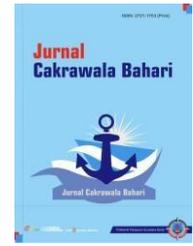




# Jurnal Cakrawala Bahari

Journal homepage: <http://jurnal.poltekpelsumbar.ac.id/index.php/jcb>



## ANALISA PROSES PENYULINGAN AIR LAUT MENJADI AIR TAWAR DENGAN MENGGUNAKAN ALAT SEA RECOVERY WATERMAKER UNTUK KEGIATAN PEMELIHARAAN (MAINTENANCE)

Syamsyir

Program Studi Teknologi Nautika

### Article Info

#### Article history:

Received Jun 12<sup>th</sup>, 2021

Revised Aug 20<sup>th</sup>, 2021

Accepted Aug 26<sup>th</sup>, 2021

#### Keyword:

Air Bersih, Pemeliharaan, Sistim Penyulingan Air Laut, Sea Recovery Watermaker (SRW)

### ABSTRACT (11 PT)

Makhluk hidup dibumi ini sangat membutuhkan air, terutama air bersih karena merupakan unsur utama yang sangat diperlukan bagi kehidupan. Kebutuhan terhadap air tawar dalam aspek kehidupan sangat penting, termasuk kebutuhan di kapal laut. Sistem air tawar di kapal merupakan sistem yang sangat vital karena digunakan untuk makan, minum, mandi, cuci para ABK, pendinginan mesin, dan kebutuhan lainnya di kapal, menggunakan alat Sea Recovery Watermaker (SRW) Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap prinsip kerja alat sehingga diperoleh data-data yang berguna untuk kegiatan pemeliharaan ( maintenance). penelitian ini bertujuan untuk memperoleh datadata yang berguna untuk kegiatan pemeliharaan.

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data terdiri dari pengambilan sumber data skunder berupa referensireferensi yang berhubungan dengan sistim penyulingan air laut menjadi air tawar dan referensi mengenai sistim perawatan pemeliharaan, dan data primer yang diambil berdasarkan penelitian langsung di lapangan.. Hasil pengolahan data, diperoleh beberapa parameter dari setiap komponen mesin Sea Recovery Watermaker (SRW ) yang menunjukkan rentang / selisih yang relatif jauh dari standar operasional mesin yang seharusnya. Kapasitas air tawar yang dapat ditampung dalam Tangki Penampung 500 liter dan hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dimana perbandingan antara nilainilai parameter standar mesin dengan data-data yang diperoleh selama pengujian menunjukkan bahwa kinerja sistem tidak berjalan sesuai standar mesin. Hal ini disebabkan oleh beberapa komponen yang tidak bekerja maksimal, sehingga diperlukan kegiatan perawatan (maintenance) yang meliputi kegiatan pemeliharaan secara korektif,prediktif dan prenentif.



© 2021 The Authors. Published by Politeknik Pelayaran Sumatera Barat. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>)

### Corresponding Author:

Syamsir, S.T., M.T., M.Mar.E  
Politeknik Pelayaran Sumatera Barat  
Email:syamsir08.sr@gmail.com

### Pendahuluan

Semua makhluk hidup membutuhkan air, karena air merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan. Air dibutuhkan untuk berbagai keperluan manusia antara lain rumah tangga, industri, pertanian dan sebagainya. Untuk memenuhi kebutuhan air, manusia selalu memperhatikan kualitas dan kuantitas air, kuantitas yang cukup bisa diperoleh

dengan mudah karena adanya siklus kegiatan manusia menyebabkan pencemaran sehingga kualitas air yang baik dan memenuhi syarat tersebut sulit diperoleh. Saat ini, masalah utama yang dihadapi dalam aspek sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat.

Kualitas air untuk keperluan domestik semakin menurun untuk kegiatan industri, domestik, dan kegiatan lain yang berdampak negatif terhadap sumber daya air, antara lain menyebabkan penurunan kualitas air. Kondisi ini dapat menimbulkan gangguan, kerusakan, dan bahaya bagi semua makhluk hidup yang bergantung pada sumber daya air. Kelangkaan air tersebut sungguh ironis mengingat predikat bumi sebagai “planet air”. Kandungan air di bumi sebenarnya sangat berlimpah dengan volume seluruhnya mencapai 1.400.000.000 km<sup>3</sup> . Akan tetapi, sumber air yang dapat digunakan untuk kehidupan manusia sangat terbatas. Lebih kurang 97 % air di bumi merupakan air laut dan air asin yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dalam kehidupan manusia.

Dari 3 % sisanya, 2 % berupa gunung-gunung es di kedua kutub bumi, 0,25 % adalah air tanah yang dalam, dan selebihnya merupakan air tawar sebagai pendukung kehidupan makhluk hidup di darat, yang terdapat di sungai, danau, dan di dalam tanah termasuk sistem air tawar di kapal laut merupakan sistem yang sangat vital karena digunakan untuk makan, minum, mandi, cuci para ABK, pendinginan mesin, dan kebutuhan lainnya di kapal. Terkait dengan armada kapal yang ada di instansi pemerintah yaitu kapal Kenavigasian yang berfungsi sebagai pensupply dan pengantar kebutuhan logistik dalam hal sarana bantu kenavigasian, buat petugas penjaga menara suar yang ada dipulau, sehingga sarana kapal sangat vital dan penting, untuk terwujudnya keselamatan dalam pelayaran dengan aman.

Berdasarkan hal tersebut diatas, dalam upaya menjamin agar selalu tersedia kebutuhan air bersih di KN Muci selama pelayaran, maka diharapkan peralatan Sea Recovery Watermaker (SRW) senantiasa berfungsi sebagaimana mestinya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap prinsip kerja mesin Sea Recovery Watermaker (SRW) sehingga diperoleh data-data yang berguna bagi kegiatan pemeliharaan (maintenance) apabila terjadi kendala dalam pengoperasian alat. Kegiatan pemeliharaan sangat penting untuk menjamin agar alat Sea Recovery Watermaker (SRW) selalu dalam kondisi optimal sehingga dapat menghasilkan air bersih sesuai kapasitas dan standar air bersih yang layak minum bagi kebutuhan KN Muci.

## Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui prinsip kerja alat Sea Recovery Watermaker (SRW) dalam mengolah air laut menjadi air tawar layak minum.
2. Untuk mengetahui kinerja serta kendala/hambatan dari pada komponen alat Sea Recovery Watermaker (SRW) dalam proses penyulingan air laut menjadi air tawar layak minum sehingga dapat diperoleh data-data untuk kegiatan pemeliharaan.
3. Sebagai pedoman buat kantor, terutama bidang logistik dalam hal pengadaan suku cadang kapal.
4. Bagi peneliti sendiri adalah menambah ilmu dalam bidang sea water maker itu sendiri.

## Kajian Teori

### 1. Siklus Air Di Alam

Siklus air atau siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air laut oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara terus menerus. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju (sleet), hujan gerimis atau kabut. Setelah mencapai tanah, siklus hidrologi terus bergerak secara kontinu dalam tiga cara yang berbeda, yaitu :

1. Evaporasi/transpirasi; air yang ada di laut, daratan, sungai, tanaman, dsb. kemudian akan menguap ke angkasa (atmosfer) dan kemudian akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air (awan) itu akan menjadi bintik-bintik air yang selanjutnya akan turun (precipitation) dalam bentuk hujan, salju, dan es.
2. Infiltrasi /Perkolasi ke dalam tanah; air bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal dibawah permukaan tanah sehingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.
3. Air Permukaan; air bergerak di atas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau, makin landai lahan dan makin sedikit pori-pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya pada daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan disekitar daerah aliran sungai menuju laut.

Laut merupakan tandon air alami terbesar di dunia dan terus menerus diuapkan oleh radiasi sinar matahari seperti ditunjukkan dalam Siklus air di gambar 5.1



Gambar 5.1 Siklus Air

#### a. Penyulingan

Percobaan pertama untuk memisahkan garam dari air laut adalah meniru cara alam, yaitu dengan menguapkan air laut kemudian mengembungkan uapnya kembali. Ketika air laut dipanaskan, hanya air yang menguap, sedangkan garam-garam yang terlarut tetap tinggal dalam larutan (air laut). Hal ini merupakan suatu cara sederhana untuk menyuling air laut. Alat penyuling jenis ini dilengkapi wadah perebus air laut pada bagian dalam serta dilengkapi dengan pipa-pipa tegak untuk memperluas permukaan air yang dipanaskan. Selanjutnya cara ini dikembangkan untuk mesin-mesin suling yang menggunakan bahan bakar minyak atau tenaga matahari (solar system). Oleh karena bahan bakar minyak relatif mahal sehingga dicari berbagai cara untuk menghemat bahan bakar tersebut, misalnya :

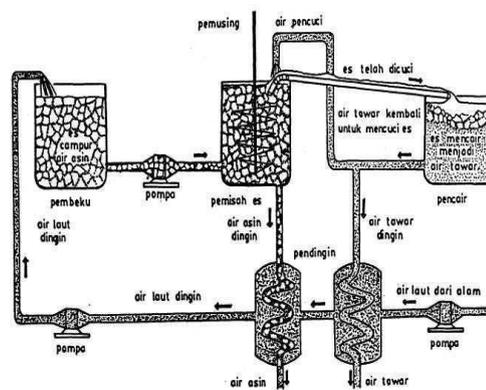
1. Memasukkan kembali air pendingin ke dalam tempat pendidih air. Karena air pendingin tersebut telah menyerap panas dari uap air yang berarti sudah ada pemanasan awal, sehingga pemasukan kembali air ini sebagai sumber uap dapat menghemat waktu dan tenaga pemanas. Memanaskan air dibawah tekanan atmosfer.

Pada tekanan atmosfer (760 mm Hg), air mendidih pada temperatur 100°C. Tetapi, bila tekanannya dinaikkan menjadi dua kali (1520 mm Hg), air tidak mendidih sampai temperatur mencapai 120,1°C. Sebaliknya, apabila tekanan udara dikurangi menjadi separuhnya, penguapan akan segera terjadi, ini dikenal dengan sebutan penguapan

secara kilat (evaporation). Penguapan bertambah cepat apabila tekanan udara dikurangi lagi.

## 2. Pembekuan

Bila air asin didinginkan sampai temperatur di bawah  $0^{\circ}\text{C}$ , hanya air yang membeku menjadi es. Garamgaram terlarut tetap tinggal dalam larutan. Jika es dapat dipisahkan dari air asin yang tidak dapat membeku, air tawar akan dihasilkan ketika es dicairkan kembali. Pada air, panas laten untuk mencair jauh lebih rendah dari pada panas laten untuk menguap, dan temperatur normal bagi air laut adalah lebih dekat dengan titik beku air dari pada titik didihnya, sehingga cara ini lebih menghemat bahan bakar dari pada cara pemurnian air cara penyulingan.



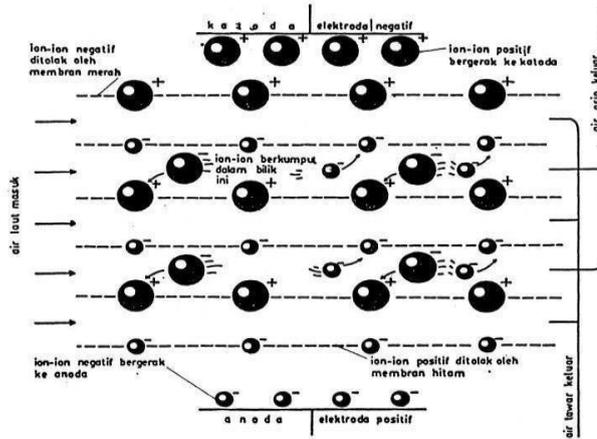
Gambar 5.3 Prinsip pemisahan air tawar dari air laut dengan cara pembekuan

Gambar 5.3 menunjukkan prinsip pemisahan air tawar dari air laut dengan cara pembekuan. Untuk efisiensi tenaga pendingin, sebelum masuk ke tempat pembekuan air laut telah didinginkan dalam tabung pendingin oleh air tawar dingin dan air asin dingin hasil dari proses pemisahan ini.

## 3. Ionisasi

Pada proses ionisasi, air asin dialirkan melalui bilik-bilik sempit. Di antara kedua sisi bilik tersebut dialirkan arus listrik langsung (*direct electric current*). Arus itu menyebabkan ion Natrium serta ion-ion bermuatan positif yang lain dan ion klorine serta ion-ion bermuatan negatif berpindah menuju membran-membran yang berderet di dalam bilik tersebut. Membran listrik positif diatur berselang-seling dengan membran listrik negatif. Pemisahan garam terjadi antara dua membran. Pada dua bilik yang mengapit membran-membran, kepekatan garam menjadi tinggi sehingga pemisahan air tawar dan air asin terjadi pada bilik yang

berselang-seling seperti ditunjukkan Gambar 5.4. Memurnikan air laut dalam jumlah besar dengan cara ionisasi adalah sangat mahal, tetapi cara ini sangat berguna pada keadaan darurat, karena alat yang digunakan sangat kecil dan ringan.



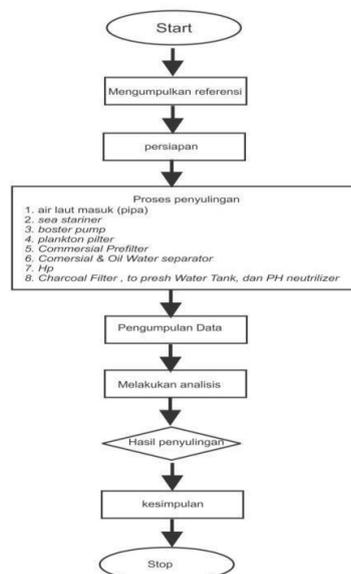
Gambar 5.4 Prinsip pemurnian air laut dengan cara ionisasi

**Metodologi**

**1. Metode Identifikasi**

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data terdiri dari pengambilan sumber data skunder berupa referensi-referensi yang berhubungan dengan sistem Penyulingan air laut menjadi air tawar dan referensi mengenai sistem perawatan pemeliharaan, dan data primer yang diambil berdasarkan penelitian langsung di lapangan.

**2. Alur Penelitian**



Gambar 7.1 Diagram alir penelitian

### 3. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan tujuan mengetahui cara kerja alat *SeaRecovery Watermaker (SRW)* serta kendala dalam proses penyulingan air laut menjadi air tawar sehingga dapat diperoleh suatu hasil analisis atau solusi untuk kegiatan pemeliharaan pada alat tersebut.

#### a. Data pimer

Data Primer diperoleh melalui pengujian alat *Sea Recovery Recovery Watermaker (SRW)* yang ada di kapal KN Muci dalam kegiatan operasionalnya dan juga melakukan pengamatan atas hasil penelitian untuk dapat diambil langkah apa yang harus dilakukan dalam penelitian tersebut.

#### b. Data Sekunder

Data skunder diperoleh dengan mempelajari teori-teori yang didapat dari literatur, katalog mesin, dokumen, dan bahan pustaka lainnya yang berhubungan dengan objek penelitian.

#### c. Variabel Penelitian

Variabel yang diukur akan sangat mempengaruhi kinerja alat destilasi *Sea Recovery Watermaker (SRW)*. Variabel yang diukur adalah :

1. Air
2. Standar airbersih (layakminimum) / salinitas.
3. Proses kerja dan kinerja alat *SeaRecovery Watermaker (SRW)*

### 4. Objek dan Subjek Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat *Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1* dari Tanggal 3 s/d 20 Juli 2014 di Kapal Negara (KN) Muci milik Distrik Navigasi Kelas II Teluk Bayur Padang pada saat kapal berada di dermaga Bungus Padang.



Gambar 9.1 Alat *Sea Recovery Watermaker (SRW)*  
di kapal KN Muci.

## 5. Kesimpulan dan Saran

1. Sistem destilasi dan prinsip kerja alat *Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1* di kapal KN Muci milik Distrik Navigasi Kelas II Teluk Bayur Padang.

- a. Sistem Destilasi

Sistem destilasi alat *Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1* menggunakan proses osmosis terbalik (*reverse osmosis*) untuk penyulingan air laut menjadi air tawar layak minum, yaitu kadar garam rendah (tawar) dipaksa mengalir menembus membrane dari air kadar garam tinggi dengan menggunakan tekanan buatan sehingga terjadi aliran/difusi air tawar ke dalam air asin melalui membran semi *permeable*. Besarnya tekanan *osmosis* tergantung dari karakteristik membran, temperatur air, dan konsentrasi garam yang terlarut dalam air.

- b. Prinsip Kerja

Prinsip kerja alat *Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1* meliputi tiga buah perlakuan, yaitu perlakuan fisik, biologis, dan kimia. Proses fisik meliputi operasi penyaringan melalui filter pasir kemudian *filter cartridge* untuk memisahkan partikel berdasarkan ukurannya. Proses biologis dan kimia mencakup perlakuan koagulasi (mengurangi kekeruhan dan warna serta pathogen) serta *injeksi poli elektrolit*, dan dis-infeksi. Keseluruhan perlakuan tersebut melalui tahapan-tahapan berikut: Air laut dihisap melalui *Sea Strainer* (saringan 1) dan *booster pump, plankton filter* (saringan 2), *commercial prefilter* (saringan 3) dan *commercial oil separator* (saringan 4). Pada saringan 4, mulai terjadi proses penurunan salinitas/kadar garam (*Sodium Chlorida NaCl*). Selanjutnya aliran ke *High Pressure Membrane* menggunakan metode *Reverse Osmosis (RO)*. Pada *membrane*, terdapat lapisan padat dalam metrispolimer (saringan 5), dan *membrane osimetrik* atau lapisan *interfasial dipolimerisasi* (saringan 6) dalam film yang sangat tipis, serta *komposit Membrane* (saringan 7), sehingga terjadi pemisahan kadar garam. Pada tahap ini, tekanan tinggi diberikan pada sisi tingkat konsentrasi tinggi pada *Membrane*. Selanjutnya aliran ke *Salinity Probe* dan kadar garam semakin menurun yang di monitor melalui *display monitor*, dan *Flow Meter* menunjukkan besar debit/kapasitas aliran yang telah di proses.

Selanjutnya, aliran melewati Charcoal Filter (saringan 8) dan PH Filter (saringan 9). Pada tahap ini, yang tercatat adalah kadar keasaman dari air laut yang telah menjadi air tawar kemudian melewati Ultraviolet Sterilizer yang berfungsi untuk menghilangkan/mengurangi organisme yang merugikan seperti bakteri, jamur (fungi) dan lumut (algae). Pada akhir proses, hasil penyulingan dialirkan ke tangki penampung.

a. Kegiatan Pemeliharaan/ Perawatan (Maintenance)

Sebelum dilakukan pekerjaan pemeliharaan/perawatan terhadap alat Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1, hasil pengujian menunjukkan bahwa parameter-parameter mesin tidak memenuhi standar untuk memperoleh hasil penyulingan yang layak minum sehingga kinerja sistem tidak tercapai, terutama pada komponen yang dilewati aliran sebelum high pressure membrane. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan perawatan terhadap komponen-komponen yang terindikasi mengurangi kinerja sistem. Berdasarkan hal tersebut, maka harus dilakukan kegiatan pemeliharaan pencegahan agar mesin Sea Recovery Watermaker (SRW) senantiasa dalam kondisi operasional yang optimal, yaitu:

- a. Pekerjaan inspeksi secara berkala terutama pada komponen-komponen utama seperti: Sea Cock Valve, Sea Strainer, Booster Pump
- b. Pressure Pump, dan High Membrane.

Jangka waktu / periode yang dilakukan untuk komponen-komponen Sea Recovery Watermaker (SRW) yang di selalu di bersihkan adalah sebagai berikut :

1. Seluruh filter-filter yang ada selalu dibuka dan dibersihkan dari kotoran yang terdiri dari garamgaram yang mengendap pada komponen.
2. Penggantian paking dan pemberian cairan spray bagi komponen yang berkarat dengan cairan WD-40, setiap saat sebelum pengoperasian.
3. Jangka waktu dan periode yang dilakukan untuk setiap pembersihan adalah dalam 1 bulan 2 kali pembersihan setiap kapal KN Muci berlayar.

## 6. Saran - Saran

Dari hasil pengujian alat Sea Recovery Watermaker (SRW) Type SRC Aqua Whisper 450-1 yang telah dilakukan di kapal KN Muci milik Distrik Navigasi Kelas II Teluk Bayur Padang, maka disarankan sebagai berikut:

1. Lakukan pemeliharaan pencegahan dan korektif secara berkala terhadap sistem Sea Adanya pemahaman pengoperasian dan pemeliharaan buat operator atau petugas kapal terhadap alat Sea Recovery Watermaker (SRW), sehingga akan tercapai sistim perencanaan yang baik. Recovery Watermaker (SRW), karena umur pengoperasian yang tinggi berpengaruh terhadap komponen – komponen sehingga pada akhirnya akan mengalami keausan/kerusakan, korosi, dan penyumbatan filterfilter pada membrane yang akan berpengaruh terhadap kinerja alat.
2. Pemeliharaan prediktif juga sangat penting dilakukan terhadap system Sea Recovery Watermaker (SRW) untuk mengetahui terjadinya perubahan atau kelainan kondisi fisik maupun fungsi dari sistem peralatan, seperti pengamatan secara berkala terhadap Booster pump yang akan berpengaruh terhadap putaran dan tekanan yang dihasilkan.
3. Lakukan pemeliharaan berhenti (shutdown maintenance), yaitu pemeliharaan yang dilakukan selama mesin Sea Recovery Watermaker (SRW) berhenti beroperasi, terutama pada saat KN Muci tidak melakukan pelayaran (sandar di pelabuhan).
4. Adanya pemahaman pengoperasian dan pemeliharaan buat operator atau petugas kapal terhadap alat Sea Recovery Watermaker (SRW), sehingga akan tercapai sistim perencanaan yang baik.
5. Diperlukan kepedulian dan kecepatan dari instansi dalam menindak lanjuti setiap kerusakan alat Sea Recovery Watermaker (SRW).
6. Adanya suku cadang yang tersedia bila alat Sea Recovery Watermaker (SRW)mengalami kerusakan.

### Daftar Pustaka

- Agung Suprihatin, 1998, Kelangkaan air tersebut sungguh mengingat predikat bumi sebagai “planet air”.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi air dan udara. Kanisius. Yogyakarta. 193 h.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2010. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta. 16 h.

- Gomes, Faustino Cardoso. (2000), Manajemen Sumber Daya Manusia. Penerbit: Andi Offset.
- Nanawi, G. 2001. Kualitas Air dan Kegunaannya di Bidang Pertanian, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Jakarta. 36 h.
- Kartasapoetra. 2005. Teknologi Konservasi Tanah & Air. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Ray K, Linsley dan Joseph B. Franzini, 1990, Teknik Sumber Daya Air, Erlangga, Jakarta.
- Sofyan Morimura, 1985, Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing, PT Pradya Paramita, Jakarta.
- Sularso, Haruo Tahara, 1996, Pompa dan Kompresor, PT Pradya Paramita, Jakarta.
- Suprihanto, 2000, Pendidikan dan Pelatihan Tenaga Teknik Penyediaan air Minum, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Corder, Anthony, 1992, Teknik Manajemen Pemeliharaan, ter, K. Hadi. Erlangga, Jakarta.
- Hani Handoko, T, 2000, Dasar-dasar Manajemen Produksi dan Operasi, Edisi 1, BPFE Yogyakarta.
- Heizer, Jay and Barry Render, 2001, Operation Management, 6th edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Hani Handoko, T, 2000, Dasar-dasar Manajemen Produksi dan Operasi, Edisi 1, BPFE Yogyakarta
- Assauri, Sofyan, 2004, Manajemen Produksi dan Operasi, edisi revisi, Lembaga Penerbit FE UI, Jakarta.
- Daryus, Asyari, 2007, Diktat Manajemen Pemeliharaan Mesin, Universitas Darma Persada – Jakarta.
- Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor : Pemilihan, Pemakaian dan Perawatan. PT. Pradnya Paramita, Jakarta 2000
- Dhillon, B.S, 2006. Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers, Taylor & Francis, Boca Raton.
- Mobley, R. Keith, 2002. An introduction to predictive maintenance, 2nd ed, butterworth-heinemann, USA.
- Setiawan, F.D, 2008. Perawatan Mekanikal Mesin Produksi, Maximus, Yogyakarta.
- Tampubolon, P. Manahan, 2004, Manajemen Operasional, edisi pertama, Ghalia Indonesia.