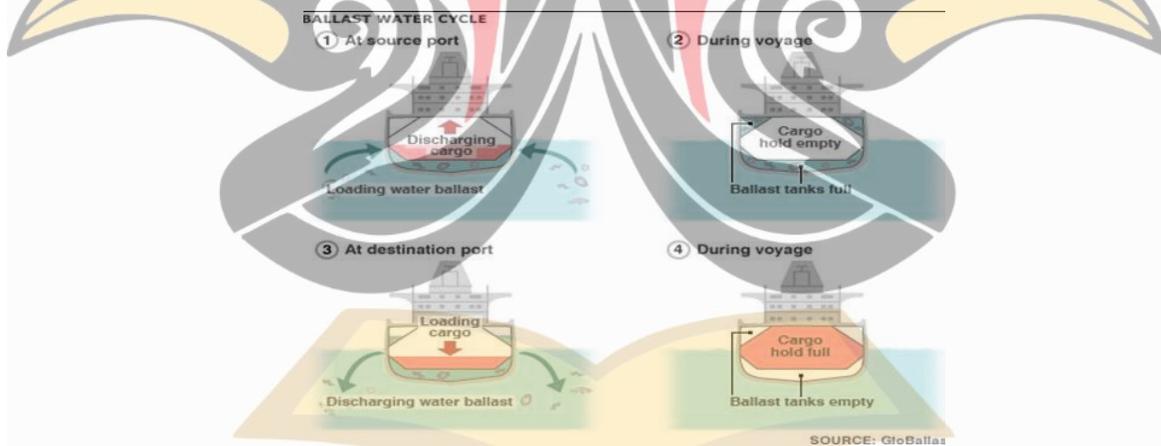


TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Ballast

Air Ballast Ballast water merupakan air yang digunakan oleh kapal pada saat muatan kosong atau setengah terisi, sebagai pemberat untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan kapal. Saat proses pengisian air balas (*ballasting*), diperkirakan ribuan jenis spesies seperti bakteri, microba, ubur-ubur, larva, dan telur hewan, serta bentuk hewan-hewan akuatik yang berukuran lebih besar terbawa dalam tangki air balas. Intrusi spesies asing dari ekosistem yang terbawa saat pembuangan air ballast (*deballasting*) dapat membahayakan kehidupan lingkungan laut setempat, merusak keseimbangan ekosistem laut dan mengganggu ekologi perairan sekitar. (Abdillah, 2020)

Untuk lebih jelas dari penjelasan diatas lihat Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Proses *ballasting* dan *deballasting*

(Sumber : ECOGREENSHIP)

Berdasarkan informasi yang dirilis oleh IMO, selama kurun waktu satu tahun pelayaran dunia, terjadi proses ballast dan *deballasting* yang diperkirakan

sebesar 10 milyar ton air ballast, beserta ribuan spesies laut mikro yang terbawa didalamnya. Diperkirakan sebanyak 7000 spesies per jam yang berpindah, dan setiap 9 minggu, diperkirakan terjadi satu intrusi spesies pendatang terhadap ekologi perairan lokal. Sementara itu, terdapat 4,5 milyar orang di seluruh dunia yang hidup di pesisir, yang berpotensi terkena dampak jika terjadi kerusakan ekosistem perairan lokal. (Abdillah, 2020)

2.2. BWM Convention

IMO telah menangani masalah *Invasive Aquatic Species* (IAS) sejak tahun 1980, ketika anggota organisasi tersebut mulai melaporkan berbagai permasalahan tentang IAS kepada *Marine Environment Protection Committee* (MEPC). Pada tahun 1991, MEPC mengeluarkan *International Guidelines for preventing the introduction of unwanted aquatic organisms and pathogens from ships' ballast water and sediment discharges* (resolution MEPC.50(31)), dan dilanjutkan oleh IMO Assembly dengan dikeluarkannya resolution A.774(18). Pada November 1997, IMO mengeluarkan resolution A.868(20) – *Guidelines for the control and management of ships ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organism and pathogens*, dan mengundang seluruh anggotanya untuk menggunakan pedoman ini untuk menanggulangi masalah IAS (*Invasive Aquatic Species*). (Dewangga, 2017)

Setelah berbagai negosiasi dengan anggotanya, IMO mengeluarkan *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments* (*BWM Convention*), pada 13 Februari 2004 di London, dan akan diresmikan secara global pada 8 September 2017.

Beberapa aturan yang harus diikuti supaya kapal dapat memenuhi persyaratan yg ada pada BWM Convention adalah sebagai berikut :

2.2.1 Annex – Section B Persyaratan Pengelolaan dan Kontrol untuk Kapal

Kapal harus memiliki *Ballast Water Management Plan* yang telah disetujui oleh administrasi yang ditunjuk (*Regulation B-1*). *Ballast Water Management Plan* berbeda untuk setiap kapal dan berisi tentang deskripsi secara mendetail tentang langkah – langkah yang dilakukan untuk menjalankan persyaratan dari *Ballast Water Managements*.

Kapal harus memiliki *Ballast Water Record Book* (*Regulation B-2*) untuk mencatat kapan air balas diambil; disirkulasi atau di-treatment untuk keperluan *Ballast Water Management*; dan dibuang kembali kelaut. Perlu juga dicatat kapan air balas dikeluarkan ke fasilitas treatment di pelabuhan, dan pembuangan air balas secara tidak disengaja.

Aturan khusus untuk Manajemen Air Balas diatur dalam *Regulation B-3*. Didalam *Regulation B-4*, semua kapal yang menerapkan pertukaran air balas harus; melakukan pertukaran air balas setidaknya 200 nm dari daratan terdekat dan pada perairan dengan kedalaman minimal 200 meter. Jika persyaratan pertama tidak memungkinkan, maka pertukaran dapat dilakukan setidaknya 50 nm dari daratan terdekat dengan kedalaman minimal 200 meter. (Dewangga, 2017)

2.2.2 Annex – Section D Standar Manajemen Air Balas

Regulation D-1 Standar Pertukaran Air Balas. Ketika proses pengisian atau pengosongan balas, kapal harus mampu mengisi atau mengosongkan setidaknya 95% dari kapasitas total tangki balas. Untuk kapal yang menggunakan metode *pumping-through*, kapasitas pompa harus dapat memompa terus menerus selama pengisian 3 kali volume tangki balas.

Regulation D-2. Kapal dengan sistem manajemen air balas tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup per meter kubik atau setara dengan ukuran lebih dari 50 mikrometer dan tidak boleh mengeluarkan lebih dari 10 organisme hidup tiap millimeter untuk ukuran kurang dari 50 mikrometer. Sistem manajemen air balas harus disetujui oleh administrasi yang telah ditunjuk, berdasarkan pada *IMO Guidelines* (*Regulation D-3* persetujuan persyaratan untuk

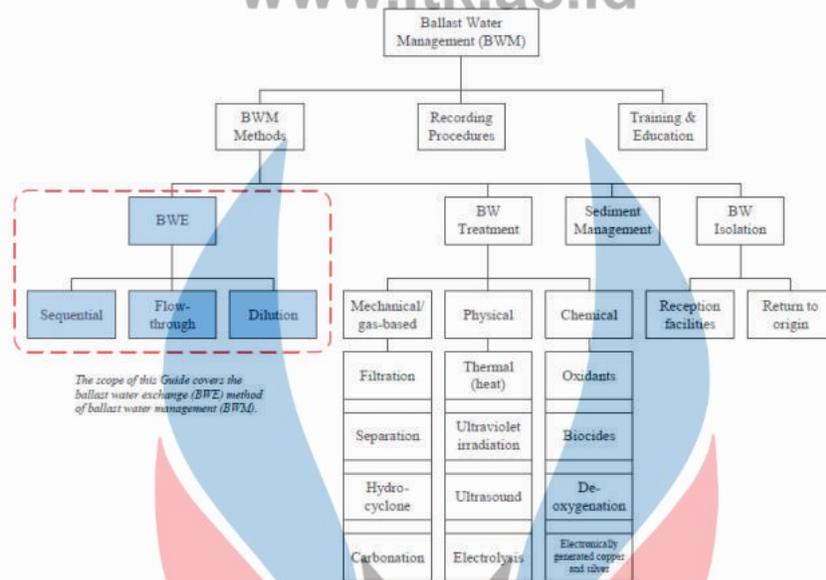
sistem manajemen air balas). Ini termasuk sistem yang menggunakan bahan kimia; menggunakan organisme atau mekanisme biologi; atau yang mengubah kandungan kimia atau karakteristik dari air balas.

Sebagai solusi sementara yang sesuai pada Section B, semua kapal harus melakukan pertukaran air balas ditengah laut. Namun, cara ini sangat beresiko untuk keselamatan dari beberapa kapal. Pengosongan tangki balas ditengah laut dapat menyebabkan terjadinya permukaan bebas pada tangki balas, dan sangat berpengaruh bagi stabilitas dan sarat kapal, terlebih pada cuaca buruk. Jika sloshing (gejolak air dalam tangki yang tidak penuh) terus terjadi, maka kerusakan struktur pada kapal tidak bisa dihindari. (Dewangga, 2017)

2.3. Ballast Water Exchange (BWE)

Ballast Water Exchange (BWE) adalah suatu proses yang melibatkan penggantian air dalam tangki ballast. BWE ini merupakan salah satu metode *Ballast Water Management* yang di atur IMO dan di resmikan pada tahun 2017 melalui *BWM Convention* .

Berikut cakupan dari *Ballast Water Management* (BWM) ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



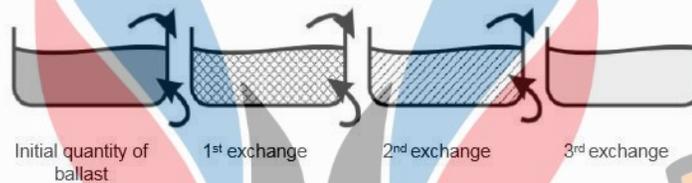
Gambar 2. 2 cakupan dari Ballast Water Management (BWM)

Tiga metode pertukaran air balas telah dievaluasi dan ditentukan agar dapat diterima oleh IMO yaitu : *Sequential Method*, *Flow-through Method*, dan *Dilution Method*. Penjelasan dari ini adalah sebagai berikut:

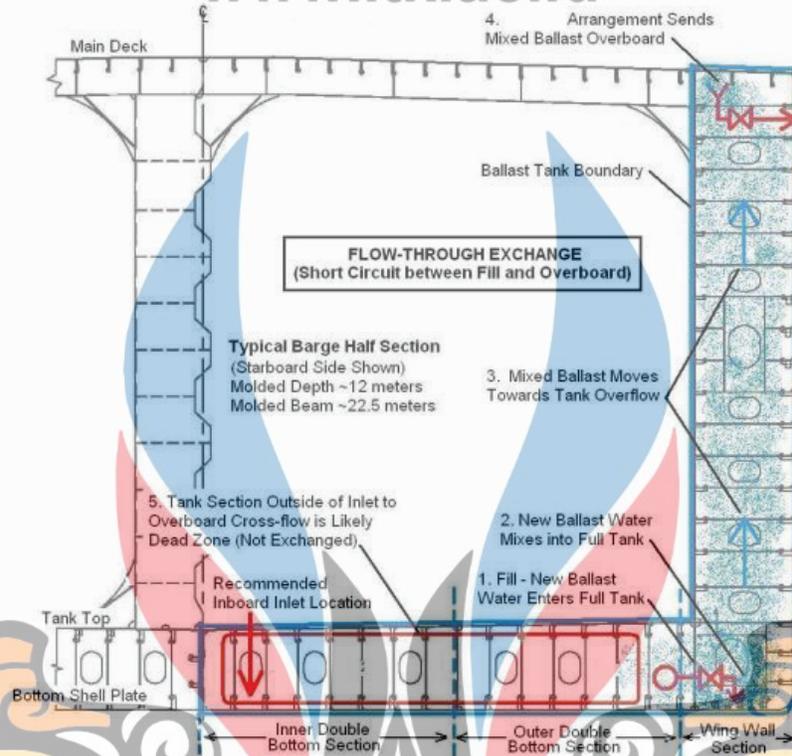
- 1) *Sequential Method*, Suatu proses dimana tangki ballast untuk pengangkutan pemberat air dikosongkan terlebih dahulu dan kemudian diisi ulang dengan air ballast pengganti untuk mencapai setidaknya 95% volumetrik bertukar.
- 2) *Flow-through Method*, suatu proses dengan cara pemompaan air ballast pengganti ke tangki, dan memaksa air ballast yang ada keluar melalui luapan. Air ballast yang di pompakan ke dalam tangki kira-kira tiga kali dari kapasitas tangki itu sendiri untuk mencapai 95% efektivitas dalam menghilangkan organisme yang ada.
- 3) *Dilution Method*, Suatu proses dimana air pemberat pengganti diisi melalui bagian atas tangki ballast air dengan pembuangan serentak dari bawah pada laju aliran yang sama dan mempertahankan level yang konstan dalam tangki selama pertukaran pemberat operasi. Setidaknya tiga kali volume tangki harus dipompa melalui tangki. (Bureau,2020)

2.4. Flow-through Method

Flow Through Method adalah proses pelaksanaan *water ballast exchange* dengan cara membuka manhole tangki ballast dan mengambil air laut melalui pipa hisap water ballast lalu di pompakan ke dalam tangki ballast hingga water ballast keluar dari manhole tersebut hingga pergantian ballast mencapai 300% dari volume masing-masing tangki. Proses ini pada umumnya dilakukan pada tangki ballast selain *Fore Peak Tank* dan *After Peak Tank* karena air yang keluar dari manhole langsung keluar ke geladak kapal dan jatuh ke laut. Metode ini secara umum tidak mengubah stabilitas dan tidak menimbulkan tegangan geser



Gambar 2. 3 luapan air dalam proses pergantian air ballast



Gambar 2. 4 Proses pertukaran air ballast *Flow Through Method* pada tangki

Kelebihan dari metode *Flow Through* ini ialah, dapat mengurangi resiko tegangan geser yang terjadi pada saat melakukan pertukaran air balas di tengah laut. Karena pada umumnya jika menggunakan metode *sequential* rawan akan terjadi tegangan geser pada saat proses pertukaran air balas di tengah lautan.

2.5 System Ballast

System ballast adalah salah satu system pelayaran dikapal yang mengangkat dan mengisi air ballast. System pompa ballast ditunjukan untuk menyesuaikan tingkat kemiringan dan draft kapal, sebagai akibat dari perubahan muatan kapal sehingga stabilitas kapal dapat dipertahankan. Selanjutnya adalah elemen penunjang system agar system dapat di aplikasikan, elemen penunjang tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

a. Sea Chest

Kotak laut (sea chest) adalah suatu perangkat yang berhubungan dengan air laut yang menempel pada sisi dalam dari pelat kulit kapal yang berada di bawah permukaan air dipergunakan untuk mengalirkan air laut kedalam kapalsel sehingga kebutuhan sistem air laut (sea water system) dapat dipenuhi

b. Valve dan Fitting

Valve yang digunakan disini adalah katup dengan 2 type yaitu stop valve dan regulating valve. Untuk type stop valve terdapat katup butterfly dan gate valve. Kedua katup tersebut di pilih atas pertimbangan jenis fluida yang di alirkan memiliki tidak memiliki tekanan yang tinggi dan tidak perlu adanya pressure drop yang tinggi juga, pertimbangan selanjutnya adalah aliran fluida dapat dialirkan dari kedua sisi yang saling berlawanan.

c. Tangki

Tangki ballast berfungsi untuk menampung air dan menjaga kestabilan kapal baik saat berlayar maupun bongkar muat. Tangki ballast ditempatkan di tangki ceruk buritan (AP) dan tangki ceruk haluan (FP) berguna untuk mengubah trim, serta terdapat di tangki double bottom, deep ballast tanks, dan side ballast tanks berguna untuk memperoleh sarat yang tepat. Volume dari ballast mencapai 8-12% dari total displacement kapal. Untuk menentukan kapasitas tangki dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$Q = V/t \quad (2.1)$$

Keterangan

V= volume tangki

t= waktu pengisian tangki

d. Outboard

Fungsi outboard adalah untuk mengeluarkan air yang sudah tidak terpakai. Peletakan Outboard ini haruslah diatas garis air atau WL dan harus diberi satu katup jenis SDNRV.

- e. Pompa yang mendukung system ballast terdiri dari 2 pompa, yang juga mendukung sistem lain, yakni sistem pemadam dan bilga. Pompa ini terdiri dari pompa bilga-ballast dan pompa general service. Pompa general service digunakan sebagai pompa kedua pada sistem Ballast. Jadi, pompa general service ini kapasitasnya cukup 85% dari kapasitas pompa Ballast agar dapat handle sistem Ballast tersebut, yaitu 85% dari pompa Ballast – Fire. Jumlah dan kapasitas pompa ballast harus memenuhi kebutuhan operasional kapal. (Kurniawan Eko Prabowo & Yovan Witanto, 2019)

2.6 Pompa

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan fluida dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi dan/ atau posisi yang lebih rendah ke posisi yang lebih tinggi. Salah satu jenis pompa yang banyak dipakai untuk kebutuhan industri adalah pompa sentrifugal. Bentuk hambatan: jarak, kekasaran permukaan pipa, pembesaran dan pengecilan pipa, valve, tee, static head (perbedaan tempat antara reservoir dan line discharge tertinggi), pressure head (perbedaan tekanan pada sisi isap dan discharge), velocity head (perbedaan kecepatan fluida pada reservoir dan discharge), friction head (head pada pipa lurus dan fitting) Maka Total Head Instalasi = Static Head + Pressure Head + Velocity Head + Friction Head. Sehingga, agar fluida dapat mengalir sesuai desain maka : Head pompa pada best Effisiensi Point > Total Head Instalasi. (Wardjito, 2012)

2.7 Pompa Sentrifugal

Salah satu jenis pompa kerja dinamis adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetik (kecepatan) cairan menjadi energi potensial melalui suatu impeller yang berputar dalam casing. Gaya sentrifugal yang timbul karena adanya gerakan sebuah benda atau partikel melalui lintasan lengkung (melingkar). Pompa sentrifugal merupakan pompa kerja dinamis yang paling

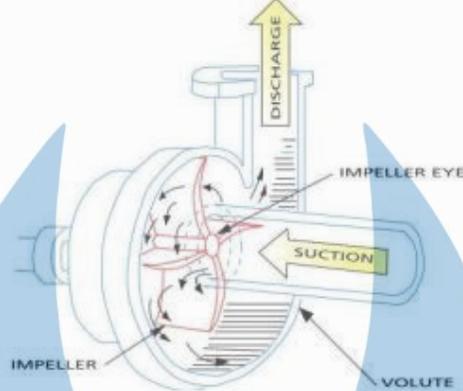
banyak digunakan karena mempunyai bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah. Keuntungan pompa sentrifugal dibandingkan jenis pompa perpindahan positif adalah gerakan impeler yang kontinu menyebabkan aliran tunak dan tidak berpulsa, keandalan operasi tinggi disebabkan gerakan elemen yang sederhana dan tidak adanya katup-katup, kemampuan untuk beroperasi pada putaran tinggi, yang dapat dikopel dengan motor listrik, motor bakar atau turbin uap ukuran kecil sehingga hanya membutuhkan ruang yang kecil, lebih ringan dan biaya instalasi ringan, harga murah dan biaya perawatan murah.(Samudra, 1998) Pompa Sentrifugal merupakan suatu pompa yang memiliki elemen utama sebuah motor dengan sudu impeler berputar dengan kecepatan tinggi. Fluida masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan kecepatan fluida maupun tekanannya dan melemparkan keluar volut. Prosesnya yaitu : (Wardjito, 2012)

- Antara sudu impeller dan fluida Energi mekanis alat penggerak diubah menjadi energi kinetik fluida.
- Pada Volut Fluida diarahkan kepipa tekan (uang), sebagian energi kinetik fluida diubah menjadi energi tekan.

Pompa sentrifugal adalah sub-kelas kerja axisymmetric dinamis. pompa sentrifugal yang digunakan untuk memindahkan cairan oleh konversi rotasi energi kinetik dengan energi hidrodinamik dari aliran fluida. Rotasi energi biasanya berasal dari mesin atau motor listrik. Cairan masuk secara aksial melalui mata casing, terperangkap dalam pisau impeller, berputar tangensial dan radial sampai keluar melalui semua bagian daun yang mengelilingi impeller ke dalam diffuser (bagian dari casing). Fluida cairan akan meningkat baik kecepatan dan tekanan saat melewati impeller. Di bagian casing akan berkurang kecepatan alirannya dan lebih meningkatkan tekanannya.(Nikosai & Arief, 2015)

Pompa Sentrifugal merupakan pompa non positive displacement yang menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan head untuk memindahkan zat cair.

Pompa sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Pompa Sentrifugal

(sumber: Jurnal Analisa Kebutuhan Jenis Dan Spesifikasi Pompa Untuk Suplai Air Bersih Di Gedung Kantin Berlantai 3 Pt Astra Daihatsu Motor)

2.8 Sistem Perpipaan Pada Kapal

Pipeline adalah sistem perpipaan untuk mengantarkan atau mengalirkan fluida antara satu tempat ke tempat lainnya yang biasanya melewati beberapa daerah. Instalasi pipa pada kapal tentu saja pipa-pipa tersebut tidak hanya pipa lurus melainkan terdapat belokan, cabang, mengecil, naik dan turun. Istilah belokan atau elbow, cabang T atau tee, cabang "Y". Sistem perpipaan meliputi semua komponen dari lokasi awal sampai dengan lokasi tujuan, yaitu saringan (strainer), katup, sambungan, nozzle dan lain sebagainya. Untuk sistem perpipaan yang menggunakan fluida cair umumnya dari lokasi awal fluida dipasang saringan untuk menyaring kotoran agar tidak menyumbat aliran fluida. Saringan (strainer) dilengkapi dengan katup searah (foot valve) yang berfungsi mencegah aliran kembali ke lokasi awal.

2.9 Perhitungan Kapasitas Daya Pompa

Desain system system ballast pada kapal tanker ini menggunakan tahapan-tahapan untuk mengetahui parameter-parameter dalam menentukan kebutuhan pompa. Adapun tahapan-tahapan yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.9.1. Head total pompa

Head total pompa adalah penambahan energy fluida antara sisi masuk (inlet) dan ujung sisi keluar (outlet). Head adalah ukuran kemampuan pompa untuk mendorong fluida mengalir melalui sistem. Pada dasarnya head total adalah dari dua head yaitu head statis dan head dinamis.

- Head Statis adalah Head yang besarnya tidak terpengaruh oleh besarnya kecepatan aliran (debit).
- Head Dinamis adalah Head yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran.

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah cairan seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.

Head loss merupakan suatu kerugian aliran yang terjadi sepanjang saluran pipa, baik itu pipa lurus, belokan, saringan, katup dan sebagainya. (Ubaedilah, 2016)

a. Head Loss Mayor

Head Loss Mayor adalah suatu kerugian aliran yang di akibatkan oleh adanya gesekan antara fluida dengan dinding saluran pipa. Besarnya Head Loss Mayor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weysbah sebagai berikut:(Ubaedilah, 2016).

$$H_f = \frac{(\lambda \times L_s \times V^2)}{(D \times 2g)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Di mana:

- Hf = Head loss mayor (m)
- f = Faktor gesekan (tanpa dimensi)
- L = Panjang pipa (m)
- D = Diameter dalam pipa (m)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/s²)

b. Head Loss Minor

Head Loss Minor merupakan kerugian aliran yang diakibatkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada komponen tambahan seperti elbow, katup, fitting dan lain sebagainya sepanjang jalur perpipaan. (Ubaedilah, 2016)

Head Loss Minor dapat dihitung dengan cara menambahkan nilai koefisien K (koefisien fitting) pada sistem perpipaan.(Umar, 2017)

$$HL = \frac{(\sum nk \times v^2)}{2g} \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana:

- h = Head loss minor (m)
- K = Koefisien fitting (tanpa dimensi)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/s²)

c. Head Statik (Z)

Perbedaan ketinggian antara permukaan air pada titik hisap pompa dan titik tekan pompa disebut dengan Head statik, dan dilambangkan dengan Z dengan satuan meter.(Umar, 2017)

d. Head Tekan

Merupakan perbedaan antara tekanan pada titik hisap dan titik tekan pompa. (Umar, 2017)

$$H_p = \frac{(P_2 - P_1)}{(2g)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana:

- h_P = Head tekan (m)
- P₂ = Tekanan titik tekan pompa (Pa)
- P₁ = Tekanan titik hisap pompa (Pa)
- g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/s²)

e. Head kecepatan (hK)

Head kecepatan adalah perbedaan antara kecepatan pada titik hisap pompa dan titik tekan pompa. (Umar, 2017)

$$H_k = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} \dots\dots\dots(2.5)$$

Di mana:

hK = Head Kecepatan (m)

V2 = Kecepatan titik tekan pompa (m/s)

V1 = Kecepatan titik hisap pompa (m/s)

g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/s²)

f. Head Loss Total

Merupakan pejumlahan dari head statis dengan head dinamis. Head ini menyatakan besarnya kerugian yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen-komponen yang ada. Head total instalasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:(Ubaedilah, 2016)

$$H = h_L + h_f + Z + h_P + h_K \dots\dots\dots(2.6)$$

2.9.2. Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan ini merupakan bilangan tak berdimensi, yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia terhadap viskositas. Untuk pipa bundar yang fluidanya mengalir memenuhi penampang pipa.

Aliran fluida yang mengalir dalam pipa dibedakan menjadi tiga jenis aliran menurut nilai Reynoldnya yaitu aliran laminar, turbulen dan transisi :

- a. Aliran laminar (Re < 2300)
- b. Aliran Turbulen (Re > 4000)
- c. Aliran Transisi (2300 < Re < 4000)

2.9.3 Faktor Gesekan

Faktor gesekan (f) dapat diketahui dengan cara mempertimbangkan bilangan Reynolds.

a. Aliran Laminar

Jika nilai $Re < 2300$ maka nilai f dapat dicari dengan rumus berikut :

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Aliran Turbulen

Jika nilai $Re > 4000$ maka nilai f dapat dicari dengan rumus berikut

$$f = 0.02 + (0.0005 / D) \dots\dots\dots(2.8)$$

2.9.4 Daya Pompa

Daya pompa dihitung dengan mengalikan jumlah N fluida yang mengalir per detik ($\rho \cdot g \cdot Q$) dengan energi H dalam J/N. Jadi menghasilkan persamaan sebagai berikut: (Giles-Soemitro.1986). (Umar, 2017)

$$P = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots(2.9)$$

Di mana:

P = Daya pompa (kW)

ρ = Rapat massa fluida yang mengalir (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/s^2)

Q = Debit aliran fluida yang mengalir (m^3/s)

H = Head total pompa (m)

2.10 Pipe Support

Dalam sebuah sistem perpipaan, penyangga atau support merupakan komponen penting yang digunakan untuk menahan atau memegang sistem perpipaan sehingga dapat menahan berat pada sistem perpipaan. Tempat diletakkannya support harus memperhatikan pergerakan sistem perpipaan terhadap profil pembebanan Support tersebut harus menyangga dan menahan keseluruhan berat sistem perpipaan termasuk didalam pipa, Insulasi, fluida yang terdapat dalam pipa, komponen, dan berat support itu sendiri.

Sebagai metode dalam memperkiraan tegangan yang terjadi pada pipa dan berat penyangga terhadap berat yaitu dengan memodelkan pipa sebagai batang yang mempunyai beban terbagi rata pada panjangnya.

Pada pipa critical line, penentuan letak support ditentukan dari analisis menggunakan software komputer. Peletakkan support harus memperhatikan letak pipa yang terdapat pada sekitarnya serta letak pondasi struktur penyangga.

Beban dan gaya yang diterima pada pipe support dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

- Gaya dan berat pipa dan insulasi pipa yang bekerja secara vertical
- Gaya yang bekerja dari arah lateral pipa
- Gaya yang bekerja arah sumbu pipa atau aksial yang juga disebut arah longitudinal

Penentuan allowable span meliputi perhitungan berat total pipa, perhitungan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa, dan perhitungan maksimum tegangan tekuk dan defleksi.

- Berdasarkan Batasan Defleksi

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{22,5 \cdot W}} \dots \dots \dots (2.10)$$

- Berdasarkan Batasan Tegangan

$$Ls = \sqrt{\frac{0,33.Z.Sh}{W}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- Ls = Pipe span (ft)
- W = berat total pipa (lb/in)
- E = Modulus elastisitas pada temperatur desain (psi), lihat Tabel C6 ASME B31.3
- Δ = Defleksi yang diijinkan (in)
- I = Momen inersia pada bentangan pipa (in⁴)
- Z = *Section Modulus* pipa
- Sh = Tegangan yang diijinkan (psi), lihat Tabel A1 ASME B31.3

2.11 Valve

Valve atau yang biasa disebut katup adalah sebuah perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran dari suatu cairan (gas, cairan, padatan terfluidisasi) dengan membuka, menutup, atau menutup sebagian dari jalan alirannya. Pemilihan jenis valve bergantung pada:

- Jenis fluida yang mengalir
- Jumlah aliran
- Tujuan / fungsi valve

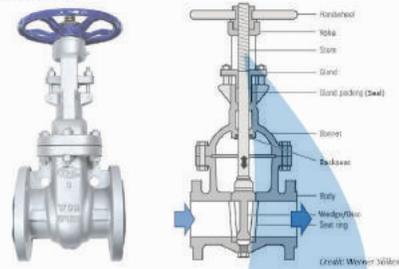
Berdasarkan fungsi daripada valve dapat dibagi menjadi beberapa jenis valve yaitu sebagai berikut.

2.11.1 Gate Valve

Gate Valve adalah jenis valve yang paling sering dipakai dalam sistem perpipaan. Yang fungsinya untuk membuka dan menutup aliran. Gate valve tidak untuk mengatur besar kecil laju suatu aliran fluida dengan cara membuka setengah atau seperempat posisinya, Jadi posisi gate pada valve ini harus benar benar terbuka (fully open) atau benarbenar tertutup (fully close).

Gate Valve ditunjukkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:

- **GATE** which *Open* and *Close* fluid flow without change in flow direction

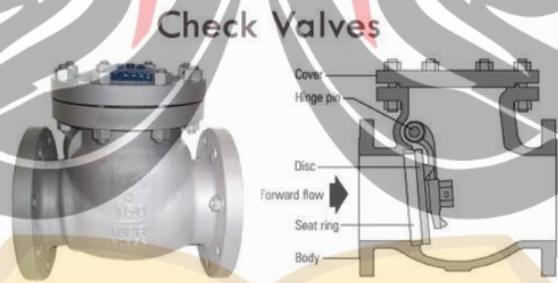


Gambar 2. 6 Gate Valve

2.11.2 Check Valve

Check valve ini mempunyai fungsi untuk mengalirkan fluida hanya satu arah dan mencegah aliran kearah sebaliknya atau aliran balik. Check valve mempunyai beberapa jenis lagi berdasarkan bagian dalamnya seperti *double-plate*, *swing*, *tilting*, dan *axial*.

Check Valve ditunjukkan pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Check Valve

2.12 Slip On Flange

Jenis *flange* ini tidak memiliki lubang dan digunakan pada akhir pipa atau fitting dalam suatu instalasi perpipaan. Untuk tipe *flange slip-on*, sebenarnya hamper mirip bentuknya dengan jenis flange lap joint. Kedua jenis flange ini sama sama memasukan pipa utamanya ke dalam *flange*, bedanya kalau *slip on* pipa tidak

sampai keluar dari *flange*, sedangkan tipe lap joint, ada sisi pipa yang keluar dari *flange*, dan sisi samping dalam *flange* nya pun biasanya radial. Dalam *slip on*, *flange* hanya masuk sebagian, sisi luar dan dalamnya akan dilas. Oleh karena pipa masuk ke dalam *flange*, maka diameter dalam slip on harus lebih besar daripada diameter outside pipa, dapat dilihat pada Gambar 2.9. (Antari dan Bahari, 2016)



Gambar 2. 8 Slip On Flange

2.13 Pipe Schedules (SCH)

Schedules pipa mengacu pada ketebalan dinding pipa dalam sistem Amerika. Terdapat 11 *schedules* yang tersedia untuk pipa baja karbon yaitu : 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, & 160. *Schedules* yang paling umum digunakan atau yang paling populer sejauh ini ialah sch 40. Sedangkan untuk *schedules* 5, 60, 100, 120, & 140 sudah jarang digunakan. Ketebalan pipa akan meningkat sebanding dengan meningkatnya nilai *schedules* number, ini artinya

- Pipa dengan *schedules* 80 akan lebih berat dan lebih kuat dari pada pipa dengan *schedules* 40
- Pipa dengan *schedules* 80 akan memberikan faktor keamanan yang lebih besar yang memungkinkannya untuk menerima tekanan desain yang jauh lebih tinggi.
- Pipa *schedules* 80 akan menggunakan lebih banyak material dan karenanya lebih mahal untuk dibuat dan Install.

Schedules perpipaan stainless steel umumnya sesuai dengan *Schedules* perpipaan Carbon Steel, tetapi selalu diidentikkan dengan Akhiran (S) di mulai dari 1/8" hingga 12". *Schedules* 40S dan 80S adalah sama dengan jadwal yang sesuai 40 dan 80 dalam semua ukuran-kecuali 12" in *Schedules* 40.

Mengingat *Schedules* merupakan angka rasio tekanan dengan stress sehingga persamaan singkat untuk perhitungan *Schedules number* yang digunakan, yaitu.

$$\text{Schedule Number} = 1000 \frac{P}{S}$$

Dimana, :

P = Tekanan Pompa (psi)

S = *Allowable Stress* dari material yang digunakan (psi)

Dengan demikian maka dapat diketahui nilai minimum untuk menentukan nilai *schedules* yang akan digunakan sesuai persamaan tersebut.

2.14 Allowable Stress

Setiap desain pada sebuah sistem perpipaan selalu berhubungan dengan pemilihan material pipa yang digunakan. Pemilihan material ini dipengaruhi oleh operating condition pada sistem perpipaan tersebut. Salah satu hal yang penting dalam pemilihan material adalah mengetahui tingkatan *Allowable Stress* material. *Allowable Stress* adalah nilai yang menunjukkan besarnya tegangan yang diijinkan atau yang boleh diterima oleh sebuah material, baik oleh bending stress, torsional stress, dan sebagainya. Jika nilai tegangan yang diterima material lebih dari tegangan ijinnya maka material tersebut akan mengalami kegagalan baik berupa deformasi, defleksi, dan lain-lain. Dalam sebuah desain, *allowable stress* 2 material biasanya diambil pada daerah di bawah yield pada grafik tegangan-regangan begitu pula pada *allowable stress* yang ada pada code dan standard.

2.15 Analisa Tegangan Pipa (Pipe Stress Analysis)

Dalam merancang system pipa yang benar engineer harus memahami perilaku system pipa akibat pembebanan dan memahami regulasi (code standart desain) yang mengatur perancangan system pipa. Perilaku system pipa ini dikenal sebagai analisa tegangan pipa (*Pipe Stress Analysis*).

Tujuan analisa tegangan bertujuan untuk :

- Menghitung tegangan pipa agar tetap masuk dalam harga tegangan yang diperbolehkan berdasarkan kode standart yang dipakai.
- Menghitung gaya yang bekerja pada nozzle dan peralatan seperti Vessel, Pompa, dan lainnya kemudian dibandingkan dengan kekuatan daripada nozzle tersebut.
- Menghitung beban perancangan pada tumpuan pipa agar tetap berada dalam batas beban yang diijinkan.
- Memaksimalkan perancangan tata letak pipa dan tumpuan pipa

2.16 Tegangan Longitudinal

Tegangan longitudinal yaitu tegangan yang searah dengan panjang pipa dan merupakan jumlah dari tegangan aksial (axial stress), tegangan tekuk (bending stress) dan tegangan tekan (pressure stress). Mengenai ketiga tegangan ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- Tegangan aksial (σ_x) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya Fax yang bekerja searah dengan sumbu pipa. Nilai dari tegangan aksial dapat dirumuskan sebagai berikut (Chamsudi, 2005)

$$S_a = \frac{P \times A_i}{A_m} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

A_i = luas area diameter dalam pipa (in²)

A_m = luas area cross section pipa (in²)

P = pressure (psi)

- Tegangan tekuk (σ_b) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa. Tegangan yang terjadi dapat berupa tegangan tekuk regang (tensile bending) dan tegangan tekuk tekan (compression bending). Tegangan tekuk maksimum terjadi pada permukaan pipa sedangkan tegangan minimum terjadi pada sumbu pipa. Nilai dari

tegangan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (Sam Kannapan, 1986).

$$S_b = \frac{Mb}{z} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

I = Momen inersia penampang (in⁴)
 $= \pi (do^2 - di^4)/64 \dots\dots\dots(2.14)$

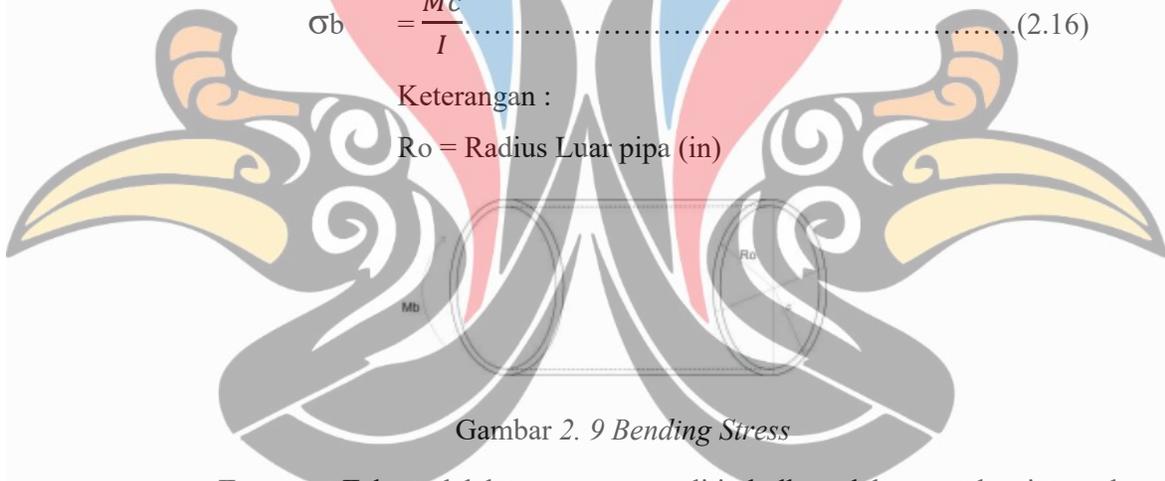
Mb = Momen bending (in-lb)
 $= \frac{W L^2}{8} \dots\dots\dots(2.15)$

c = Jarak dari netral axis (in)
 Tegangan paling besar jika c = Ro

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

Ro = Radius Luar pipa (in)



Gambar 2. 9 Bending Stress

- Tegangan Tekan adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (P) yang bekerja pada dinding pipa dan searah sumbu pipa (gambar 2.30), dimana tegangan tekan terbesar jika pipa berpelat tipis. Nilai tegangan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut (Sam Kannapan, 1986).

$$\sigma_{lp} = \frac{P.Ai}{Am} = \frac{P \times di^2}{4 \times t \times d_m} = \frac{p \times do}{4t} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

P = Gaya tekan internal (psi)

di = diameter Inside (in)

Am = Luas penampang pipa (in²)

Do = Diameter Outside (in)

dm = Diameter Rata-rata (in)

t = Tebal pipa (in)

2.17 Sustain Load

Sustain Load merupakan beban yang di alami oleh instalasi sistem perpipaan secara terus-menerus. Beban ini merupakan kombinasi dari beban yang disebabkan oleh tekanan internal dan beban berat. Jika pipa terkena beban demikian, maka bisa mengakibatkan pipa menjadi pecah dan collaps, jika tidak dilakukan upaya pencegahan. Faktor utama dari sustained load adalah :

- Tekanan Desain, tekanan desain adalah tekanan maksimum yang mungkin terjadi pada kondisi operasi. Dalam ASME B31.3 code diberikan kelonggaran untuk melewati tekanan desain untuk jangka waktu tertentu. Tegangan internal pada pipa sendiri meliputi axial stress, pressure stress, dan bending stress (Longitudinal Stress).
- Berat Operasi, berat operasi ini adalah berat dari pipa, berat fluida, ditambah dengan berat insulasi dan komponen-komponen yang berada pada sistem tersebut. Pembebanan Operasi sebenarnya adalah penggabungan dari pembebanan sustain dan ekspansi. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa actual stress yang terjadi memenuhi batasan yang diijinkan.
- Occasional Load, yaitu berat yang hanya terjadi pada kondisi tertentu seperti salju.
- Vacuum Desain, Untuk pipa dengan kemungkinan akan mengalami vacuum akibat tekanan luar.
- Hydrotest Load, yaitu beban yang terjadi pada saat sistem dilakukan test dengan menggunakan media air, pada saat itu besarnya beban yang terjadi pada titik tumpuan harus mampu ditahan oleh support tersebut sehingga tidak mengakibatkan kerusakan pada pipa. Pada kondisi ini pipa diuji tekanannya hingga 1.5 kali tekanan desain.

Sustain Load merupakan stress yang tergolong kedalam kelompok Primary Stress. Primary stress adalah jenis stress yang terjadi akibat pembebanan secara terus menerus yang dapat mengakibatkan utama dalam kegagalan, sehingga Stress ini termasuk dalam stress yang berbahaya. Karena jika sampai kegagalan material. Maka pemecahannya biasanya dengan meletakkan support pada lokasi yang sedemikian rupa agar aman, sehingga mengurangi stress yang terjadi. (Pridyatama, 2014).

2.18 Autopipe

Autopipe adalah suatu program komputer yang digunakan untuk menganalisa dan menghitung tegangan pada pipa, analisa flange, analisa dari support, displacement dan code stress dalam kondisi statis dan dinamis. Autopipe dapat menganalisa efek yang ditimbulkan oleh thermal load di seluruh sistem perpipaan. Dari pembuatan model, loading dan analisa. Dari ketiga hal tersebut akan dihasilkan output stress, defleksi, force dan moment sehingga tercapai tujuan dalam mendesain agar sistem perpipaan dalam kondisi aman dan mempunyai fleksibilitas.

2.19 Penelitian Terdahulu

Daftar penelitian yang di gunakan pada tugas akhri ini ditunjukkan pada Table 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1.Daftar Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Mohamad Iqbal Ansori, "Perancangan Sistem Pipa Bilga Pada Kapal Ferry 500 GT Menggunakan Perangkat Lunak Autopipe", 2020	Permasalahan: 1)Bagaimana desain 3 dimensi sistem bilga kapal ferry 500 GT dengan bantuan perangkat lunak <i>autopipe</i> .

		<p>Metode: dengan cara memodelkan desain 3 dimensi menggunakan perangkat lunak <i>autopi</i></p> <p>Hasil: 1) Stress yang dihasilkan dari sistem pipa bilga yang dirancang masih tidak melebihi dari nilai allowable stress sehingga sistem pipa bilga yang dirancang dapat dikatakan aman. 2)</p>
2	<p>Kurniawan Eko Prabowo, Yovan Witanto, “Pemilihan Pipa Dan Pompa Ballast Pada Pembuatan Kapal Perang Jenis Angkut Tank Baja 4 Di Pt Daya Radar Utama Unit 3 Lampung” 2019</p>	<p>Permasalahan : pemilihan pompa untuk menyesuaikan dengan tampungan ballast yang digunakan pada suatu kapal agar waktu yang dibutuhkan mengisi tangki sesuai dengan kebutuhan. Sehingga perlu di lakukan perhitungan pemilihan pompa sesuai dengan kebutuhan waktu pengisian tangki penampung air laut, agar waktu pengisian tangki sesuai dengan keinginan.</p> <p>Metode : Pada penelitian ini dilakukan perancangan system ballast terlebih dahulu setelah itu di lakukan perhitungan perancangan pompa secara manual.</p> <p>Hasil : pipa yang akan digunakan pada system ballast ialah sebesar 8inch, kapasitas pompa yang digunakan ialah 160m³ /h, head pompa ialah 45,07 dan pompa tersebut akan mengisi tangki ballast sebesar 1300m³ selama 5 jam. Akan tetapi pompa dalam perencanaan awal yang menginginkan kapasitas sebesar 150m³ /h oleh owner atau pemesan tidak dapat digunakan untuk mengisi tangki sebesar 1300m³ selama 5 jam, di karenakan kapasitas volume tangki ballast yang besar dan kapasitas pompa yang kecil dan mengalami revisi tentang pompa ballast, dan jika tetap digunakan kapasitas pompa 150m³ /h tersebut tangki ballast akan terisi penuh dengan membutuhkan selama 9 jam dan bukan 5 jam.</p>
3	<p>Bela Dwi Hatmoko, “Upaya Penggunaan Ballast Water Management</p>	<p>Permasalahan: Permasalah berdasarkan metode kualitatif (deskriptif) untuk mengetahui berbagai masalah dan hasil</p>

	<p>System Dalam Pengoperasian Ballast Guna Mencegah Pencemaran Air Laut Di Mv. Glovis Diamond” 2019</p>	<p>yang ditimbulkan dari adanya alat BWMS ini di kapal MV Glovis Diamond guna mencegah terjadinya pencemaran ekosistem air laut oleh air ballast yang dibuang di kapal</p> <p>Metode: Penelitian ini menggunakan metode wawancara</p> <p>Hasil: Upaya yang dilakukan untuk mencegah pencemaran ekosistem air laut oleh ballast dari kapal efektif adalah dengan menggunakan ballast treatment BWMS AquaStar yaitu pada Neutralizing System Unit (NSU) bertugas untuk menghapus TRO dari air ballast kapal dan menjadikan 59 kadar TRO air ballast menjadi seperti air laut alami (< 0,2 mg/L sebagai Cl2) pada saat proses deballasting berlangsung</p>
<p>4</p>	<p>Sohanur Rahman, “Implementation of Ballast Water Management Plan in Ships Through Ballast Water Exchange System” 2017</p>	<p>Permasalahan: Di setiap langkah pertukaran air balas harus memenuhi minimum GM (Metacentric Height) dan panjang Non-Visible yang telah telah dirujuk dalam manual stabilitas. Nilai aktual gaya belaka dan momen lentur harus selalu dalam kisaran yang diizinkan. Selain itu, draft depan dan belakang dan waktu yang dibutuhkan untuk Ballasting / De-Ballasting air juga telah ditentukan. Sehingga menyediakan prosedur yang aman dan efektif untuk Pertukaran Air Ballast sangat penting untuk dilakukan.</p> <p>Metode: pada penelitian ini menggunakan metode (<i>Sequential Method</i>) yang di simulasikan.</p> <p>Hasil: 1) Meskipun sistem pengolahan air Ballas lebih efektif daripada sistem pertukaran air Ballas yang akan digunakan kapal sebagai metode sekunder untuk rencana pengelolaan air balas dan digunakan sebagai cadangan dari pengolahan air balas sistem. Sistem pertukaran air ballas juga sangat berguna ketika de-ballasting dilakukan di wilayah</p>

	<p>yang sama. Berbasis pada penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa rekomendasi telah diusulkan untuk pelaksanaan sistem pertukaran balast air yang aman:</p> <ul style="list-style-type: none">• Efek Heeling karena pengosongan atau pengisian asimetris harus diperhitungkan sehingga semua langkah mewakili kondisi tegak. Operasi yang sebenarnya harus dikelola agar daftar tidak berkembang selama pemompaan.• Menghindari tekanan di dalam tangki karena pengosongan sama pentingnya dengan menghindari tekanan berlebih saat pengisian. Konsekuensi dari kerusakan sekat atau bahkan jatuhnya tangki di laut akan lebih signifikan daripada di pelabuhan.• Setiap langkah harus diperiksa kesesuaiannya dengan batasan kekuatan dan tegangan. Pemeriksaan harus dilakukan bahwa persyaratan stabilitas utuh minimum kapal dipenuhi di setiap tahap dan bahwa batas yang diijinkan untuk pembengkokan dan momen memutar tidak terlampaui.
--	---

Dari contoh penelitian terdahulu yang telah di cantumkan bisa di simpulkan bahwa perancangan system pertukaran air ballast sangat penting untuk di lakukan secara optimal. Dikarenakan untuk menjaga lingkungan dari pencemaran organisme lautan dari proses pertukaran air ballast dan untuk memenuhi kriteria IMO dalam *BWM Convention* mengenai metode pertukaran air *ballast* yang telah di tentukan.