak dibersihkan atau dibuang maka akan menyebabkan aliran buntu dan akhirnya akan membahayakan boiler tersebut, katup ini juga berfungsi untuk membuang sebagian air dari dalam ketel karena permukaan terlalu tinggi, permukaan air yang terlalu tinggi menyebabkan uap yang dihasilkan terlalu banyak mengandung air.

2.5. Perpindahan Panas Dalam Instalasi Uap

Didalam ketel terdapat perpindahan kalor dari sumber panas terhadap bidang pemanas, dari bidang pemanas dihantarkan lagi ke air secara konveksi. Pindahan kalor secara konduksi dari sebahagian panas diabaikan.

2.5.1. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Sebuah pelat logam panas akan cepat menjadi dingin apabila ditempatkan didepan sebuah kipas angin dibandingkan jika hanya dibiarkan di udara diam. Kita sebut bahwa kalor di konveksi keluar dan kita sebut prosesnya *perpindahan kalor konveksi*. Misalkan sebuah pelat dipanaskan seperti gambar 2.15. Suhu pelat adalah T_w dan suhu fluida T_∞ , kecepatan aliran terlihat pada gambar. Kecepatan aliran berkurang sampai nol pada pelat karena efek gaya viskos. Karena kecepatan lapisan fluida pada dinding nol, kalor hanya ditransfer dengan cara konduksi pada titik ini. Karena itu kita bisa menggunakan persamaan (2.1) dengan konduktivitas termal fluida dan gradien temperature fluida pada dinding. Namun kita tetap menyebutnya konveksi karena gradient temperatur bergantung atas laju fluida dalam mengambil kalor.



Gambar 2.15. Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat.

Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 11).*

Efek keseluruhan konveksi, dirumuskan dengan Hukum Newton tentang pendinginan:

$$q = hA (T_w - T_{\infty}) \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan :

- Q = Laju Perpindahan Panas (kj/det atau W)
- h = Koefisien perpindahan Panas Konveksi (W / m².⁰C)
- A = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas (ft² , m²)
- T_w = Temperature Dinding (⁰C , K)
- T_{∞} = Temperature Sekeliling (⁰C , K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodynamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+).

Pada persamaan ini, laju perpindahan kalor dikaitkan dengan perbedaan temperatur menyeluruh antara dinding dan fluida dan luas permukaan. Besaran h disebut *koefisien perpindahan kalor konveksi*. Untuk kondisi kompleks, harga h ditentukan secara eksperimen. Koefisien perpindahan kalor kadang-kadang disebut juga *konduktansi film*.

Satuan h adalah watt per meter kwadrat per derajat Celsius, jika aliran kalor dalam watt. Dari pembahasan diatas, dapatlah diharapkan bahwa perpindahan kalor konveksi bergantung pada viskositas fluida.

Jika suatu plat panas dibiarkan berada diudara sekitar tanpa ada sumber gesekan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas didekat plat itu. Peristiwa ini dinamakan *Konveksi alamiah* untuk membedakannya dengan *konveksi paksa* yang terjadi apabila udara itu dehembuskan diatas plat itu dengan kipas.

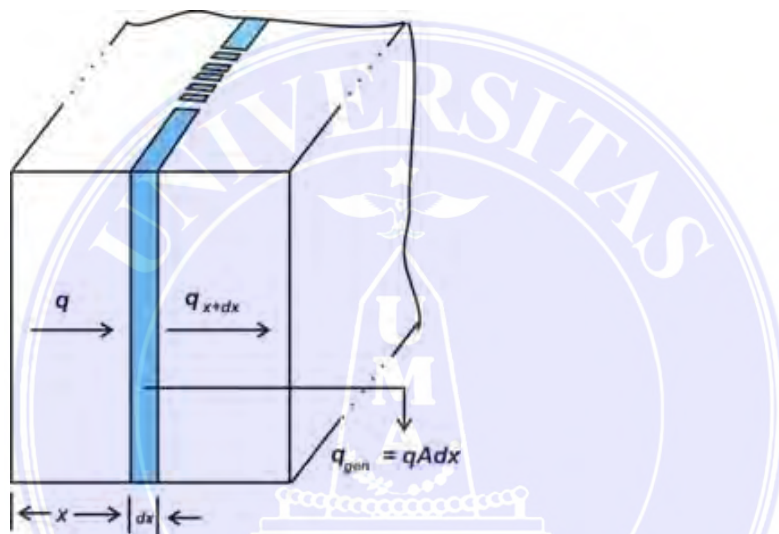
Daftar Tabel 2.1. Nilai Kira-Kira Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi

Modus	h	
	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	$Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
Konveksi bebas, $\Delta T = 30^\circ C$		
Plat vertical, tinggi 0.3 m (1ft), di udara	4,5	0,79
Silinder horizontal, diameter 5 cm di udara	6,5	1,14
Silinder horizontal, diameter 2 cm, dalam air	890	157
Konveksi paksa		
Aliran udara 2 m/s di atas plat bujur sangkar 0,2 m	12	2,1
Aliran udara 35 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	75	13,2
Udara 2 atm mengalir di dalam tabung diameter 2,5 cm, kecepatan 10 m/s	65	11,4
Air 0,5 kg/s mengalir di dalam tabung 2,5 cm	3500	616
Aliran udara melintas silinder diameter 5 cm, kecepatan 50 m/s	180	32
Air mendidih		
Dalam kolam atau bejana	2500 – 35.000	440 - 6200
Mengalir dalam pipa	5000 – 100.000	880 – 17.600
Pengembunan uap air, 1 atm		
Muka vertikal	4000 – 11.300	700 - 2000
Di luar tabung horizontal	9500 – 25.000	1700 - 4400

Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 12).*

2.5.2. Perpindahan Kalor secara Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), maka menurut pengalamanan akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakana bahwa energy berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal.



Gambar 2.16. volume unsur untuk analisis konduksi kalor satu dimensi.
 Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 3).*

Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal :

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas (*proportionality constant*) atau tetapan sebanding, maka :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(2.3)$$

keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kj / det,W)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

A = Luas Penampang (m²)

dT = Perbedaan Temperatur (°C, °F)

dX = Perbedaan Jarak (m / det)

dT/dx = gradient temperatur kearah perpindahan kalor. konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur.

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 2).

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier.

Dalam penerapan Hukum Fourier (persamaan 2.2) pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan :

$$q = - \frac{kA}{\Delta x} \cdot (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 26).

Bilamana konduktivitas termal (thermal conductivity) dianggap tetap. Tebal dinding adalah Δx , sedangkan T_1 dan T_2 adalah temperatur muka dinding. Jika konduktivitas berubah menurut hubungan linear dengan temperatur, seperti $k = k_0 (1 + \beta T)$, maka persamaan aliran kalor menjadi:

$$q = - \frac{k_0 A}{\Delta x} [(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2)] \dots \dots \dots (2.5)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 26).

2.5.3. Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.2) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

Daftar Tabel 2.2. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C

Konduktivitas termal		
	<i>k</i>	
Bahan	W/m °C	Btu/h . ft. °F
<i>logam</i>		
perak (murni)	410	237
tembaga (murni)	385	223
aluminium (murni)	202	117
nikel (murni)	93	54
besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
baja karbon-nikel (18% cr, 8% ni)	16,3	9,4
<i>bukan logam</i>		
kuarsa (sejajar sumbu)	41,6	24
magnesit	4,15	2,4
marmar	2,08-2,94	1,2-1,7
batu pasir	1,83	1,06
Kaca, jendela	0,78	0,45
Kayu maple atau ek	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022
<i>Zat cair</i>		
Air-raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312
Minyak lumas, SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, 22FCCI	0,073	0,042

Gas		
Hidrogen	0,175	0,101
Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon dioksida	0,0146	0,00844

Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 7).*

2.5.4. Isolasi dan Nilai R.

Pembahasan diatas telah kita lihat konduktivitas termal berbagai bahan isolasi yang didaftarkan dalam Lampiran A dalam mengelompokkan kemampuan bahan isolasi, dalam industri bangunan ada kebiasaan menggunakan nilai R, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$R = \frac{\Delta T}{q/A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Satuan R adalah $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ atau $^{\circ}\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}/\text{Btu}$, harap dicatat bahwa dalam hal ini digunakan aliran kalor per satuan luas.

Dengan demikian ada baiknya kalau bahan – bahan isolasi itu kita kelompokkan menurut penerapan dan jangkauan suhu penggunaannya. Informasi demikian diberikan pada daftar tabel 2-3, yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam memilih penyekat (isolasi).

Daftar Tabel 2.3. Jenis – Jenis Bahan Isolasi dan penerapannya.

Jenis	Jangkauan Suhu $^{\circ}\text{C}$	Konduktivitas Termal $\text{m}/\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$	Densitas Kg/m^3	Penerapan
1. Superisolasi Linde hampa	-240 – 1100	0,0015 – 0,72	Berbagai	Banyak
2. Busa Uretana	-180 – 150	16 – 20	25 – 48	Pipa panas dan dingin
3. Busa Uretana	-170 – 110	16 – 20	32	Tangki
4. Blok kaca sel	-200 – 200	29 – 108	110 – 150	Tangki dan pipa
5. Selubung kaca-serat sebagai pembungkus	-28 – 290	22 – 78	10 – 50	Pipa dan sambungan pipa
6. Selubung kaca – serat	-170 – 230	25 – 86	10 – 50	Tangki dan alat – alat

7. Kaca – serat pracetak	-50 – 230	32 – 55	10 – 50	Pipa
8. Lembaran elastomer	40 – 100	36 – 39	70 – 100	Tangki
9. Anyaman kaca – serat	60 – 370	30 – 55	10 – 50	Pipa dan sambungan pipa
10. Elastomer pracetak bentukan	-40 – 100	36 – 39	70 – 100	Pipa dan sambungan pipa
11. Kaca – serat dengan selubung uap	-5 – 70	29 – 45	10 – 32	Pipa – pipa alat pendingin
12. Kaca – serat tanpa selubung uap	Sampai 250	29 – 45	24 – 48	Pipa panas
13. Papan kaca – serat	20 – 450	33 – 52	25 – 100	Ketel uap, tangki, penukar kalor.
14. Papan dan blok kaca sel	20 – 500	29 – 108	110 – 150	Pipa panas
15. Papan dan blok busa uretana	100 – 150	16 – 20	24 – 65	Pipa
16. Bentukun pracetak serat mineral	Sampai 650	35 – 91	125 – 100	Pipa panas
17. Selubung serat mineral	Sampai 750	37 – 81	125	Pipa panas
18. Blok wol mineral	450 – 1000	52 – 130	175 – 290	Pipa panas
19. Papan dan blok kalsium silikat	230 – 1000	32 – 85	100 – 106	Pipa panas, ketel uap, pelapis cerobong
20. Blok serat mineral	Sampai 1100	52 - 130	210	Ketel uap, tangki

Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 29).*

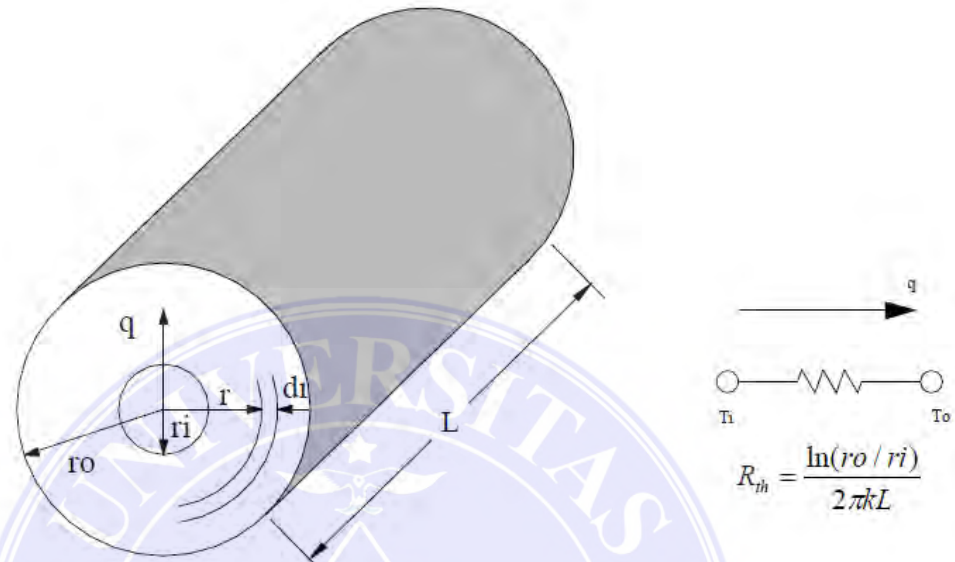
2.5.5. Bidang Silinder

Perhatikan suatu silinder panjang dengan jari-jari dalam r_i , jari-jari luar r_o , dan panjang L , seperti pada gambar 2.17. Silinder mengalami beda suhu $T_i - T_o$. Untuk silinder yang panjangnya sangat besar dibandingkan dengan diameternya, dapat diandaikan bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang diperlukan untuk menentukan sistem ini adalah r . Hukum Fourier digunakan lagi dengan menyisipkan rumus luas yang sesuai. Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder adalah

$$A_r = 2\pi rL \dots \dots \dots (2.7)$$

sehingga hukum Fourier menjadi

$$q_r = -KA_r \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.17. aliran kalor satu dimensi melalui silinder bolong dan analogi listriknya.

Dikutip dari ; *Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 30).*

$$\text{Atau } q_r = -2\pi kL \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan kondisi batas

$$T = T_i \text{ pada } r = r_i$$

$$T = T_o \text{ pada } r = r_o$$

Penyelesaian persamaan 2.9 adalah

$$q_r = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(r_o - r_i)} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

q = laju perpindahan kalor (W)

k = konduktivitas termal benda (W/m. $^{\circ}$ C)

L = panjang benda (m)

$(T_1 - T_0)$ = beda temperature didalam silinder dengan luar silinder ($^{\circ}\text{C}$).

r_0 = jari – jari luar silinder (m)

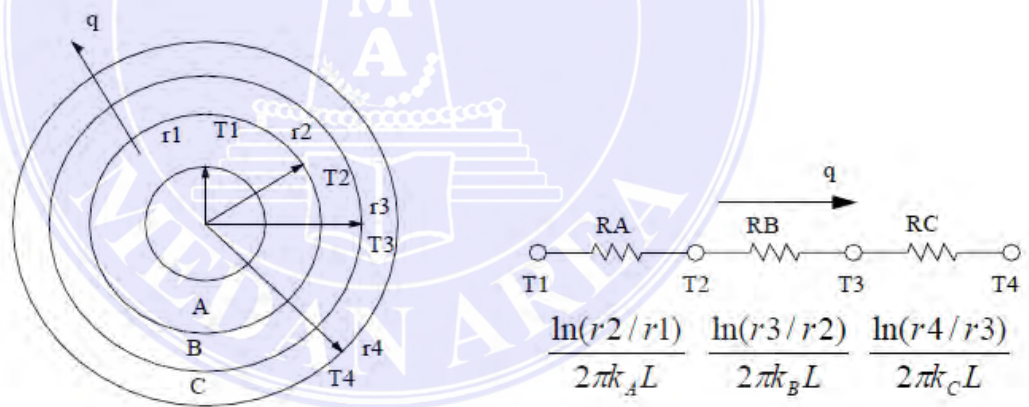
r_1 = jari – jari dalam silinder (m)

Konsep tahanan termal dapat juga digunakan untuk dinding lapis rangkap berbentuk silinder, seperti halnya dinding datar. Untuk sistem tiga lapis seperti pada gambar 2.18 penyelesaiannya adalah :

$$q = \frac{2\pi L (T_1 - T_4)}{\ln(r_2/r_1)/k_A + \ln(r_3/r_2)/k_B + \ln(r_4/r_3)/k_C} \dots\dots\dots(2.11)$$

Sistem berbentuk bola dapat ditangani sebagai suatu dimensi apabila suhu berfungsi sebagai jari – jari saja aliran kalornya menjadi :

$$q = \frac{4\pi k (T_i - T_o)}{1/r_i - 1/r_o} \dots\dots\dots(2.12)$$



Gambar 2.18. aliran kalor satu dimensi melalui penampang silinder dan analogi listriknya.

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 30).

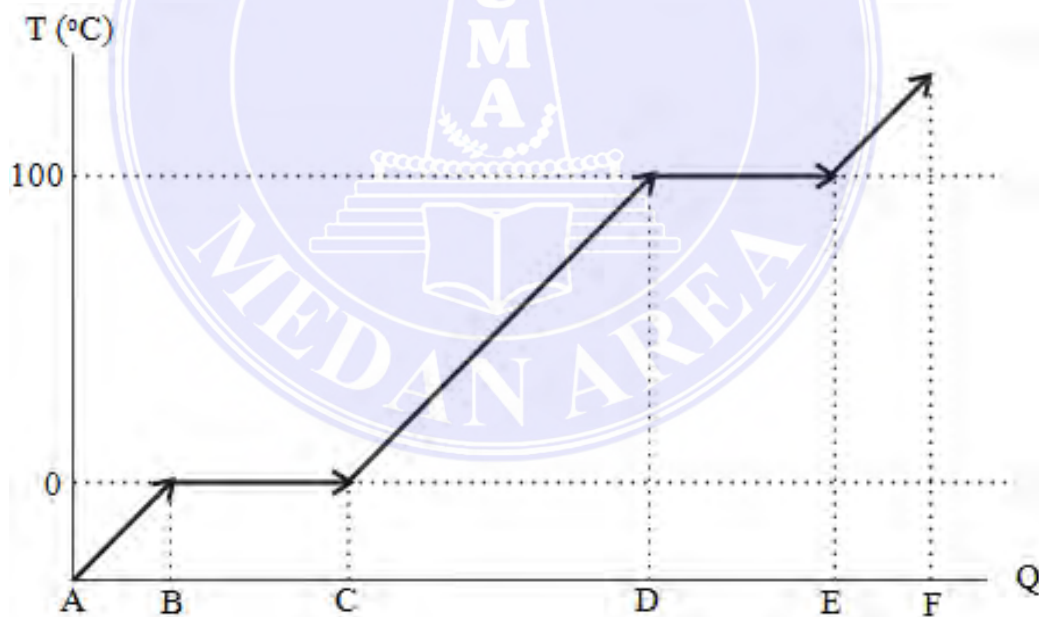
2.6. Proses Pembentukan Uap

Untuk energi panas menjadi energi mekanis diperlukan suatu media kerja, dalam hal ini media kerja yang digunakan adalah uap, uap dalam ketel yang dimaksud adalah uap air yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air menjadi uap melalui proses pemanasan.

Keuntungan penggunaan uap sebagai media kerja adalah :

1. Mempunyai kemampuan untuk menerima kalor dalam jumlah yang besar.
2. Dapat bekerja pada tekanan tinggi.
3. Cepat menghantarkan panas.

Proses pembentukan uap dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.19. Grafik proses pembentukan uap.

AB = Tambahan kalor menaikkan suhu es sampai 0°C

BC = Tambahan kalor mencairkan es menjadi air

CD = Tambahan kalor menaikkan suhu air dari 0°C sampai 100°C di bawah pemanasan hingga (100°C di bawah tekanan $1\text{ atm} = 1,003\text{ kg/cm}$) dimana proses ini terjadi pada sensible heat.

DE = Tambahan kalor menguapkan air, panas yang diberikan merubah fase dari 100°C air menjadi 100°C uap jenuh (pada later heat).

EF = Tambahan kalor menaikkan suhu uap, panas yang diberikan menaikkan suhu 100°C uap jenuh menjadi uap kering (pemanas uap lanjut) pada proses sensible heat.

Pada tekanan 1 atm dan 100°C air akan berubah menjadi uap dan apabila dipanaskan terus-menerus maka seluruhnya akan berubah menjadi uap, pada pemanasan air dari temperature 0°C menjadi 100°C dibutuhkan kalor (Q), maka kalor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_1 = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_1 \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

m_a = massa air (kg/satuan waktu)

C_p = panas spesifik air (kkal/kg)

$$\Delta t_1 = (100^{\circ}\text{C} - t_1)$$

Bila pemanasan terus dilanjutkan, maka volume uap bertambah sampai seluruh air berubah menjadi uap dan temperature air tidak naik, maka tekanannya juga tetap, kalor yang dibutuhkan untuk perubahan fase ini adalah :

$$Q_2 = m_v \cdot Q_1 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

m_v = massa uap (kg)

Q_1 = panas laten (penguapan) (kkal/kg⁰C)

Selanjutnya bila uap air terus dipanaskan maka temperature uap akan naik dan kenaikan temperaturnya sebanding dengan kalor yang diterima yaitu :

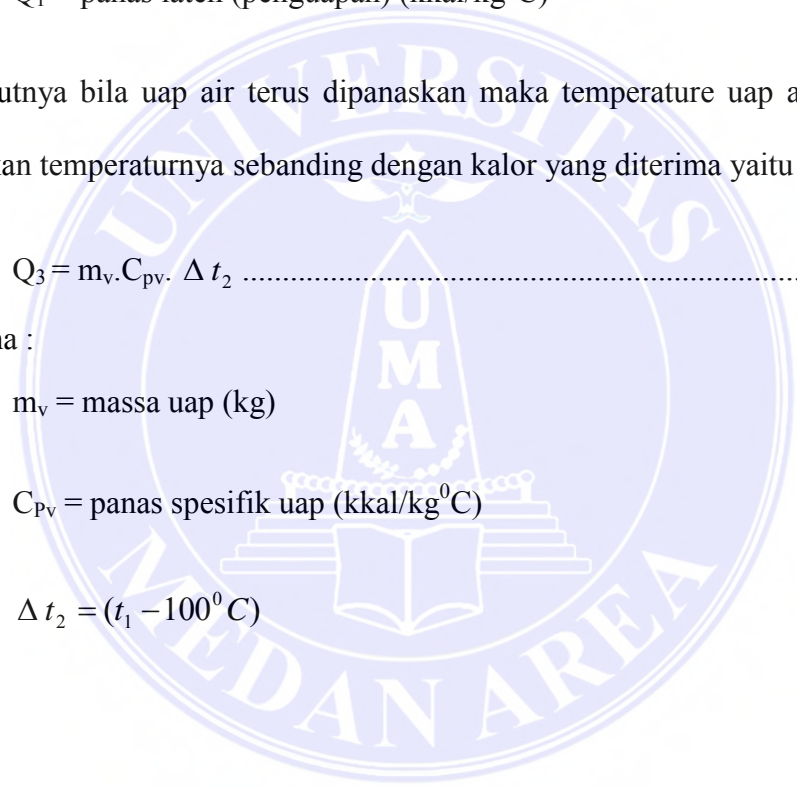
$$Q_3 = m_v \cdot C_{pv} \cdot \Delta t_2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

m_v = massa uap (kg)

C_{pv} = panas spesifik uap (kkal/kg⁰C)

$\Delta t_2 = (t_1 - 100^0 C)$

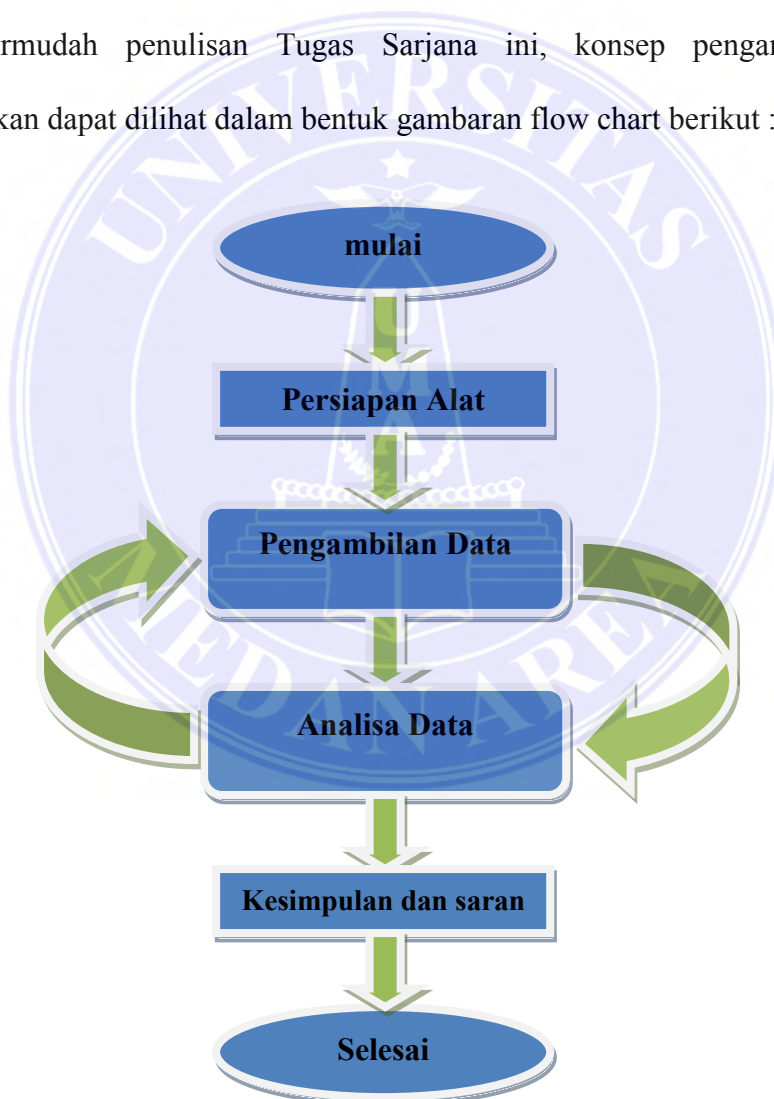


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.1. Konsep Penganalisaan

Didalam menganalisa perpindahan panas terhadap ketel uap jenis tangki (marcet boiler) penelitian ini dilakukan di Laboratorium Prestasi Mesin Universitas Medan Area, penulis membuat suatu konsep penganalisaan untuk mempermudah penulisan Tugas Sarjana ini, konsep penganalisaan yang digunakan dapat dilihat dalam bentuk gambaran flow chart berikut :



Gambar 3.1. Flow chart metodologi penelitian.

1.2. Start Penelitian

Pada awal penulisan terlebih dahulu penulis mencari judul yang tepat untuk penulisan penelitian ini yaitu melalui dari beberapa sumber seperti dosen pembimbing, studi literatur dan survey lapangan. Penulis langsung menentukan latar belakang dari judul yang diperoleh.

1.3. Persiapan Alat

Persiapan alat dilakukan untuk mendukung proses pengerjaan proposal awal tugas akhir dan juga untuk mendapatkan keakurasian data serta aplikasi dari teori. Penulis mempersiapkan alat – alat yang dibutuhkan guna melengkapi pengujian dalam penelitian.

1.4. Pengumpulan Data

Dalam bagian ini penulis mengumpulkan data dari lapangan untuk jadi bahan analisa di bab berikutnya.

1.5. Analisa Data

Dalam hal ini penulis hanya menganalisa tentang perpindahan panas di marcet boiler dengan kapasitas tekanan uap 5 bar. Data yang dipakai dalam tugas akhir ini merupakan data sekunder dari lapangan.

1.6. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari analisa tugas akhir ini adalah kesimpulan dari perpindahan panas yang terjadi di marcet boiler, dan saran dari penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.

1.7. Schedule Penelitian.

Daftar Tabel 3.1. Schedule Penelitian Tugas Akhir

Jadwal	April				Mei				Juni				Agustus			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Pengambilan Judul																
Seminar Proposal																
Persiapan Alat																
Pengambilan Data																
Analisa Data																
Seminar Hasil																
Sidang Sarjana																

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Dari hasil uji percobaan dan perhitungan analisa perpindahan panas yang telah dilakukan dalam sebuah perancangan sebuah ketel uap dengan kapasitas tekanan uap 5 bar, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada analisa perpindahan panas konveksi marcet boiler dengan percobaan daya pemanas heater 1000 watt pada tekanan 5 kg/cm² menghasilkan 348 watt, sedangkan pada percobaan daya pemanas heater 2000 watt menghasilkan 341 watt, jadi dalam hal ini nilai Q konveksi terjadi perbedaan tidak terlalu jauh hanya sekitar 1-10 watt.
2. Pada analisa perpindahan panas konduksi marcet boiler dengan percobaan daya pemanas heater 1000 watt pada tekanan 5 kg/cm² menghasilkan 1625 watt, sedangkan pada percobaan daya pemanas heater 2000 watt menghasilkan 1437,5 watt, jadi dalam hal ini nilai Q konduksi terjadi perbedaan cukup jauh sekitar 1-200 watt.
3. Efisiensi percobaan pertama dengan daya pemanas 1000 watt.
effisiensinya 98,81 % dan errornya 1,19 %

Efisiensi percobaan kedua dengan daya pemanas 2000 watt.
effisiensinya 98,15 % dan errornya 1,85 %

dalam hal ini efisiensi dari marcet boiler cukup tinggi jika dirata – ratakan dari dua uji coba tersebut, errornya tidak mencapai 5 % jika dibandingkan dengan tabel uap sehingga ketel uap aman untuk digunakan.

4. Pada kedua uji coba yang sudah dilakukan di dapatlah pembuktian bahwa tekanan akan terus naik sebanding dengan temperatur yang terus naik juga.
5. Dalam uji coba marcet boiler, uap yang dihasilkan dari percobaan pada temperatur 150°C adalah uap basah.
6. Dengan menggunakan daya pemanas heater yang berbeda yaitu 1000 watt dan 2000 watt terjadi perbedaan di waktu saja dimana yang 1000 watt memakan waktu yang lebih lama dan membutuhkan kalor yang lebih besar.

5.2. Saran.

1. Untuk mendukung kelancaran dan akurasi hasil pengujian sebaiknya dilakukan pemeriksaan serta perawatan pada komponen dan alat ukur setiap kali pengujian dilakukan agar ketel uap dapat bekerja sesuai yang diinginkan dan masa pemakaiannya bisa lebih lama.
2. Sebaiknya pada marcet boiler tersebut diberikan atau di pasang gelas pengukur air agar kita mengetahui kondisi dari air yang berada didalam.
3. Pada marcet boiler kalo bisa coba gunakan pemanas dari sumber lain karena dengan menggunakan heater memakan waktu yang cukup lama.

DAFTAR PUSTAKA

Holman, J.P. (1988). Perpindahan Kalor, Edisi ke-6. Jakarta. Penerbit: Erlangga

<http://www.scribd.com/doc/28323850/Pengetahuan-Umum-Boiler> (diakses 21 april 2014)

<http://www.scribd.com/doc/51634867/Marcet-Boiler-Lab-Report> (diakses 25 april 2014)

<http://www.scribd.com/doc/93324504/Marcet-Boiler> (diakses 25 april 2014)

Djokosetyardjo, M.J, Ir. (1990). Ketel Uap, Jakarta. Penerbit: PT. Pradnya Paramita

<http://www.scribd.com/doc/121030222615/bab1-perpindahanpanas.pdf> (diakses 15 mei 2014)

<http://www.scribd.com/doc/131009114337/bab2-perpindahanpanas> (diakses 22 mei 2014)

Syamsir A. Muin, Ir. (1988). Pesawat – Pesawat Konversi Energi 1, (Ketel Uap), Jakarta. Penerbit: Rajawali Pers

Klara, Syerly, MT, Ir. (2008). Modul Klasifikasi dan Mekanisme Perpindahan Panas. Makasar: Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar (<http://www.unhas-makassar.ac.id>), (diakses 17 juni 2014)