

Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM) Pada Instalasi Sistem Perpipaan Kapal *Tanker* 17.500 DWT

Ainun Kunti Zahra, Heri Supomo, dan Imam Baihaqi
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hsupomo@na.it.ac.id

Abstrak—Galangan di Indonesia sejauh ini masih menghadapi permasalahan yang sama yaitu keterlambatan pembangunan sesuai dengan kontrak yang telah disepakati. Salah satu faktor yang menyebabkan hal itu terjadi yaitu pergantian mitra kerja yang kerap dilakukan. Salah satu sistem yang memiliki beban kerja cukup besar yaitu sistem pipa. Metode eksisting yang saat ini diterapkan yaitu berdasarkan setiap sistem pipa yang ada. Metode pembangunan eksisting tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap waktu penyelesaian pekerjaan dan tidak mempercepat proses produksi. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis secara teknis dan ekonomis penerapan metode *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM) pada instalasi sistem perpipaan kapal *tanker*. Metode tersebut dilakukan dengan mengelompokkan pipa yang memiliki atribut desain dan manufaktur yang cukup mirip. Sistem perpipaan yang menjadi objek penelitian diantaranya *cargo oil piping system*, *fresh water piping system*, dan *machinery cooling piping system*. Teknis pengerjaan sistem perpipaan tersebut dikelompokkan berdasarkan klasifikasi pipa sesuai metode PPFM diantaranya PPFM No. 01 (*Straight*, ND \leq 50 mm), PPFM No. 04 (*Straight*, ND \geq 200 mm), PPFM No. 07 (*Straight*, ND \geq 250 mm), PPFM No. 51 (*Assembled*, ND \leq 50 mm), PPFM No. 54 (*Assembled*, ND \geq 200 mm), PPFM No. 57 (*Assembled*, ND \geq 250 mm), dan PPFM No. 95 (*Unit Assembled*). Tahap pembangunan (*level manufacturing*) dalam metode PPFM terdiri dari tujuh tingkat pengerjaan yaitu *material receiving*, *pipe fabrication*, *pipe piece assembly*, *pipe piece joining*, *testing & coating*, dan *palletizing*. Waktu pembangunan yang dibutuhkan dalam penerapan sistem tersebut yaitu 32 hari kerja, berkurang hingga 20% apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Biaya pekerja yang dibutuhkan dapat berkurang hingga 1.917% apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Biaya investasi dalam penerapan metode PPFM sebesar Rp 111.330.000 (Seratus Sebelas Juta Tiga Ratus Tiga Puluh Ribu Rupiah).

Kata Kunci—*Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM), Kapal Tanker, Sistem Perpipaan

I. PENDAHULUAN

INDUSTRI perkapalan khususnya industri pembangunan kapal baru memiliki perkembangan yang cukup baik di Indonesia. Saat ini, pelaku industri galangan kapal nasional telah mencapai 250 perusahaan. Perkembangan industri juga diikuti dengan perkembangan teknologi produksi yang terus didalami. Salah satu metode pembangunan kapal yang telah diterapkan di Jepang yaitu penerapan metode *Product-Oriented Work Breakdown Structure* (PWBS). Pada metode tersebut pekerjaan yang dilakukan dikelompokkan menjadi beberapa bagian diantaranya *Hull Block Construction Method* (HBCM), *Zone Outfitting Method* (ZOFM), *Zone*

Painting Method (ZPTM), dan *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM). Permasalahan yang kerap dihadapi oleh perusahaan pembangunan kapal di Indonesia yaitu keterlambatan penyelesaian pembangunan sesuai dengan kontrak yang telah disepakati. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya keterlambatan yaitu pergantian subkontraktor kerap dilakukan sehingga menyebabkan keterlambatan progres pembangunan. Dari permasalahan tersebut, sebuah metode yang dapat ditawarkan untuk mempercepat pengerjaan pipa yaitu metode *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM). PPFM merupakan sebuah metode yang melakukan pengelompokan manufaktur konstruksi perpipaan dalam proses produksinya. Salah satu jenis kapal yang memiliki sistem perpipaan yang kompleks yaitu kapal tanker. Di Indonesia sendiri, kapal tanker terbesar yang pernah dibangun di galangan dalam negeri yaitu kapal tanker 17.500 DWT. Oleh karena itu Tugas Akhir ini dibuat untuk menganalisis secara teknis dan ekonomis penerapan PPFM pada pembangunan kapal *tanker* 17.500 DWT.

II. DASAR TEORI

A. Kapal Tanker

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), kapal *tanker* didefinisikan sebagai kapal yang dibangun atau dibuat untuk mengangkut barang cair baik berupa minyak dan sebagainya di mana pengangkutan bahan tersebut tanpa dikemas[1]. Sedangkan menurut *International Maritime Organization* (IMO), *Annex I of MARPOL 73/78 Regulation For The Prevention Of Pollution By Oil* dijelaskan bahwa kapal tanker merupakan kapal yang dibangun atau diadaptasi terutama untuk mengangkut minyak dan produk turunannya dalam jumlah besar di ruang muatnya. Dimana minyak itu sendiri didefinisikan sebagai minyak bumi dalam bentuk apa pun, termasuk *crude oil*, *sludge*, *oil refuse*, dan *refined*[2].

B. Sistem Perpipaan

Pipa merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menunjukkan suatu badan berongga dan tubular yang digunakan untuk mengangkut atau mengalirkan suatu komoditas yang memiliki karakteristik aliran seperti cairan, gas, uap, dan serbuk halus. Sebuah pipa merupakan salah satu bagian dari sistem perpipaan, di mana sistem perpipaan itu sendiri memiliki pengertian sebagai suatu sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu titik ke titik lainnya. Sistem perpipaan meliputi *pipa*, *flanges*, *fitting*, baut, *gasket*, katup yang disambungkan menjadi satu kesatuan[3].

C. Pipe Schedule

Pada bidang perpipaan untuk memberi nama pipa dilakukan berdasarkan ukuran dari diameter pipa. Secara umum istilah yang digunakan untuk menyebutkan diameter pipa yaitu NPS (*Nominal Pipe Size*) dengan satuan inci dan DN (*Diameter Nominal*) dengan satuan milimeter (mm). Sedangkan *schedule* pada pipa merupakan parameter ketebalan dari pipa (*wall thickness*) yang disingkat dengan *sch* di mana *sch* didasarkan pada standar ANSI (*American National Standards Institute*)[4].

D. Jenis Sambungan Pada Pipa

Satu potong pipa diistilahkan dengan *spool*. Dalam membuat *rooting* yang diinginkan perlu dilakukan penyambungan *spool* satu dengan *spool* lainnya. Berikut ini jenis-jenis sambungan pada pipa[5]:

1) Sambungan Las

Penyambungan dilakukan dengan cara pengelasan. Dalam pengelasannya menggunakan jenis penyambungan *but weld joint*. Pada umumnya sambungan dengan jenis ini dilakukan pada pipa yang memiliki ukuran besar.

2) Sambungan Soket

Penyambungan dilakukan dengan menggunakan soket. Di mana pipa memiliki diameter yang berbeda yaitu pipa satu memiliki diameter yang lebih besar dari pipa yang lain dan pipa yang memiliki diameter yang lebih kecil akan dimasukan ke pipa yang memiliki diameter lebih besar.

3) Sambungan Ulir

Penyambungan dilakukan dengan menggunakan ulir. Jenis sambungan ini mudah diaplikasikan dan dapat diterapkan apabila penyambungan dengan jenis pengelasan tidak dapat dilakukan.

4) Sambungan Flange

Penyambungan dilakukan dengan menggunakan *flange*. Di mana *flange* itu sendiri merupakan mekanisme pengencangan yang tidak permanen dan menggunakan baut sebagai media pengencang.

E. Jenis Fitting Pada Pipa

Fitting merupakan komponen perpipaan yang memiliki fungsi untuk mengubah aliran, menyebarkan aliran, memperbesar atau memperkecil aliran. Terdapat berbagai macam *fitting* sesuai dengan fungsi yang dimiliki. Berikut ini jenis-jenis fitting pada pipa[6]:

1) Fitting Elbow

Elbow merupakan jenis *fitting* yang memiliki fungsi untuk membelokkan arah aliran fluida pada pipa. Pada umumnya *elbow* yang sering digunakan yaitu *elbow* dengan sudut 45 dan 90 derajat.

2) Fitting Tee

Tee merupakan jenis *fitting* yang memiliki fungsi untuk membagi aliran fluida. Pada *fitting* jenis ini, koneksi *fitting* memiliki cabang yang ukuran diameternya sama dengan ukuran diameter pipa utamanya disebut dengan *straight tee*.

3) Fitting Reducer

Reducer merupakan jenis *fitting* yang memiliki fungsi untuk mengurangi aliran fluida. Pengurangan aliran fluida yang dimaksud yaitu karena pengaruh dari pengurangan diameter.

F. Product-Oriented Work Breakdown Structure (PWBS)

Dalam pembangunan kapal terdapat beberapa metode pembangunan yang diterapkan, salah satunya yaitu metode *Product-Oriented Work Breakdown Structure* (PWBS).

Pendorong utama dalam penerapan metode tersebut yaitu untuk mengendalikan biaya produksi dan untuk memaksimalkan pemanfaatan fasilitas yang ada. PWBS sendiri merupakan metode pembangunan kapal dimana proses produksi dititik beratkan pada bengkel-bengkel yang menghasilkan produk antara (*interim production*). Komponen dalam metode PWBS diantaranya HBCM, ZOFM, ZPTM), dan PPFM[7].

G. Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM)

PPFM sendiri merupakan bentuk lain dari *Group Technology* (GT) yang berhasil diterapkan oleh oleh *Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co, Ltd* (IHI) Jepang. Merupakan metode komperhensif yang menyederhanakan pembuatan pipa yang diperlukan dalam campuran varietas dan kuantitas dalam kelompok-kelompok yang memiliki atribut desain dan manufaktur yang cukup mirip untuk membuat pekerjaan menjadi lebih praktis. PPFM diterapkan dalam tujuh tingkat manufaktur dalam pengerjaannya. Berikut ini tujuh tingkat manufaktur[7]:

1) Material Receiving

Merupakan tahap penerimaan material pipa dan persiapan dimana tahap ini merupakan tahap pertama pada *manufacturing level*.

2) Pipe Piece Fabrication

Merupakan tingkatan kedua dari *manufacturing level* di mana pada tahap ini pipa mulai diproses dan area masalah dikelompokkan berdasarkan material pipa (baja, *nonferrous*, *polyvinylchloride*, dan lain sebagainya), cabang, *bore* (kecil, sedang, atau besar). Pada tahap *fabrication*, pengerjaan pipa-pipa dikelompokkan sesuai dengan tabel klasifikasi pipa pada metode PPFM. Proses pengerjaan yang dilakukan pada tahap *fabrication* diantaranya *marking*, *cutting*, dan *bending*.

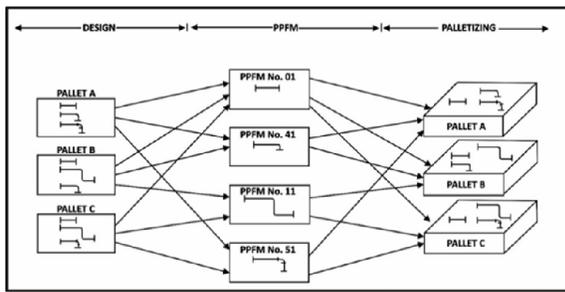
3) Pipe Piece Assembly

Merupakan tingkatan ketiga dari *manufacturing level* di mana pada tahap ini dilakukan beberapa perakitan beberapa potongan pipa, *flanges*, *sleeves*, dan lain sebagainya. Proses-proses pengerjaan yang dilakukan pada tahap *pipe piece assembly* diantaranya *assembling*, merupakan proses perakitan beberapa potongan pipa, *flanges*, *sleeves*, dan lain sebagainya. Untuk perakitan yang lebih kompleks tidak dilakukan pada proses ini dan dilakukan pada proses berikutnya. Selain itu pengerjaan utama yaitu *welding* dan *grinding*.

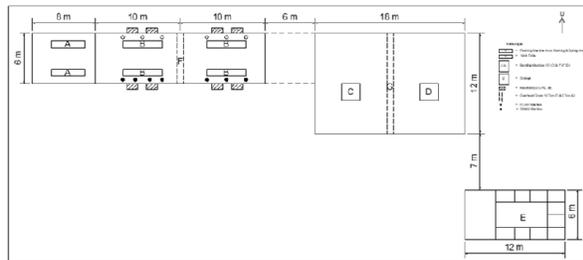
Pipe Piece Joining merupakan tingkatan keempat dari *manufacturing level* dimana pada tahap ini dilakukan penyambungan potongan pipa secara kompleks baik itu pipa lurus, pipa cabang, *elbows*, *tees*, *sleeves*, dan lain sebagainya.

Tabel 1. Fasilitas dalam metode eksisting

Jenis Fasilitas	Ukuran/ Kapasitas	Jumlah Fasilitas	Kondisi
Forklift	3,5 Ton & 3 Ton	2	Baik
Overhead Crane	10 Ton & 5 Ton	2	Baik
Marking Set (Manual)		2	Baik
Gas Torch	30 mm	3	Baik
Pipe Bending Machine	1”- 8” dan 10 “	2	Baik
SMAW Machine		7	Baik
FCAW Machine		6	Baik
Grinder		3	Baik
Hydrostatic Water Pressure Testing		1	Baik
Hydrostatic Oil Pressure Testing		2	Baik
Coating Set		3	Baik



Gambar 1. Palletizing



Gambar 2. Tata letak bengkel pada metode eksisting

Proses-proses pengerjaan yang dilakukan pada tahap *pipe piece joining* diantaranya *joining*, merupakan proses penggabungan sub-rakitan atau rakitan awal yang telah dilakukan pada tahap *pipe piece assembly*. Selain itu pengerjaan utama yaitu *welding* dan *grinding*.

4) *Testing & Coating*

Testing dan *coating* merupakan tingkatan kelima dan keenam secara berurutan dari *manufacturing level* pada PPFM. *Testing* merupakan proses untuk memastikan bahwa tidak terjadi cacat pengerjaan. Setelah dilakukan pengujian tahap selanjutnya yaitu *coating*, merupakan proses pelapisan yang dilakukan pada material pipa yang berfungsi untuk melindungi material dari proses karat.

5) *Palletizing*

Palletizing merupakan tingkatan terakhir dari *manufacturing level* pada PPFM. Pada tahap ini dilakukan penyortiran dan pengelompokan semua potongan pipa sesuai dengan *pallet* atau bagiannya pada sistem perpipaan kapal.

III. METODOLOGI

A. *Identifikasi Masalah*

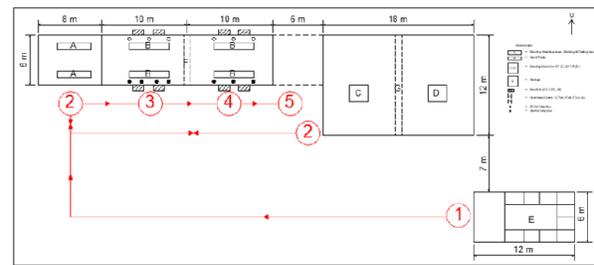
Tahap ini merupakan tahap dimana dilakukan identifikasi dengan tujuan untuk lebih memahami permasalahan yang menjadi pembahasan dalam Tugas Akhir ini.

B. *Studi Literatur*

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dengan tujuan untuk memahami lebih dalam mengenai konsep dan materi yang mendukung pengerjaan Tugas Akhir, khususnya mengenai konsep metode PPFM.

C. *Pengumpulan Data*

Tujuan dari pengumpulan data-data pendukung di lapangan yaitu untuk mengetahui dan mendapatkan gambaran mengenai objek yang akan menjadi penelitian dalam pengerjaan Tugas Akhir.



Gambar 3. Aliran material pada metode eksisting

D. *Pengolahan Data dan Pembahasan*

Pengolahan data dan pembahasan meliputi pada dua aspek yang berbeda yaitu dari segi teknis dan segi ekonomis.

1) *Segi Teknis*

Dari segi teknis pengolahan data dan pembahasan meliputi hal-hal yang berhubungan dengan analisis kondisi eksisting pembangunan pipa serta proses dan perencanaan waktu pembangunan sistem perpipaan kapal tanker 17.500 DWT dengan penerapan metode PPFM.

2) *Aspek Ekonomis*

Dari segi ekonomis pengolahan data meliputi hal-hal yang berhubungan dengan perencanaan biaya pekerja dan investasi yang dibutuhkan dalam pembangunan sistem perpipaan kapal tanker 17.500 DWT dengan penerapan metode PPFM.

E. *Kesimpulan Dan Saran*

Penarikan kesimpulan akan menjawab rumusan masalah. Penarikan kesimpulan dilakukan untuk memberi jawaban apakah penelitian yang dilakukan sesuai dengan hipotesis. Pemberian saran dilakukan untuk pengembangan pada penelitian-penelitian dapat dilakukan berikutnya.

IV. METODE EKSISTING DAN *PIPE PIECE FAMILY MANUFACTURING (PPFM)*

A. *Metode Eksisting*

Dalam pembangunan sistem perpipaan diantaranya *cargo oil piping system*, *fresh water piping system*, dan *machinery cooling piping system*, metode pembangunan eksisting yang dilakukan yaitu berdasarkan setiap sistem pipa yang ada. Tidak ada pengelompokan atau pengklasifikasian khusus yang dilakukan, pengelompokan hanya berdasarkan setiap sistem yang akan dibangun.

1) *Fasilitas*

Fasilitas yang digunakan untuk mendukung kegiatan produksi yang dilakukan di bengkel atau *work shop* terdiri dari beberapa *item*. Setiap fasilitas yang ada disesuaikan dengan kebutuhan alat yang akan digunakan dalam pembangunan beberapa sistem perpipaan. Tabel 1 menunjukkan fasilitas dalam metode eksisting.

2) *Tata Letak Bengkel*

Penempatan fasilitas yang baik dilakukan untuk mendukung atau mempermudah kegiatan produksi. Pada bagian A merupakan area *flashing* material, *marking*, dan *cutting*. Bagian B merupakan meja kerja dimana dilengkapi dengan FCAW dan SMAW *machine*. Berjarak 6 meter dari area tersebut, terdapat area kerja untuk melakukan *bending* dengan fasilitas berupa *bending machine* serta *overhead crane*. Arah selatan terdapat gudang untuk menyimpan

Tabel 2.
Produktivitas dalam metode eksisting

Proses Pengerjaan	Produktivitas (JO/ Ton)
<i>Preparation</i>	0.12
<i>Fabrication</i>	0.96
<i>Sub-Assembly</i>	1.68
<i>Assembly</i>	0.84
<i>Finishing</i>	0.96

material pipa dan lain-lain. Gambar 2 menunjukkan tata letak bengkel pada metode eksisting.

3) *Aliran Material*

Aliran material proses produksi pipa pada bengkel kerja berpengaruh terhadap produktivitas dari pekerjaan yang dilakukan. Gambar 3 menunjukkan aliran material atau *flow material* dari pengerjaan pipa dengan metode eksisting.

Pada aliran material dengan metode eksisting terdapat lima proses pengerjaan yang diberi simbol nomor yaitu nomor 1, 2, 3, 4, dan 5. Urutan pengerjaan dilakukan dari nomor satu hingga lima. Nomor 1 merupakan area gudang penyimpanan. Nomor 2 merupakan area pengerjaan *fabrication*. Nomor 3 merupakan area pengerjaan *sub-assembly*. Nomor 4 merupakan area pengerjaan *assembly*. Nomor 5 merupakan area terakhir pada aliran material dalam pengerjaan pipa di bengkel produksi. Pada area ini material masuk pada area pengerjaan *finishing*.

4) *Proses Pengerjaan*

Proses pengerjaan yang dilakukan pada metode eksisting meliputi beberapa proses dalam kegiatan produksinya. Proses tersebut diantaranya:

- *Preparation*

Preparation merupakan proses pertama dalam pengerjaan pipa di mana pada proses ini material dipindahkan dari gudang menuju bengkel produksi.

- *Fabrication*

Fabrication merupakan proses berikutnya di mana dalam proses ini terdapat beberapa pekerjaan utama diantaranya *marking, cutting, dan bending*. Produk dari proses *fabrication* yaitu berupa *piece part* seperti pipa, *elbows, tees, sleeves, flanges*, dan lain-lain.

- *Sub-Assembly*

Sub-Assembly merupakan proses di mana *piece part* yang telah dihasilkan pada proses *fabrication* digabungkan menjadi sub-bagian dari setiap *spool*. Dalam proses ini terdapat beberapa pekerjaan utama diantaranya *fitting, welding, dan grinding*. Produk dari proses *sub-assembly* yaitu berupa *part* seperti *pipe part* yang tersusun dari pipa dan *flanges* atau pipa dan *sleeves*, dan lain sebagainya.

- *Assembly*

Assembly merupakan proses di mana *part* yang telah dihasilkan pada proses *sub-assembly* digabungkan menjadi satu kesatuan *spool*. Dalam proses ini terdiri dari kegiatan-kegiatan sama halnya dengan proses *sub-assembly*. Produk yang dihasilkan berupa *panel* seperti *spool* nomor 01 pada *isometric 01 cargo oil piping system*.

- *Finishing*

Finishing merupakan proses terakhir dari rangkaian pengerjaan pipa di bengkel atau *workshop*. Pada proses ini terdapat beberapa kegiatan utama diantaranya *testing dan coating*.

5) *Produktivitas*

Produktivitas pada setiap tahap pengerjaan dalam penerapan metode eksisting untuk pembangunan beberapa sistem perpipaan yaitu *cargo oil piping system, fresh water*

Tabel 3.
Biaya pekerja dengan metode eksisting

Tipe Pekerja	Biaya Jasa (Rp)	Jumlah Pekerja	Waktu Pengerjaan (Hari)	Biaya Pekerja (Rp)
<i>Welder</i>	15,000/Inch Schedule	3	40	245,287,500
<i>Fitter</i>	175,000/Hari	2	40	14,000,000
<i>Helper</i>	100,000/Hari	3	40	12,000,000
Total (Rp)				271,287,500

Tabel 4.
Rekapitulasi klasifikasi sesuai tabel PPFM

PPFM No.	Pipe Piece Classification	Total	Weight (Kg)	
01	<i>Straight</i>	≤ 50 mm	3	12.9
04		≤ 200 mm	55	2445.9
07		≥ 250 mm	30	3884.5
51	<i>Assembled</i>	≤ 50 mm	8	408
54		≤ 200 mm	143	8477.4
57		≥ 250 mm	65	4875.8
95	<i>Unit Assembled</i>		19	1874.6

piping system, dan *machinery cooling piping system* terdiri dari setiap proses pengerjaan. Tabel 2 menunjukkan produktivitas dalam metode eksisting.

6) *Waktu Pembangunan*

Sistem perpipaan kapal tanker 17.500 DWT yang menjadi objek penelitian memiliki berat sebesar 219.791 Ton. Dengan produktivitas yang telah disebutkan sebelumnya dan jumlah pekerja sebanyak 8 orang, hasil survey lapangan kepada praktisi didapatkan waktu yang dibutuhkan dalam pembangunan ketiga sistem pipa tersebut. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan ketiga sistem tersebut yaitu 2 bulan atau 40 hari kerja.

7) *Biaya Pekerja*

Perhitungan biaya pekerja pada metode eksisting dilakukan dengan mengalikan biaya jasa untuk setiap tipe pekerja dengan waktu pembangunan yang dibutuhkan. Tabel 3 menunjukkan biaya pekerja dengan metode eksisting.

B. *Metode Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM)*

Pada penerapan metode PPFM pengolahan data meliputi hal-hal yang berhubungan dengan proses dan perencanaan waktu pembangunan serta biaya perkerja dan investasi yang dibutuhkan untuk pengerjaan beberapa sistem perpipaan kapal tanker 17.500 DWT yang menjadi objek penelitian dalam Tugas Akhir.

1) *Klasifikasi Pipa*

Klasifikasi pipa dilakukan pada setiap sistem perpipaan yang menjadi objek penelitian Tugas Akhir mengacu pada klasifikasi pipa sesuai dengan metode PPFM. Langkah yang dilakukan dalam klasifikasi pipa yaitu merekapitulasi *isometric drawing* dan *spool drawing*. Rekapitulasi data yang dilakukan pada setiap sistem perpipaan meliputi beberapa hal diantaranya data *isometric drawing* yang meliputi nomor *isometric*, berat, *treatment*, dan *galvanized*. Selanjutnya yaitu mengidentifikasi rekapitulasi data tersebut dengan mengelompokkan atau mengklasifikasikan setiap *spool* sesuai dengan nomor PPFM pada tabel klasifikasi pipa. Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi klasifikasi sesuai tabel PPFM.

2) *Identifikasi Fasilitas*

Identifikasi fasilitas yang digunakan dalam pembangunan sistem perpipaan meliputi beberapa proses diantaranya penentuan zona kerja dan penentuan tipe pekerjaan untuk setiap zona. *Output* dari identifikasi tersebut nantinya yaitu

Tabel 5.
Tipe pekerjaan pada setiap zona kerja

No	Zona	Tipe Pekerjaan
1	Receiving	Material Handling
2		Marking
3	Fabrication	Cutting
		Forming/ Bending
		Material Handling
4	Assembly	Fitting
		Welding
		Grinding
		Material Handling
5	Joining	Fitting
		Welding
		Grinding
6	Testing & Coating	Material Handling
		Testing
		Coating
		Material Handling

Tabel 6.
Fasilitas dalam metode PPFM

Tipe Pekerjaan	Fasilitas
Material Handling	Forklift (Manual Pallet Truck)
	Forklift (Powered Pallet Truck)
	Overhead Crane
Marking	Marking Set (Manual)
Cutting	Gas Torch
Forming/ Bending	Pipe Bending Machine
Fitting	SMAW Welding Machine
Welding	SMAW & FCAW Welding Machine
Grinding	Grinder
Testing	Hydrostatic Water Pressure Testing
	Hydrostatic Oil Pressure Testing
Coating	Coating Set

Tabel 7.
Konfigurasi pekerja pada setiap zona

Zona	Tipe Pekerjaan	Jumlah Pekerja
Receiving	Material Handling	2
	Marking	2
Fabrication	Cutting	3
	Forming/ Bending	1
	Material Handling	1
Assembly	Fitting	1
	Welding	3
	Grinding	1
	Material Handling	1
Joining	Fitting	2
	Welding	2
	Grinding	1
Testing & Coating	Material Handling	1
	Testing	3
	Coating	3
Palletizing	Material Handling	2

fasilitas yang digunakan dalam pengerjaan sistem perpipaan. Tabel 5 menunjukkan tipe pekerjaan pada setiap zona kerja.

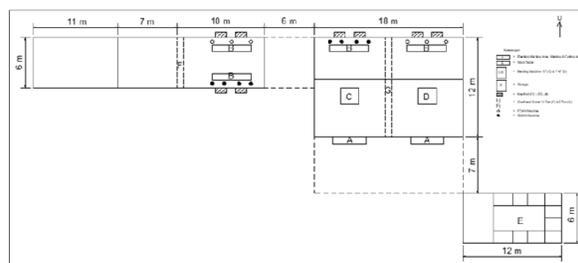
Untuk fasilitas yang digunakan sama halnya dengan kondisi eksisting. Tabel 6 menunjukkan fasilitas dalam metode PPFM.

3) Perhitungan Kebutuhan Pekerja Dan Jumlah Fasilitas

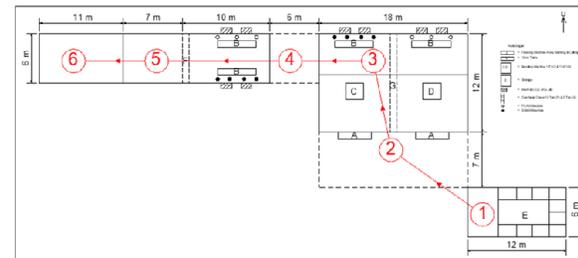
Kebutuhan pekerja dalam pembangunan pipa didasarkan pada tipe pekerjaan untuk setiap zona kerja. Sedangkan pada penentuan jumlah fasilitas yang digunakan disesuaikan dengan jumlah pekerja maksimal pada setiap tipe pekerjaan. Jumlah pekerja yang dibutuhkan dalam penerapan pembangunan menggunakan metode PPFM yaitu sebanyak 8 orang dimana pekerjaan pada zona receiving dan palletizing dilakukan secara seri Pada zona fabrication, assembly,

Tabel 8.
Jumlah fasilitas metode PPFM

Tipe Pekerjaan	Jenis Peralatan	Tipe	Jumlah Peralatan
Material Handling	Forklift	Manual Pallet Truck	1
		Powered Pallet Truck	1
		Overhead Crane	2
Marking	Marking Set (Manual)		2
Cutting	Gas Torch		3
Forming/ Bending	Pipe Bending Machine		1
Fitting	Welding Machine		4
Welding	Welding Machine		1
Grinding	Grinder		3
Testing	Hydrostatic Water Pressure Testing		3
	Hydrostatic Oil Pressure Testing		3
Coating	Coating Set		3



Gambar 3. Layout bengkel kerja pada penerapan PPFM



Gambar 4. Aliran material pada metode PPFM

joining, testing, dan coating juga dilakukan pekerjaan secara seri sehingga jumlah pekerja yang dibutuhkan sebanyak 6 orang. Tabel 7 menunjukkan konfigurasi pekerja pada setiap zona dengan metode PPFM.

Jumlah peralatan yang digunakan didapatkan dari jumlah maksimal pekerja pada setiap tipe pekerjaan yang ada. Tabel 8 menunjukkan jumlah fasilitas metode PPFM.

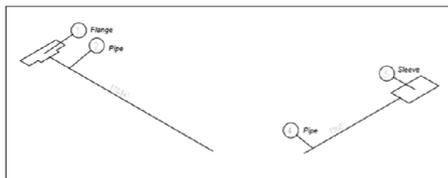
4) Tata Letak Bengkel

Tata letak atau layout bengkel kerja pada penerapan metode PPFM dibagi menjadi lima area yang mencakup ketujuh level manufacturing pada metode PPFM. Area kerja tersebut diantaranya area receiving, fabrication, assembling & joining, testing & coating, dan palletizing. Gambar 3 menunjukkan layout bengkel kerja pada penerapan PPFM.

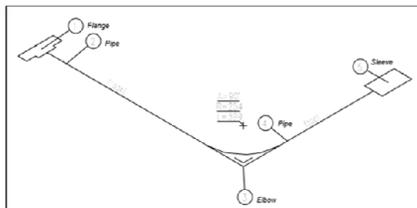
5) Aliran Material

Aliran material pada proses produksi pipa di bengkel kerja berpengaruh terhadap produktivitas dari pekerjaan yang dilakukan. Pada penerapan metode PPFM aliran material sesuai dengan proses pengerjaan pipa. Gambar 4 menunjukkan aliran material atau flow material dari pengerjaan pipa dengan metode PPFM.

Pada aliran material dengan metode PPFM terdapat tujuh proses pengerjaan dengan enam area yang telah mencakup



Gambar 5. Produk *assembly*



Gambar 6. Produk *joining*

ketujuh proses pengerjaan tersebut. Area kerja diberi simbol nomor yaitu nomor 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Urutan pengerjaan dari material berurutan dari nomor satu hingga enam. Nomor 1 merupakan area gudang penyimpanan. Nomor 2 merupakan area pengerjaan *fabrication*. Nomor 3 merupakan area pengerjaan *assembly*. Nomor 4 merupakan area pengerjaan *joining*. Nomor 5 merupakan area pengerjaan *testing & coating*. Nomor 6 merupakan area terakhir pada aliran material dalam pengerjaan pipa di begkel produksi. Pada area ini material masuk pada area pengerjaan *palletizing*.

6) *Proses Pengerjaan*

Proses pengerjaan yang dilakukan pada penerapan metode PPFM sesuai dengan *level manufacturing*. Proses pengerjaan tersebut meliputi *receiving, fabrication, assembly, joining, testing, coating, dan palletizing*. Berikut ini penjelasan singkat dan *output* produk dalam penerapan metode PPFM:

- *Receiving*
Tahap ini merupakan tahap penerimaan material-material pipa pada gudang. Gudang yang disediakan merupakan gudang khusus penyimpanan material-material pipa yang lokasinya tidak jauh dari bengkel kerja.
- *Fabrication*
Tahap ini material mengalami beberapa pekerjaan utama diantaranya *marking, cutting, dan bending*. Setiap pekerjaan tersebut tidak jauh berbeda dengan proses yang dilakukan pada metode eksisting. Produk dari tahap ini yaitu berupa *piece part* seperti pipa, *elbows*, dan lain-lain.
- *Assembly*
Assembly merupakan proses perakitan *piece part* menjadi satu kesatuan. Untuk perakitan yang lebih kompleks tidak dilakukan pada proses ini dan dilakukan pada proses berikutnya. Dalam proses ini, terdapat beberapa kegiatan utama yang tidak jauh berbeda dengan metode eksisting. Kegiatan utama tersebut diantaranya *fitting, welding, grinding, dan material handling*. Produk dari proses *assembly* yaitu *part*. *Part* sendiri terusun lebih dari satu material atau manufaktur pipa. Sebagai contoh *part* terusun dari *flange dan pipe, sleeve dan pipe, dan lain sebagainya*. Gambar 5 menunjukkan produk *assembly*.
- *Joining*
Joining merupakan proses perakitan *part* menjadi satu kesatuan *spool*. Dimana pada proses ini kegiatan utama dalam pengerjaannya tidak jauh berbeda dengan proses *assembly* diantaranya *fitting, welding, grinding, dan material handling*.

Tabel 9.
Produktivitas metode PPFM

Zona	Produktivitas (JO/ Ton)
<i>Receiving</i>	0.12
<i>Fabrication</i>	0.72
<i>Assembly</i>	1.44
<i>Joining</i>	0.84
<i>Testing & Coating</i>	0.96
<i>Palletizing</i>	0.16

Tabel 10.
Biaya pekerja yang dibutuhkan

Tipe Pekerja	Biaya Jasa (Rp)	Jumlah Pekerja	Waktu Pengerjaan (Hari)	Biaya Pekerja (Rp)
<i>Welder</i>	15,000/Inch Schedule	3	32	245,287,500
<i>Fitter</i>	175,000/Hari	2	32	11,200,000
<i>Helper</i>	100,000/Hari	3	32	9,600,000
Total (Rp)				266,087,500

Tabel 11.
Rincian kebutuhan investasi metode PPFM

No	Uraian Kegiatan	Total Investasi
1	Pekerjaan Persiapan	
-	Pelatihan dan Pengarahan SDM	Rp 30,000,000
2	Pekerjaan Renovasi Bengkel Pipa	
-	Jasa Pekerja	Rp 19,200,000
-	Operator Mobile Crane	Rp 7,000,000
-	Konsumsi Bahan Bakar	Rp 4,080,000
-	Penyetelan Meja Kerja Pengelasan	Rp 1,400,000
-	Penyetelan Manifold	Rp 2,800,000
-	Penyetelan Kelistrikan	Rp 27,000,000
-	Pembersihan area	
-	Area <i>Fabrication</i>	Rp 1,575,000
-	Area <i>Assembly</i>	Rp 1,125,000
-	Area <i>Joining</i>	Rp 1,200,000
-	Area <i>Testing & Coating</i>	Rp 750,000
-	Area <i>Palletizing</i>	Rp 600,000
3	Pekerjaan Akhir	
-	Pemantauan Penerapan PPFM	Rp 9,600,000
-	Evaluasi	Rp 5,000,000
Total Kebutuhan Investasi		Rp 111,330,000

Produk dari proses ini berupa *panel* seperti *spool*. Gambar 6 menunjukkan produk dari proses *joining*.

- *Testing & Coating*
Tahap selanjutnya setelah *panel* terbentuk yaitu tahap *testing*. Tahap ini dilakukan pada sambungan pipa untuk memastikan bahwa tidak terjadi cacat pengerjaan. Setelah dilakukan pengujian tahap selanjutnya yaitu *coating*, dimana pada tahap ini dilakukan pelapisan pada material pipa.
 - *Palletizing*
Proses terakhir yaitu *palletizing*, dimana pada tahap ini dilakukan penyortiran dan pengelompokkan *panel* sesuai dengan *pallet* atau bagiannya pada sistem perpipaan kapal. Kegiatan utama dalam proses ini yaitu *material handling, pemindahan panel* dari *testing & coating zone* menuju *palletizing zone*.
- 7) *Waktu Pembangunan*
Perhitungan waktu pembangunan dilakukan untuk mengetahui lama waktu pembangunan sistem perpipaan dengan penerapan metode PPFM. Dalam melakukan perhitungan waktu pembangunan melalui beberapa tahap yaitu melakukan perhitungan waktu pengerjaan untuk setiap nomor PPFM, selanjutnya melakukan pembuatan jadwal harian. Tabel 9 Produktivitas metode PPFM.
Waktu pengerjaan setiap zona kerja pada setiap nomor PPFM di *plotting*. Setelah dilakukan *plotting* disimpulkan

Tabel 12.
Perbandingan metode pembangunan pipa antara metode eksisting dan PPFM.

No	Aspek	Eksisting	PPFM
1	Teknis	Berdasarkan setiap sistem	Berdasarkan setiap nomor klasifikasi
2	Pengkodean	Tidak	Ya

Tabel 13.
Perbandingan tata letak bengkel pipa antara metode eksisting dan PPFM

No	Aspek	Eksisting	PPFM
1	Area Kerja	<i>Preparation, fabrication, sub-assembly, assembly, finishing</i>	<i>Receiving, fabrication, assembly, joining, testing & coating, palletizing</i>
2	Aliran Material	Bercabang	Satu aliran

waktu yang diperlukan dalam pembangunan sistem perpipaan yang menjadi objek penelitian diantaranya *cargo oil piping system, fresh water piping system, dan machinery cooling piping system* dengan penerapan metode PPFM yaitu 32 hari.

8) *Perhitungan Biaya Pekerja*

Dalam menghitung biaya pekerjaan diperlukan beberapa data diantaranya data biaya jasa untuk setiap tipe pekerjaan per hari yang didapatkan dari pencarian data di lapangan. Selain itu, jumlah pekerja yang dibutuhkan dalam pembangunan. Data terakhir yaitu waktu pembangunan yang dibutuhkan. Tabel 10 menunjukkan biaya pekerja yang dibutuhkan dalam pembangunan dengan metode PPFM.

9) *Perhitungan Biaya Investasi*

Perhitungan biaya investasi yang dibutuhkan dalam penerapan metode PPFM dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut diantaranya penambahan fasilitas bengkel untuk menunjang penerapan metode tersebut dan perubahan tata letak atau *layout* dari bengkel kerja. Tabel 11 menunjukkan rincian kebutuhan investasi penerapan metode PPFM.

V. ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS METODE PIPE PIECE FAMILY MANUFACTURING (PPFM)

A. Analisis Teknis

1) *Analisis Metode Pembangunan*

Metode pembangunan dilakukan pada pengerjaan beberapa sistem perpipaan diantaranya *cargo oil piping system, freshwater piping system, dan machinery cooling piping system*. Tabel 12 menunjukkan perbandingan metode pembangunan pipa antara metode eksisting dan PPFM.

2) *Analisis Sumber Daya*

Sumber daya yang dianalisis dalam hal ini yaitu tenaga kerja dan fasilitas yang digunakan dalam pembangunan pipa di bengkel produksi. Pada prinsipnya penerapan metode PPFM yaitu dengan memanfaatkan atau menggunakan sumber daya yang ada. Pada penerpaan metode PPFM dan metode eksisting sumber daya berupa tenaga kerja yang digunakan dalam pengerjaan sistem pipa adalah sama. Tenaga kerja tersebut tersusun dari 3 *welder*, 2 *fitter*, dan 3 *helper*. Pada penerapan metode PPFM delapan tenaga kerja tersebut dikonfigurasi pada setiap zona kerja sehingga pada penerapan metode tersebut perlu dilakukan pengaturan

Tabel 14.
Perbandingan produktivitas antara metode eksisting dan PPFM

No	Aspek	Eksisting	PPFM		
1	Produktivitas (JO/ Ton)	<i>Preparation</i>	0.12	<i>Receiving</i>	0.12
		<i>Fabrication</i>	0.96	<i>Fabrication</i>	0.72
		<i>Sub-Assembly</i>	1.68	<i>Assembly</i>	1.44
		<i>Assembly</i>	0.84	<i>Joining</i>	0.84
		<i>Finishing</i>	0.96	<i>Testing & Coating</i>	0.96
				<i>Palletizing</i>	0.16

Tabel 15.
Persentase kebutuhan biaya pekerja dari BOM pada ketiga sistem pipa pada metode eksisting dan PPFM

No	Aspek	Eksisting	PPFM
1	Biaya Pekerja (Rp)	271,287,500	266,087,500
2	Bill of Material (Rp)	1,003,057,870	1,003,057,870
3	Persentase Kebutuhan Biaya Pekerja Dari BOM (%)	27.05	26.53

tenaga kerja yang lebih rumit mengingat zona kerja yang ada lebih banyak apabila dibandingkan dengan metode eksisting. Fasilitas yang digunakan dalam penerapan metode PPFM dan eksisting tidak berbeda. Fasilitas yang digunakan merupakan fasilitas yang telah ada pada metode sebelumnya.

3) *Analisis Tata Letak Bengkel*

Tata letak fasilitas mempertimbangkan area-area kerja di mana nantinya akan berpengaruh pada aliran material pada masing-masing metode yang diterapkan. Tabel 13 merupakan perbandingan tata letak bengkel pipa antara metode eksisting dan PPFM.

4) *Analisis Produktivitas*

Produktivitas pada masing-masing metode dalam setiap area kerja dipengaruhi oleh tata letak fasilitas dan aliran material. Pada metode PPFM terdapat 6 area kerja yang berarti terdapat 6 produktivitas. Metode eksisting terdapat 5 area kerja yang berarti terdapat 5 produktivitas. Analisa produktivitas dilakukan pada seluruh area kerja dari masing-masing metode. Tabel 14 menunjukkan perbandingan produktivitas antara metode eksisting dan PPFM.

5) *Analisis Waktu Pembangunan*

Analisis waktu pembangunan dari masing-masing metode yaitu metode eksisting dan metode PPFM dalam pengerjaan pipa meliputi waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan tersebut di bengkel produksi. Data waktu dalam pengerjaan pipa didapatkan dari survey lapangan dan pengolahan data yang dilakukan. Waktu yang dibutuhkan dalam pembangunan dengan metode eksisting yaitu 40 hari kerja sedangkan pada metode PPFM yaitu 32 hari kerja.

6) *Analisis Biaya Pekerja*

Analisis biaya pekerja meliputi biaya pekerja yang dibutuhkan dalam penerapan metode Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM). Pada pengolahan data yang telah dilakukan didapatkan total biaya pekerja yang dibutuhkan dalam pembangunan pipa dibengkel produksi. Biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan dengan metode eksisting yaitu Rp 271,287,500 sedangkan pada metode PPFM yaitu Rp 266,087,500. Dari penerapan kedua metode tersebut terdapat perbedaan biaya pekerja yang dibutuhkan di mana pada metode PPFM biaya pekerja berkurang sebesar 1.97% dari biaya pekerja yang dibutuhkan pada metode eksisting. Tabel 15 menunjukkan persentase kebutuhan biaya pekerja dari BOM pada ketiga sistem pipa pada metode eksisting dan PPFM.

7) Analisis Biaya Investasi

Biaya investasi yang dibutuhkan dalam penerapan metode PPFM pada pengerjaan beberapa sistem pipa meliputi beberapa hal. Hal-hal yang dibutuhkan dalam penerapan metode tersebut diantaranya pekerjaan persiapan yang meliputi pelatihan dan pengarahan Sumber Daya Manusia (SDM), hal ini dilakukan untuk memberi wawasan serta pngenalan metode tersebut dan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menerapkan metode PPFM. Selain itu, pekerjaan renovasi bengkel pipa juga diperhitungkan dalam biaya investasi yang dibutuhkan dalam penerapan metode tersebut. Pekerjaan renovasi meliputi beberapa hal diantaranya pembersihan seluruh area kerja, penyetelan kelistrikan, dan penyetelan meja kerja. Penambahan fasilitas produksi tidak dilakukan karena fasilitas pada penerapan metode eksisting mampu memenuhi kebutuhan fasilitas pada penerapan metode PPFM. Total kebutuhan investasi pada penerapan metode PPFM yaitu Rp 43,046,000 (Empat Puluh Tiga Juta Empat Puluh Enam Ribu Rupiah).

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Metode pembangunan instalasi perpipaan pada kondisi eksisting dilakukan berdasarkan setiap sistem pipa pada kapal. Metode tersebut tidak mengelompokkan pekerjaan berdasarkan tingkat kesulitan maupun manufaktur yang sejenis. Pada pembangunan beberapa sistem perpipaan diantaranya cargo oil piping system, fresh water piping system, dan machinery cooling piping system pengerjaan dilakukan secara berurutan untuk setiap sistem. Aliran material dari metode ini bercabang di mana hal ini dipengaruhi oleh tata letak fasilitas bengkel. Pengerjaan yang dilakukan melalui beberapa proses yaitu preparation, fabrication, sub-assembly, assembly, dan finishing. Dari kondisi eksisting, pembangunan pipa tersebut membutuhkan waktu selama 40 hari kerja dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang. Biaya pekerja yang dibutuhkan sebesar Rp 271,287,500 (Dua Ratus Tujuh Puluh Satu Juta Dua Ratus Delapan Puluh Tujuh Ribu Lima Ratus Rupiah) yaitu sebesar 27.05% dari biaya material.

Teknis penerapan metode PPFM yaitu pengerjaan dilakukan berdasarkan kelompok klasifikasi atau nomor PPFM. Pengelompokan berdasarkan pada atribut atau manufaktur yang memiliki kemiripan. Dalam pembangunan sistem pipa diantaranya cargo oil piping system, fresh water piping system, dan machinery cooling piping system terdapat

tujuh kelompok klasifikasi yaitu PPFM No. 01 (Straight, ND \leq 50 mm), PPFM No. 04 (Straight, ND \leq 200 mm), PPFM No. 07 (Straight, ND \geq 250 mm), PPFM No. 51 (Assembled, ND \leq 50 mm), PPFM No. 54 (Assembled, ND \leq 200 mm), PPFM No. 57 (Assembled, ND \geq 250 mm), dan PPFM No. 95 (Unit Assembled). Pengerjaan dilakukan berdasarkan kelompok klasifikasi. Aliran material pada metode ini dalam satu aliran dan proses pengerjaannya meliputi material receiving, pipe fabrication, pipe piece assembly, pipe piece joining, testing & coating, dan palletizing. Dari hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut yaitu 32 hari kerja dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang. Dari segi teknis waktu pembangunan dengan metode PPFM dapat berkurang hingga 20% apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting.

Nilai ekonomis pada penerapan metode PPFM dalam pembangunan beberapa sistem perpipaan diantaranya cargo oil piping system, fresh water piping system, dan machinery cooling piping system membutuhkan biaya pekerja sebesar Rp 266,087,500 (Dua Ratus Enam Puluh Enam Juta Delapan Puluh Tujuh Lima Ratus Rupiah), biaya berkurang sebesar 1.97% apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Pada metode PPFM membutuhkan biaya pekerja sebesar 26.53% dari biaya material. Dari segi investasi, biaya yang dibutuhkan yaitu sebesar Rp 111,330,000 (Seratus Sebelas Juta Tiga Ratus Tiga Puluh Ribu Rupiah).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Arti kata - Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Online." [Online]. Available: <https://www.kbbi.web.id/>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [2] "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)." [Online]. Available: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). [Accessed: 29-Jan-2020].
- [3] M. L. Nayyar *et al.*, "PIPING HANDBOOK Seventh Edition MCGRAW-HILL," 1976.
- [4] "Tabel Nominal Pipe Size dan Pipe Schedule | Indonesian Piping Knowledge." [Online]. Available: <http://www.idpipe.com/2014/10/tabel-nominal-pipe-size-dan-pipe-schedule.html>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [5] "Jenis Sambungan Antar Pipa | Indonesian Piping Knowledge." [Online]. Available: <http://www.idpipe.com/2014/08/jenis-sambungan-antar-pipa.html>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [6] "Jenis Jenis Fitting Pada Pipa | Indonesian Piping Knowledge." [Online]. Available: <http://www.idpipe.com/2014/08/jenis-jenis-fitting-pada-pipa.html>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [7] R. L. Storch, *Ship Production. Comrl Maritime Express*, 2nd ed. 1995.