

**ANALISIS KEBUTUHAN *STEAM* PADA PROSES
PEMANASAN AIR UMPAN KETEL UAP PADA UNIT
DEAERATOR DI PTPN II PKS PAGAR MERBAU**

TUGAS AKHIR

OLEH :

LUFTY ARIZA APRIL CHAIRI

168130037



**PEROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/7/25

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/25

HALAMAN JUDUL

ANALISIS KEBUTUHAN *STEAM* PADA PROSES PEMANASAN AIR UMPAN KETEL UAP PADA UNIT *DEAERATOR* DI PTPN II PKS PAGAR MERBAU

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

Lufty Ariza April Chairi

168130037

PEROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKUTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/7/25

Access From (repository.uma.ac.id)22/7/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

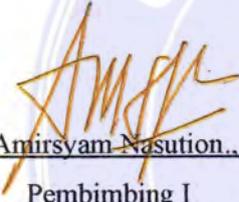
Tugas Akhir : ANALISIS KEBUTUHAN STEAM PADA PROSES PEMANASAN AIR UMPAN KETEL UAP PADA UNIT DEAERATOR DI PTPN II PKS PAGAR MERBAU

Nama Mahasiswa : Lufty Ariza April Chairi

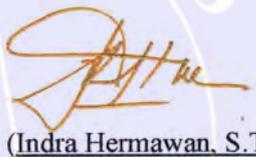
NIM : 168130037

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


(Ir. H. Amirsyam Nasution., M.T.)

Pembimbing I


(Indra Hermawan, S.T., M.T.)

Pembimbing II


(DR. Ramadasyah, S. Kom., M. Kom.)

Dekan


(Muhammad Idris, S.T., M.T.)

Ket. Prodi/ WD 1

Tanggal Lulus:

HALAMAN PERNYATAAN

Saya 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 norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Februari 2023




Lufty Ariza April Chairi

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Lufty Ariza Aril Chairi

NPM : 168130037

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis kebutuhan Steam pada proses Pemanasan air umpan ketel uap pada unit Deaerator di PTPN II PKS PAGAR MERBAU.

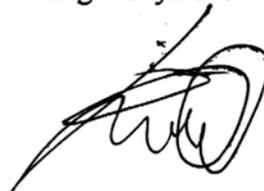
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format:kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal: Februari 2023

Yang menyatakan



(Lufty Ariza April Chairi)

ABSTRAK

Steam adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air apabila mengalami pemanasan sampai temperatur didih dan tekanan tertentu. Air umpan boiler yang akan diubah menjadi steam di PKS PAGAR MERBAU berasal dari air sungai pengolahan air sungai menjadi air umpan boiler melewati beberapa tahapan yang sedimentasi, flokulasi, penyaringan, demineralisasi dan deaerasi proses-proses ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor. Kadar garam, ion-ion dan gas-gas terlarut yang ada pada air laut. Salah satu parameter mutu air umpan boiler adalah kadar DO (Dissolved Oxygen) dengan standar pabrik maksimal 7,52 ppm, kadar DO (Dissolved Oxygen) yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan korosi pada boiler. Deaerator adalah sebuah alat yang bekerja untuk menghilangkan gas-gas terlarut yang bersifat korosif untuk mencegah korosi pada boiler. Deaerator bekerja berdasarkan sifat oksigen yang kelutannya pada air akan berkurang dengan proses pemanasan yang mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pada proses ini, bahan yang masuk berupa air dari feed water tank yang merupakan hasil pengolahan air (water treatment). Temperatur awal umpan yang masuk kedalam deaerator adalah 66°C dengan konsentrasi oksigen terlarut sebesar 7,53 ppm berkontak langsung dengan steam yang berasal dari BPV dengan tekanan 1,7 Kg cm^2 . Air umpan yang dihasilkan setelah dipanaskan maka suhunya akan naik menjadi 82°C dengan konsentrasi oksigen terlarut sebesar 7,25 ppm jumlah steam yang dibutuhkan pada proses pemanasan air umpan boiler sebesar 766.675,7620 kkal/jam.

Kata kunci: Air umpan ketel uap, Oksigen terlarut, Deaerator

ABSTRACT

Steam is a type of fluid which is the gaseous phase of water when it is heated to a boiling temperature and a certain pressure. Boiler feed water that will be converted into steam at PKS PAGAR MERBAU comes from river water processing river water into boiler feed water through several stages which are sedimentation, flocculation, filtering, demineralization and deaeration these processes aim to remove impurities. The levels of salt, ions and dissolved gases present in seawater. One of the parameters for the quality of boiler feed water is the DO (Dissolved Oxygen) level with a maximum factory standard of 7.52 ppm, the DO (Dissolved Oxygen) level does not meet the standard. can cause corrosion in the boiler. Deaerator is a tool that works to remove corrosive dissolved gases to prevent corrosion in the boiler. The deaerator works based on the nature of oxygen whose solubility in water will decrease with the heating process which results in an increase in temperature in this process, the incoming material is in the form of water from the feed water tank which is the result of water treatment. The initial temperature of the feed entering the deaerator is 66°C with a dissolved oxygen concentration of 7.53 ppm in direct contact with steam coming from the BPV with a pressure of 1.7 Kg cm^2 . The feed water produced after being heated, the temperature will rise to 82°C with a dissolved oxygen concentration of 7.25 ppm, the amount of steam needed in the boiler feed water heating process is 766,675.7620 kcal/hour.

Keywords: Boiler feed water, Dissolved oxygen, Deaerator

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Lufty Ariza April Chairi dilahirkan di PETUMBUKAN Pada tanggal 24 April 1998 dari ayah Edi Yantoni dan ibu Julianawati Penulis merupakan putra ke 2 dari 3 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 105387 Tanjung Baru dan Tamat pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMP YPAK SEI KARANG dan Tamat pada tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMKN 1 Lubuk Pakam jurusan Otomotif Teknik Kendaraan Ringan Penulis lulus pada tahun 2016 dan pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan, Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PTPN II PKS PAGAR MERBAU.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta bimbingan-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Proposal ini dengan judul “Analisis kehilangan panas pada rebusan (Sterilizer) di PTPN II PKS Pagar Merbau “diajukan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area yang telah memberikan izin dan fasilitas untuk penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak DR. Rahmad Syah S. Kom, M. Kom., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah memberikan izin dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Bapak DR. Iswandi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi dan bimbingannya.
4. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution., MT., dan Bapak Indra Hermawan, ST, MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, motivasi dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan tugas akhir ini.

5. Rekan-rekan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2016 dari kampus Universitas Medan Area, serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang sudah banyak memberikan motivasi, masukan, dan bantuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata sempurna dan masih terdapat kesalahan serta kekurangan didalamnya. Penulis mengharap kritik dan saran dari pembaca agar proposal ini menjadi karya ilmiah yang lebih baik. Demikian, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan diterima.

Medan, Februari 2023

Penulis

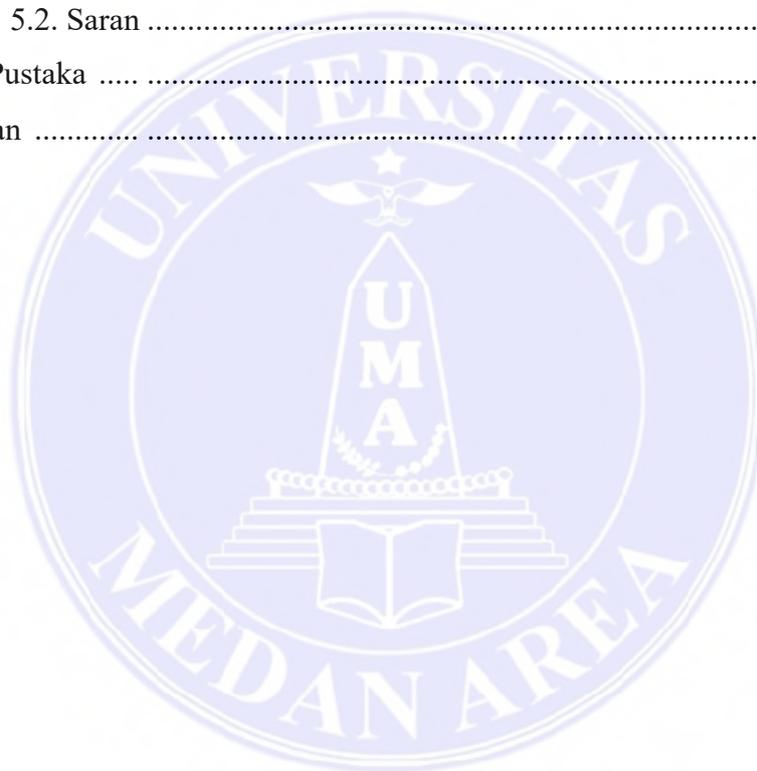
Lufty Ariza April Chairi

NPM :168130037

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR | ii |
| ABSTRAK | v |
| RIWAYAT HIDUP | vii |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3. Batasan Masalah | 3 |
| 1.4. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Boiler | 5 |
| 2.2. Deaerator | 7 |
| 2.3. Deaerasi | 12 |
| 2.4. Air Umpan Boiler | 13 |
| 2.5. Pengolahan Air Umpan Boiler | 15 |
| 2.6. Uap Air | 20 |
| 2.7. Jenis Jenis Steam | 21 |
| 2.8. Perhitungan Jumlah Steam | 22 |
| 2.9. Kapasitas Panas | 22 |
| 2.10. Perpindahan Panas..... | 24 |
| 2.11. Neraca Massa..... | 27 |
| 2.12. Neraca Panas Air Umpan Boiler di Deaerator..... | 29 |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN..... | 31 |
| 3.1. Tempat Dan Waktu..... | 31 |
| 3.2. Alat dan Bahan | 32 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.3. Metode Penelitian..... | 36 |
| 3.4. Diagram Alir..... | 38 |
| BAB IV. PEMBAHASAN..... | 39 |
| 4.1. Data Pengamatan | 39 |
| 4.2. Perhitungan | 41 |
| 4.3. Pembahasan | 47 |
| 4.4. Tabulasi Data | 50 |
| BAB V .KESIMPULAN DAN SARAN..... | 51 |
| 5.1. Kesimpulan | 51 |
| 5.2. Saran | 51 |
| Daftar Pustaka | 52 |
| Lampiran | 54 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Boiler..... | 5 |
| Gambar 2.2. Dearator..... | 7 |
| Gambar 2.3. Deaerator Tipe Spray | 10 |
| Gambar 2.4. Deaerator tipe Vacum..... | 11 |
| Gambar 2.5. Deaerator Tipe Tray | 12 |
| Gambar 2.6. Diagram Alir Proses Water Treatment..... | 14 |
| Gambar 2.7. Cleaerator | 16 |
| Gambar 2.8. Bak Reservoir..... | 17 |
| Gambar 2.9. Sand Filter | 18 |
| Gambar 2.10. Demin Plant..... | 19 |
| Gambar 2.11. Feed Water Tank | 19 |
| Gambar 2.12. Diagram Neraca Massa | 28 |
| Gambar 3.1. Temperature Gauge..... | 32 |
| Gambar 3.2. Pressure Gauge..... | 32 |
| Gambar 3.3. Liquid Level Gauge..... | 33 |
| Gambar 3.4. Thermo Gun | 33 |
| Gambar 3.5. Dearator..... | 34 |
| Gambar 3.6. Diagram Alir | 38 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1. Jadwal Penelitian | 31 |
| Tabel 4.1. Data Pengamatan pada alat <i>Deaerator</i> | 39 |
| Tabel 4.2. Tabulasi Data | 50 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pabrik kelapa sawit membutuhkan air bersih untuk pengolahan, untuk kebutuhan rumah tangga dan air umpan *ketel uap* harus memenuhi persyaratan. Air yang digunakan pada proses pengolahan dan air umpan *ketel uap* diperoleh dari air laut, sungai dan sumber mata air lainnya. Kualitas air tersebut tidak sama walaupun menggunakan sumber air sejenis ini dipengaruhi oleh kandungan asam mata air tersebut. Sumber mata air Sungai sekitaran pabrik kelapa sawit tidak dapat langsung digunakan untuk proses industri, oleh sebab itu perlakuan pemurnian air harus dilakukan sebelum digunakan dipabrik. Air sangat dibutuhkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit sebagai air pengencer maupun air umpan ketel uap.

Ketel uap merupakan salah satu unit pendukung yang penting dalam industri proses. Ketel uap berfungsi untuk menyediakan kebutuhan panas di pabrik dengan mengubah air menjadi *steam*. Air yang dipasok ke ketel uap disebut air umpan ketel uap (*boiler feed water*). Air umpan ketel uap harus memenuhi persyaratan tertentu untuk menghindari kerusakan *boiler*. Penggunaan air umpan *boiler* yang tidak memenuhi persyaratan akan menimbulkan beberapa masalah, seperti korosi, pengerakan, dan busa. Salah satu penyebab terjadinya korosi pada *boiler* adalah oksigen dalam air umpan *ketel uap*. Oleh karena itu, oksigen harus disingkirkan sebelum air diumpankan ke dalam *ketel uap*.

Untuk memperoleh kriteria air yang sesuai untuk air isi *boiler* tersebut maka perlu dilakukan pengolahan air yang biasa disebut *water treatment*. Sistem pengolahan air umpan *boiler* terdiri dari pengolahan eksternal dan internal. Pengolahan eksternal digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbon dioksida). Proses perlakuan eksternal yang umum dilakukan adalah *ion-exchange* dan deaerasi. *Ion-exchange* berfungsi menyingkirkan logam mineral dan daerasi untuk menyingkirkan gas terlarut. *Deaerator* adalah sebuah alat yang bekerja untuk menghilangkan gas terlarut yang bersifat korosif (oksigen dan karbon dioksida) untuk mencegah masalah korosi pada sistem *boiler*. Prinsip dasar dari peralatan deaerasi adalah kelarutan gas terlarut pada air menjadi nol pada titik didih air. Metode deaerasi terbagi dua, yaitu *vacuum* deaerasi dan *heating* deaerasi.

Dalam deaerasi, gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida, dibuang dengan pemanasan air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Pada proses deaerasi digunakan *steam* sebagai pemanas untuk mencapai kadar oksigen terlarut sesuai dengan standar pabrik yaitu 7.52 ppm. Gas-gas tertentu seperti karbon dioksida dan oksigen sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistem *boiler*, karbon dioksida dan oksigen dilepaskan sebagai gas dan bergabung dengan air membentuk asam karbonat. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur pemipaan dan peralatan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke *boiler* akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada *boiler*

dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.

PTPN II PKS Pagar Merbau merupakan perusahaan yang menggunakan *thermal deaerator* untuk memperpanjang umur *boiler* dan mengurangi biaya operasional akibat kerusakan pada ketel uap. Maka *deaerator* berperan penting dalam penghilangan gas-gas terlarut yang terdapat dalam air.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah antara lain :

1. Berapa jumlah panas yang dibutuhkan alat *deaerator* untuk menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler* ?
2. Berapa jumlah kehilangan panas yang terjadi pada alat *deaerator* saat menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler* ?
3. Berapa jumlah uap yang dibutuhkan dalam proses pemanasan air umpan *boiler* di unit *deaerator* ?

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 :

1. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi
2. Deaerator yang digunakan adalah deaerator tipe *spray*

3. Kerugian steam pada *Deaerator* diabaikan

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menghitung jumlah panas yang dibutuhkan alat *deaerator* untuk menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler*
2. Menghitung jumlah kehilangan panas yang terjadi pada alat *deaerator* saat menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler*
3. Menganalisis jumlah *steam* yang dibutuhkan pada proses pemanasan air umpan *boiler*

1.5. Manfaat Penelitian

Prinsip kerja dari *deaerator*, mengetahui jumlah *steam* yang dibutuhkan pada proses pemanasan air umpan *boiler*, dan menambah wawasan tentang pengolahan air umpan *boiler* serta meningkatkan kualitas pengolahan air sesuai dengan standar pabrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Boiler

Boiler sering dipakai sebagai mesin produksi baik secara langsung maupun secara tidak langsung. *Boiler* adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap (*steam*). Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses.



Gambar 2.1. Mesin Boiler

Pada mesin *boiler*, jenis air yang digunakan harus dilakukan demineralisasi terlebih dahulu untuk mensterilkan air yang digunakan sehingga pengaplikasian untuk dijadikan uap air dapat dimaksimalkan dengan baik. Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi, digunakan komponen *economizer* untuk meningkatkan efisiensi dari uap air yang dihasilkan.

Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi

uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar.

Uap air yang dihasilkan *boiler* ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam bidang industri seperti untuk pembangkit tenaga dengan cara mengalirkan uap panas sehingga mengerakkan turbin atau dapat juga digunakan untuk sterilisasi karena uap panas yang dihasilkan juga memiliki tekanan yang tinggi.

Boiler memiliki 3 sistem pengolahan yaitu terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

2.2. *Deaerator*

Deaerator adalah alat yang bekerja untuk membuang gas-gas yang terkandung dalam air *boiler* yang sudah melalui proses pemurniaan air.



Gambar 2.2. Dearator

Deaerator bekerja berdasarkan sifat oksigen yang kelarutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu. *Deaerator* terdiri dari dua drum, drum yang lebih kecil merupakan tempat pemanasan pendahuluan dan pembuangan gas-gas dari air umpan, sedangkan drum yang lebih besar merupakan tempat penampungan air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Pada drum kecil terdapat *spray nozzle* yang berfungsi untuk menyemprotkan air umpan menjadi butiran-butiran air halus agar proses pemanasan dan pembuangan gas-gas lebih sempurna. Pada drum kecil disediakan saluran *vent* agar gas-gas yang tidak terkondensi bisa dibuang ke atmosfer.

Oksigen dan gas-gas terlarut dalam air umpan perlu dihilangkan, karena dapat menyebabkan senyawa oksida yang menyebabkan karat pada pipa/peralatan yang terbuat dari logam. Air jika bereaksi dengan karbon dioksida terlarut juga akan membentuk asam karbonat yang dapat menyebabkan korosi lebih lanjut. Fungsi *deaerator* disini adalah untuk

mengurangi kadar oksigen, biasanya kadar oksigen dikurangi sampai memiliki kadar lebih kecil 7 ppb ($0,0005 \text{ cm}^3/\text{L}$). Penghilangan kadar oksigen dan gas-gas tak terkondensasi yang bersifat korosif, sehingga diperlukan adanya sebuah instalasi berfungsi sebagai pemanas air umpan karena prinsip kerja yang digunakan dalam penghilangan kadar oksigen dan gas-gas tak terkondensasi menggunakan kontak langsung antara uap ekstraksi turbin tekanan menengah sebagai media pemanasnya dengan air umpan.

Unsur utama dalam menentukan keberhasilan dari proses ini adalah kontak fisik antara bahan air boiler dengan panas yang diberikan oleh uap. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada proses *deaerator* adalah jumlah aliran air kondensat, jumlah aliran bahan air ketel, tekanan dalam *deaerator* dan level air dalam *deaerator*.

Deaerator tidak dapat bekerja dengan baik dapat berpengaruh buruk terhadap sistem air umpan, sistem kondensat dan juga menaikkan pemakaian bahan kimia yang lebih tinggi. Untuk mencapai efisiensi *deaerator* yang baik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Pertahankan suhu dan tekanan yang setinggi mungkin sesuai dengan rancangannya.
2. Pastikan *steam/uap* keluar/*venting* dari *deaerator* bahwa oksigen dan gas-gas yang tidak terkondensasi ikut keluar.
3. Lakukan inspeksi bagian dalam *deaerator* untuk memastikan semua komponen tidak mengalami kerusakan.

2.2.1 Bagian-bagian *Deaerator*

Untuk menunjang sistem kerja dari *deaerator* maka dilengkapi dengan alat-alat instrumen yang berfungsi untuk *me-monitoring* operasi atau kerja dari *deaerator* tersebut. Alat-alat instrumen tersebut adalah :

1. *Vent Condensor*

Kondensor uap ini berfungsi untuk mengkondensasi gas-gas serta mengumpulkan gas-gas tersebut sebelum dikeluarkan ke atmosfer. Bagian dalam dari *vent kondensor* terbuat dari bahan *stainless steel*. Gas-gas yang sudah terpisahkan dari air akan keluar ke atmosfer melalui jalur *vent*. Katup didalam jalur ini harus dibuka sedikit demi sedikit sehingga pengeluaran gas tersebut dapat dilihat dengan keluarnya asap dari jalur *vent*.

2. *Tray* (sekat-sekat)

Tray yang terdapat pada *deaerator* berfungsi sebagai media pemanas, tempat saringan dan juga sebagai tempat memperluas ruangan kondensasi uap.

3. *Liquid Level Gas* (gelas penduga)

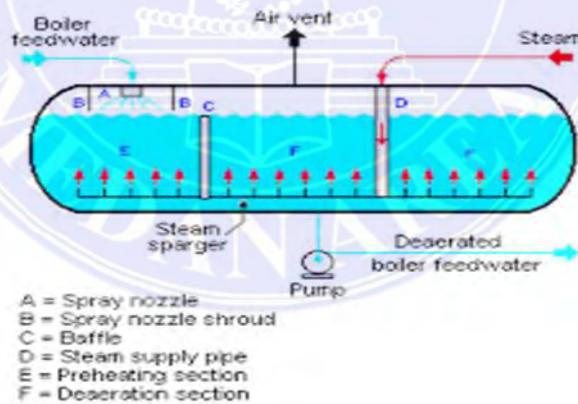
Gelas penduga digunakan untuk mengetahui tinggi rendahnya permukaan air yang ada di dalam tangki *deaerator*. Prinsip kerja alat ini adalah dengan bejana berhubungan. Garis tengahnya kira-kira 20 mm dan panjangnya 300 mm.

2.2.2 Jenis *Deaerator*

Terdapat tiga tipe *deaerator* yang sering digunakan yaitu tipe *Spray*, tipe *Vacuum* dan tipe *Tray*.

1. Deaerator Tipe Spray

Deaerator tipe *Spray* hanya terdiri dari tangki horizontal yang berfungsi sebagai tempat deaerasi dan tempat penyimpanan air. *Deaerator* jenis ini memiliki bagian pemanasan awal dan bagian deaerasi, kedua bagian ini dipisahkan oleh penyekat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Uap bertekanan rendah masuk melalui tangki dengan cara disemprotkan dari bagian bawah tangki. Air umpan disemprotkan dari atas dan dipanaskan oleh uap yang disemprotkan keatas oleh *steam sparger*. Fungsi dari *spray nozzle* dan bagian *preheater* adalah untuk memanaskan air umpan sampai suhu saturasi untuk memudahkan proses pengurangan gas-gas terlarut. Gas-gas terlarut dipisahkan dari air melalui lubang diatas tangki melalui ventilasi. Air umpan yang telah dideaerasi dipompa ke *boiler*.



Gambar 2.3. *Deaerator* tipe *Spray*

2. *Deaerator Vacuum*

Mekanisme kerja *deaerator vacuum* dapat dijelaskan karena gas-gas yang terlarut dalam air dihilangkan dengan menggunakan ejektor uap atau dengan pompa *vacuum*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, untuk

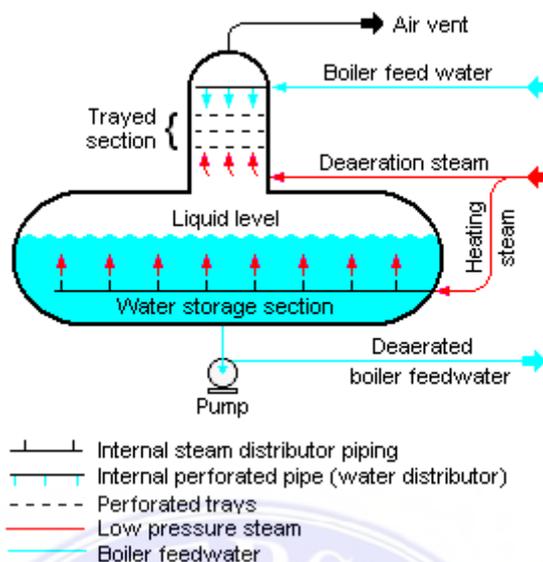
memperoleh *vacuum* yang diperlukan. Besarnya *vacuum* tergantung pada suhu air, akan tetapi biasanya 730 mmHg. Sistem deaerasi dengan menggunakan *deaerator vacuum* dapat dikatakan tidak seefisien deaerator uap, dan konsentrasi oksigen dalam air hanya dapat diturunkan sampai kira-kira 0,2 ppm dan karbon dioksida berkisar antara 2-10 ppm. Tergantung konsentrasi sebelum deaerasi.



Gambar 2.4. Deaerator tipe Vacum

3. Deaerator Tipe Tray

Pada *deaerator* tipe *tray* lebih memaksimalkan sekat-sekat (*tray*) sebagai media untuk memperbesar ruang jatuh air sehingga molekul-molekul air saling berpisah secara paksa satu dengan yang lainnya, jadi *tray* pada *deaerator* tipe ini adalah untuk memaksa molekul air untuk menyebar sehingga mempermudah pelepasan udara. Seperti yang ditunjukkan paada Gambar 2.4.



Gambar 2.5. Deaerator tipe Tray

2.3. Deaerasi

Deaerasi adalah proses menghilangkan gas terlarut yang bersifat korosif (oksigen dan karbon dioksida) untuk mencegah masalah korosi pada sistem boiler. Prinsip dasar dari peralatan deaerasi adalah kelarutan gas terlarut pada air menjadi nol pada titik didih air.

Didalam air yang terkandung 2-50 ppm CO₂, air yang bersifat korosif. Gas yang mempercepat korosi adalah oksigen, korosif yang terjadi mengakibatkan lubang-lubang. Untuk menghilangkan gas-gas terlarut seperti oksigen, dapat digunakan dengan cara mekanis, kimiawi atau keduanya.

1. Deaerasi Mekanis

Deaerasi mekanis untuk penghilangan gas terlarut digunakan sebelum penambahan bahan kimia untuk oksigen. Penghilangan oksigen dan karbon dioksida dapat disempurnakan dengan pemanasan air umpan boiler

di alat *deaerator*, yang akan menurunkan konsentrasi oksigen dan karbon dioksida di sekitar atmosfer air umpan. Prinsip dasar adalah dengan sistem pemanasan apabila temperatur dinaikkan pada air maka kelarutan dari gas-gas akan berkurang atau turun. Jadi syarat-syarat terjadinya deaerasi secara maksimal itu sangat tergantung pada temperatur. Jika temperatur tidak sesuai dengan yang seharusnya, maka deaerasi tersebut tidak berjalan baik.

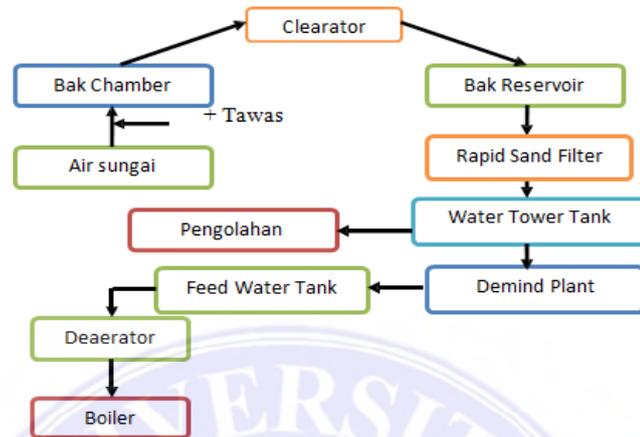
2. Deaerasi Kimiawi

Sejumlah oksigen dapat terbawa dalam air umpan *boiler* meskipun sudah melewati tahap deaerasi. Kandungan oksigen ini harus dihilangkan untuk mencegah terjadinya korosi. Bahan kimia untuk menghilangkan oksigen (*chemical oxygen scavenger*) yang biasa digunakan adalah natrium sulfit dan hidrazin. Natrium sulfit digunakan pada proses ini karena alasan-alasan seperti mempunyai kecepatan reaksi yang cepat pada suhu rendah, mudah diumpankan dan sisa yang tidak bereaksi dapat dianalisis dengan mudah. Hidrazin dapat digunakan untuk menghilangkan oksigen tanpa menambah jumlah kandungan padatan terlarut atau padatan tersuspensi. Hidrazin hanya dapat bereaksi dengan oksigen bebas pada suhu tinggi, dan *boiler* dengan tekanan dibawah 400 psig tidak dapat menggunakan senyawa ini.

2.4. Air Umpan *Boiler*

Air yang digunakan pada proses pengolahan dan air umpan *boiler* diperoleh dari air laut, sungai, dan sumber mata air lainnya dengan kualitas air yang tidak sama. Perlu dilakukan *water treatment* untuk menghasilkan air yang sesuai untuk pengolahan dan air umpan *boiler* yang *reliable* dan ekonomis.

Sistem pengolahan air umpan *boiler* di PKS Pagar Merbau terdiri dari sebagai berikut :



Gambar 2.6. Diagram Alir Proses Water Treatment

Penggunaan air umpan *boiler* yang tidak memenuhi persyaratan akan menimbulkan beberapa masalah, antara lain :

1. Pembentukan kerak

Kerak pada *boiler* dapat terjadi karena pengendapan langsung dari zat pengotor pada permukaan perpindahan panas, atau karena pengendapan zat tersuspensi dalam air yang kemudian melekat pada logam dan menjadi keras. Kerak dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan lanjut setempat dan logam boiler gagal berfungsi.

2. Terjadinya korosi pada *boiler*

Pengertian korosi secara sederhana adalah perubahan kembali logam menjadi bentuk bijihnya. Korosi dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada permukaan logam. Penyebab utama timbulnya korosi antara lain pH yang rendah, gas-gas yang terlarut dalam air, garam-garam yang terlarut dan

padatan yang tersuspensi. Jenis korosi yang dijumpai pada *boiler* dan sistem uap adalah *general corrosion*, *pitting* (terbentuknya lubang) dan *embrittlement* (peretakan baja). Adanya gas yang terlarut, oksigen dan karbon dioksida pada air umpan *boiler* adalah penyebab utama *general corrosion* dan *pitting corrosion*. Kelarutan gas-gas ini di dalam air umpan *boiler* menurun jika suhu naik. Kebanyakan oksigen akan memisah pada ruang uap, tetapi sejumlah kecil residu akan tertinggal dalam larutan atau terperangkap pada kantong-kantong atau dibawah deposit, hal ini dapat menyebabkan korosi pada logam-logam boiler. Karena itu penting untuk melakukan proses deoksigenasi air boiler.

2.5. Pengolahan Air Umpan Boiler

Air dalam industri adalah bahan penunjang dalam proses baik secara langsung maupun tidak langsung. Penggunaan air dibutuhkan pada beberapa sistem seperti air umpan *boiler*, air delusi (proses), air minum, dan air pendingin. *Boiler* merupakan bagian dari sistem *boiler* yang menerima semua bahan pencemar dalam air seperti logam mineral dan gas-gas terlarut. Kinerja, efisiensi dan umur layanan *boiler* merupakan hasil langsung dari pemilihan dan pengendalian air umpan *boiler*. Sistem pengolahan air umpan terdiri dari sebagai berikut :

1. Chamber

Air yang berasal dari sungai galang dihisap dengan menggunakan pompa lalu dialirkan melalui perpipaan menuju *chamber*. *Chamber* merupakan tempat

penampungan sementara air sungai. Di *chamber* ini terjadi proses pemisahan sedimentasi pada air dengan prinsip berat jenis. Lumpur akan tertinggal di dasar sedangkan air berada di atas. Pada bak *chamber* ini, air akan dibagi menjadi 2 yaitu dipompakan ke *clearator* agar diproses lebih lanjut dan satu lagi akan dipompakan untuk pembersihan abu pada *boiler* apabila saat pemeliharaan (*maintenance*).

2. *Clearator*

Clearator di unit *water treatment* merupakan tempat pemisahan antara lumpur yang berupa flok dan air setelah diinjeksikan dengan tawas. *Clearator* ini berbentuk kerucut sehingga lumpur akan berada di bawah sedangkan air berada di atas berdasarkan berat jenis. Tawas yang digunakan diinjeksikan sebanyak 15 kg/200 L air selama 6 jam. Air akan dialirkan ke *bak reservoir* sedangkan lumpur akan dibuang dari bawah.



Gambar 2.7. *Cleareator*

3. Bak *Reservoir*

Bak *Reservoir* merupakan tempat penampungan air yang telah diinjeksikan tawas, serta melihat konstan atau tidaknya laju aliran pada air. Pada bak ini laju aliran yang masuk sebesar 60 ton/ jam. Air yang masuk akan diumpukan untuk umpan *boiler* untuk air proses pengolahan. Air proses yang dimaksud adalah untuk kebutuhan alat- alat seperti *sterilizer*, air pengencer pada *digester* dan mengubah steam kering menjadi steam basah pada BPV.



Gambar 2.8. Bak *Reservoir*

4. *Sand Filter*

Air dari bak penampungan di pompa ke dalam *sand filter*. Air yang masih mengandung padatan tersuspensi disaring melalui pasir-pasir halus. Partikel-partikel padat akan tertahan dipermukaan pasir dan air mengalir keluar melalui bagian bawah dan dipompakan ke *water tower tank*.



Gambar 2.9 *Sand Filter*

5. *Water Tower Tank*

Air dari *sand filter* dialirkan ke *water tower tank*, tangki ini berfungsi tempat penimbunan air yang sudah bersih hasil dari pengolahan dan sebagai tempat pengaturan distribusi air untuk domestik maupun untuk keperluan pabrik.

6. *Demineralisasi (Demin Plant)*

Demineralisasi merupakan penghilangan lengkap seluruh garam. Hal ini dicapai dengan menggunakan resin kation, yang menukar kation dalam air baku dengan air hidrogen menghasilkan asam hidroklorida, asam sulfat dan asam karbonat. Asam karbonat dihilangkan dalam menara *degassing* dimana udara dihembuskan melalui air asam. Berikutnya, air melewati resin anion, yang menukar anion dengan asam mineral (misalnya asam sulfat) dan membentuk air. Regenerasi kation dan anion perlu dilakukan pada jangka waktu tertentu dengan menggunakan asam mineral dan soda kaustik. Penghilangan lengkap silika dapat dicapai dengan pemilihan resin anion yang benar. Proses pertukaran ion jika diperlukan dapat digunakan untuk demineralisasi yang hampir total seperti untuk *boiler* pembangkit tenaga listrik.



Gambar 2.10. *Demin Plant*

7. *Feed Water Tank*

Air yang berasal dari tangki penukar anion dikumpulkan dalam *feed water tank* dan dipanaskan dengan menggunakan *steam* yang berasal dari BPV (*Back Pressure Vessel*) hingga temperatur 70°C sehingga mempermudah pelepasan gas pada *deaerator*.



Gambar 2.11. *Feed Water Tank*

8. *Deaerator*

Deaerator, gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida, dibuang dengan pemanasan air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Seluruh air alam mengandung gas terlarut dalam larutannya. Gas-gas tertentu seperti karbon dioksida dan

oksigen, sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistem *boiler*, karbon dioksida dan oksigen dilepaskan sebagai gas dan bergabung dengan air membentuk asam karbonat. Penghilangan oksigen, karbon dioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan *boiler* sangat penting bagi umur peralatan *boiler* dan juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur pemipaan dan peralatan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke *boiler* akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada *boiler* dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.

2.6. Uap Air (*Steam*)

Steam adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air apabila mengalami pemanasan sampai temperatur didih dibawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat apabila dalam keadaan murni kering. Kebanyakan pemakaian *steam* ini digunakan untuk pemanasan, pemekatan, pemisahan komponen berdasarkan titik didihnya dan lain-lain. Alasan menggunakan *steam* sebagai media pemanas adalah karena mempunyai panas laten yang bernilai tinggi, kurang korosif, dan harganya murah.

2.7. Jenis-Jenis *Steam*

1. Uap Basah

Uap basah adalah campuran antara air dengan uap pada keadaan tertentu. Pemanasan yang dilakukan pada air sehingga temperatur air akan naik sampai 119°C di bawah tekanan standart.

2. Uap Jenuh (*Saturated Steam*)

Uap jenuh adalah uap basah yang dipanaskan sehingga mencapai keadaan jenuh. Bila kalor ditambahkan pada uap basah akan mengakibatkan uap air mengalami penguapan. Uap semakin bersifat kering bila terus dipanaskan sehingga mencapai keadaan jenuh. Selama penguapan ini berlangsung temperatur uap akan tetap konstan. Untuk setiap peningkatan dari pada tekanan uap jenuh mempunyai massa jenis yang cenderung meningkat.

3. Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)

Uap panas lanjut adalah uap yang dipanaskan lebih lanjut atau dipanaskan terus menerus dengan cara mengalirkan melalui pipa-pipa yang dipanaskan oleh aliran gas sampai keadaan jenuh kering, suhu uap tetap konstan. Pemanasan secara terus menerus dilakukan terhadap uap ini menyebabkan sifat-sifat tersebut akan mempunyai sifat-sifat gas sempurna. Perbedaan suhu antara uap panas jenuh dan uap panas jenuh lanjutan adalah derajat panas. Kalor spesifik dari uap panas lanjut akan berubah sesuai dengan tekanan, perubahan tekanan dan derajat panas lanjut. Peningkatan tekanan akan mengakibatkan kalor spesifik semakin besar dan sebaliknya semakin tinggi derajat panas lanjutnya menyebabkan kalor spesifik semakin turun.

2.8. Perhitungan Jumlah *Steam*

2.8.1. Neraca Massa

Neraca massa diturunkan dari hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa untuk proses yang *steady state* dan tidak terjadi reaksi kimia maka massa bahan-bahan (zat) yang masuk kedalam suatu proses sama dengan massa bahan-bahan yang keluar dari alat proses tersebut. Demikian juga konsep neraca energi menyatakan bahwa untuk proses *steady state*, maka jumlah panas yang masuk sama dengan jumlah panas yang keluar pada alat tersebut.

2.8.2 Konsep Makro Neraca Energi

Neraca energi adalah persamaan sistematis yang menyatakan hubungan antara energi masuk dan energi keluar suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi.

$$\{\text{Energi masuk ke sistem}\} + \{\text{Energi yang timbul dalam sistem}\} = \{\text{Akumulasi energi dalam sistem}\} + \{\text{Energi keluar dari sistem}\} + \{\text{Energi yang dipakai dalam sistem}\}.$$

Ada dua macam proses perhitungan pada neraca energi :

- a. Proses alir yaitu bahan masuk dan keluar dari sistem secara kontinyu
- b. Proses *batch* yaitu bahan masuk dan keluar pada waktu tertentu

2.9. Kapasitas Panas

Kapasitas panas adalah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu sejumlah zat 1°C, °F, K, karena energi dapat dipindahkan dengan cara perpindahan panas pada suatu proses.

$$Cp = a + bT + cT^2 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

T = Temperatur (Kelvin/ K)

Cp = Kapasitas Panas (Btu/lbmol°F) atau (kal/gmol°C)

a, b, c = konstanta

Energi (panas) proses pengolahan air dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Panas Sensibel

Panas sensibel adalah panas yang diperhitungkan dalam suatu proses termodinamika akibat perubahan temperatur. Panas sensibel adalah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1°C dari suatu bahan seberat satu kilogram. Panas ini merupakan panas yang dilepas atau diserap oleh suatu zat yang mengalami perubahan temperatur. Efek panas ini sangat berhubungan dengan kapasitas panas. Dalam hal ini transfer panas dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = m . Cp . \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

Q = Laju alir transfer panas (Kkal/jam)

m = Laju aliran massa (kg/jam)

Cp = Kapasitas panas (Kkal/Kg°C)

ΔT = Perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

(Jika C_p yang digunakan adalah besaran konstan)

2. Panas Laten

Panas laten adalah panas yang dibutuhkan untuk mengubah fasa dari suatu zat sebesar 1 Kg. Nilai panas laten itu berbeda menurut jenis bahan dan perubahan fasanya. Panas laten penguapan merupakan panas yang diperlukan untuk mengembunkan uap menjadi cair uap satuan berat, sedangkan panas laten peleburan adalah panas yang dibutuhkan untuk meleburkan suatu bahan dari bentuk padat menjadi cair atau panas yang dikeluarkan untuk mengubah cair menjadi bentuk padat tiap satuan padat. Besarnya panas ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Q_{steam} = m_s \cdot \lambda_s \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Q = Jumlah panas yang dibutuhkan steam (Kkal/Jam)

m_s = Massa *steam* (kg/Jam)

λ_s = Panas laten *steam* (KKal/kg)

2.10. Perpindahan Panas

Proses Perpindahan Kalor Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga

merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada tugas akhir ini hanya menjelaskan perpindahan konduksi dan konveksi saja, untuk perpindahan panas secara radiasi tidak dijelaskan bertemperatur tinggi ke yang bertemperatur rendah

2.10.1. Perpindahan Panas dengan cara Konduksi

Yang dimaksud dengan konduksi ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhurendah. Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sempurnanya. Dengan demikian, umpamanya seorang tukang hembus kaca dapat memegang suatu barang kaca, yang beberapa cm lebih jauh dari tempat pegangan itu adalah demikian panasnya, sehingga bentuknya dapat berubah. Akan tetapi seorang pandai tempa harus memegang benda yang akan ditempa dengan sebuah tang. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan

mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat, untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil.

Persamaan umum yang biasa digunakan dalam perpindahan panas dengan cara konduksi adalah :

$$q = -KA \frac{dT}{dX} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

q : Laju Panas

K : Konduktivitas termal

dT : Perbedaan suhu

dX : Perbedaan panjang/ jarak

A : Luas permukaan

2.10.2. Perpindahan Panas dengan cara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak. Begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur.

Laju perpindahan panas konveksi secara didapat dengan menggunakan (hukum) newton, yaitu :

$$q = hA (T_s - T) \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

q : Laju perpindahan panas, (w)

h : Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²C)

A : Luasan penampang (m)

T_s : Temperatur permukaan dinding (°C)

T : Temperatur rata rata fluida(°C)

2.10.3. Perpindahan Panas dengan cara Radiasi

Perpindahan panas secara Radiasi merupakan energi yang dipancarkan oleh waktu benda yang berada pada temperatur nonzero. Radiasi tidak hanya dipancarkan oleh permukaan padat, namun juga dapat dipancarkan oleh gas cairan. Energi dari medan radiasi (radiation field) dihantarkan melalui gelombang elektromagnetik (foton).

Energi pancaran atau energi radiasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan hukum *Stefan-Blotzmann* sebagai berikut :

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

q_r : Laju Perpindahan Radiasi (w)

A : Luas Penampang (m^2)

T : Temperatur absolut dari permukaan

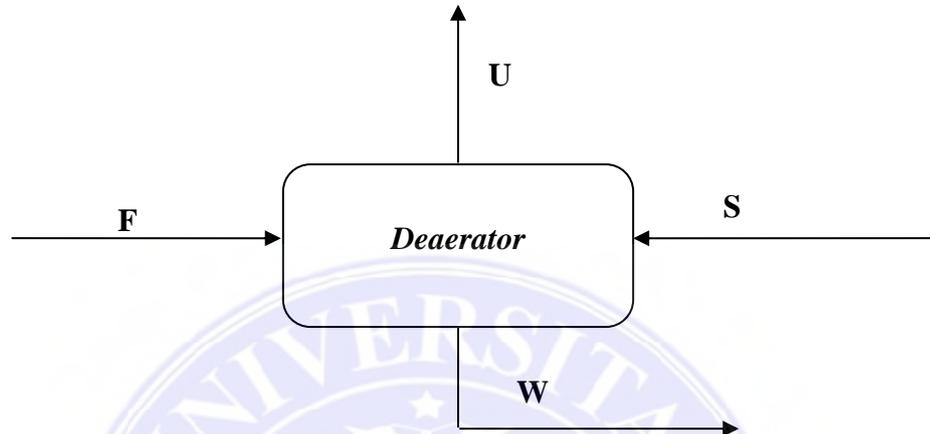
σ : Konstanta Stefan-Boltzmann

ε : emisivitas Bahan

2.11. Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni massa tak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah

persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang diketahui.



Gambar 2.12. Diagram Neraca Massa

Kesetimbangan materi (*material blance*) dapat dirumuskan pada sistem konservatif sebagai persamaan berikut :

Laju masuk = Laju keluar

Neraca massa tersebut dapat disusun untuk :

1. Neraca massa total
2. Neraca massa komponen

Berdasarkan sistem diatas, neraca massa dapat diselesaikan dengan :

1. Neraca massa total = *Input* = *Output*

$$F + S = W + U + S$$

$$F = W + U$$

2. Neraca komponen :

$$F \cdot X_{in} = W \cdot X_{out} + U \cdot X_{uap}$$

Keterangan :

F = Laju air umpan masuk (kg/Jam)

X_{in} = Jumlah air yang masuk (%)

W = Jumlah air umpan keluar (kg/ Jam)

X_{out} = Jumlah air yang keluar (%)

S = Jumlah *steam* masuk (kg/ Jam)

U = Jumlah uap keluar (kg/ Jam)

2.12. Neraca Panas Air Umpan *Boiler* di *Deaerator*

Untuk mengetahui besarnya nilai panas yang diserap dengan selisih temperatur (ΔT) $\leq 50^\circ\text{C}$ maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q_{Bahan} = Panas yang diserap bahan (Kkal)

m = Massa alir bahan (kg)

C_p = Panas jenis bahan (Kkal/kg $^\circ\text{C}$)

ΔT = Selisih temperatur masuk dan keluar ($^\circ\text{C}$)

1. Menghitung Panas yang Diserap

a. Air

$$Q = m_{\text{air}} \times C_p \times \Delta T$$

b. Oksigen Terlarut

$$Q_{O_2} = m_{O_2} \times C_{p_{O_2}} \times \Delta T$$

2. Menghitung Total Panas yang diserap

$$Q_{\text{serap}} = Q_{\text{air}} + Q_{\text{oksigen terlarut}}$$

3. Menghitung Kehilangan Panas (Panas yang dilepas) Alat *Deaerator*

$$\text{Efisiensi Deaerator} = \frac{Q_{\text{serap}} - Q_{\text{lepas}}}{Q_{\text{serap}}} \times 100\%$$

4. Menghitung Kebutuhan *Steam*

$$Q_{\text{Steam}} = m_{\text{steam}} (H_{\text{steam}} - H_{\text{cold}})$$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di pabrik kelapa sawit PTPN II kecamatan Pagar Merbau.

Penelitian ini dimulai dari 3 bulan setelah dilaksanakannya seminar proposal. Dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisis dan untuk mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian

| NO | URAIAN KEGIATAN | TAHUN 2020-2021 | | | | | |
|----|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | JUL | AGU | SEP | OKT | NOV | DES |
| 1 | Studi Literatur | ✓ | | | | | |
| 2 | Penyusunan Proposal | ✓ | | | | | |
| 3 | Seminar Proposal | | ✓ | | | | |
| 4 | Pengumpulan Data | | | ✓ | | | |
| 5 | Analisis Data Dan Penulisan Laporan Penelitian | | | | ✓ | | |
| 6 | Seminar Hasil | | | | | ✓ | |
| 7 | Perbaikan | | | | | ✓ | |
| 8 | Ujian Sidang | | | | | | |

3.2. Alat Dan Bahan

3.2.1. Alat

a. *Temperature Gauge*

Temperature gauge ditempatkan pada *storage tank* dari *deaerator*. Termometer pada *storage tank* tersebut dan bersesuaian dengan tekanan operasi dari uap. Jika dibutuhkan termometer dapat juga ditambahkan pada jalur pemasukan uap. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Temperature Gauge

b. *Pressure Gauge*

pressure gauge ini menunjukkan besar tekanan uap didalam unit. *Pressure gauge* ini ditempatkan pada jalur pemasukan uap yang diperlengkapi dengan kran . Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pressure Gauge

c. *Liquid Level Gauge*

Gelas penduga digunakan untuk mengetahui tinggi rendahnya permukaan air yang ada di dalam tangki *deaerator*. Prinsip kerja alat ini adalah dengan bejana berhubungan. Garis tengahnya kira-kira 20 mm dan panjangnya 300 mm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Liquid Level Gauge

d. Thermo Gun

Thermo Gun adalah untuk mengukur suhu yang sulit dijangkau oleh tangan manusia karena letaknya yang berbahaya untuk didekati.

Seperti pada gambar 3.4



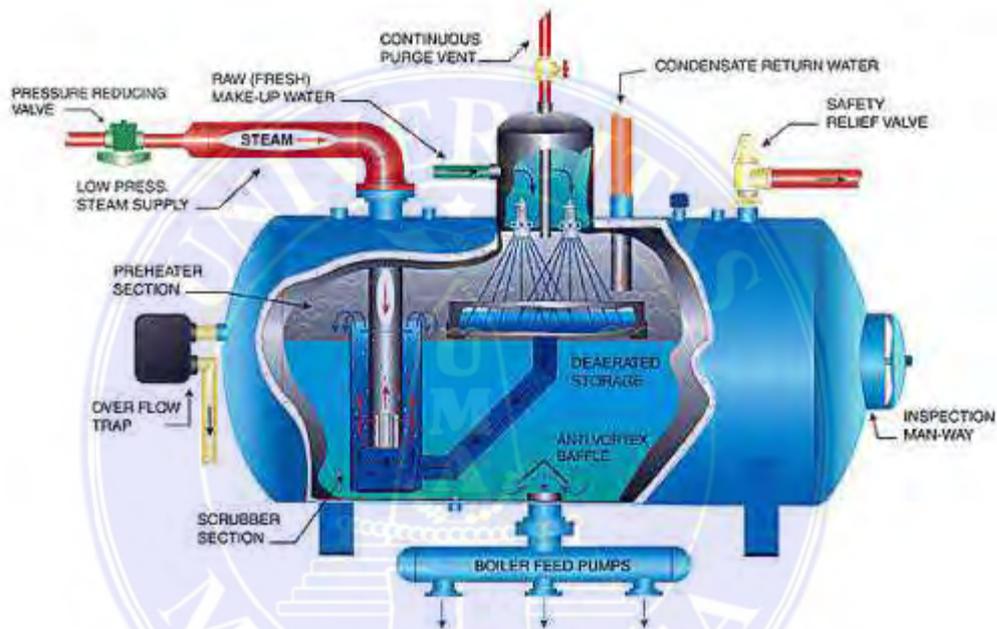
Gambar 3.4. Thermo Gun

3.2.2. Bahan

a. Deaerator

1. Pengertian *Deaerator*

Deaerator adalah alat yang bekerja untuk membuang gas-gas yang terkandung dalam air *boiler* yang sudah melalui proses pemurniaan air. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5. Deaerator dan Bagian-bagiannya

2. Data Teknis *Deaerator*

Karakteristik dari *Deaerator* yaitu :

| | | |
|---|---|-------------------|
| - <i>Spesification and Type</i> | : | 50 |
| - <i>Design Pressure</i> | : | 0,2 MPa |
| - <i>Design Temperature</i> | : | 300°C |
| - <i>Effective Volume of Water Tank</i> | : | 25 m ³ |
| - <i>Total Weight</i> | : | 7250 kg |

- *Rated Output* : 50 T/h
- *Production no.* : 16605-347
- *Operation Temperature* : 105°C
- *Operation Medium* : *Steam and Boiler*
- *Testing Pressure* : 0,3 MPa
- *Manufacture date* : 2006/02

Qingdao Changlong Power Equipment Co, LTD

The People's Republic China

Metode kerja yang dilakukan selama pengambilan data terkait dengan proses deaerasi pada air umpan Ketel Uap di unit Deaerator adalah dengan mengamati proses terhadap kondisi operasi alat yaitu :

1. Air umpan *boiler* yang telah melalui proses pemurnian di masukkan ke dalam tangki penampungan atau *feed water tank*. Di dalam *feed water tank* air dipanaskan hingga suhu 60-70°C. Air umpan *boiler* kemudian dialirkan ke alat *deaerator* dengan bantuan pompa. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan bantuan pompa. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan selain itu alat *deaerator* berfungsi sebagai pemanasan awal sebelum dialirkan ke *boiler*. Media pemanas yang diperoleh Media pemanas yang diperoleh berasal dari BPV. Temperatur *steam* yang diberikan 110-130°C.
2. Melakukan pengamatan serta mencatat data-data yang berhubungan dengan :

- a. Jumlah bahan yang masuk pada alat *deaerator*
- b. Temperatur bahan yang masuk pada alat *deaerator* dan temperatur bahan yang keluar
- c. Temperatur *steam* yang akan memanaskan air umpan boiler
- d. Tekanan dan temperatur yang terjadi pada *deaerator*.

3.3. Metode Penelitian

1. Menghitung neraca massa dari air umpan keluar dan jumlah oksigen terlarut yang teruapkan.
2. Menghitung jumlah air umpan keluar
Umpan masuk + Jumlah *steam* = Umpan keluar + jumlah terkondensasi + Jumlah *steam*.

$$F + S = W + U + S$$

$$W = F - S$$

3. Menghitung jumlah air dari *steam* yang terkondensasi dari persamaan 1 diperoleh :

$$W = F - U$$

$$U = W - F$$

4. Menghitung jumlah panas alat *deaerator* dalam menghilangkan gas-gas terlarut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\text{Efisiensi perpindahan panas} : \varepsilon =$$

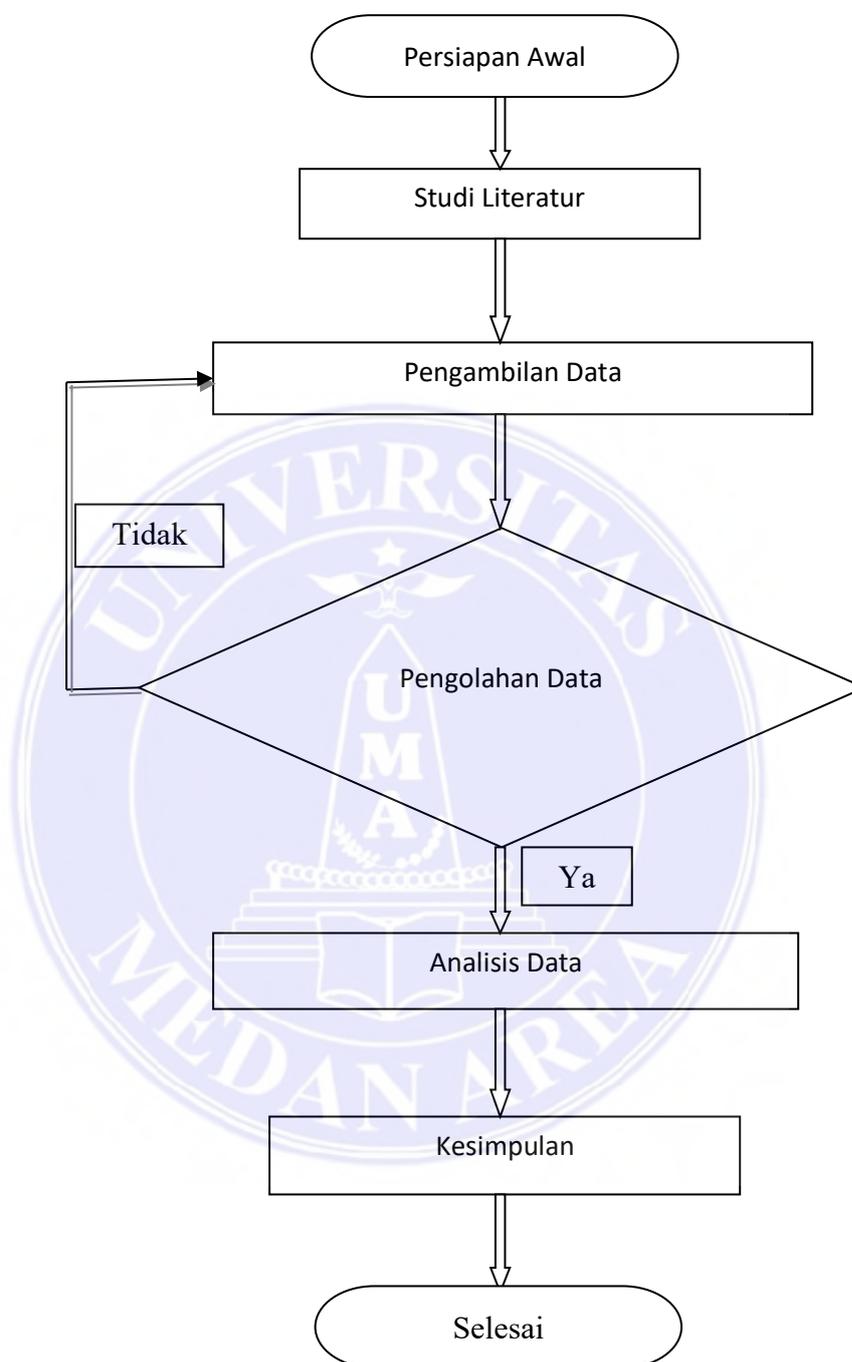
$$\text{Kebutuhan steam} : Q_{steam} = m_s (H_S - H_C)$$

5. Menghitung kehilangan panas (panas yang dilepas) alat *deaerator* :

$$\text{Efisiensi Deaerator} = \frac{Q_{serap} - Q_{lepas}}{Q_{serap}} \times 100\%$$



3.4. Diagram Alir



Gambar 3.6. Diagram Alir

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jumlah panas yang dibutuhkan alat *deaerator* untuk menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler* adalah sebesar 7.605.273.106,5788 Kkal/Jam.
2. Jumlah kehilangan panas (panas yang dilepas) pada alat *deaerator* saat menghilangkan gas-gas terlarut dalam air umpan *boiler* adalah sebesar 1.521.054.621,3158 Kkal/Jam.
3. Jumlah uap yang dibutuhkan dalam proses pemanasan air umpan *boiler* di unit *deaerator* adalah sebesar 766.675,7620 kg/Jam.

5.2. Saran

Pabrik diharapkan untuk memaksimalkan temperatur dan perlu pemakaian bahan kimia tambahan sehingga dapat memaksimalkan proses penghilangan kadar oksigen terlarut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfiansyah. Denni, *Pengolahan Air Sungai Untuk Boiler*. Malang : Politeknik Negeri Malang, 2012.
- [2] Ariyanto, Syamsul Arifin dan M. Ilyas, *Perancangan Sistem Pengendalian Level Deaerator Menggunakan Fuzzy Gain Scheduling*. Surabaya : PT. Petrowidada, 2011.
- [3] Sahputra. Ade, *Penggunaan Deaerator Dan Economizer Sebagai Instrument Pendukung Dalam Pemanasan Air Pada Proses Kerja Boiler (Aplikasi Pada Power Plant PT. Canang Indah)*. Medan : Universitas Sumatera Utara, 2011.
- [4] Sihombing. Helmon, *Mekanisme Proses Pemanasan Air Di Dalam Boiler Dengan Menggunakan Heater Tambahan Untuk Efisiensi Pembakaran*. Medan : Universitas Sumatera Utara, 2013.
- [5] Nasution. Pafh, *Analisa Perancangan Economizer Untuk Menaikan Efisiensi Boiler Pipa Api Di Laboratorium Teknik Konversi Energi*. Medan : Politeknik Teknologi Medan, 2017.
- [6] Wuryanti. Sri, *Neraca Massa dan Energi*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung, 2016.
- [7] Sahputro. Ogik, *Analisa Efisiensi Watertube Boiler Dengan Menggunakan Heater Tambahan Berupa Deaerato Dan Economizer Pada Pabrik Gula*. Kediri: Universitas PGRI Kediri, 2017.
- [8] Naibaho. Ponten, *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. MEDAN: Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 1998.

- [9] Bidiyono Dan Siswo Sumardiono, Teknik Pengolahan Air. YOGYAKARTA: Graha Ilmu, 2013.
- [10] Muhrinsyah. Fatimurah, Tinjauan Teoritis Permasalahan Boiler Feed Water Pada Pengoprasian Boiler Boiler Yang Dipergunakan Dalam Industri. PALEMBANG : Universitas PGRI Palembang, 2015.



LAMPIRAN 1. Density of water

2-92 PHYSICAL AND CHEMICAL DATA

TABLE 2-28 Density (kg/m³) of Water from 0 to 100°C (Concluded)

| t, °C | ρ, kg/m ³ | | | | | | | | | |
|-------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 50 | 988.037 | 987.992 | 987.946 | 987.901 | 987.844 | 987.810 | 987.764 | 987.719 | 987.673 | 987.627 |
| 51 | 987.591 | 987.536 | 987.490 | 987.444 | 987.398 | 987.351 | 987.305 | 987.259 | 987.213 | 987.166 |
| 52 | 987.120 | 987.073 | 987.027 | 986.980 | 986.933 | 986.886 | 986.840 | 986.793 | 986.746 | 986.699 |
| 53 | 986.652 | 986.604 | 986.557 | 986.510 | 986.463 | 986.415 | 986.368 | 986.320 | 986.272 | 986.225 |
| 54 | 986.177 | 986.129 | 986.081 | 986.033 | 985.985 | 985.937 | 985.889 | 985.841 | 985.793 | 985.745 |
| 55 | 985.696 | 985.648 | 985.599 | 985.551 | 985.502 | 985.454 | 985.405 | 985.356 | 985.307 | 985.258 |
| 56 | 985.219 | 985.160 | 985.111 | 985.062 | 985.013 | 984.963 | 984.914 | 984.865 | 984.815 | 984.766 |
| 57 | 984.716 | 984.666 | 984.617 | 984.567 | 984.517 | 984.467 | 984.417 | 984.367 | 984.317 | 984.267 |
| 58 | 984.217 | 984.167 | 984.116 | 984.066 | 984.016 | 983.965 | 983.914 | 983.864 | 983.813 | 983.762 |
| 59 | 983.712 | 983.661 | 983.610 | 983.559 | 983.508 | 983.457 | 983.406 | 983.354 | 983.303 | 983.252 |
| 60 | 983.200 | 983.149 | 983.097 | 983.046 | 982.994 | 982.943 | 982.891 | 982.839 | 982.787 | 982.735 |
| 61 | 982.683 | 982.631 | 982.579 | 982.527 | 982.475 | 982.422 | 982.370 | 982.318 | 982.265 | 982.213 |
| 62 | 982.160 | 982.108 | 982.055 | 982.002 | 981.949 | 981.897 | 981.844 | 981.791 | 981.738 | 981.685 |
| 63 | 981.631 | 981.578 | 981.525 | 981.472 | 981.418 | 981.365 | 981.311 | 981.258 | 981.204 | 981.151 |
| 64 | 981.097 | 981.043 | 980.989 | 980.935 | 980.881 | 980.827 | 980.773 | 980.719 | 980.665 | 980.611 |
| 65 | 980.557 | 980.502 | 980.443 | 980.393 | 980.339 | 980.284 | 980.230 | 980.175 | 980.120 | 980.065 |
| 66 | 980.011 | 979.956 | 979.901 | 979.846 | 979.791 | 979.736 | 979.680 | 979.625 | 979.570 | 979.515 |
| 67 | 979.459 | 979.403 | 979.348 | 979.293 | 979.237 | 979.181 | 979.126 | 979.070 | 979.014 | 978.958 |
| 68 | 978.902 | 978.846 | 978.790 | 978.734 | 978.678 | 978.621 | 978.565 | 978.509 | 978.452 | 978.396 |
| 69 | 978.339 | 978.283 | 978.226 | 978.170 | 978.113 | 978.056 | 977.999 | 977.942 | 977.885 | 977.828 |
| 70 | 977.771 | 977.714 | 977.657 | 977.600 | 977.543 | 977.485 | 977.428 | 977.370 | 977.313 | 977.255 |
| 71 | 977.196 | 977.140 | 977.082 | 977.025 | 976.967 | 976.909 | 976.851 | 976.793 | 976.735 | 976.677 |
| 72 | 976.619 | 976.561 | 976.503 | 976.444 | 976.386 | 976.327 | 976.269 | 976.211 | 976.152 | 976.093 |
| 73 | 976.035 | 975.976 | 975.917 | 975.858 | 975.800 | 975.741 | 975.682 | 975.623 | 975.564 | 975.504 |
| 74 | 975.445 | 975.386 | 975.327 | 975.267 | 975.208 | 975.148 | 975.089 | 975.029 | 974.970 | 974.910 |
| 75 | 974.850 | 974.791 | 974.731 | 974.671 | 974.611 | 974.551 | 974.491 | 974.431 | 974.371 | 974.311 |
| 76 | 974.250 | 974.190 | 974.130 | 974.069 | 974.009 | 973.948 | 973.888 | 973.827 | 973.767 | 973.706 |
| 77 | 973.645 | 973.584 | 973.524 | 973.463 | 973.402 | 973.341 | 973.280 | 973.218 | 973.157 | 973.096 |
| 78 | 973.025 | 972.974 | 972.912 | 972.851 | 972.789 | 972.728 | 972.666 | 972.605 | 972.543 | 972.481 |
| 79 | 972.419 | 972.358 | 972.296 | 972.234 | 972.172 | 972.110 | 972.048 | 971.986 | 971.923 | 971.861 |
| 80 | 971.799 | 971.737 | 971.674 | 971.612 | 971.549 | 971.487 | 971.424 | 971.361 | 971.299 | 971.236 |
| 81 | 971.173 | 971.110 | 971.048 | 970.985 | 970.922 | 970.859 | 970.796 | 970.732 | 970.669 | 970.606 |
| 82 | 970.543 | 970.479 | 970.416 | 970.353 | 970.289 | 970.226 | 970.162 | 970.098 | 970.035 | 969.971 |
| 83 | 969.907 | 969.843 | 969.779 | 969.715 | 969.652 | 969.587 | 969.523 | 969.459 | 969.395 | 969.331 |
| 84 | 969.267 | 969.202 | 969.138 | 969.073 | 969.009 | 968.944 | 968.880 | 968.815 | 968.751 | 968.686 |
| 85 | 968.621 | 968.556 | 968.491 | 968.427 | 968.362 | 968.297 | 968.232 | 968.166 | 968.101 | 968.036 |
| 86 | 967.971 | 967.906 | 967.840 | 967.775 | 967.709 | 967.644 | 967.578 | 967.513 | 967.447 | 967.381 |
| 87 | 967.316 | 967.250 | 967.184 | 967.118 | 967.052 | 966.986 | 966.920 | 966.854 | 966.788 | 966.722 |
| 88 | 966.656 | 966.589 | 966.523 | 966.457 | 966.390 | 966.324 | 966.257 | 966.191 | 966.124 | 966.057 |
| 89 | 965.991 | 965.924 | 965.857 | 965.790 | 965.723 | 965.656 | 965.589 | 965.522 | 965.455 | 965.388 |
| 90 | 965.321 | 965.254 | 965.187 | 965.119 | 965.052 | 964.984 | 964.917 | 964.849 | 964.782 | 964.714 |
| 91 | 964.647 | 964.579 | 964.511 | 964.443 | 964.376 | 964.308 | 964.240 | 964.172 | 964.104 | 964.036 |
| 92 | 963.967 | 963.899 | 963.831 | 963.763 | 963.694 | 963.626 | 963.558 | 963.489 | 963.421 | 963.352 |
| 93 | 963.284 | 963.215 | 963.146 | 963.077 | 963.009 | 962.940 | 962.871 | 962.802 | 962.733 | 962.664 |
| 94 | 962.595 | 962.526 | 962.457 | 962.387 | 962.318 | 962.249 | 962.180 | 962.110 | 962.041 | 961.971 |
| 95 | 961.902 | 961.832 | 961.762 | 961.693 | 961.623 | 961.553 | 961.483 | 961.414 | 961.344 | 961.274 |
| 96 | 961.204 | 961.134 | 961.064 | 960.993 | 960.923 | 960.853 | 960.783 | 960.712 | 960.642 | 960.572 |
| 97 | 960.501 | 960.431 | 960.360 | 960.289 | 960.219 | 960.148 | 960.077 | 960.006 | 959.936 | 959.865 |
| 98 | 959.794 | 959.723 | 959.652 | 959.581 | 959.510 | 959.438 | 959.367 | 959.296 | 959.225 | 959.153 |
| 99 | 959.082 | 959.010 | 958.939 | 958.867 | 958.795 | 958.724 | 958.653 | 958.581 | 958.509 | 958.431 |
| 100 | 958.365 | | | | | | | | | |

LAMPIRAN 2. Saturated Water

TABLE 2-352 Saturated Water Substance—Temperature (SI units)

| Temp., K | Pressure, bar | Volume, m ³ /kg | Enthalpy, kJ/kg | Entropy, kJ/(kg·K) | Specific heat, C _p , kJ/(kg·K) | Viscosity, Ns/m ² | Thermal conductivity, W/(m·K) | Prandtl no. | Surface tension, N/m | Temp., K |
|----------|---------------|----------------------------|-----------------|--------------------|---|------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|----------|
| 150 | 6.30 | 1.073 | -539.6 | -2.157 | 1.155 | | 3.73 | | | 150 |
| 160 | 7.78 | 1.074 | -525.7 | -2.106 | 1.233 | | 3.52 | | | 160 |
| 170 | 9.58 | 1.076 | -511.7 | -2.056 | 1.311 | | 3.34 | | | 170 |
| 180 | 11.68 | 1.078 | -497.8 | -1.997 | 1.389 | | 3.18 | | | 180 |
| 190 | 14.02 | 1.081 | -484.0 | -1.940 | 1.467 | | 3.04 | | | 190 |
| 200 | 16.64 | 1.084 | -470.3 | -1.885 | 1.545 | | 2.91 | | | 200 |
| 210 | 19.56 | 1.087 | -456.8 | -1.832 | 1.623 | | 2.79 | | | 210 |
| 220 | 22.82 | 1.091 | -443.5 | -1.781 | 1.701 | | 2.69 | | | 220 |
| 230 | 26.44 | 1.094 | -430.4 | -1.731 | 1.779 | | 2.60 | | | 230 |
| 240 | 30.36 | 1.098 | -417.5 | -1.682 | 1.857 | | 2.52 | | | 240 |
| 250 | 34.62 | 1.102 | -404.8 | -1.634 | 1.935 | | 2.45 | | | 250 |
| 265 | 42.73 | 1.087 | -368.4 | -1.361 | 1.974 | | 2.38 | | | 265 |
| 280 | 53.85 | 1.088 | -326.5 | -1.247 | 2.013 | | 2.35 | | | 280 |
| 295 | 67.23 | 1.089 | -281.2 | -1.281 | 2.052 | | 2.31 | | | 295 |
| 310 | 83.08 | 1.090 | -233.6 | -1.396 | 2.091 | | 2.27 | | | 310 |
| 325 | 101.73 | 1.091 | -184.5 | -1.521 | 2.116 | | 2.26 | | | 325 |
| 340 | 123.52 | 1.092 | -134.0 | -1.657 | 2.137 | | 2.26 | | | 340 |
| 355 | 148.85 | 1.093 | -83.5 | -1.803 | 2.155 | | 2.26 | | | 355 |
| 370 | 178.12 | 1.094 | -33.5 | -1.959 | 2.170 | | 2.26 | | | 370 |
| 385 | 211.85 | 1.095 | 16.5 | -2.135 | 2.183 | | 2.26 | | | 385 |
| 400 | 250.73 | 1.096 | 66.5 | -2.331 | 2.193 | | 2.26 | | | 400 |
| 410 | 285.82 | 1.097 | 116.5 | -2.487 | 2.200 | | 2.26 | | | 410 |
| 420 | 328.23 | 1.098 | 166.5 | -2.653 | 2.205 | | 2.26 | | | 420 |
| 430 | 378.12 | 1.099 | 216.5 | -2.829 | 2.208 | | 2.26 | | | 430 |
| 440 | 435.73 | 1.100 | 266.5 | -3.015 | 2.210 | | 2.26 | | | 440 |
| 450 | 501.32 | 1.101 | 316.5 | -3.211 | 2.211 | | 2.26 | | | 450 |
| 460 | 575.12 | 1.102 | 366.5 | -3.417 | 2.212 | | 2.26 | | | 460 |
| 470 | 657.52 | 1.103 | 416.5 | -3.633 | 2.213 | | 2.26 | | | 470 |
| 480 | 749.73 | 1.104 | 466.5 | -3.859 | 2.214 | | 2.26 | | | 480 |
| 490 | 852.02 | 1.105 | 516.5 | -4.095 | 2.215 | | 2.26 | | | 490 |
| 500 | 965.62 | 1.106 | 566.5 | -4.341 | 2.216 | | 2.26 | | | 500 |
| 510 | 1091.73 | 1.107 | 616.5 | -4.597 | 2.217 | | 2.26 | | | 510 |
| 520 | 1230.62 | 1.108 | 666.5 | -4.863 | 2.218 | | 2.26 | | | 520 |
| 530 | 1383.52 | 1.109 | 716.5 | -5.139 | 2.219 | | 2.26 | | | 530 |
| 540 | 1550.73 | 1.110 | 766.5 | -5.425 | 2.220 | | 2.26 | | | 540 |
| 550 | 1733.52 | 1.111 | 816.5 | -5.721 | 2.221 | | 2.26 | | | 550 |
| 560 | 1933.12 | 1.112 | 866.5 | -6.027 | 2.222 | | 2.26 | | | 560 |
| 570 | 2150.73 | 1.113 | 916.5 | -6.343 | 2.223 | | 2.26 | | | 570 |
| 580 | 2387.62 | 1.114 | 966.5 | -6.669 | 2.224 | | 2.26 | | | 580 |
| 590 | 2645.02 | 1.115 | 1016.5 | -7.005 | 2.225 | | 2.26 | | | 590 |
| 600 | 2924.23 | 1.116 | 1066.5 | -7.351 | 2.226 | | 2.26 | | | 600 |
| 610 | 3226.52 | 1.117 | 1116.5 | -7.707 | 2.227 | | 2.26 | | | 610 |
| 620 | 3553.12 | 1.118 | 1166.5 | -8.073 | 2.228 | | 2.26 | | | 620 |
| 630 | 3906.23 | 1.119 | 1216.5 | -8.449 | 2.229 | | 2.26 | | | 630 |
| 640 | 4288.12 | 1.120 | 1266.5 | -8.835 | 2.230 | | 2.26 | | | 640 |
| 650 | 4701.02 | 1.121 | 1316.5 | -9.231 | 2.231 | | 2.26 | | | 650 |
| 660 | 5147.23 | 1.122 | 1366.5 | -9.637 | 2.232 | | 2.26 | | | 660 |
| 670 | 5628.92 | 1.123 | 1416.5 | -10.053 | 2.233 | | 2.26 | | | 670 |
| 680 | 6148.42 | 1.124 | 1466.5 | -10.479 | 2.234 | | 2.26 | | | 680 |
| 690 | 6708.02 | 1.125 | 1516.5 | -10.915 | 2.235 | | 2.26 | | | 690 |
| 700 | 7310.02 | 1.126 | 1566.5 | -11.361 | 2.236 | | 2.26 | | | 700 |
| 710 | 7957.62 | 1.127 | 1616.5 | -11.817 | 2.237 | | 2.26 | | | 710 |
| 720 | 8653.12 | 1.128 | 1666.5 | -12.283 | 2.238 | | 2.26 | | | 720 |
| 730 | 9400.02 | 1.129 | 1716.5 | -12.759 | 2.239 | | 2.26 | | | 730 |
| 740 | 10201.62 | 1.130 | 1766.5 | -13.245 | 2.240 | | 2.26 | | | 740 |
| 750 | 11061.32 | 1.131 | 1816.5 | -13.741 | 2.241 | | 2.26 | | | 750 |
| 760 | 12083.42 | 1.132 | 1866.5 | -14.247 | 2.242 | | 2.26 | | | 760 |
| 770 | 13171.23 | 1.133 | 1916.5 | -14.763 | 2.243 | | 2.26 | | | 770 |
| 780 | 14328.92 | 1.134 | 1966.5 | -15.289 | 2.244 | | 2.26 | | | 780 |
| 790 | 15560.62 | 1.135 | 2016.5 | -15.825 | 2.245 | | 2.26 | | | 790 |
| 800 | 16871.62 | 1.136 | 2066.5 | -16.371 | 2.246 | | 2.26 | | | 800 |
| 810 | 18267.23 | 1.137 | 2116.5 | -16.927 | 2.247 | | 2.26 | | | 810 |
| 820 | 19752.82 | 1.138 | 2166.5 | -17.493 | 2.248 | | 2.26 | | | 820 |
| 830 | 21333.62 | 1.139 | 2216.5 | -18.069 | 2.249 | | 2.26 | | | 830 |
| 840 | 22915.02 | 1.140 | 2266.5 | -18.655 | 2.250 | | 2.26 | | | 840 |
| 850 | 24602.42 | 1.141 | 2316.5 | -19.251 | 2.251 | | 2.26 | | | 850 |
| 860 | 26401.23 | 1.142 | 2366.5 | -19.857 | 2.252 | | 2.26 | | | 860 |
| 870 | 28317.82 | 1.143 | 2416.5 | -20.473 | 2.253 | | 2.26 | | | 870 |
| 880 | 30358.42 | 1.144 | 2466.5 | -21.099 | 2.254 | | 2.26 | | | 880 |
| 890 | 32529.42 | 1.145 | 2516.5 | -21.735 | 2.255 | | 2.26 | | | 890 |
| 900 | 34837.23 | 1.146 | 2566.5 | -22.381 | 2.256 | | 2.26 | | | 900 |
| 910 | 37288.23 | 1.147 | 2616.5 | -23.037 | 2.257 | | 2.26 | | | 910 |
| 920 | 39888.62 | 1.148 | 2666.5 | -23.703 | 2.258 | | 2.26 | | | 920 |
| 930 | 42644.62 | 1.149 | 2716.5 | -24.379 | 2.259 | | 2.26 | | | 930 |
| 940 | 45563.62 | 1.150 | 2766.5 | -25.065 | 2.260 | | 2.26 | | | 940 |
| 950 | 48653.02 | 1.151 | 2816.5 | -25.761 | 2.261 | | 2.26 | | | 950 |
| 960 | 51930.23 | 1.152 | 2866.5 | -26.467 | 2.262 | | 2.26 | | | 960 |
| 970 | 55403.62 | 1.153 | 2916.5 | -27.183 | 2.263 | | 2.26 | | | 970 |
| 980 | 59082.62 | 1.154 | 2966.5 | -27.909 | 2.264 | | 2.26 | | | 980 |
| 990 | 62976.62 | 1.155 | 3016.5 | -28.645 | 2.265 | | 2.26 | | | 990 |
| 1000 | 67095.02 | 1.156 | 3066.5 | -29.391 | 2.266 | | 2.26 | | | 1000 |

2-306

LAMPIRAN 3. Heat Capacity The Element And Inorganic Compounds

SPECIFIC HEATS OF PURE COMPOUNDS 2-165

TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (Continued)

| Substance | State† | Heat capacity at constant pressure ($T = K$; $0^\circ C = 273.1 K$), cal/deg mol | Range of temperature, K | Uncertainty, % |
|--|-------------|---|-------------------------------|-------------------|
| Manganese | | | | |
| Mn | c, α | $3.76 + 0.00747T$ | 273-1108 | 5 |
| | c, β | $5.06 + 0.00395T$ | 1108-1317 | 5 |
| | c, γ | $4.80 + 0.00422T$ | 1317-1493 | 5 |
| | l | 11.0 | 1493-1673 | 10 |
| MnCl ₂ | c | $16.2 + 0.00520T$ | 273-923 | ? |
| MnCO ₃ | c | $7.79 + 0.0421T + 0.00000907T^2$ | 273-773 | ? |
| MnO | c | $7.43 + 0.01038T - 0.00000362T^2$ | 273-1923 | ? |
| Mn ₂ O ₃ | c | $10.33 + 0.0530T - 0.0000257T^2$ | 273-1173 | ? |
| Mn ₂ O ₄ | c | $19.25 + 0.0538T - 0.0000209T^2$ | 273-1773 | ? |
| MnO ₂ | c | $1.92 + 0.0471T - 0.0000297T^2$ | 273-773 | ? |
| Mn ₂ O ₃ ·H ₂ O | c | 31 | 291-322 | ? |
| MnS | c | $10.21 + 0.00656T - 0.00000242T^2$ | 273-1883 | ? |
| MnSO ₄ | c | 27.5 | 293-373 | ? |
| MnSO ₄ ·5H ₂ O | c | 78 | 290-319 | ? |
| Mercury¹¹ | | | | |
| Hg | l | 6.61 | 273-630 | 1 |
| | g | 4.97 | All | 0 |
| Hg ₂ | g | 9.00 | 300-2000 | 5 |
| HgCl | c | $11.05 + 0.00370T$ | 273-798 | ? |
| HgCl ₂ | c | $15.3 + 0.0103T$ | 273-553 | ? |
| Hg(CN) ₂ | c | 25 | 285-319 | ? |
| HgI | c | $11.4 + 0.00461T$ | 273-563 | ? |
| HgI ₂ | c, α | $17.4 + 0.004001T$ | 273-403 | 3 |
| | c, β | 20.2 | 403-523 | 3 |
| HgO | c | 11.5 | 278-371 | ? |
| HgS | c | $10.9 + 0.00365T$ | 273-853 | ? |
| HgSO ₄ | c | 31.0 | 273-307 | ? |
| Molybdenum | | | | |
| Mo | c | $5.69 + 0.00188T - 50300T^4$ | 273-1773 | 5 |
| MoO ₃ | c | $15.1 + 0.0121T$ | 273-1068 | ? |
| MoS ₂ | c | $19.7 + 0.00315T$ | 273-729 | ? |
| Neon¹² | | | | |
| Ne | g | 4.97 | All | 0 |
| Nickel⁴ | | | | |
| Ni | c, α | $4.26 + 0.00640T$ | 273-626 | 2 |
| | c, β | $6.99 + 0.000905T$ | 626-1725 | 5 |
| | l | 8.55 | 1725-1903 | 10 |
| NiO | c | $11.3 + 0.00215T$ | 273-1273 | ? |
| NiS | c | $9.25 + 0.00640T$ | 273-597 | ? |
| Ni ₂ Si | c | $15.8 + 0.00329T$ | 273-1582 | ? |
| NiSi | c | $10.0 + 0.00312T$ | 273-1273 | ? |
| Ni ₃ Sn | c | $20.78 + 0.0102T$ | 273-914 | ? |
| NiSO ₄ | c | 33.4 | 293-373 | ? |
| NiSO ₄ ·6H ₂ O | c | 82 | 291-325 | ? |
| NiTe | c | $11.00 + 0.00433T$ | 273-700 | ? |
| Nitrogen¹³ | | | | |
| N ₂ | g | $6.50 + 0.00100T$ | 300-3000 | 3 |
| NH ₃ | g | $6.70 + 0.00630T$ | 300-900 | 1½ |
| NH ₄ Br | c | 22.8 | 274-325 | ? |
| NH ₄ Cl | c, α | $9.80 + 0.0368T$ | 273-457 | 5 |
| | c, β | $5.0 + 0.0340T$ | 457-523 | 5 |
| NH ₄ I | c | 17.8 | 273-325 | ? |
| NH ₄ NO ₃ | c | 31.8 | 273-293 | ? |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | c | 51.6 | 273-325 | ? |
| NO | g | $8.05 + 0.000233T - 156300T^2$ | 300-5000 | 2 |
| Osmium | | | | |
| Os | c | $5.686 + 0.000875T$ | 273-1877 | 1 |
| Oxygen¹⁴ | | | | |
| O ₂ | g | $8.27 + 0.000258T - 187700T^3$ | 300-5000 | 1 |
| Palladium | | | | |
| Pd | c | $5.41 + 0.00184T$ | 273-1822 | 2 |
| Phosphorus | | | | |
| P | c, yellow | 5.50 | 273-317 | 5 |
| | c, red | $0.21 + 0.0180T$ | 273-472 | 10 |
| | l | 6.6 | 317-373 | 10 |
| PCl ₃ | l | 28.7 | 284-371 | ? |
| P ₂ O ₅ | c | $15.72 + 0.1092T$ | 273-631 | 2 |
| | g | 73.6 | 631-1371 | 3 |
| Platinum⁴ | | | | |
| Pt | c | $5.92 + 0.00116T$ | 273-1873 | 1 |
| Potassium | | | | |
| K | c | $5.24 + 0.00555T$ | 273-336 | 5 |
| | l | 7.7 | 336-373 | 5 |

LAMPIRAN 4. *Properties Of Saturated Steam*

Saturated Water and Steam (Temperature-based), Contd.

| T °C | p _{sat} MPa | Volume, m ³ /kg | | Energy, kJ/kg | | Enthalpy, kJ/kg | | | Entropy, kJ/(kg K) | | |
|---------|-------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|
| | | v _f | v _g | u _f | u _g | h _f | h _g | h _{fg} | s _f | s _g | s _{fg} |
| 80 | 0.047414 | 0.00102905 | 3.4052 | 334.96 | 2481.5 | 335.01 | 2643.0 | 2308.0 | 1.0756 | 7.6111 | 6.5355 |
| 81 | 0.049367 | 0.00102972 | 3.2789 | 339.16 | 2482.8 | 339.21 | 2644.7 | 2305.5 | 1.0874 | 7.5973 | 6.5099 |
| 82 | 0.051387 | 0.00103038 | 3.1581 | 343.36 | 2484.1 | 343.41 | 2646.4 | 2302.9 | 1.0993 | 7.5837 | 6.4844 |
| 83 | 0.053476 | 0.00103106 | 3.0425 | 347.55 | 2485.3 | 347.61 | 2648.0 | 2300.4 | 1.1111 | 7.5702 | 6.4591 |
| 84 | 0.055635 | 0.00103174 | 2.9318 | 351.75 | 2486.6 | 351.81 | 2649.7 | 2297.9 | 1.1229 | 7.5567 | 6.4339 |
| 85 | 0.057867 | 0.00103243 | 2.8258 | 355.95 | 2487.8 | 356.01 | 2651.3 | 2295.3 | 1.1346 | 7.5434 | 6.4088 |
| 86 | 0.060173 | 0.00103312 | 2.7244 | 360.16 | 2489.1 | 360.22 | 2653.0 | 2292.8 | 1.1463 | 7.5302 | 6.3838 |
| 87 | 0.062556 | 0.00103382 | 2.6271 | 364.36 | 2490.3 | 364.42 | 2654.6 | 2290.2 | 1.1580 | 7.5170 | 6.3590 |
| 88 | 0.065017 | 0.00103452 | 2.5340 | 368.56 | 2491.5 | 368.63 | 2656.3 | 2287.6 | 1.1696 | 7.5040 | 6.3343 |
| 89 | 0.067558 | 0.00103524 | 2.4447 | 372.76 | 2492.7 | 372.83 | 2657.9 | 2285.1 | 1.1813 | 7.4910 | 6.3097 |
| 90 | 0.070182 | 0.00103595 | 2.3591 | 376.97 | 2493.9 | 377.04 | 2659.5 | 2282.5 | 1.1929 | 7.4781 | 6.2853 |
| 91 | 0.072890 | 0.00103668 | 2.2770 | 381.17 | 2495.2 | 381.25 | 2661.2 | 2279.9 | 1.2044 | 7.4653 | 6.2609 |
| 92 | 0.075684 | 0.00103741 | 2.1982 | 385.38 | 2496.4 | 385.46 | 2662.8 | 2277.3 | 1.2160 | 7.4526 | 6.2367 |
| 93 | 0.078568 | 0.00103814 | 2.1227 | 389.59 | 2497.6 | 389.67 | 2664.4 | 2274.7 | 1.2275 | 7.4400 | 6.2126 |
| 94 | 0.081541 | 0.00103888 | 2.0502 | 393.80 | 2498.8 | 393.88 | 2666.0 | 2272.1 | 1.2389 | 7.4275 | 6.1886 |
| 95 | 0.084608 | 0.00103963 | 1.9806 | 398.00 | 2500.0 | 398.09 | 2667.6 | 2269.5 | 1.2504 | 7.4151 | 6.1647 |
| 96 | 0.087771 | 0.00104038 | 1.9137 | 402.21 | 2501.2 | 402.30 | 2669.2 | 2266.9 | 1.2618 | 7.4027 | 6.1409 |
| 97 | 0.091030 | 0.00104114 | 1.8496 | 406.43 | 2502.4 | 406.52 | 2670.8 | 2264.3 | 1.2732 | 7.3904 | 6.1172 |
| 98 | 0.094390 | 0.00104191 | 1.7879 | 410.63 | 2503.6 | 410.73 | 2672.4 | 2261.7 | 1.2846 | 7.3783 | 6.0937 |
| 99 | 0.097852 | 0.00104268 | 1.7287 | 414.85 | 2504.8 | 414.95 | 2674.0 | 2259.0 | 1.2959 | 7.3661 | 6.0702 |
| 100 | 0.10142 | 0.00104346 | 1.6718 | 419.06 | 2506.0 | 419.17 | 2675.6 | 2256.4 | 1.3072 | 7.3541 | 6.0469 |
| 101 | 0.10509 | 0.00104425 | 1.6171 | 423.28 | 2507.2 | 423.39 | 2677.1 | 2253.8 | 1.3185 | 7.3422 | 6.0237 |
| 102 | 0.10887 | 0.00104504 | 1.5644 | 427.50 | 2508.4 | 427.61 | 2678.7 | 2251.1 | 1.3297 | 7.3303 | 6.0006 |
| 103 | 0.11277 | 0.00104583 | 1.5139 | 431.71 | 2509.6 | 431.83 | 2680.3 | 2248.5 | 1.3410 | 7.3185 | 5.9775 |
| 104 | 0.11678 | 0.00104664 | 1.4652 | 435.93 | 2510.7 | 436.05 | 2681.8 | 2245.8 | 1.3522 | 7.3068 | 5.9546 |
| 105 | 0.12090 | 0.00104744 | 1.4184 | 440.14 | 2511.9 | 440.27 | 2683.4 | 2243.1 | 1.3633 | 7.2952 | 5.9318 |
| 106 | 0.12515 | 0.00104826 | 1.3733 | 444.37 | 2513.0 | 444.50 | 2684.9 | 2240.4 | 1.3745 | 7.2836 | 5.9091 |
| 107 | 0.12952 | 0.00104908 | 1.3300 | 448.59 | 2514.2 | 448.73 | 2686.5 | 2237.7 | 1.3856 | 7.2721 | 5.8865 |
| 108 | 0.13401 | 0.00104991 | 1.2882 | 452.81 | 2515.4 | 452.95 | 2688.0 | 2235.1 | 1.3967 | 7.2607 | 5.8640 |
| 109 | 0.13863 | 0.00105074 | 1.2480 | 457.03 | 2516.5 | 457.18 | 2689.5 | 2232.4 | 1.4078 | 7.2493 | 5.8416 |
| 110 | 0.14338 | 0.00105158 | 1.2093 | 461.27 | 2517.7 | 461.42 | 2691.1 | 2229.6 | 1.4188 | 7.2381 | 5.8193 |
| 111 | 0.14826 | 0.00105243 | 1.1720 | 465.49 | 2518.8 | 465.65 | 2692.6 | 2226.9 | 1.4298 | 7.2269 | 5.7970 |
| 112 | 0.15328 | 0.00105328 | 1.1361 | 469.72 | 2520.0 | 469.88 | 2694.1 | 2224.2 | 1.4408 | 7.2157 | 5.7749 |
| 113 | 0.15844 | 0.00105414 | 1.1014 | 473.95 | 2521.1 | 474.12 | 2695.6 | 2221.5 | 1.4518 | 7.2047 | 5.7529 |
| 114 | 0.16374 | 0.00105500 | 1.0680 | 478.18 | 2522.2 | 478.35 | 2697.1 | 2218.7 | 1.4628 | 7.1937 | 5.7309 |
| 115 | 0.16918 | 0.00105588 | 1.0358 | 482.41 | 2523.4 | 482.59 | 2698.6 | 2216.0 | 1.4737 | 7.1828 | 5.7091 |
| 116 | 0.17477 | 0.00105675 | 0.99522 | 486.65 | 2524.6 | 486.83 | 2700.1 | 2213.2 | 1.4846 | 7.1719 | 5.6873 |
| 117 | 0.18052 | 0.00105764 | 0.97486 | 490.89 | 2525.5 | 491.08 | 2701.5 | 2210.5 | 1.4954 | 7.1611 | 5.6657 |
| 118 | 0.18641 | 0.00105853 | 0.94598 | 495.12 | 2526.7 | 495.32 | 2703.0 | 2207.7 | 1.5063 | 7.1504 | 5.6441 |
| 119 | 0.19246 | 0.00105942 | 0.91811 | 499.36 | 2527.8 | 499.56 | 2704.5 | 2204.9 | 1.5171 | 7.1397 | 5.6226 |
| 120 | 0.19867 | 0.00106033 | 0.89121 | 503.60 | 2528.8 | 503.81 | 2705.9 | 2202.1 | 1.5279 | 7.1291 | 5.6012 |

Continued ...