

3100097009817

TUGAS AKHIR (NE 1701)

ANALISA PENGARUH GERAKAN ROLLING TERHADAP PERPINDAHAN PANAS DALAM TANGKI KAPAL TANKER 17.500 DWT



RSke
623.8245
Wah
a-1
1997

DISUSUN OLEH :

AGUS WAHYUDI

4290.100.026

TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1997

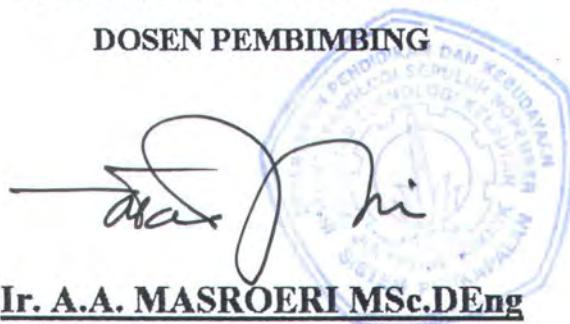
**ANALISA PENGARUH GERAKAN ROLLING
TERHADAP PERPINDAHAN PANAS
DALAM TANGKI KAPAL TANKER**

17.500 DWT

**TUGAS AKHIR
(NE 1701)**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan
Studi Strata Satu dan memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Sistem Perkapalan**

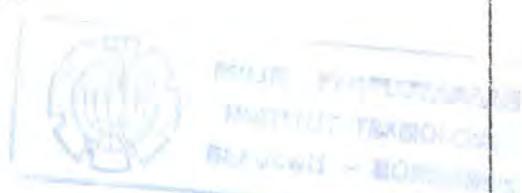
**MENGETAHUI / MENYETUJUI
DOSEN PEMBIMBING**



Ir. A.A. MASROERI MSc.DEng

NIP : 131 407 591

**TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A
1996**





**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL**

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274
Pew. 262, 5948757, Fax. 5947254

TUGAS AKHIR (NE. 1701)

Nama : Agus Wahyudi.
Nomor Pokok : 4904200268
Tanggal diberikan tugas : 20 PEbruari 1996
Tanggal selesai tugas : 30 JULI 1996

JUDUL KARYA TULIS :

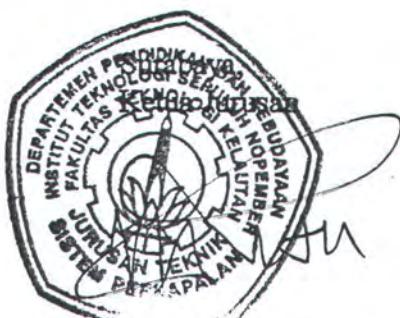
ANALISA PENGARUH GERAKAN ROLLING TERHADAP PERPINDAHAN PANAS DALAM TANGKI KAPAL TANGKER

Dosen Pembimbing,

Ir. Aguk Zuhdi, M.Eng
NIP : 130 646 637

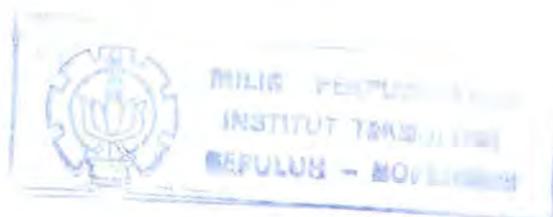
Mahasiswa

Agus Wahyudi.
NRP: 4904200268



Ir. Moch. Orianto, BSE, MSc
NIP : 130 786 955

1 copy untuk : Arsip Jurusan
1 copy untuk : Arsip Dosen Pembimbing
1 copy untuk : Arsip Mahasiswa Ybs



JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A

LEMBAR EVALUASI PRESENTASI KE DUA TUGAS AKHIR
(TN 1701)

Setelah membaca, mempelajari dan menimbang presentasi ke dua tugas akhir yang dilaksanakan oleh

Nama : Agus Wahyudi
Nrp : 4904200268
Judul :
Tanggal SK TA :
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Agus Wahyudi MSc
2.

maka tim dosen menilai bahwa pekerjaan tugas akhir tersebut sampai dengan hari ini mencapai 80 % dari keseluruhan tugas dan memutuskan mahasiswa tersebut diatas (Lingkari salah satu pilihan dibawah ini)

- ① Dapat melanjutkan dan mengikuti presentasi ke tiga
2. Dapat melanjutkan namun belum dapat mengikuti presentasi ke tiga serta memperpanjang waktu penggeraan selama bulan
3. Tidak dapat mengikuti presentasi ke tiga serta mengganti judul baru

CATATAN :

Surabaya,

Menyetujui tim dosen penilai

N a m a

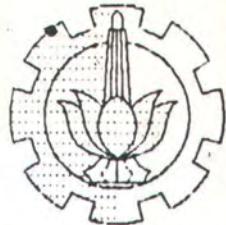
1. Herajaya (ketua)
2. (Dosen Pembimbing)
3. Agus Wahyudi (anggota)
4. (anggota)
5. Tony Ramdang (anggota)
6. (anggota)
7. Laher B (anggota)

Tanda Tangan

1. Amj
2.
3. Jas
4.
5. P
6. Rea
7. Rea

Tanda tangan Mahasiswa





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274
Pew. 262, 5948757, Fax. 5947254

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NE. 1701)

Judul karya tulis :

- ANALISA PENGARUH GERAKAN ROLLING TERHADAP PERPINDAHAN PANAS DALAM TANGKI KAPAL TANKER.

Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.Eng

Nama : Agus Wahyudi

Nomor Pokok : 4904200268

Tanggal diberikan tugas :

Tanggal selesai tugas :

| No | TGL | KEMAJUAN | T.T DOSEN | No | TGL | KEMAJUAN | T.T DOSEN |
|----|---------|---|-----------|----|----------|-------------------------|-----------|
| 1 | 11/5/96 | - Penyelesaian kerangka kerja & pengerjaan awal | Zuhdi | 10 | 7/8/96 | revisi kesimpulan | Zuhdi |
| 2 | 10/6/96 | - Luluskan proposal penyelesaian kerangka kerja | Zuhdi | 11 | 18/6/96 | Penyusunan Bab I | Zuhdi |
| 3 | 17/6/96 | - Melaksanakan penyusunan Bab I | Zuhdi | 12 | 26/6/96 | Penyusunan Bab II | Zuhdi |
| 4 | 1/7/96 | - Penyelesaian Bab I dan Bab II | Zuhdi | 13 | 5/7/96 | Bab III & IV | Zuhdi |
| 5 | 18/7/96 | - Cari koefisien design evap. | Zuhdi | 14 | 14/8/96 | Pembuatan layout gambar | Zuhdi |
| 6 | 19/7/96 | - Buat grafik Q terhadap amplitudo | Zuhdi | 15 | 21/8/96 | Gambar kapasitas plan | Zuhdi |
| 7 | 22/7/96 | revise layout | Zuhdi | 16 | 19/12/96 | revise penyusunan T-A | Zuhdi |
| 8 | 23/7/96 | revise analisa | Zuhdi | 17 | | | |
| 9 | 24/7/96 | revise Analisa | Zuhdi | 18 | | | |

Catatan :

Siap untuk diujikan

Surabaya, Maret 1996

Dosen Pembimbing

Belum siap untuk diujikan

Waktu tugas diperpanjang

Tugas dibatalkan

Ir. Aguk Zuhdi M.Eng

NIP . 130 646 637

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT yang dengan berkah dan hidayah-Nya, Alhamdulilah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (NE-1701) ini sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi untuk meraih gelar sarjana pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK.ITS.

Dalam kesempatan ini penulis memilih materi tugas dengan judul " Analisa Pengaruh Gerakan Rolling Terhadap Perpindahan Panas Dalam Tangki Kapal Tanker 17.500 DWT", dan penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyusun tugas akhir dengan sebaik-baiknya.

Penulis tidak dapat melupakan kesabaran, kesungguhan hati serta keiklasan Dosen pembimbing dalam menyampaikan ilmu selama penyusunan tugas akhir ini berlangsung.

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

- 1.Bapak Ir. AA Masroeri MSc, DEng selaku ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan, F T K - I T S Surabaya.
- 2.Bapak Ir. Tony Bambang, MSc dan Ir. I Wayan Lingga Indaya sebagai Dosen Wali selama kuliah di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK - ITS Surabaya.
- 3.Bapak Ir. Aguk Zuhdi, MEng dan Ir.AA Masroeri MSc, DEng sebagai dosen pembimbing selama penulis menyusun tugas akhir.
- 4.Semua rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dan dorongan dalam penulisan tugas akhir ini.

5. Bapak Ir. Sukarmadji , Ir. Yumar dan Ir. Budi Priyono dari PT.PAL

Surabaya yang telah membantu dalam pengambilan data-data.

6. Ayahanda, Bunda, Kakak dan Adik yang senantiasa membantu dengan doa serta memberikan semangat dan dorongan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari keterbatasan yang dimiliki sebagai manusia dalam menyelesaikan tugas akhir, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya tulis ini.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Surabaya, Oktober 1996

Penulis

AGUS WAHYUDI

DAFTAR ISI

| | halaman |
|---------------------|---------|
| - Lembar pengesahan | |
| - Kata pengantar | |
| - Daftar isi | |
| - Daftar simbol | |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|--------------------------------------|-------|
| 1.1. Latar belakang dan Permasalahan | I - 1 |
| 1.2. Tujuan Penulisan | I - 2 |
| 1.3. Batasan masalah | I - 3 |
| 1.4. Metode penulisan | I - 3 |
| 1.5. Sistimatika penulisan | I- 3 |

BAB II . DASAR TEORI

| | |
|---|---------|
| 2.1. Sistem Pemanas termal oil | II -1 |
| 2.2. Minyak mentah | II - 2 |
| 2.3. Kalor yang dibutuhkan dalam tangki | II - 4 |
| 2.4. Kalor sensible | II - 10 |
| 2.5. Heat loss kelingkungan | II - 10 |

BAB III. PEMBAHASAN DAN ANALISA

| | |
|----------------------------------|---------|
| 3.1. Data kapal | III - 1 |
| 3.2. Sifat sifat fisik cride oil | III - 4 |
| 3.3. Pelat baja kapal | III - 4 |

| | |
|--|-----------------|
| 3.4. Udara | III - 5 |
| 3.5. Air laut | III - 6 |
| 3.6. Kebutuhan beban pemanas | III - 6 |
| 3.7. Luas bidang perpinadahan panas | III - 18 |
| 3.8 Analisa | III - 23 |

BAB IV. PENUTUP

Kesimpulan

Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR SIMBOL

| | |
|----------------|---|
| Q | laju perpindahan panas (Btu/hr) |
| k | konduktivitas panas (Btu/hr ft°F) |
| A | Luas bidang perpindahan panas (m^2) |
| T | temperatur (°F) |
| x | panjang permukaan (ft) |
| h | koefisien perpindahan panas (Btu/hr ft °F) |
| U | koefisien perpindahan panas menyeluruh (Btu/hr ft °F) |
| t | temperatur fluida dingin (°F) |
| LMTD | perbedaan temperatur rata-rata (°F) |
| C _p | spesifik heat |
| Q _s | kalor sensible (W) |
| V | volume ruang muat (m^3) |
| γ | berat jenis muatan (lbm/ft ³) |
| hi | koefisien film crude oil (Btu/hr ft°F) |
| Δ xa, Δxb, Δxc | tebal pelat (ft) |
| C | konduktifitas udara |
| T _c | suhu crude oil (°F) |
| T _w | suhu lingkungan (°F) |
| ν | viskositas kinematis (ft ² /s) |

| | |
|----------|--|
| μ | viskositas dinamis (lbf s/ft ²) |
| α | diffusivity (ft ³ /hr) |
| Pr | bilangan Prandtl |
| Gr | bilangan Grashof |
| To | periode rolling (s) |
| Ao | amplitudo rolling |
| V | kecepatan kapal (knots) |
| L | panjang ruang muat (ft) |
| g | gravity (lbm ft/lbf s ²) |
| Ra | bilangan Rayleigh |
| Re | bilangan reynold |
| COT (S) | crude oil tanker (star board side) |
| COT (P) | crude oil tanker (port side) |
| Ud | koefisien perpindahan panas design (Btu/hr ft ² °F) |
| at | flow area perpipe (ft ²) |
| Gt | mass velocity (lb/hr ft ²) |

ABSTRAK

Dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat dituntut adanya ketepatan atau efisiensi dalam berbagai bidang. Kapal tanker sebagai sarana transportasi laut baik berupa cairan atau gas sangat dibutuhkan dalam memenuhi keinginan tersebut. Pada kapal tanker 17500 DWT yang dirancang oleh P.T. PAL Surabaya mencoba untuk memenuhi keinginan tersebut.

Kebutuhan panas didalam ruang muat diharuskan untuk dapat memenuhi seluruh kebutuhan panas yang ada. Panas yang diberikan oleh pipa-pipa pemanas tersebut harus dapat terdistribusi secara merata. Dengan aanya pengaruh rolling proses perpindahan panas akan lebih cepat, hal ini disebabkan adanya pertukaran antara fluida yang lebih panas dengan fluida yang lebih dingin. Gerakan rolling ini menyebabkan naiknya koefisien perpindahan panas dinding yaitu sebesar 4.8%.

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR EELAKANG DAN PERMASALAHAN.

Sistem pemanas muatan adalah sistem yang dibutuhkan dalam kapal tanker untuk menaikkan temperatur muatan dan mempertahankannya pada kondisi tertentu agar memperoleh viskositas yang diinginkan, sehingga muatan dapat dengan mudah dipompa pada saat melakukan bongkar muat. Perencanaan sistem pemanas ini didasarkan pada kesesuaian antara kebutuhan panas muatan dalam tanki dengan kondisi lingkungannya. Proses perpindahan panas dalam tangki muat dapat berlangsung karena terdapat perbedaan suhu antara fluida panas dalam coil-coil pemanas dengan fluida crude oil. Proses ini diharuskan dapat terdistribusi di dalam muatan tersebut dengan merata.

Penyebaran perpindahan panas dalam tangki terjadi secara konveksi alamiah, dimana aliran fluida hanya terjadi akibat gaya apung dari proses pemanasan. Proses ini tidak dipengaruhi oleh gaya-gaya lain ataupun oleh sistem pengedar lain seperti pompa, blower. Tetapi dapat pula terjadi perpindahan panas secara konveksi paksa, mengingat kapal yang berlayar dilautan bebas akan mengalami gerakan-gerakan seperti rolling, pitching, yawing serta yang lainnya, sehingga fluida di dalam tangki muat menjadi teraduk mengikuti pola gerakan dari kapal tersebut.

Fluida kerja untuk pemanas muatan crude oil pada tanker 17.500 DWT adalah Thermal Oil yang dapat memberikan panas yang cukup tinggi, sehingga diperlukan segi ekonomis pemakaian panas terhadap muatan yang ada. Hal inilah yang mendasari dilakukannya analisa tentang pengaruh dari pola gerakan tersebut.

Pada Penulisan tugas akhir ini, dikhkususkan untuk satu type gerakan yaitu rolling yang mempunyai pengaruh antara gerakan yang lain terhadap perpindahan panas.

I.2.TUJUAN PENULISAN

Semakin berkembangnya teknologi dalam bidang rekayasa sistem, dituntut adanya terobosan baru untuk meningkatkan metode perhitungan maupun penganalisaan. Keefektifan dalam perancangan kebutuhan pemanas dalam tangki akan dapat meminimalkan kerugian-kerugian serta dapat menurunkan biaya awal maupun biaya operasional. Sehingga dalam penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan:

1. Mengetahui besarnya pengaruh gerak rolling terhadap perpindahan panas dalam tangki.
2. Menentukan kebutuhan beban pemanasan dalam tangki dan jumlah pipa - pipa pemanas dalam tangki.

I.3.BATASAN MASALAH

Agar dapat menghasilkan penulisan yang jelas dan terarah, maka dalam Tugas akhir ini permasalahan dibatasi oleh:

- 1.Perhitungan hanya dikhkususkan pada pengaruh rolling saja.
- 2.Fluida kerja di dalam coil pemanas hanya terbatas pada termal oil.
- 3.Gelombang dilaut dianggap regular
- 4.Teknik pembuatan dan masalah perawatan tidak dibahas
- 5.Jalur pelayaran Indonesia.

I.4. METODE PENULISAN

Studi literatur

mengumpulkan bahan-bahan penulisan baik dari diktat kuliah maupun perpustakaan.

Studi lapangan

mengambil data-data sebagai dasar dalam melakukan analisa.

I.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam empat bab sebagai berikut:

Bab I merupakan penjelasan sekilas mengenai kapal 17500 DWT Oil Tanker, tujuan penulisan, batasan permasalahan serta metode penulisan.

Bab II Dasar Teori, yang meliputi perpindahan panas, baik konveksi alamiah maupun konveksi paksa, kondisi fluida dalam tangki, keseimbangan panas serta kehilangan panas dalam tangki.

Bab III Pembahasan yang meliputi:

- heat loss keluar badan kapal
- kebutuhan panas pada ruang muat
- perhitungan kebutuhan pipa pemanas

Bab IV Kesimpulan dan saran.

BAB II

DASAR TEORI

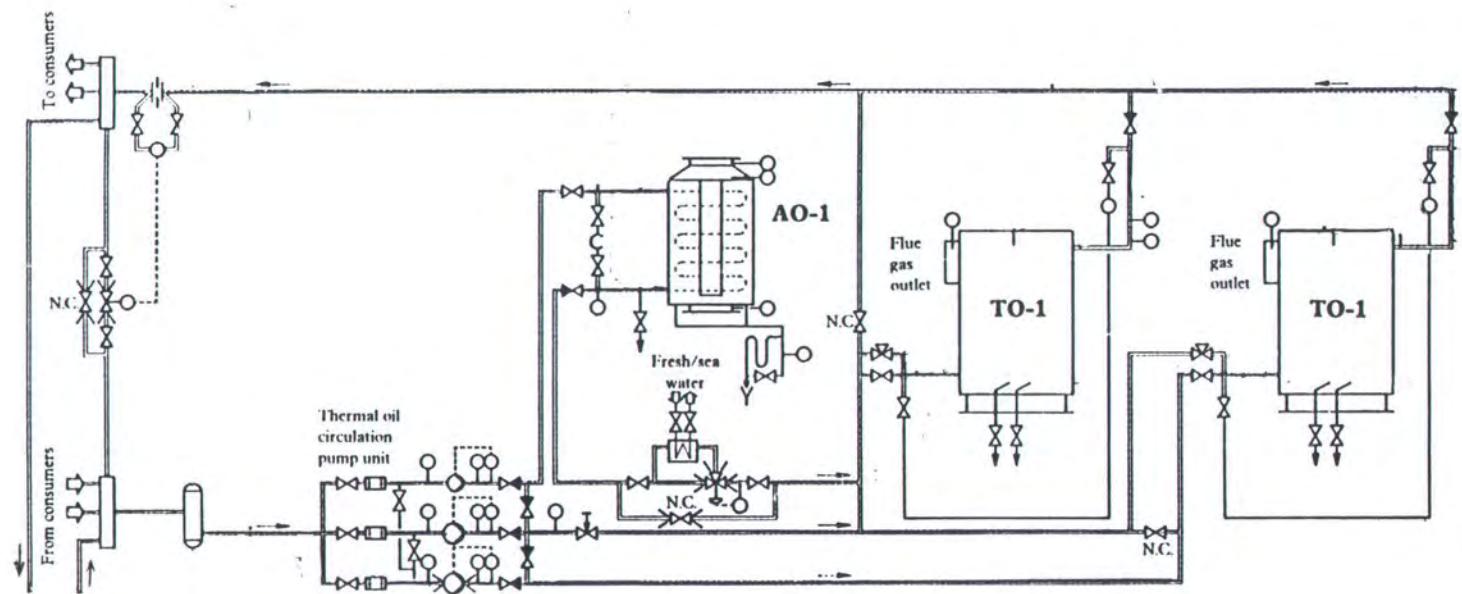
BAB II

DASAR TEORI

2.1. SISTEM PEMANAS THERMAL OIL.

Sistem ini memakai minyak nabati sebagai fluida pamanas crude oil yang disirkulasikan pada tekanan rendah dan dipertahankan dalam kondisi uap. Minyak yang bersirkulasi melalui pipa pemanas dalam muatan tangki mempunyai titik nyala tinggi yang dipanaskan oleh peralatan coil boiler. Keuntungan dari sistem ini adalah mempunyai temperatur tinggi yang dapat dicapai dibandingkan dengan uap jenuh pada tekanan normal. Pemakaian sistem Thermal oil ini mempunyai persyaratan-persyaratan khusus yang harus dipenuhi untuk pengamanan sistem ini, yaitu:

1. Titik nyala minyak pemanas ini tidak boleh kurang dari 60°C .
2. Pipa pemanas harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagaimana untuk sistem bahan bakar.
3. Standby pompa sirkulasi thermal oil heater harus memenuhi pengontrolan penutupan dari luar ruangan dengan dikenakan katup relief dalam sirkuit tertutup.
4. Untuk sudut kemiringan statik kapal maximum adalah 15° dan untuk dinamik adalah $22,5^{\circ}$.
5. Sistem pemanas thermal oil harus tetap dapat bekerja pada kondisi kemiringan tersebut.



Flow diagram for tanker with 2 - TO-1 heaters and 1 - AO-1 exhaust gas heater.

2.2. MINYAK MENTAH (CRUDE OIL) .

Minyak bumi dari Indonesia dikenal sebagai minyak bumi bermutu baik, karena pada umumnya berkadar belerang yang cukup rendah dibanding dengan Afrika, Venezuela, Timur Tengah, Cina, Malaysia, Amerika Serikat. "PPPT MGB LEMIGAS Jakarta" telah melakukan pengujian terhadap sejumlah minyak bumi Indonesia dari berbagai daerah produksi, yang dipertimbangkan dapat mewakili jenis-jenis minyak bumi Indonesia dari yang viskositasnya ringan, encer, yang berwarna kecoklatan sampai jenis yang kental berwarna kehitaman. Senyawa belerang dalam minyak bumi dapat berupa ikatan merkaptan, sulfida (mono-, di-, poli-), ikatan siklis dan ikatan-ikatan lainnya. Kadar belerang dalam minyak bumi sangat bervariasi, berkisar dari yang sangat rendah (sweet) sampai sangat tinggi sekitar 7% (sour). Minyak bumi yang berasal dari Jawa, Sumatra, Kalimantan dan lepas pantai sekitarnya berkadar belerang rendah ($< 0.3\%$ berat) Minyak mentah juga mengandung campuran seperti nitrogen, oksigen, air dan logam. Campuran ini dapat mempengaruhi mutu minyak itu sendiri. Tetapi kandungan tersebut antara berbagai daerah penghasil dengan daerah yang lain berbeda.

2.2.1. IMPURITAS DAN PENGARUHNYA

Impuritas atau campuran yang ada dalam minyak mentah adalah:¹⁾

1. Oksigen

Banyak terdapat dalam bagian residu setelah crude oil diolah.

¹⁾ lembaran laporan PPPT-MIGAS Jakarta

2. Nitrogen

Gas ini masih terkandung dalam crude oil samapai pada Final Boiling point (FBP) sekitar 230°C atau lebih.

3. Senyawa klorida

Senyawa ini bersifat korosif, sehingga dapat bereaksi dengan metal pelat kapal atau peralatan lain. Bentuk senyawanya adalah MgCl_2 , CaCl_2 .

4. Air

Kadar air yang melebihi 0.2% volume minyak mentah akan menyebabkan korosif dan menimbulkan tekanan yang mendadak jika suhunya melebihi dari 100°C .

2.2.2. SIFAT-SIFAT FISIKA CRUDE OIL.

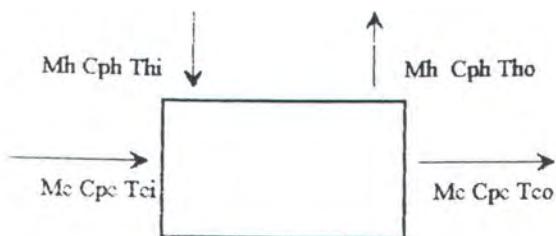
Dari hasil penelitian laboratorium Pertamina PPT-MIGAS CEPU didapat karakteristik sebagai berikut:

| | | |
|--|-----------------------|-------|
| 1. Specifik gravity at 60°F | | 0.835 |
| 2. API Gravity | $^{\circ}\text{API}$ | 38.9 |
| 3. Kinematic viscosity at 100°F | cs | 3.46 |
| | 122°F | 2.23 |
| 4. Pour point | $^{\circ}\text{F}$ | 68 |
| 5. Flash point | $^{\circ}\text{F}$ | 435 |
| 6. Reid Vapour pressure at 100°F | psi | 2.6 |
| 7. Water content | %vol | 0.15 |
| 8. Water and sediment | %vol | 0.05 |
| 9. Salt content as NaCl | %vol | 0.003 |

| | | |
|----------------------------------|-----------|-------|
| 10. Total acid number | mg KOH/gr | 0.245 |
| 11. Sulphur content | %wt | 0.099 |
| 12. Asphaltenes | %wt | 0.346 |
| 13. Wax content | %wt | 3.66 |
| 14. Conradson carbon residue | %wt | 0.7 |
| 15. Ash content | %wt | 0.026 |
| 16. Characterization factor knop | % | 12.0 |

2.3.KALOR YANG DIBUTUHKAN DALAM TANGKI.

Usaha pengkondisian crude oil agar dapat dengan mudah dipompa maka viskositasnya harus diturunkan dengan cara menaikkan temperatur crude oil. Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dipengaruhi oleh kapasitas muatan, sifat-sifat muatan, serta kehilangan panas kelingkungan melalui pelat lambung kapal. Panas yang hilang kelingkungan tergantung dari konstruksi kapal, jenis muatan, kecepatan kapal dan media yang dilaluinya. Pada saat pengisian muatan, crude oil mempunyai suhu antara 60°C sampai 66°C , sehingga panas yang diberikan oleh coil pemanas dipertahankan pada temperatur tertentu. Perpindahan kalor yang terjadi dalam ruang muat dapat digambarkan sebagai heat balance dalam tangki.:



Gambar 2.1. Heat Balance dalam tangki.

Dari gambar tersebut dapat dirumuskan :

$$m_h c_{ph} t_{hi} + m_c c_{pc} t_{ci} = m_h c_{ph} t_{ho} + m_c c_{pc} t_{co}$$

$$m_h c_{ph} (t_{hi} - t_{ho}) = m_c c_{pc} (t_{co} - t_{ci})$$

panas yang diberikan = panas yang diterima muatan

dimana

m_h : laju aliran massa fluida pemanas

c_{pc} : panas specifik fluida pemanas

t_{hi} : temperatur fluida pemanas pada sisi masuk

t_{ho} : temperatur fluida pemanas pada sisi keluar

m_c : laju aliran massa fluida dipanaskan

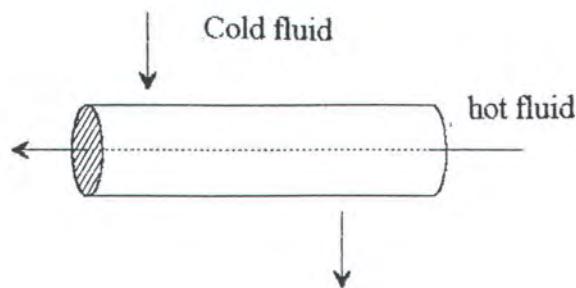
c_{pc} : panas specifik fluida yang dipanaskan

t_{ci} : temperatur fluida yang dipanaskan

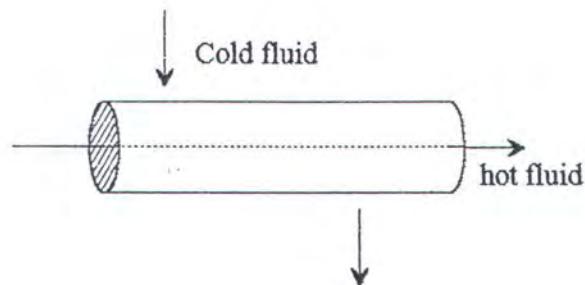
t_{co} : temperatur fluida yang dipanaskan pada kondisi akhir.

Pada peralatan penukar panas terjadi perbedaan suhu yang berubah-ubah akibat arah aliran yang berubah-ubah pula, sehingga untuk mengetahui laju aliran

panas dipakai LMTD (Log mean Temperatur Difference) atau perbedaan temperatur rata-rata.



Gambar 2.2.a. Aliran berlawanan



Gambar 2.2.b. Aliran searah.

Sehingga untuk laju aliran panas yang terjadi adalah:

$$q = U \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

dimana:

q = laju aliran panas dari pemanas

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh

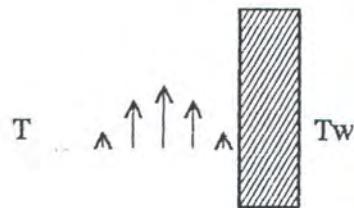
A = luas permukaan pemanas

LMTD = perbedaan temperatur rata-rata

2.3. GERAK FLUIDA

2.3.1. Tangki dalam keadaan diam (konveksi alamiah).

Aliran konveksi ini hanya disebabkan oleh efek pengapungan dari proses pemanasan. Viskositas yang rendah didekat coil pemanas akan naik sehingga membentuk sebuah aliran yang disebut dengan aliran laminer. Aliran ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3. Aliran konveksi alamiah

Aliran dekat dinding kecepatannya nol, sedangkan pada bagian tengah bertambah maximum dan turun lagi sampai mendekati nol. Koefisien film perpindahan panas dinding dapat diketahui melalui nusselt number berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nu}_1 &= f [(\text{Ra})] \\ &= 0.56 (\text{Ra})^{0.25} \end{aligned}$$

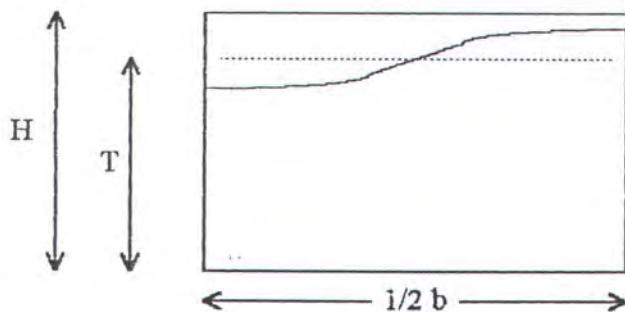
dimana :

Ra : Rayleigh number ($\text{Ra} = \text{Gr} \times \text{Pr}$)

2.3.2. Pengaruh Rolling terhadap fluida dalam tangki.

Dilautan bebas, kapal yang berlayar mengalami gerakan rolling karena adanya interaksi antara gelombang dengan kapal itu sendiri.

Akibat interaksi ini, cairan dalam tangki muat akan bergerak mengikuti pola-pola gerakan kapal



Gambar 2.4. Aktivitas cairan dalam tangki

Naik turunnya fluida pada sisi tangki tersebut menyebabkan adanya turbulensi aliran fluida dari bawah keatas, yang menyebabkan pencampuran antara fluida yang lebih panas dengan fluida yang dingin. Persamaan-persamaan non dimensional yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\text{Nusselt number.} (Nu) = \frac{h.l}{k}$$

$$\text{Grashof number.} (Gr) = \frac{g.l^3.\beta.dT}{\nu^2}$$

$$\text{Prandtl number.} (Pr) = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$\text{Reynold number.} (Re) = \frac{\rho \cdot \omega \cdot b \cdot l}{\nu}$$

Pengaruh gerak rolling ini akan menimbulkan efek Reynold terhadap fluida di dalam tangki. Untuk suatu bilangan tertentu, dalam daerah bilangan reynold antara $Re=2100$ dan $Re=10000$, terjadi peralihan dari aliran laminer ke aliran turbulen. Aliran dalam resim ini disebut aliran peralihan (transisi). Dalam aliran laminer, tidak terdapat pencampuran antara fluida yang lebih panas dengan fluida yang lebih dingin oleh gerakan pusar. Dalam aliran ini terjadi sejumlah tertentu pencampuran oleh pusaran-pusaran yang menyangkut fluida yang lebih panas kedaerah-daerah yang lebih dingin dan sebaliknya. Karena gerakan mencampur ini, walaupun hanya pada skala kecil, banyak mempercepat perpindahan panas, sehingga terjadi kenaikan koefisien perpindahan panas yang menyolok.

Pada kondisi ini terjadi penambahan koefisien perpindahan panas akibat aktivitas gabungan antara konveksi alamiah dan konveksi paksa, sehingga:

$$\Delta Nu = 0.332 (Re)^{0.5} (Pr)^{0.33} \quad ^{(3)}$$

Untuk mencari koefisien perpindahan panas pada kondisi ini adalah dengan menjumlahkan bilangan nusselt:

$$Nu_r = Nu_1 + \Delta Nu$$

Sehingga untuk koefisiennya didapat:

$$h = (k/l) \times Nu_r$$

⁽³⁾ International Ship building Progress, S. Doerffer

2.4. KALOR SENSIBLE

Kalor yang dibutuhkan coil pemanas untuk memanasi crude oil menurut Khetagurov dalam Marine and Auxiliary and system:

$$Q_s = 1000 V \cdot \gamma \cdot [m \cdot c_1 + c_2 (t_2 - t_1)] \quad ^{*)}$$

dimana;

V : volume ruang muat (m^3)

γ : berat jenis muatan (kg/m^3)

t_1 : temperatur awal ($^{\circ}C$) .

t_2 : temperatur akhir ($^{\circ}C$)

c_1 : panas lebur komponen-komponen muatan dan bersifat paraffin
($c = 50$ kcal/kg)

m : proporsi dari komponen yang bersifat paraffin dalam muatan
($m = 0.05$)

c_2 : kapasitas panas muatan minyak ($c = 0.5$ kcal/kg)

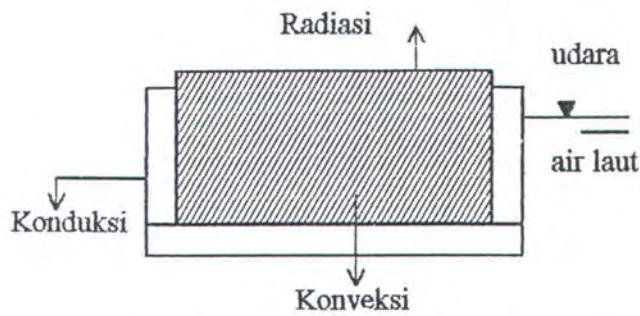
2.5. HEAT LOSS KE LINGKUNGAN

Kehilangan panas keluar lambung dibagi menjadi:

1. Heat loss yang terjadi pada pelat dalam ruang muat
2. Heat loss yang terjadi pada pelat kapal dengan udara luar
3. Heat loss pada pelat lambung yang bersentuhan dengan air laut

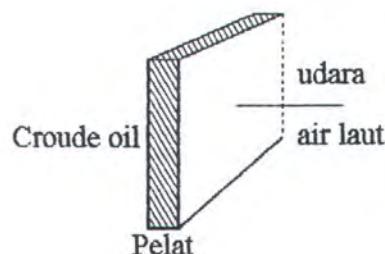
^{*)} Marine and auxiliary and system, Khetagurov

Heat loss dalam tangki dapat digambarkan sebagai berikut

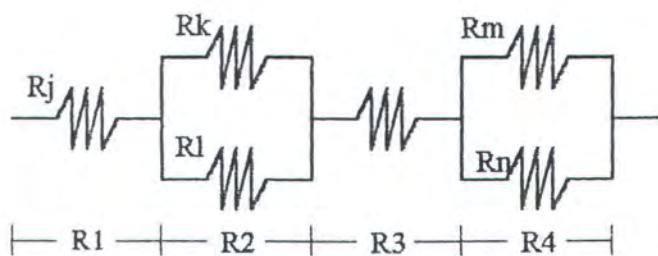


Gambar 2.5. Heat loss dalam tangki.

Untuk menentukan besarnya kehilangan panas harus dicari dulu koefisien film perpindahan panas dan koefisien film diluar ruang muat serta sifat-sifat bahan pelat yang dipergunakan kapal. Proses perpindahan panas dalam tangki:



atau dapat dianalogikan sebagai bentuk tahanan



Gambar 2.6. Analogi proses perpindahan panas.

dimana; R1 : tahanan pada crude oil

R2 : tahanan pada pelat vertikal dan horisontal

R3 : tahanan pada udara luar dan air laut

R4 : tahanan pada udara luar dan air laut.

Sehingga untuk tahanan total:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

dimana:

$$R_1 = 1/(h_1 \times A_1)$$

$$R_2 = (\Delta x_b \cdot \Delta x_c)/k (A_2 \Delta x_c + A_3 \Delta x_b)$$

$$R_3 = 1/(C \times A_4)$$

$$R_4 = 1/[(h_5 \times A_5) + (h_6 \times A_6)]$$

Kehilangan panas total :

$$Q_h = (T_c - T_s)/R_t$$

dimana :

Tc : suhu crude oil.

Ts : suhu lingkungan.

Rt : tahanan total

BAB III

PEMBAHASAN DAN ANALISA

BAB III

PEMBAHASAN DAN ANALISA

Untuk mempermudah perhitungan - perhitungan selanjutnya maka diambil data-data berdasarkan rencana umum dari kapal tanker sebagai berikut:

3.1. DATA KAPAL :

3.1.1. RENCANA UMUM :

1. Length Overall : 160 m
2. Length B.P : 154 m
3. Breadth Moulded : 26.8 m
4. Depth Moulded : 11.5 m
5. Design draft : 7 m
6. Scantling draft : 7.5 m
7. Cargo tank (98% filled) : 24142 m³
8. Slop tank (98% filled) : 746 m³
9. Fuel oil (98% filled) : 810 m³
10. Service Speed : 13 knots

Rute pelayaran Indonesia dengan suhu rata-rata permukaan laut 28 °C.

3.1.2. DATA MESIN INDUK:

1. Merk : MAN B&W Diesel A/S
2. type : 7S35MC
3. jumlah silinder : 7 buah
4. Nominal MCR at 170 r/min : 4900 kw
5. Gases:
 - a. exhaust gas flow : 39.000 kg/h
 - b. exhaust gas temperatur : 265 °C
 - c. Air consumption : 10.6 kg/s

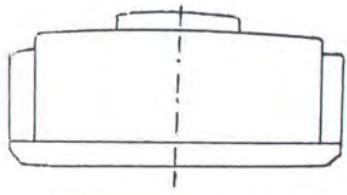
3.1.3. DATA BOILER:

1. Merk : HTI thermal oil heater
2. Type : HE 25 P40
3. T.O temperatur : 220 °C / 180 °C
4. Desain : vertikal

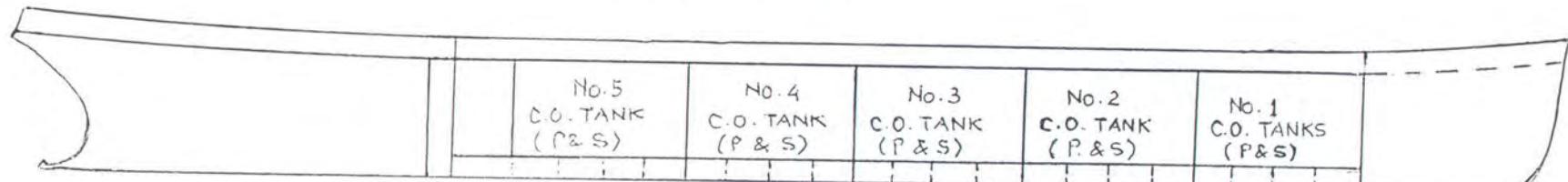
3.1.4. VOLUME RUANG MUAT :

Dari gambar rencana umum didapat ukuran-ukuran volume tangki ruang muat:

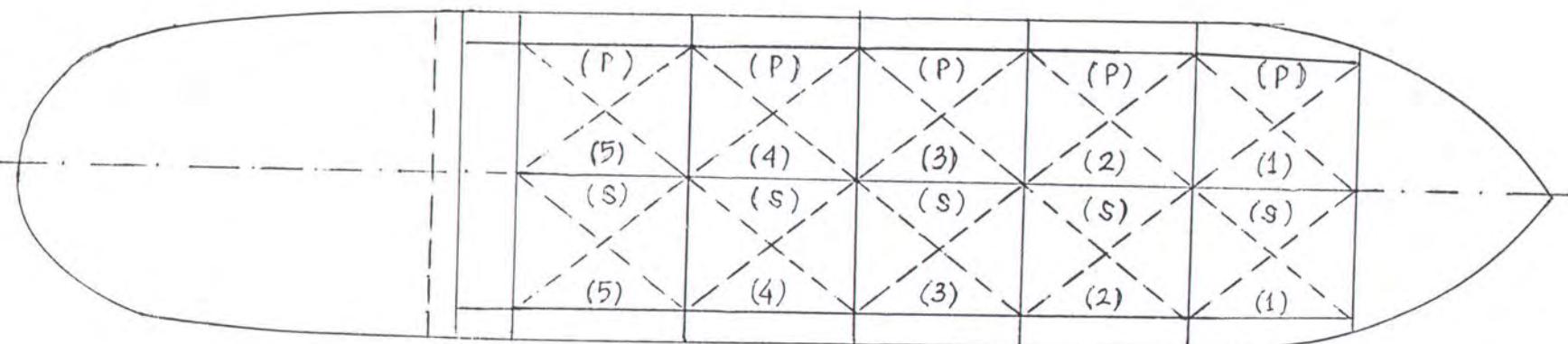
1. $COT_1(S) = COT_1(P) = 2211.5 \text{ m}^3$
2. $COT_2(S) = COT_2(P) = 2318.0 \text{ m}^3$
3. $COT_3(S) = COT_3(P) = 2572.5 \text{ m}^3$



Tampak Depan



Tampak Samping



Gambar 3.1. General Arrangement

$$4. COT_4 (S) = COT_4 (P) = 2341.5 \text{ m}^3$$

$$5. COT_5 (S) = COT_5 (P) = 2254.5 \text{ m}^3$$

$$6. \text{ Slop tank (s)} = \text{slop tank (p)} = 373.0 \text{ m}^3$$

3.2. Sifat untuk 38.9 API Crude Oil pada suhu 28 °C (150.8 °F)

dapat kita kumpulkan data-data dari lampiran :

$$a. \text{ Konduktivitas (k)} = 0.0785 \text{ Btu/hr.ft. } ^\circ\text{F} \text{ (lamp. 1)}$$

$$b. \text{ Specifik heat (Cp)} = 0.515 \text{ Btu/lbm } ^\circ\text{F} \text{ (lamp. 2)}$$

$$c. \text{ Viskositas kinematis (g)} = 4.2 \times 10^{-2} / \text{s} \text{ (lamp. 3)}$$

$$= 1.512 \times 10^{-5} \text{ ft } ^2/\text{hr}$$

$$d. \text{ Viskositas dinamik (a)} = 7 \times 10 \text{ lbf-s/ft}^2 \text{ (lamp. 4)}$$

$$e. \text{ Berat jenis/ specific weight (g)} = 53.667 \text{ lbm/ft}^3$$

$$f. \text{ Diffusivity(a)} = k/(g \times Cp) = 2.8402 \times 10^{-3} \text{ ft}^2/\text{hr}$$

$$h. \text{ Prandtl (Pr)} \text{ Pr} = \nu/a = (4.2 \times 10 \text{ ft/s}) / (2.8402 \times 10^{-3} \text{ ft}^2/\text{hr})$$

$$= 53.232$$

3.3. Pelat baja kapal.

Dari lampiran 6 didapat untuk jenis pelat baja (carbon steel 1% C) pada 68 F mempunyai sifat-sifat:

$$a. \text{ Thermal Conductivity (k)} = 43 \text{ W/m.K} = 24.841 \text{ Btu/hr.ft. } ^\circ\text{F}$$

$$b. \text{ Specifik heat (Cp)} = 473 \text{ J/kg.K} = 0.11297 \text{ Btu/lbm. } ^\circ\text{F}$$

$$c. \text{ Diffusivity (a)} = 1.262 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{s}$$

- d. tebal baja kapal

untuk selain pelat dasar = $x_a = x_b = 10 \text{ mm} = 32.8084 \times 10^{-3} \text{ ft}$

untuk pelat dasar = $x_c = 14 \text{ mm} = 4.59 \times 10^{-2} \text{ ft}$

3.4. Udara.

3.4.1. Udara antara pelat dalam dan pelat luar.

a. Jarak sisi pelat dalam kesisi pelat luar = 1.48 m

b. Jarak pelat dasar dalam kepelat dasar = 1.8 meter

c. Suhu udara diambil rata-rata (Ta) :

$$Ta = (T_c + T_w) / 2$$

$$= (150.8 + 82.4) / 2 = 116.6 {}^{\circ}\text{F}$$

d. Conductance of air space = C = 1.36 Btu/hr.ft. ${}^{\circ}\text{F}$ (lampiran 5).

3.4.2. Sifat udara antara pelat dalam dan luar.

Dalam lampiran 7 didapat Sifat udara pada suhu 116.6 ${}^{\circ}\text{F}$:

a. Thermal Conduktivity (k) = 16.0347×10^{-3} Btu/hr.ft. ${}^{\circ}\text{F}$

b. Viskositas kinematis (n) = 19.068×10^{-5} ft^{-2}/s

c. Diffusivity (a) = $0.9778 \text{ ft}^2/\text{hr}$

d. Prandtl (Pr) = 0.7036

3.4.3. Sifat udara di luar badan kapal.

Sifat udara pada $28 {}^{\circ}\text{C} = 82.4 {}^{\circ}\text{F}$ dari lampiran 7 didapat:

a. Thermal Conductivity (k) = 16.0347×10^{-3} Btu/hr.ft. F

- b. Specifik heat (C_p) = 0.11297 Btu/lbm. $^{\circ}$ F
- c. Viskositas kinematis (n) = 19.90×10^{-5} ft 2 /s
- d. Diffusivity (a) = 0.860 ft 2 /hr
- e. Prandtl (Pr) = 0.7079
- f. Kecepatan udara senilai kecepatan kapal $V = 13$ knots = 21.9413 ft /s

3.5. Air laut.

Dari lampiran 8 didapat sifat air laut pada suhu 82.4° F adalah :

- a. Thermal Conductivity (k) = 0.3521 Btu/hr.ft. $^{\circ}$ F
- b. Specific heat (C_p) = 0.9983 Btu/lbm. $^{\circ}$ F
- c. Viskositas kinematis (n) = 9.33×10^{-6} ft 2 /s
- d. Diffusivity (a) = 5.668×10^{-3} ft 2 /hr
- e. Prandtl (Pr) = 5.9259
- f. Kecepatan air senilai kecepatan kapal $V = 13$ knots = 21.9413 ft /s

3.6. KEBUTUHAN BEBAN PEMANAS

3.6.1. Kebutuhan kalor sensibel.

$$Q_s = 1000 \cdot V \cdot \gamma \cdot [m \cdot c_1 + c_2 (t_1 - t_2)]$$

dimana :

$$V = 24142 \text{ m}^3$$

$$\gamma = 859.638 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0.05$$

$$c_1 = 50 \text{ kcal/kg}$$

$$c_2 = 0.5 \text{ kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = 44 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 66 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sehingga dari harga tersebut diperoleh :

$$\begin{aligned} Q &= 1000 \times 24142 \times 859.638 [0.05 \times 50 + 0.5(66 - 44)] \\ &= 2.8017064 \times 10^{11} \text{ kcal} \\ &= 3.2562054 \times 10^{11} \text{ watt.jam} \end{aligned}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan crude oil adalah 58 jam, sehingga kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan muatan minyak mentah (crude oil) dalam setiap jamnya:

$$\begin{aligned} Q &= (3.2562054 \times 10^{11} \text{ watt.jam}) / (58 \text{ jam}) \\ &= 5.614147281 \times 10^9 \text{ watt} \end{aligned}$$

3.6.2. KEHILANGAN PANAS PADA PELAT.

Lambung kapal yang terbuat dari baja dengan sifat material tertentu diperkirakan mempunyai randemen panas, sehingga akan membatasi kontak langsung crude oil dengan suhu disekitarnya. Untuk mengetahui panas yang hilang keluar dari badan kapal harus melihat perpindahan panas yang terjadi

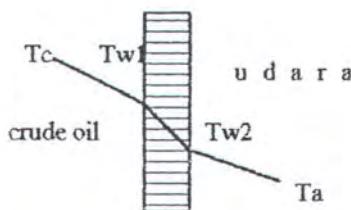
setiap bidang yang dilaluinya, yaitu sisi kapal yang berhubungan langsung dengan udara dan air laut.

3.6.2.1. Perpindahan panas pada pelat dalam.

Untuk perpindahan panas yang terjadi pada pelat ini dibedakan menjadi dua yaitu perpindahan panas secara konveksi alamiah dan perpindahan panas konveksi paksa.

a). Perpindahan panas konveksi alamiah.

Proses perpindahan panas yang terjadi pada pelat dalam digambarkan sebagai berikut:



gambar 3.2. proses perpindahan panas pada pelat dalam.

crude oil. untuk liquid $\beta = 1/T_f$ dimana $T_f = (Tw_1 + T_c)/2$

$$\beta = 1/T_f = [2/(Tw_1 + T_c)]$$

$$g = 32.2 \text{ lbm ft/lbf.s}^2$$

$$L = 352.6575 \text{ ft}$$

Bilangan Raylegh :

$$\begin{aligned}
 Ra_1 &= [\{g \times \beta \times (T_c - T_{w_1}) \times L^3\} / \{\nu \times \alpha\}] \\
 &= \{32.2(2/(T_{w_1} + 150.8))(150.8 - T_{w_1})(352.6575)^3\} \\
 &\quad \{4.2 \times 10^{-5} \times 2.84 \times 10^{-3}\} \\
 &= 2.3676 \times 10^{16} \times [\{150.8 - T_{w_1}\} / \{150.8 + T_{w_1}\}]
 \end{aligned}$$

>. Udara.

Untuk gas $\beta = 1/T_a = 1/116.6 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\beta = 8.56763 \times 10 / \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 Ra_2 &= [\{g \times \beta \times (T_{w_2} - T_a) \times L^3\} / \{\nu \times \alpha\}] \\
 &= \{32.2 \times 8.56763 \times 10^{-5} \times (T_{w_2} - 116.6)(352.6575)^3\} \\
 &\quad \{19.068 \times 10^{-5} \times 0.9778\} \\
 &= 6.4962 \times 10^{10} (T_{w_2} - 116.6)
 \end{aligned}$$

Untuk mencari harga h_1 dan h_2 maka didekati dengan mengasumsikan harga $T_{w1} = 140 \text{ } ^\circ\text{F}$ dan $T_{w2} = 126.6 \text{ } ^\circ\text{F}$ kemudian dilakukan iterasi :

$$\begin{aligned}
 Ra_1 &= 2.3676 \times 10^{16} \times [\{150.8 - T_{w1}\} / \{150.8 + T_{w1}\}] \\
 &= 8.793 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Nu_i &= 0.56 (Ra_1)^{1/4} \\
 &= 0.56 (5445.456) \\
 &= 3054.901
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= (k/l) Nu_1 \\
 &= (0.0785/352.6575) 3054.901 \\
 &= 0.680 \text{ btu/hr.ft } {}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ra_2 &= 6.4962 \times 10^{10} \quad (Tw - 116.6) \\
 &= 6.4962 \times 10^{11}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Nu_2 &= 0.56 (Ra)^{1/4} \\
 &= 0.56 (897.7695) \\
 &= 503.65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= (16.0347 \times 10^{-3} / 352.6575) 503.65 \\
 &= 2.229 \times 10^{-2} \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q/A = q'' &= (T_c - T_a) / (1/h_1 + Dx/k + 1/h_2) \\
 &= \frac{(150.8 - 116.6)}{(1/0.680 + 32.8084 \times 10^{-4} / 24.841 + 1/0.0229)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 34.2 / (1.4706 + 1.32 \times 10^{-4} + 43.668) \\
 &= 34.2 / 45.1388 \\
 &= 0.757
 \end{aligned}$$

$$Tw_1 = T_c - q''/h_1 = 150.8 - (0.757/0.680) = 149.6876 {}^{\circ}\text{F}$$

$$Tw_2 = q''/h_2 + T_a = (0.757/0.0229) + 116.6 = 149.656 {}^{\circ}\text{F}$$

Melalui program iterasi akan didapatkan harga-harga sebagai berikut:

$$T_{w_1} = 148.716 {}^{\circ}\text{F}$$

$$T_{w_2} = 148.716 {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_1 = 0.493 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_2 = 0.031 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

b). Perpindahan panas konveksi paksa :

Pada kondisi ini proses perpindahan panas terjadi secara konveksi paksa, dimana terjadi pertukaran secara cepat antara fluida yang lebih panas dengan fluida yang lebih dingin. Parameter-parameter yang diperlukan dalam proses ini adalah:

- amplitudo (A_o):

dari data percobaan didapat nilai amplitudo sebesar 10 cm.

- periode rolling :

didapatkan sebesar 10 detik

Sehingga untuk koefisien perpindahan panas dapat dicari dengan:

$$\Delta Nu = 0.332 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3}$$

dimana;

$$\begin{aligned} Re &= \frac{A_o \cdot \omega \cdot b \cdot L}{v} \\ &= \frac{10 \times 0.176 \times 6.7 \times 107.49}{14779.03} \\ &= 14779.03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= v/\alpha \\ &= 1.512 \cdot 10^{-1} / 2.8404 \cdot 10^{-2} \\ &= 53.232 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{Nu} &= 0.332 (14779)^{1/2} (53.232)^{1/3} \\ &= 151.828034 \end{aligned}$$

Pada kondisi ini terjadi perpindahan panas konveksi paksa sehingga untuk mencari koefisien perpindahan panas diketahui dari:

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= \text{Nu}_1 + \Delta \text{Nu} \\ &= 2212.674 + 151.828034 \\ &= 2364.50234 \end{aligned}$$

Sehingga untuk mencari koefisien perpindahan panas didapat dari:

$$\begin{aligned} h_f &= (k/l) \times \text{Nu} \\ &= (0.0785/352.6575) \times 2364.50234 \\ &= 0.526 \text{ Btu/hr ft F} \end{aligned}$$

Atau dapat dibuat tabel perubahan amplitudo dengan periode rolling yang tetap:

| Amplitudo (Ao) | periode rolling (T) (detik) | koefisien perpindahan panas (h) |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 0 | 0.493 |
| 2 | 10 | 0.496 |
| 4 | 10 | 0.501 |
| 6 | 10 | 0.507 |
| 8 | 10 | 0.511 |
| 10 | 10 | 0.527 |

Dengan cara yang sama dapat diperoleh untuk periode rolling yang berbeda dengan amplitudo yang tetap:

$$1 - 2 \text{ (detik)} \quad hr = 0.512 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F}$$

$$1 - 4 \text{ (detik)} \quad hr = 0.516 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F}$$

$$1 - 6 \text{ (detik)} \quad hr = 0.520 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F}$$

$$1 - 8 \text{ (detik)} \quad hr = 0.523 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F}$$

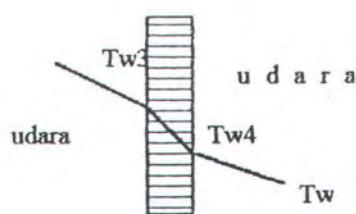
$$1 - 10 \text{ (detik)} \quad hr = 0.527 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F}$$

Dari perhitungan diatas, periode rolling yang semakin besar akan dapat memperbesar koefisien perpindahan panas pada dinding tangki.

3.6.2.2. PERPINDAHAN PANAS PADA PELAT LAMBUNG DI ATAS

GARIS AIR.

Proses perpindahan panas yang terjadi pada pelat lambung diatas garis air dapat digambarkan sebagai berikut:



gambar 3.3. proses perpindahan panas pada pelat lambung diatas garis air

a). Udara,

Untuk gas $\beta = 1/T_a = 1/116,6 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$= 8.5763 \times 10^{-5} \text{ } / ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} Ra &= [\{g \times \beta \times (Tw_3 - T_a) \times L^3\} / \{\nu \times \alpha\}] \\ &= \frac{32.2 \times 8.5763 \times 10^{-5} \times (116.6 - Tw_3)(352.6575)^3}{[19.068 \times 10^{-5} \times 0.9778]} \\ &= 6.4962 \times 10^{-5} (116.6 - Tw_3) \end{aligned}$$

Untuk mencari harga h_3 didekati asumsi $Tw_3 = 106.6 \text{ } ^\circ\text{F}$ kemudian dilakukan iterasi:

$$Ra_3 = 6.4962 \times 10^{11}$$

$$Nu_3 = 0.56 (Ra_3)^{1/4}$$

$$= 0.56 (6.4962 \times 10^{11})$$

$$= 502.751$$

$$h_3 = (k/l) Nu_3$$

$$= (16.0347 \times 10^{-3} / 352.6575) \times 502.751$$

$$= 0.02286 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

b). Pelat yang bersentuhan dengan udara luar.

$$Re = (V \times X) / \nu$$

$$= (21.9413 \times 524.9344) / 16.9 \times 10^{-5}$$

$$= 6.8152 \times 10^7$$

$$Nu_4 = 0.332 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3}$$

$$= 0.332 (6.8152 \times 10^7)^{1/2} (0.7079)^{1/3}$$

$$= 2442.68814$$

$$h_4 = (k/l) Nu_4$$

$$= (1.5165 \times 10^{-2} / 352.6575) \times 2442.68814$$

$$= 0.10504 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 q/a = q'' &= (ta - Tw)/(1/h_3 + \Delta x b/k + 1/h_4) \\
 &= \frac{(116.6 - 82.4)}{[(1/0.02286) + (32.8084 \cdot 10^{-4} / 24.841) + 1/2.8834]} \\
 &= 0.642075
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tw_3 &= Ta - q''/h_3 \\
 &= 116.6 - 0.642075/0.02286 \\
 &= 88.5127
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tw_4 &= q''/h_4 + Tw \\
 &= 0.642075/0.10504 + 116.6 \\
 &= 88.51267
 \end{aligned}$$

Harga Tw_3 dan Tw_4 dimasukkan kedalam bilangan Rayleigh untuk mendapatkan harga h , sehingga dari program iterasi didapat harga:

$$Tw_3 = 89.8472 {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_3 = 0.02924 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

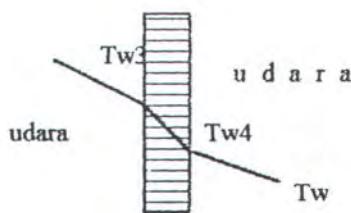
$$Tw_4 = 89.8471 {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_4 = 0.10504 \text{ Btu/hr ft } {}^{\circ}\text{F}$$

3.6.2.3. PERPINDAHAN PANAS PADA LAMBUNG DIBAWAH GARIS AIR

AIR

Proses perpindahan panas yang terjadi pada pelat lambung dibawah garis air dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.4. proses perpindahan panas pada pelat lambung dibawah garis air.

a). Udara,

Untuk gas $\beta = 1/T_a$

$$\begin{aligned} &= 1/116.6 \text{ } {}^{\circ}\text{F} \\ &= 8.5763 \times 10^{-5} / \text{ } {}^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ra_5 &= [\{g \times \beta \times (Tw_5 - T_a) \times L^3\} / \{v \times \alpha\}] \\ &= \frac{32.2 \times 8.5763 \times 10^{-5} \times (116.6 - Tw_5)(352.6575)}{[19.068 \times 10^{-5} \times 0.9778]} \\ &= 6.4962 \times 10^{10} (116.6 - Tw_5) \end{aligned}$$

Untuk mencari harga h_5 didekati dengan suhu asumsi $Tw_5 = 106.6 \text{ } {}^{\circ}\text{F}$ kemudian dilakukan iterasi:

$$\begin{aligned} Ra_5 &= 6.4962 \times 10^{10} (116.6 - Tw_5) \\ &= 6.4962 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu_5 &= 0.56 (Ra_5)^{1/4} \\ &= 0.56 (6.4962 \times 10^{11})^{1/4} \\ &= 502.751 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_5 &= (k/l) Nu_5 \\ &= (16.0347 \times 10^{-3} / 352.6575) \times 502.751 \\ &= 0.02286 \text{ Btu/hr ft}^0\text{F} \end{aligned}$$

b. Pelat lambung yang bersentuhan dengan air laut:

$$\begin{aligned} Re_6 &= (V \times X) / \nu \\ &= (21.9413 \times 524.9344) / 16.9 \times 10^{-5} \\ &= 1.2345 \times 10^9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu_6 &= 0.332 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} \\ &= 0.332 (1.2345 \times 10^9)^{1/2} (5.9259)^{1/4} \\ &= 2.1109 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= (k/l) \times Nu \\ &= (0.3521 / 352.6575) \times 2.1109 \times 10 \\ &= 21.07566 \text{ Btu/hr ft F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q/a = q'' &= (Ta - Tw)/(1/h_5 + \Delta x/k + 1/h_6) \\
 &= \frac{(116.6 - 82.4)}{[(1/0.02286)+(32.8084 \times 10^{-4})/24.841 + (1/21.07566)]} \\
 &= 0.78096
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tw_5 &= Ta - q''/h_5 \\
 &= 116.6 - 0.78096/0.02286 \\
 &= 82.4373 {}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tw_6 &= q''/h_6 + Tw \\
 &= 0.78096/21.07566 + 82.4 \\
 &= 82.4371 {}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

Dengan bantuan program iterasi komputer didapat harga-harga:

$$Tw_5 = 82.4504 {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_5 = 0.03107 \text{ Btu/hr ft} {}^{\circ}\text{F}$$

$$Tw_6 = 82.4503 {}^{\circ}\text{F}$$

$$h_6 = 21.0756 \text{ Btu/hr ft} {}^{\circ}\text{F}$$

3.7. LUAS BIDANG PERPINDAHAN PANAS.

Dari data rencana umum kapal tanker didapatkan data luasan sebagai berikut:

1. A_1 = luas bidang sentuh pelat dalam ruang muat dengan crude oil
 $= 4966.038 \text{ m}^2 = 53.454 \times 10^3 \text{ ft}^2$

2. A_2 = luas bidang sentuh pelat dalam sisi vertikal
 $= 2085.306 \text{ m}^2 = 22.446 \times 10^3 \text{ ft}^2$

3. A_3 = luas bidang sentuh pelat dalam sisi dasar
 $= 2880.732 \text{ m}^2 = 31.008 \times 10^3 \text{ ft}^2$

4. A_4 = luas bidang pelat yang tebalnya 10 mm
 $= 4810.108 \text{ m}^2 = 51.776 \times 10^3 \text{ ft}^2$

5. A_5 = luas bidang pelat lambung luar yang bersentuhan dengan udara bebas.
 $= 967.41 \text{ m}^2 = 10.413 \times 10^3 \text{ ft}^2$

6. A_6 = luas bidang pelat lambung luar yang bersentuhan dengan air laut.
 $= 3842.698 \text{ m}^2 = 41.363 \times 10^3 \text{ ft}^2$

3.7.1. KEHILANGAN PANAS TOTAL

Panas yang hilang keluar dari badan kapal dirumuskan:

$$Q_b = [(T_c - T_w)/(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)]$$

dimana;

$$\begin{aligned} R1 &= [1/(h1 \times A1)] \\ &= (1/(0.493 \times 53.454 \times 10^3)) \\ &= 3.7947 \times 10^{-5} \text{ hr}^0\text{F/Btu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rr &= [1/(hr \times A1)] \\ &= (1/(0.526 \times 53.454 \times 10^3)) \\ &= 3.5566 \times 10^{-5} \text{ hr}^0\text{F/Btu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &= [(\Delta x_b \cdot \Delta x_c)/k (A_2 \cdot \Delta x_c + A_3 \cdot \Delta x_b)] \\
 &= (32.8084 \cdot 10^{-3} \times 4.59 \cdot 10^{-2}) / 24.841 (24.968 \cdot 10^3 \times 4.59 \cdot 10^{-2} \\
 &\quad + 29.702 \times 10^3 \times 32.8084 \times 10^{-3}) \\
 &= 5.9 \times 10^{-8} \text{ hr } {}^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_3 &= 1/(C \times A_4) \\
 &= 1/(1.36 \times 51.776 \times 10^{-3}) \\
 &= 1.4201 \times 10^{-5} \text{ hr } {}^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_4 &= 1/[(h_5 \times A_5) + (h_6 \times A_6)] \\
 &= 1/[(0.03107 \times 10.413 \cdot 10^3) + (21.07566 \times 41.363 \cdot 10^3)] \\
 &= 1.146 \times 10^{-6} \text{ hr } {}^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

a). kehilangan panas pada proses konveksi alamiah:

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\
 &= 3.7947 \times 10^{-5} + 5.9 \times 10^{-8} + 1.4201 \times 10^{-5} + 1.147 \times 10^{-6} \\
 &= 5.33 \times 10^{-5} \text{ hr } {}^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

Sehingga kehilangan panas totalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \frac{(150.8 - 82.4)}{5.33 \times 10^{-5}} \\
 &= 1.546 \times 10^6 \text{ Btu/hr} \\
 &= 4.5771 \times 10^5 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Kehilangan Panas untuk masing-masing tangki

Dengan menggunakan persamaan :

$$Q_n = \frac{V_n}{V_t} \times Q_t$$

Diperoleh harga Q masing-masing tangki, dalam tabel berikut :

| Tangki | Volume (m ³) | Q _n (W) |
|---|--------------------------|--------------------|
| COT ₁ (S) = COT ₁ (P) | 2,211.5 | 41,927.08 |
| COT ₂ (S) = COT ₂ (P) | 2,318 | 43,946.18 |
| COT ₃ (S) = COT ₃ (P) | 2,572.5 | 48,771.16 |
| COT ₄ (S) = COT ₄ (P) | 2,341.5 | 44,391.71 |
| COT ₅ (S) = COT ₅ (P) | 2,254.5 | 42,742.3 |
| COT ₆ (S) = COT ₆ (P) | 373 | 7,071.58 |

Luas penampang pipa

panjang pipa dan jumlah laluan untuk masing-masing tangki.

- LMTD (logaritmic mean temperature difference).

Fluida Panas

$$T_1 = 428 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \text{suhu tinggi} \quad t_2 = 150,8 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \Delta t_2 = 277,2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 356 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \text{suhu rendah} \quad t_1 = 111,2 \text{ } ^\circ\text{F} \quad \Delta t_1 = 244,8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(277,2 - 244,8)}{\ln(277,2 / 244,8)} = 260,6645 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Koefisien Design (Ud) = 1.5057 Btu/hr ft F

- Laju perpindahan massa didalam pipa pemanas :

$$\begin{aligned} W &= \frac{Qh}{Cp \times (428 - 356)} \\ &= \frac{1.546 \cdot 10^6}{0.63 \times 72} \\ &= 33933.91 \text{ lb/hr.} \end{aligned}$$

| Tangki | Luas penampang pipa (m ²) | Panjang pipa(m) | Jumlah laluan |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|
| COT1 (S) = COT1 (P) | 225.78 | 363 | 15 |
| COT2 (S) = COT2 (P) | 235.12 | 378 | 20 |
| COT3 (S) = COT3 (P) | 262.48 | 422 | 20 |
| COT4 (S) = COT4 (P) | 238.85 | 384 | 20 |
| COT5 (S) = COT5 (P) | 229.5 | 369 | 20 |
| SLOP TANK (S) & (P) | 230 | 370 | 8 |

b). Kehilangan panas pada konveksi paksa

$$\begin{aligned} R_1 &= R_1 + R_r + R_3 + R_4 \\ &= 5.21 \cdot 10^{-6} \text{ hr F/Btu} \end{aligned}$$

- Kehilangan panas total:

$$\begin{aligned} Qt &= \frac{(150.8 - 82.4)}{5.21 \cdot 10^{-5}} \\ &= 1.31 \cdot 10^6 \text{ Btu/hr.} \\ &= 3.879 \cdot 10^5 \text{ W.} \end{aligned}$$

- Kehilangan panas untuk masing-masing tangki :

Dengan cara yang sama dapat kita peroleh penampang pipa:

| Tangki | Volumeipa (m ³) | Qn (W) |
|---------------------|--------------------------------|-----------|
| COT1 (S) = COT1 (P) | 2,211.5 | 35,533.13 |
| COT2 (S) = COT2 (P) | 2,318 | 37,244.31 |
| COT3 (S) = COT3 (P) | 2,572.5 | 41,333.47 |
| COT4 (S) = COT4 (P) | 2,341.5 | 37,621.9 |
| COT5 (S) = COT5 (P) | 2,254.5 | 36,224.03 |
| SLOP TANK (S) & (P) | 373 | 5,993.15 |

- Luas penampang pipa:

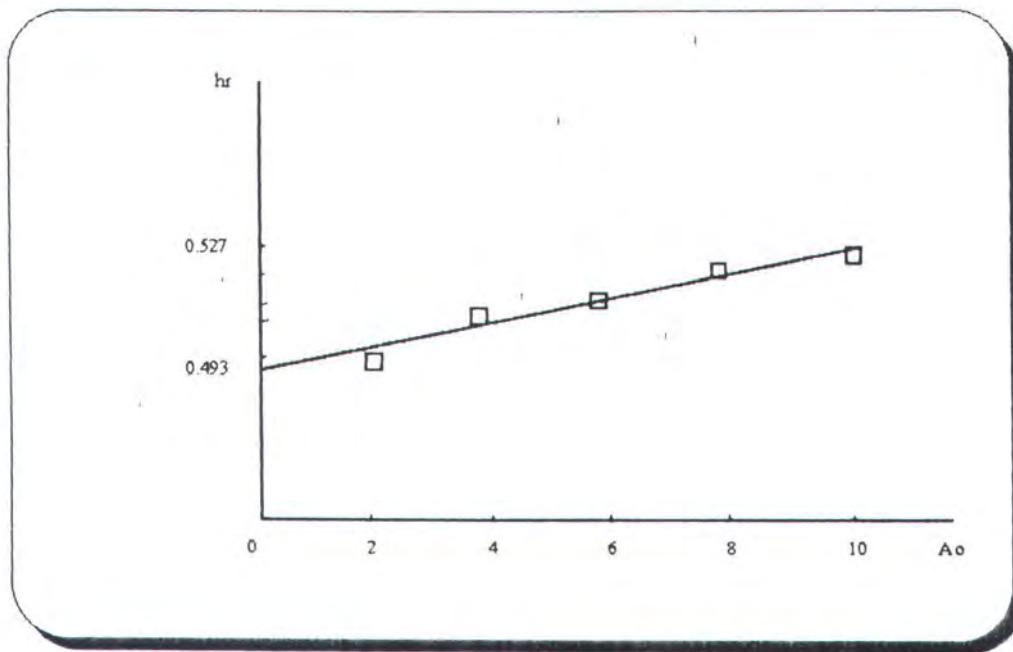
| Tangki | Luas penampang pipa (m ²) | Panjang pipa(m) | Jumlah laluan |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|
| COT1 (S) = COT1 (P) | 225.78 | 363 | 15 |
| COT2 (S) = COT2 (P) | 235.12 | 378 | 20 |
| COT3 (S) = COT3 (P) | 262.48 | 422 | 20 |
| COT4 (S) = COT4 (P) | 238.85 | 384 | 20 |
| COT5 (S) = COT5 (P) | 229.5 | 369 | 20 |
| SLOP TANK (S) & (P) | 230 | 370 | 8 |

3.8. ANALISA

Dari perhitungan diatas dapat kita peroleh analisa sebagai berikut:

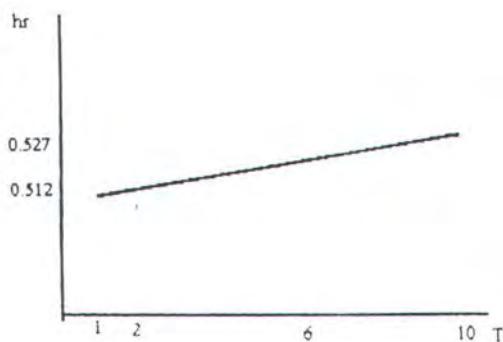
3.8.1. Pengaruh terhadap koefisien perpindahan panas didalam tangki :

Koefisien perpindahan panas untuk fluida pada proses konveksi alamiah didapat harga $h = 0.493 \text{ Btu/hr ft}^{\circ}\text{F}$, sedangkan untuk proses konveksi paksa didapat harga $h = 0.527 \text{ Btu/hr ft}^{\circ}\text{F}$, atau dalam prosentase mengalami kenaikan sebesar 4.82%. Kenaikan koefisien ini tergantung dari besarnya amplitudo yang dapat dicapai oleh kapal,



Semakin besar amplitudo yang dicapai oleh kapal, semakin besar pula koefisien perpindahan panas yang dicapai, sehingga merupakan garis linier(bertambahnya amplitudo linier terhadap koefisien perpindahan panas).

Pada kemungkinan kondisi yang lain, yaitu dengan periode rolling yang berubah-ubah dengan amplitudo yang tetap ($A_0 = 10$) dapat digambarkan :



Dengan berubahnya periode rolling, grafik tersebut menunjukkan bahwa pada periode rolling yang besar koefisien perpindahan panas akan bertambah besar pula, sehingga waktu pencampuran antara fluida yang lebih panas terhadap fluida yang lebih dingin berlangsung lama.

3.8.2. Pengaruh terhadap pipa pemanas

Pada tabel diatas, dinyatakan bahwa jika terjadi proses perpindahan panas dalam tangki adalah konveksi paksa maka diperlukan jumlah pipa dan panjang pipa yang tetap, tetapi proses perpindahan panas akan terjadi lebih cepat dari konveksi alamiah, ini disebabkan adanya gerakan mencampur dari fluida yang lebih panas terhadap fluida yang lebih dingin.

BAB IV
PENUTUP

KESIMPULAN

1. Untuk $A_0 = 0$ sampai dengan $A_0 = 10$, koefisien perpindahan panas terjadi kenaikan sebesar 4.82 %, Sedangkan untuk laju perpindahan panas dari evaporator (pipa pemanas) naik sebesar 0.01%.
2. Pemakaian jumlah pipa pemanas yang tetap masih dapat mensupply panas kedalam ruang muat walaupun amplitudo dan periode rolling berubah-ubah dengan menambah kapasitas aliran didalam pipa pemanas sebesar 4,13% dari kondisi semula.
3. Penambahan kapasitas aliran didalam pipa pemanas sebesar 4.13% dapat dipenuhi mengingat pompa sirkulasi mempunyai range daya yang cukup besar.

SARAN

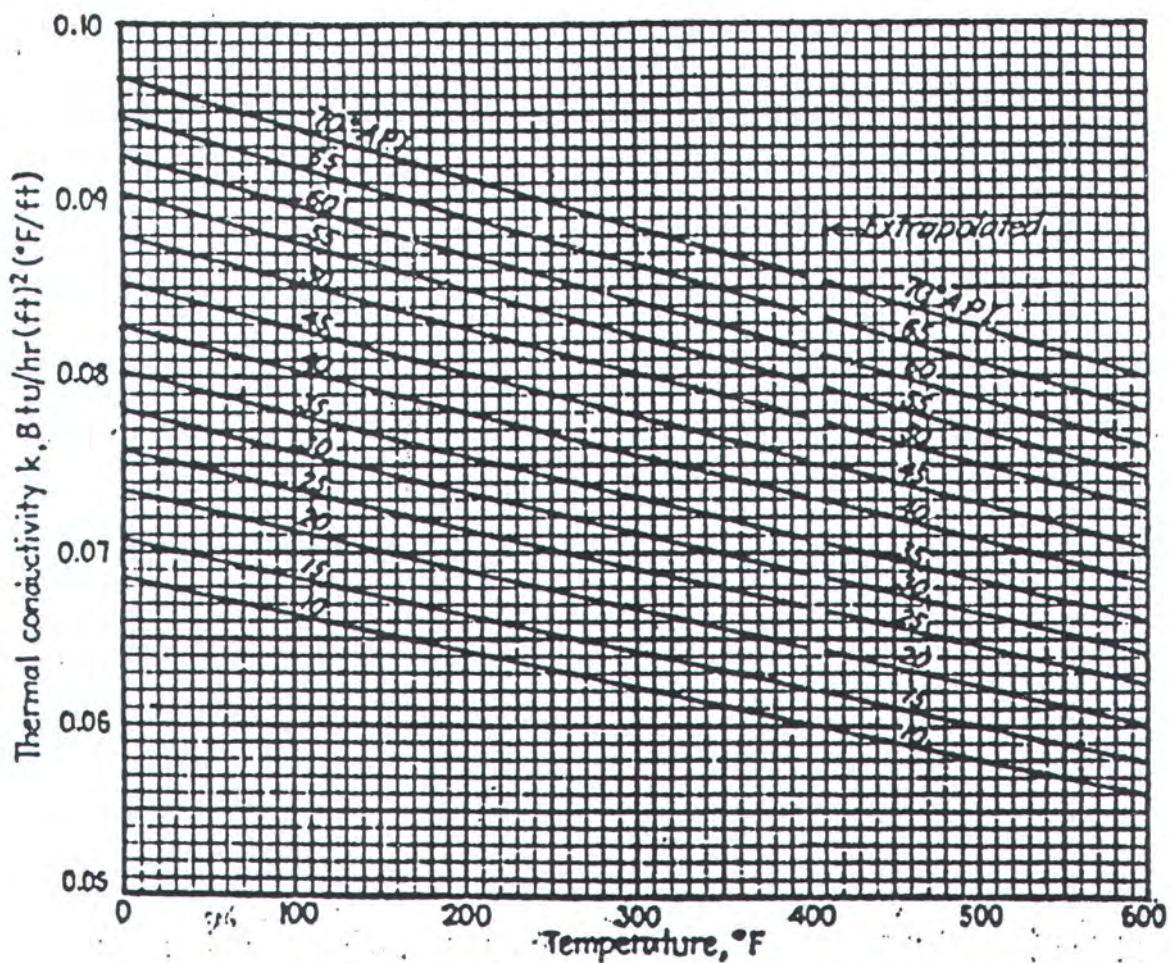
Mengingat keterbatasan waktu, penulis menyarankan kepada teman-teman mahasiswa untuk melanjutkan studi ini yaitu mengenai pengaruh rolling terhadap sistem yang lain, serta hubungan antara daya pompa yang dibutuhkan dengan energi yang tersedia yaitu generator suplai didalam kapal, dan dengan bantuan program komputer serta didukung oleh data yang akurat, sehingga akan didapatkan pengaruh gerakan rolling secara keseluruhan terhadap sistem.

DAFTAR PUSTAKA

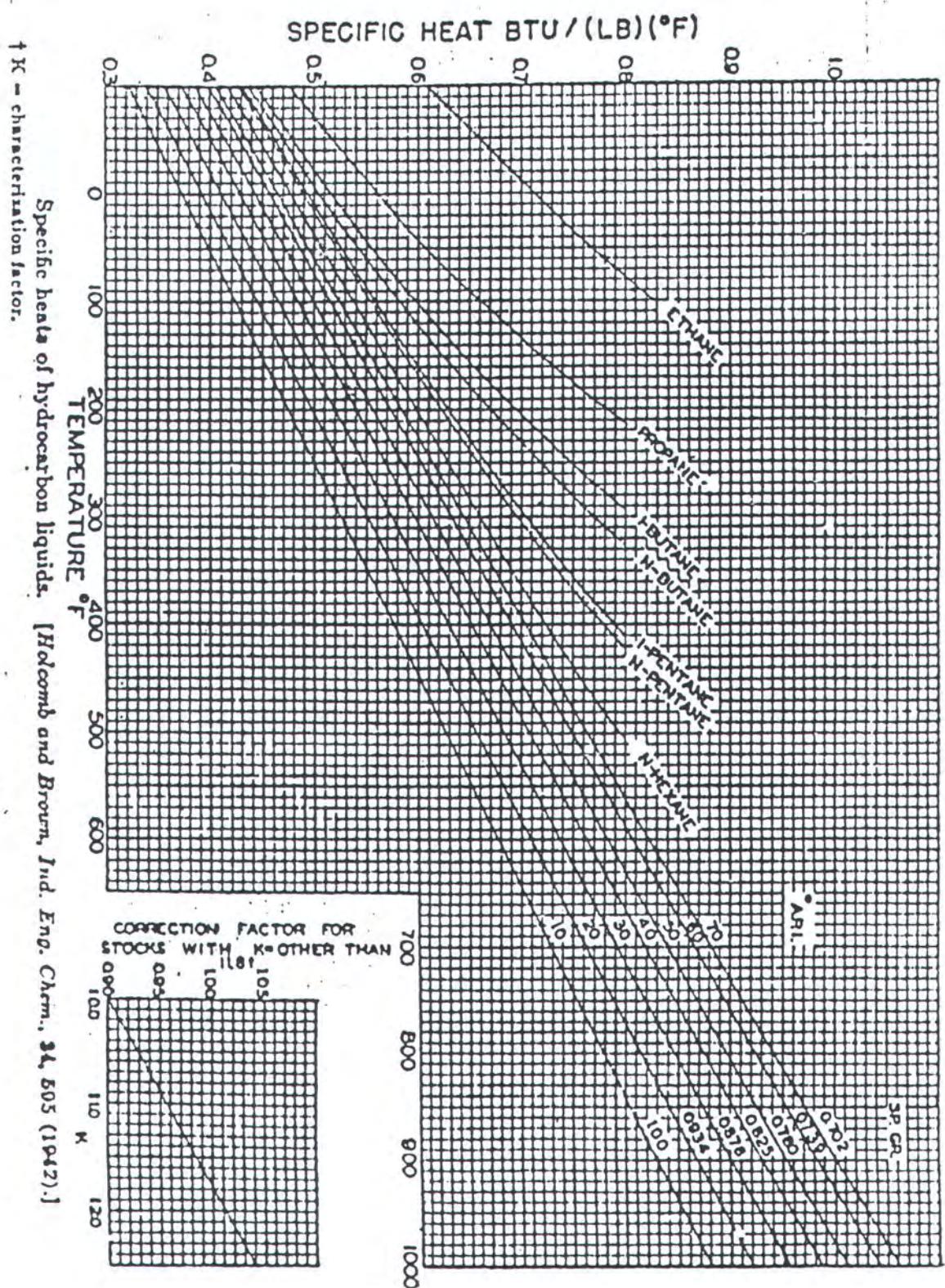
DAFTAR PUSTAKA

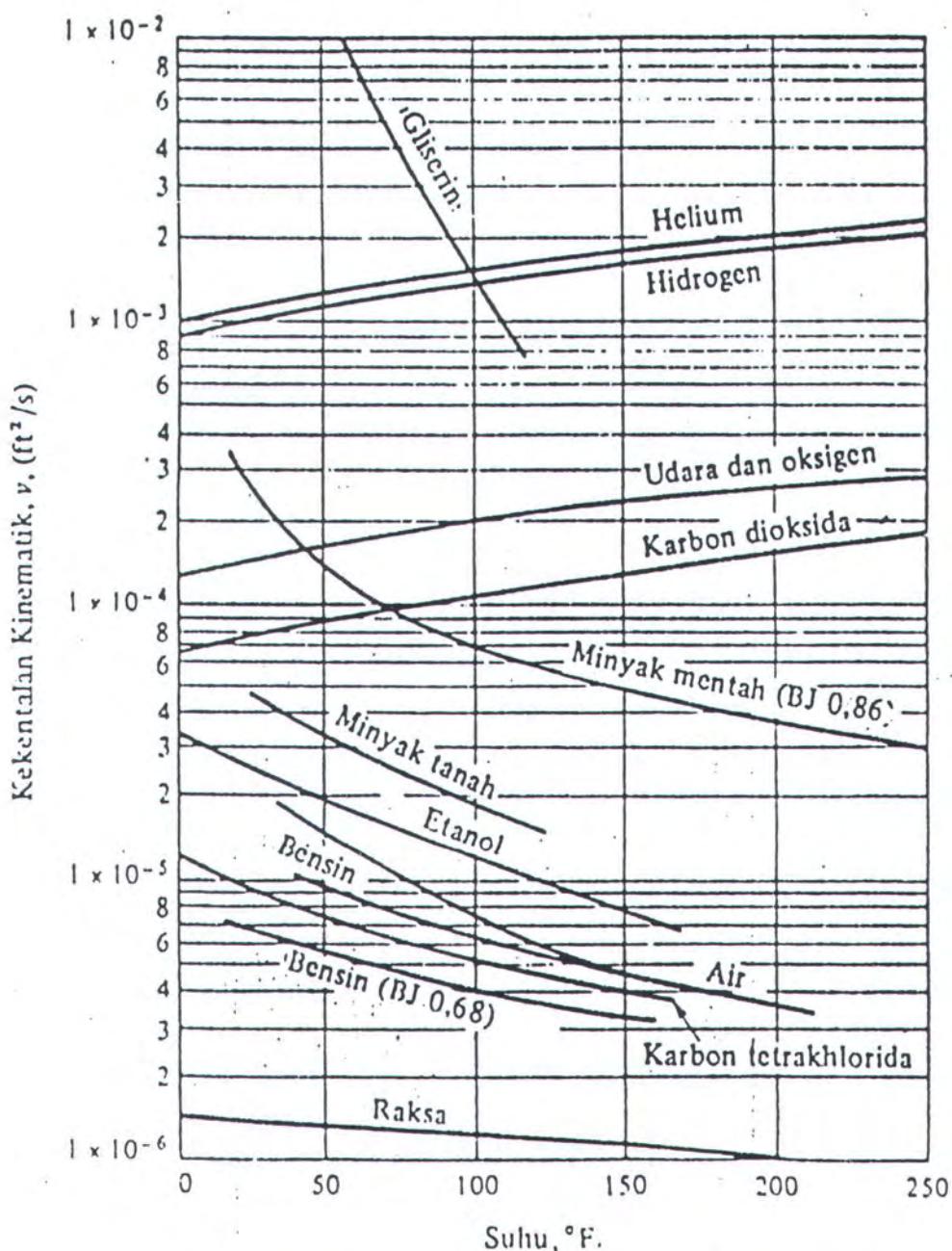
1. S. DOERFFER, " International Ship Building Progres", 1985
2. JANNA W.S," Engineering Heat transfer", P.W.S Eng, Boston.
3. KERN, D.Q "Process Heat Transfer" International Student Edition, McGraw-hill
4. HOLMAN, J.P "Heat Transfer", 4th Edition , McGraw-Hill Book Co. New York.
5. GERGE E. PONTON," Liquid Cargo Heating System", journal of Marine
Tehnologi," 1982.
6. F. KREITH, "Prinsip-prinsip Perpindahan Panas ", 4 th Edition.
7. Kenneth Wark, "Thermodynamics", McGraw-Hill Book Co. New York, 1983.
8. Crawford . J," Marine and Offshore pumping and piping system", Butter
Worths, London
9. BKI Volume III, 1988.

LAMPIRAN

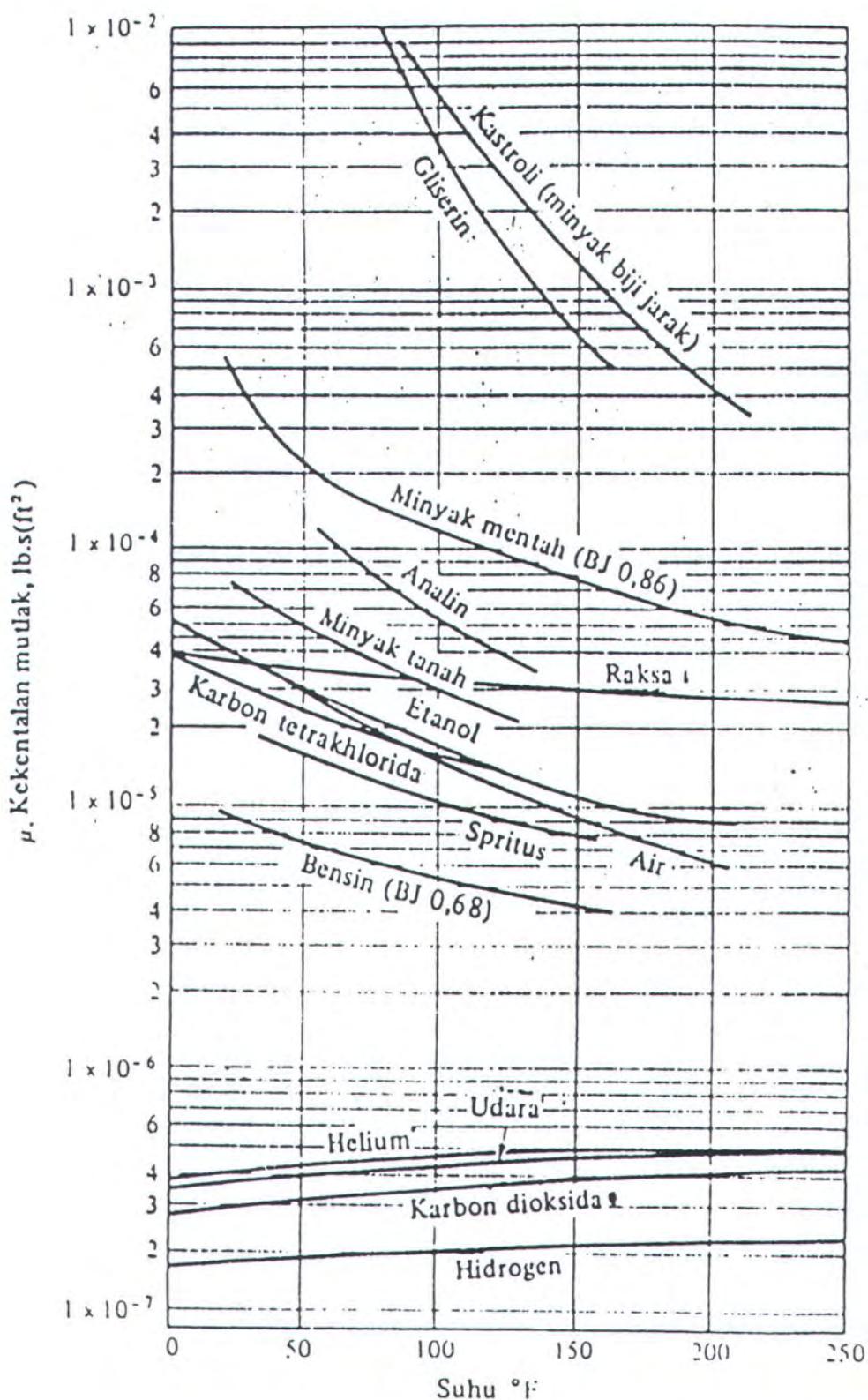


Thermal conductivities of hydrocarbon liquids. (Adapted from Natl. Bur. Standards Assoc. Pub. 97.)

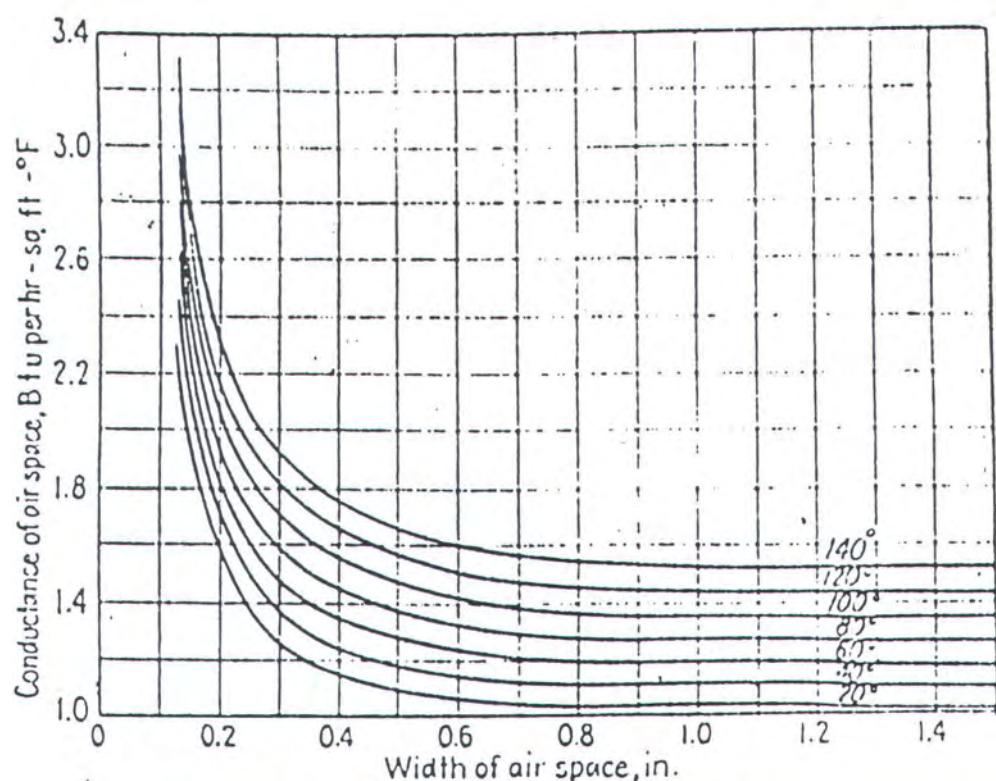




Kekentalan kinematik zahir-zahir yang lazim, pada 1 atm.



Kekentalan mutlak zahir-zahir yang lazim, pada tekanan 1 atm



Conductance of air spaces for various mean temperatures.
[F. B. Rowley, and A. B. Algren, *Thermal Resistances of Air Spaces*, *Trans. ASHVE*, 35, 165-181 (1929).]

Table Thermal properties of selected alloys at 293 K (20°C) or 528°F (68°F).

| Base metal | % Composition | Specific gravity | Specific heat, c_p | | Thermal conductivity, k | | Diffusivity, α | |
|---------------------|-------------------------|------------------|----------------------|------------|---------------------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| | | | J/(kg·K) | BTU/lbm·°R | W/(m·K) | BTU/hr·ft·°R | $m^2/s \times 10^3$ | $ft^2/s \times 10^4$ |
| Aluminum | | | | | | | | |
| Duralumin | 94-96 Al, 3-5 Cu, tr Mg | 2.787 | 833 | 0.199 | 164 | 94.7 | 6.676 | 7.187 |
| Silumin | 87 Al, 13 Si | 2.659 | 871 | 0.208 | 164 | 94.7 | 7.099 | 7.642 |
| Copper | | | | | | | | |
| Al-bronze | 95 Cu, 5 Al | 8.666 | 410 | 0.0979 | 83 | 47.9 | 2.330 | 2.508 |
| Bronze | 75 Cu, 25 Sn | 8.666 | 343 | 0.0819 | 26 | 15.0 | 0.359 | 0.925 |
| Red brass | 85 Cu, 9 Sn, 6 Zn | 8.714 | 385 | 0.0920 | 61 | 35.2 | 1.804 | 1.942 |
| Brass | 70 Cu, 30 Zn | 8.522 | 385 | 0.0920 | 111 | 64.1 | 3.412 | 3.673 |
| German silver | 62 Cu, 15 Ni, 22 Zn | 8.618 | 394 | 0.0941 | 24.9 | 14.4 | 0.733 | 0.789 |
| Constantan | 60 Cu, 40 Ni | 8.922 | 410 | 0.0979 | 22.7 | 13.1 | 0.612 | 0.659 |
| Iron | | | | | | | | |
| Cast iron | 4 C | 7.272 | 420 | 0.100 | 52 | 30.0 | 1.702 | 1.832 |
| Wrought iron | 0.5 CH | 7.849 | 460 | 0.110 | 59 | 34.1 | 1.626 | 1.750 |
| Steel | | | | | | | | |
| Carbon steel | 1 C | 7.801 | 473 | 0.113 | 43 | 24.8 | 1.172 | 1.262 |
| | 1.5 C | 7.753 | 486 | 0.116 | 36 | 20.8 | 0.970 | 1.04 |
| Chrome steel | 1 Cr | 7.865 | 460 | 0.110 | 61 | 35.2 | 1.665 | 1.792 |
| | 5 Cr | 7.833 | 460 | 0.110 | 40 | 23.1 | 1.110 | 1.195 |
| | 10 Cr | 7.785 | 460 | 0.110 | 31 | 17.9 | 0.867 | 0.933 |
| Chrome-nickel steel | 15 Cr, 10 Ni | 7.865 | 460 | 0.110 | 19 | 11.0 | 0.526 | 0.577 |
| | 20 Cr, 15 Ni | 7.833 | 460 | 0.110 | 15.1 | 8.72 | 0.415 | 0.447 |
| Nickel steel | 10 Ni | 7.945 | 460 | 0.110 | 26 | 15.0 | 0.720 | 0.775 |
| | 20 Ni | 7.993 | 460 | 0.110 | 19 | 11.0 | 0.526 | 0.566 |
| | 40 Ni | 8.169 | 460 | 0.110 | 10 | 5.78 | 0.279 | 0.300 |
| | 60 Ni | 8.378 | 460 | 0.110 | 19 | 11.0 | 0.493 | 0.531 |
| Nickel-chrome steel | 80 Ni, 15 C | 8.522 | 460 | 0.110 | 17 | 9.82 | 0.444 | 0.478 |
| | 40 Ni, 15 C | 8.073 | 460 | 0.110 | 11.6 | 6.70 | 0.305 | 0.328 |
| Manganese steel | 1 Mn | 7.865 | 460 | 0.110 | 50 | 28.9 | 1.388 | 1.494 |
| | 5 Mn | 7.849 | 460 | 0.110 | 22 | 12.7 | 0.637 | 0.686 |
| Silicon steel | 1 Si | 7.769 | 460 | 0.110 | 42 | 24.3 | 1.164 | 1.164 |
| | 5 Si | 7.417 | 460 | 0.110 | 19 | 11.0 | 0.555 | 0.597 |
| Stainless steel | Type 304 | 7.817 | 461 | 0.110 | 14.4 | 8.32 | 0.387 | 0.417 |
| | Type 347 | 7.817 | 461 | 0.110 | 14.3 | 8.26 | 0.387 | 0.417 |
| Tungsten steel | 1 W | 7.913 | 448 | 0.107 | 66 | 38.1 | 1.858 | 2.000 |
| | 5 W | 8.073 | 435 | 0.104 | 54 | 31.2 | 1.525 | 1.642 |

Notes: Density = ρ = specific gravity \times 62.4 lbm/ft³ = specific gravity \times 1000 kg/m³

Diffusivity = α ; for Duralumin, $\alpha \times 10^3 = 6.676 \text{ m}^2/\text{s}$; so $\alpha = 6.676 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Also, $\alpha = k/\rho c_p$

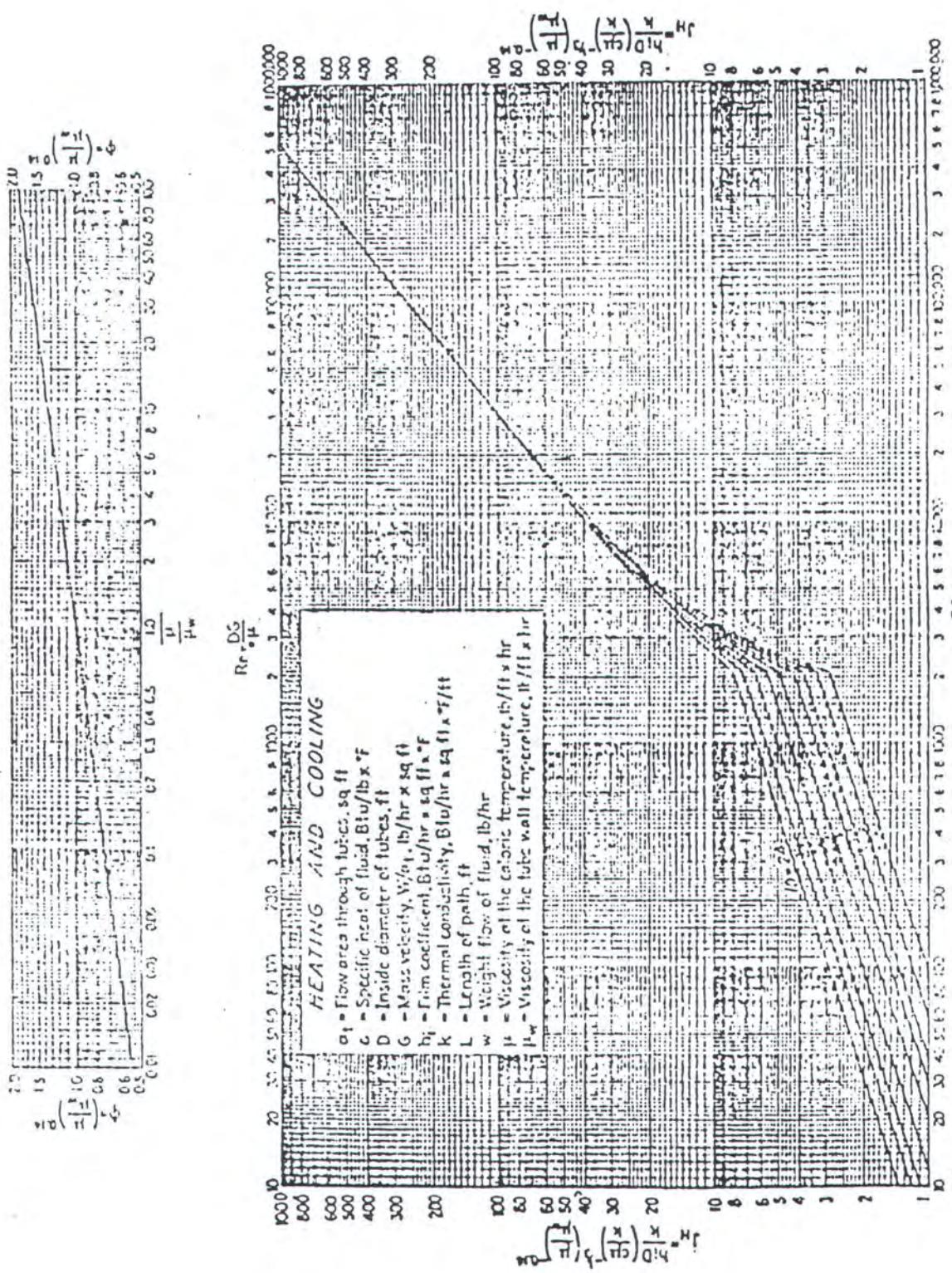
Table Properties of gases at atmospheric pressure (101.3 kPa = 14.7 psia): Air [Gas constant = 286.8 J/(kg·K) = 53.3 ft·lb/lbm·°R; $\gamma = c_p/c_v = 1.4$.]^a

| Temp., T K | Temp., T °R | Density, ρ | | Specific heat, c_p | | Kinematic viscosity, ν | | Thermal conductivity, k | | Thermal diffusivity, α | | Prandtl number, Pr |
|---------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|
| | | kg/m ³ | lbm/ft ³ | J kg·K | BTU lbm·°R | m ² /s | ft ² /s | W m·K | BTU hr·ft·°R | m ² /s | ft ² /hr | |
| 100 | 180 | 3.601 | 0.225 | 1026.6 | 0.245 | 1.923×10^{-6} | 2.070×10^{-5} | 0.009246 | 0.005342 | 0.02501×10^{-4} | 0.0969 | 0.770 |
| 150 | 270 | 2.368 | 0.148 | 1009.9 | 0.241 | 4.343 | 4.674 | 0.013735 | 0.007936 | 0.05745 | 0.223 | 0.753 |
| 200 | 360 | 1.768 | 0.110 | 1006.1 | 0.240 | 7.490 | 8.062 | 0.01809 | 0.01045 | 0.10165 | 0.394 | 0.739 |
| 250 | 450 | 1.413 | 0.0882 | 1005.3 | 0.240 | 9.49 | 10.2 | 0.02227 | 0.01287 | 0.13161 | 0.510 | 0.722 |
| 300 | 540 | 1.177 | 0.0735 | 1005.7 | 0.240 | 15.68 | 16.88 | 0.02624 | 0.01516 | 0.22160 | 0.859 | 0.708 |
| 350 | 630 | 0.998 | 0.0623 | 1009.0 | 0.241 | 20.76 | 22.35 | 0.03003 | 0.01735 | 0.2983 | 1.156 | 0.697 |
| 400 | 720 | 0.883 | 0.0551 | 1014.0 | 0.242 | 25.90 | 27.88 | 0.03365 | 0.01944 | 0.3760 | 1.457 | 0.689 |
| 450 | 810 | 0.783 | 0.0489 | 1020.7 | 0.244 | 28.86 | 31.06 | 0.03707 | 0.02142 | 0.4222 | 1.616 | 0.681 |
| 500 | 900 | 0.705 | 0.0440 | 1029.5 | 0.245 | 37.90 | 40.80 | 0.04038 | 0.02331 | 0.5564 | 2.156 | 0.680 |
| 550 | 990 | 0.642 | 0.0401 | 1039.2 | 0.248 | 44.34 | 47.73 | 0.04360 | 0.02519 | 0.6532 | 2.331 | 0.680 |
| 600 | 1080 | 0.589 | 0.0367 | 1055.1 | 0.252 | 51.34 | 55.26 | 0.04639 | 0.02692 | 0.7512 | 2.911 | 0.680 |
| 650 | 1170 | 0.543 | 0.0339 | 1063.5 | 0.254 | 58.51 | 62.98 | 0.04953 | 0.02842 | 0.8578 | 3.324 | 0.682 |
| 700 | 1260 | 0.503 | 0.0314 | 1075.2 | 0.257 | 66.25 | 71.31 | 0.05230 | 0.03022 | 0.9672 | 3.748 | 0.684 |
| 750 | 1350 | 0.471 | 0.0294 | 1085.6 | 0.259 | 73.91 | 79.56 | 0.05509 | 0.03183 | 1.0774 | 4.175 | 0.686 |
| 800 | 1440 | 0.441 | 0.0275 | 1097.8 | 0.262 | 82.29 | 88.58 | 0.05779 | 0.03339 | 1.1951 | 4.631 | 0.689 |
| 850 | 1530 | 0.415 | 0.0259 | 1109.5 | 0.265 | 90.75 | 97.68 | 0.06028 | 0.03483 | 1.3097 | 5.075 | 0.692 |
| 900 | 1620 | 0.393 | 0.0245 | 1121.2 | 0.268 | 99.3 | 107 | 0.06279 | 0.03625 | 1.4271 | 5.530 | 0.696 |
| 950 | 1710 | 0.372 | 0.0232 | 1132.1 | 0.270 | 108.2 | 116.5 | 0.06525 | 0.03770 | 1.5510 | 6.010 | 0.699 |
| 1000 | 1800 | 0.352 | 0.0220 | 1141.7 | 0.273 | 117.8 | 126.8 | 0.06752 | 0.03901 | 1.6779 | 6.502 | 0.702 |
| 1100 | 1980 | 0.320 | 0.0120 | 1160 | 0.277 | 138.6 | 149.2 | 0.0732 | 0.0421 | 1.969 | 7.630 | 0.704 |
| 1200 | 2160 | 0.295 | 0.0184 | 1179 | 0.282 | 159.1 | 171.3 | 0.0782 | 0.0452 | 2.251 | 8.721 | 0.707 |
| 1300 | 2340 | 0.271 | 0.0169 | 1197 | 0.286 | 182.1 | 196.0 | 0.0837 | 0.0484 | 2.581 | 10.01 | 0.705 |
| 1400 | 2520 | 0.252 | 0.0157 | 1214 | 0.290 | 205.5 | 221.2 | 0.0891 | 0.0515 | 2.920 | 11.32 | 0.705 |
| 1500 | 2700 | 0.236 | 0.0147 | 1230 | 0.294 | 229.1 | 246.6 | 0.0946 | 0.0547 | 3.262 | 12.64 | 0.705 |
| 1600 | 2880 | 0.221 | 0.0138 | 1248 | 0.298 | 254.5 | 273.9 | 0.100 | 0.0578 | 3.609 | 13.98 | 0.705 |
| 1700 | 3060 | 0.208 | 0.0130 | 1267 | 0.301 | 280.5 | 301.9 | 0.105 | 0.0607 | 3.977 | 15.41 | 0.705 |
| 1800 | 3240 | 0.197 | 0.0123 | 1287 | 0.307 | 308.1 | 331.6 | 0.111 | 0.0641 | 4.379 | 16.97 | 0.704 |
| 1900 | 3420 | 0.186 | 0.0115 | 1309 | 0.313 | 338.5 | 364.4 | 0.117 | 0.0676 | 4.811 | 18.64 | 0.704 |
| 2000 | 3600 | 0.176 | 0.0110 | 1338 | 0.320 | 369.0 | 397.2 | 0.124 | 0.0716 | 5.260 | 20.38 | 0.702 |
| 2100 | 3780 | 0.168 | 0.0105 | 1372 | 0.328 | 399.6 | 430.1 | 0.131 | 0.0757 | 5.715 | 22.15 | 0.700 |
| 2200 | 3960 | 0.160 | 0.0100 | 1419 | 0.339 | 432.6 | 465.6 | 0.139 | 0.0803 | 6.120 | 23.72 | 0.707 |
| 2300 | 4140 | 0.154 | 0.00955 | 1452 | 0.354 | 464.0 | 499.4 | 0.149 | 0.0861 | 6.540 | 25.14 | 0.710 |
| 2400 | 4320 | 0.146 | 0.00905 | 1574 | 0.376 | 504.0 | 542.5 | 0.161 | 0.0910 | 7.020 | 27.20 | 0.718 |
| 2500 | 4500 | 0.139 | 0.00848 | 1688 | 0.403 | 543.5 | 585.0 | 0.175 | 0.101 | 7.441 | 28.83 | 0.730 |

* Source: Data taken from a number of sources. See references at end of text.

Table Properties of saturated liquids: Water H_2O^*

| Temp., T °C. | Specific heat, c_p J. kg.K | Specific heat, c_p BTU lbm.K | | Kinematic viscosity, η m ² /s | | Thermal conductivity, k W m.K | | Thermal conductivity, k BTU hr.ft.R | | Prandtl number, P_r | | μ 10 ⁻³ 1/R |
|-----------------|---------------------------------------|---|--------------|---|------------------------|--|----------------|--|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | | J. kg.K | BTU lbm.K | m ² /s | hr. ² /s | W m.K | BTU hr.ft.R | m ² .s | hr. ² .ft | P_r | 1/R | |
| 0 | 1.012 | 4.217 | 1.0074 | 1.788 $\times 10^{-4}$ | 1.925 $\times 10^{-4}$ | 0.552 | 0.319 | 1.008 $\times 10^{-3}$ | 5.07 $\times 10^{-3}$ | 1.16 | 0.10 $\times 10^{-3}$ | 0.10 $\times 10^{-3}$ |
| 20 | 0.980 | 4.181 | 0.9985 | 1.098 | 1.094 | 0.597 | 0.345 | 4.410 | 5.54 | 7.02 | | |
| 40 | 0.954 | 4.154 | 0.9980 | 0.658 | 0.708 | 0.628 | 0.363 | 5.56 | 4.34 | | | |
| 60 | 0.935 | 4.130 | 0.9984 | 0.478 | 0.514 | 0.651 | 0.376 | 1.554 | 6.02 | 3.62 | | |
| 80 | 0.916 | 4.107 | 0.9974 | 0.384 | 0.392 | 0.668 | 0.386 | 1.636 | 6.34 | 2.22 | | |
| 100 | 0.8974 | 4.082 | 0.9964 | 0.303 | 0.302 | 0.680 | 0.393 | 1.680 | 6.51 | 1.74 | | |
| 120 | 0.876 | 4.056 | 0.9950 | 0.294 | 0.316 | 0.680 | 0.393 | 1.680 | 6.51 | 1.74 | | |
| 140 | 0.845 | 4.030 | 0.9945 | 0.247 | 0.268 | 0.685 | 0.396 | 1.708 | 6.62 | 1.446 | | |
| 160 | 0.823 | 4.004 | 0.9938 | 0.214 | 0.240 | 0.684 | 0.395 | 1.724 | 6.68 | 1.241 | | |
| 180 | 0.799 | 3.979 | 0.9928 | 0.190 | 0.204 | 0.680 | 0.393 | 1.729 | 6.70 | 1.069 | | |
| 200 | 0.780 | 3.954 | 0.9915 | 0.173 | 0.186 | 0.674 | 0.390 | 1.724 | 6.68 | 1.034 | | |
| 220 | 0.760 | 3.928 | 0.9900 | 0.160 | 0.172 | 0.665 | 0.384 | 1.708 | 6.64 | 0.917 | | |
| 240 | 0.742 | 3.902 | 0.9882 | 0.150 | 0.161 | 0.652 | 0.377 | 1.680 | 6.51 | 0.891 | | |
| 260 | 0.725 | 3.875 | 0.9865 | 0.143 | 0.154 | 0.635 | 0.367 | 1.649 | 6.35 | 0.871 | | |
| 280 | 0.710 | 3.848 | 0.9845 | 0.137 | 0.148 | 0.611 | 0.353 | 1.577 | 6.11 | 0.874 | | |
| 300 | 0.695 | 3.821 | 0.9824 | 0.135 | 0.145 | 0.580 | 0.338 | 1.481 | 5.74 | 0.910 | | |
| 320 | 0.682 | 3.794 | 0.9800 | 0.135 | 0.145 | 0.540 | 0.312 | 1.424 | 5.14 | 1.019 | | |
| 340 | 0.671 | 3.768 | 0.9774 | 0.135 | 0.145 | 0.540 | 0.312 | 1.424 | 5.14 | | | |



Tabel 3: Thermal heat transfer curves (Adapted from Nusselt Table)

844

PROCESS HEAT TRANSFER

TABLE II. DIMENSIONS OF STEEL PIPE (IPS)

| Nominal pipe size, IPS, in. $\leq D_1$ | OD, in. | Schedule No. | ID, in. | Flow area per pipe, in. ² | Surface per lin ft., ft./ft. | | Weight per lin ft., lb steel |
|---|---------|-----------------|---------|--|---------------------------------|--------|------------------------------------|
| | | | | | Outside | Inside | |
| $\frac{1}{4}$ | 0.405 | 40° | 0.269 | 0.058 | 0.106 | 0.070 | 0.25 |
| | | 80† | 0.215 | 0.036 | | 0.056 | 0.32 |
| $\frac{3}{8}$ | 0.540 | 40° | 0.364 | 0.104 | 0.141 | 0.045 | 0.43 |
| | | 80† | 0.302 | 0.072 | | 0.079 | 0.64 |
| $\frac{5}{8}$ | 0.675 | 40° | 0.493 | 0.192 | 0.177 | 0.129 | 0.57 |
| | | 80† | 0.423 | 0.141 | | 0.111 | 0.74 |
| $\frac{3}{4}$ | 0.840 | 40° | 0.622 | 0.304 | 0.220 | 0.163 | 0.85 |
| | | 80† | 0.546 | 0.235 | | 0.143 | 1.09 |
| $\frac{7}{8}$ | 1.05 | 40° | 0.824 | 0.634 | 0.275 | 0.216 | 1.13 |
| | | 80† | 0.742 | 0.432 | | 0.194 | 1.48 |
| 1 | 1.32 | 40° | 1.049 | 0.864 | 0.344 | 0.274 | 1.68 |
| | | 80† | 0.957 | 0.718 | | 0.250 | 2.17 |
| $1\frac{1}{8}$ | 1.66 | 40° | 1.380 | 1.60 | 0.435 | 0.362 | 2.28 |
| | | 80† | 1.278 | 1.28 | | 0.335 | 3.00 |
| $1\frac{1}{4}$ | 1.90 | 40° | 1.610 | 2.04 | 0.498 | 0.422 | 2.72 |
| | | 80† | 1.500 | 1.76 | | 0.333 | 3.64 |
| 2 | 2.38 | 40° | 2.067 | 8.35 | 0.622 | 0.542 | 3.66 |
| | | 80† | 1.939 | 2.95 | | 0.508 | 5.03 |
| $2\frac{1}{8}$ | 2.88 | 40° | 2.400 | 4.79 | 0.753 | 0.647 | 5.80 |
| | | 80† | 2.323 | 4.23 | | 0.609 | 7.67 |
| 3 | 3.50 | 40° | 3.068 | 7.38 | 0.917 | 0.804 | 7.58 |
| | | 80† | 2.900 | 6.61 | | 0.760 | 10.3 |
| 4 | 4.50 | 40° | 4.026 | 12.7 | 1.173 | 1.055 | 10.8 |
| | | 80† | 3.826 | 11.6 | | 1.002 | 15.0 |
| 6 | 6.625 | 40° | 6.065 | 28.9 | 1.734 | 1.500 | 19.0 |
| | | 80† | 5.761 | 26.1 | | 1.510 | 28.6 |
| 8 | 8.625 | 40° | 7.981 | 50.0 | 2.258 | 2.090 | 28.6 |
| | | 80† | 7.625 | 45.7 | | 2.000 | 43.4 |
| 10 | 10.75 | 40° | 10.02 | 78.8 | 2.814 | 2.62 | 40.5 |
| | | 60 | 9.75 | 74.6 | | 2.55 | 54.8 |
| 12 | 12.75 | 30 | 12.00 | 116 | 3.338 | 3.17 | 43.8 |
| 14 | 14.0 | 30 | 13.25 | 138 | 3.665 | 3.47 | 54.6 |
| 16 | 16.0 | 30 | 15.25 | 183 | 4.180 | 4.00 | 62.6 |
| 18 | 18.0 | 20‡ | 17.25 | 234 | 4.712 | 4.52 | 72.7 |
| 20 | 20.0 | 20 | 19.25 | 291 | 5.236 | 5.05 | 78.6 |
| 22 | 22.0 | 20‡ | 21.25 | 356 | 5.747 | 5.56 | 84.0 |
| 24 | 24.0 | 20 | 23.25 | 426 | 6.283 | 6.09 | 94.7 |

* Commonly known as standard.

† Commonly known as extra heavy.

‡ Approximately.

TABLE 12. FOULING FACTORS^a

| Water | Temperature of heating medium..... | | Up to 240°F | | 240-400°F† | |
|---|------------------------------------|------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | Temperature of water..... | | 125°F or less | | Over 125°F | |
| | Water velocity, fps | Water velocity, fps | 3 ft and less | Over 3 ft | 3 ft and less | Over 3 ft |
| Sea water..... | | 0.0005 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | |
| Brackish water..... | | 0.002 | 0.001 | 0.003 | 0.002 | |
| Cooling tower and artificial spray pond: | | | | | | |
| Treated make-up..... | | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | |
| Untreated..... | | 0.003 | 0.003 | 0.005 | 0.004 | |
| City or well water (such as Great Lakes)..... | | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | |
| Great Lakes..... | | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | |
| River water: | | | | | | |
| Minimum..... | | 0.002 | (0.01) | 0.003 | 0.022 | |
| Mississippi..... | | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | |
| Delaware, Schuylkill..... | | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | |
| East River and New York Bay..... | | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | |
| Chicago sanitary canal..... | | 0.008 | 0.006 | 0.010 | 0.008 | |
| Muddy or silty..... | | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | |
| Hard (over 15 grains/gal)..... | | 0.003 | 0.003 | 0.005 | 0.005 | |
| Engine jacket..... | | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | |
| Distilled..... | | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | |
| Treated boiler feedwater..... | | 0.001 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | |
| Boiler blowdown..... | | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | |

^f Ratings in the last two columns are based on a temperature of the heating medium of 240 to 400°F. If the heating medium temperature is over 400°F, and the cooling medium is known to scale these ratings should be modified accordingly.

Petroleum Fractions

| | |
|---|--|
| Oils (industrial): | Liquids (industrial): |
| Fuel oil..... | Organic..... 0.001 |
| Clean recirculating oil..... | Refrigerating liquids, heating, cooling, or evaporating..... 0.001 |
| Machinery and transformer oils | Brine (cooling)..... 0.001 |
| Quenching oil..... | Atmospheric distillation units: |
| Vegetable oils..... | Residual bottoms, less than 25°API..... 0.005 |
| Gases, vapors (industrial): | Distillate bottoms, 25°API or above..... 0.002 |
| Coke-oven gas, manufactured gas..... 0.01 | Atmospheric distillation units: |
| Diesel-engine exhaust gas..... 0.01 | Overhead untreated vapors... 0.0013 |
| Organic vapors..... 0.0005 | Overhead treated vapors.... 0.003 |
| Steam (non-oil bearing)..... 0.0 | Side-stream cuts..... 0.0013 |
| Alcohol vapors..... 0.0 | Vacuum distillation units: |
| Steam, exhaust (oil bearing from reciprocating engines) 0.001 | Overhead vapors to oil: From bubble tower (partial condenser)..... 0.001 |
| Refrigerating vapors (condens- ing from reciprocating com- pressors)..... 0.002 | From flash pot (no appreci- able reflux)..... 0.003 |
| Air..... 0.002 | |

^a Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2d ed., New York, 1949.

```

c234567
c$noext
    dimension tw1(9999),tw2(9999)
    real c1,c2,ca,d,pr1,pr2,tc,ta,l
c-----data-----
    write(*,310)
0310  format(11x,'Suhu asumsi [tw1]      : ',__)
    read(*,*)tw1(1)
    write(*,320)
0320  format(11x,'Suhu asumsi [tw2]      : ',__)
    read(*,*)tw2(1)
    write(*,330)
0330  format(11x,'Konduktifitas crude oil : ',__)
    read(*,*)c1
    write(*,340)
0340  format(11x,'Konduktifitas udara   : ',__)
    read(*,*)c2
    write(*,1310)
1310  format(11x,'Konduktifitas plat dalam : ',__)
    read(*,*)ca
    write(*,1320)
1320  format(11x,'Tebal plat           : ',__)
    read(*,*)d
    write(*,2310)
2310  format(11x,'Suhu crude oil        : ',__)
    read(*,*)tc
    write(*,2320)
2320  format(11x,'Suhu udara dalam       : ',__)
    read(*,*)ta
    write(*,2330)
2330  format(11x,'Panjang plat          : ',__)
    read(*,*)l
    ok=0.0001
    write(*,20)
20    format('ra11',8x,'ah1',8x,'tw1(i)',__)
    write(*,30)
30    format(10x,'ra12',8x,'ah2',8x,'tw2(i)')

c-----proses-----
    do 1 i=1,9999
    ral1=2.3676*(10**8)*(10**8)*(150.8-tw1(i))/(150.8+tw1(i))
    anul1=0.56*sqrt(sqrt(ral1))
    anul1=anul1**2
    ah1=(c1/l)*anul1
    ral2=6.4962*10**5*10**5*((tw2(i)-116.6))
    anul2=0.56*sqrt(sqrt(ral2))
    ah2=(c2/l)*anul2
    q=(tc-ta)/((1/ah1)+(d/ca)+(1/ah2))
    tw1(i+1)=tc-(q/ah1)
    tw2(i+1)=(q/ah2)+ta
    write(*,10)anul1,ah1,tw1(i),anul2,ah2,tw2(i)
    anal1=tw1(i+1)-tw1(i)
    anal1=abs(anal1)
    anal2=tw2(i+1)-tw2(i)
    anal2=abs(anal2)
    if(anal1.le.ok.and.anal2.le.ok)stop
    if(i.eq.66)pause
1  continue
10   format((2(e8.3,2x),e8.3,2x,f14.8,2x)))
    stop
    end

```

```

c234567
c$noext
    dimension tw3(9999),tw4(9999)
    real c1,c2,ca,d,pr1,pr2,tc,ta,1
    a=1/3
c-----data-----
      write(*,310)
0310  format(1ix,'Suhu asumsi [tw1]      : ',__)
      read(*,*)tw3(1)
      write(*,330)
0330  format(1ix,'Konduktifitas udara   : ',__)
      read(*,*)c3
      write(*,340)
0340  format(1ix,'Konduktifitas udara luar : ',__)
      read(*,*)c4
      write(*,1310)
1310  format(1ix,'Konduktifitas plat     : ',__)
      read(*,*)cb
      write(*,1320)
1320  format(1ix,'Tebal plat           : ',__)
      read(*,*)d
      write(*,2310)
2310  format(1ix,'Suhu udara            : ',__)
      read(*,*)ta
      write(*,2320)
2320  format(1ix,'Suhu udara luar       : ',__)
      read(*,*)tw
      write(*,2330)
2330  format(1ix,'Panjang plat          : ',__)
      read(*,*)l
      write(*,2340)
2340  format(1ix,'Prandtl number        : ',__)
      read(*,*)pr
      ok=0.0001
      write(*,20)
20    format('ral1',8x,'ah1',8x,'tw1(i)',__)
      write(*,30)
30    format(10x,'ral2',8x,'ah2',8x,'tw2(i)')
c-----proses-----
      do 1 i=1,9999
      ral3=6.4962*(10**5)*(10**5)*(116.6-tw3(i))
      anul3=0.56*sqrt(sqrt(ral3))
      rel=6.8152*10**7
      anulc2=0.332*(sqrt(rel))*pr**
      ah3=(c3/1)*anul3
      ahc2=(c4/1)*anulc2
      q=(ta-tw)/((1/ah3)+(d/cb)+(1/ahc2))
      tw3(i+1)=ta-(q/ah3)
      tw4(i+1)=(q/ahc2)+tw
      write(*,10)anul3,ah3,tw3(i),anulc2,ahc2,tw4(i)
      anal1=tw3(i+1)-tw3(i)
      anal1=abs(anal1)
      anal2=tw4(i+1)-tw4(i)
      anal2=abs(anal2)
      if(anal1.le.ok.and.anal2.le.ok)stop
      if(i.eq.4)pause
1     continue
10   format(2(e8.3,2x,e8.3,2x,f14.8,2x),//)
      stop
      end

```

```

c234567
c$noext
    dimension tw3(9999),tw4(9999)
    real c1,c2,ca,d,pri,pr2,tc,ta,1
    a=1/3
c-----data-----
0310  write(*,310) : ',\n'
      format(11x,'Suhu asumsi [tw1]') : ',\n'
      read(*,*)tw32(1)
      write(*,330) : ',\n'
0330  format(11x,'Konduktifitas udara') : ',\n'
      read(*,*)c32
      write(*,340) : ',\n'
0340  format(11x,'Konduktifitas udara luar') : ',\n'
      read(*,*)c42
      write(*,1310) : ',\n'
1310  format(11x,'Konduktifitas plat') : ',\n'
      read(*,*)42
      write(*,1320) : ',\n'
1320  format(11x,'Tebal plat') : ',\n'
      read(*,*)d
      write(*,2310) : ',\n'
2310  format(11x,'Suhu udara') : ',\n'
      read(*,*)ta
      write(*,2320) : ',\n'
2320  format(11x,'Suhu udara luar') : ',\n'
      read(*,*)tw
      write(*,2330) : ',\n'
2330  format(11x,'Panjang plat') : ',\n'
      read(*,*)l
      write(*,2340) : ',\n'
2340  format(11x,'Prandtl number') : ',\n'
      read(*,*)pr
      ok=0.0001
      write(*,20)
20     format('ral32',8x,'ah32',8x,'tw32(i)',\n)
      write(*,30)
30     format(10x,'re',8x,'ahc3',8x,'tw42(i)')
c-----proses-----
do 1 i=1,9999
  ral32=6.4962*(10**5)*(10**5)*(116.6-tw32(i))
  anul32=0.56*sqrt(sqrt(ral32))
  rel=1.2345*10**9
  anulc3=0.332*(sqrt(rel))*pr**5
  ah32=(c32/1)*anul32
  ahc3=(c42/1)*anulc3
  q=(ta-tw)/((1/ah3)+(d/cb)+(1/ahc2))
  tw32(i+1)=ta-(q/ah32)
  tw42(i+1)=(q/ahc3)+tw
  write(*,10)ral32,ah32,tw32(i),rel,ahc3,tw42(i)
  anal1=tw32(i+1)-tw32(i)
  anal1=abs(anal1)
  anal2=tw42(i+1)-tw42(i)
  anal2=abs(anal2)
  if(anal1.le.ok.and.anal2.le.ok)stop
  if(i.eq.4)pause
  i continue
10    format((2(e8.3,2x),e8.3,2x,f14.8,2x),/)
      stop
      end

```