TESIS– TI 185401

PERANCANGAN ULANG PROSES PRODUKSI DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM MAPPING* UNTUK *PRESSURE VESSEL* 421 PSI

ALIFIYA NURUL AINI
NRP 02411650012006

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. MOSES L.SINGGIH, M. Sc., Ph.D, IPU

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN KUALITAS MANUFAKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2019

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

TESIS– TI 185401

REDESIGN PRODUCTION PROCESS USING VALUE STREAM MAPPING APPROACH FOR PRESSURE VESSEL 421 PSI

ALIFIYA NURUL AINI
NRP 02411650012006

SUPERVISOR
Prof. Ir. MOSES L.SINGGIH, M. Sc., Ph.D, IPU

MASTER PROGRAM
MANUFACTURE AND QUALITY MANAGEMENT
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2019

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

PERANCANGAN ULANG PROSES PRODUKSI DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM MAPPING* UNTUK *PRESSURE VESSEL* 421 PSI

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

oleh:

ALIFIYA NURUL AINI
NRP. 02411650012006

Tanggal Ujian : **29 Januari 2019**
Periode Wisuda : **Maret 2019**

Disetujui oleh:

1. **Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., MRegSc., Ph.D.** (Pembimbing)
   NIP: 195908171987031002

2. **Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.** (Penguji 1)
   NIP: 197405081999032000

3. **Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.** (Penguji 2)
   NIP: 197504081998022001

Dekan Fakultas Teknologi Industri,

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP: 19690507 199512 1001

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Alifiya Nurul Aini
NRP	:	02411650012006
Program Studi	:	Magister Teknik Industri - ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

"PERANCANGAN ULANG PROSES PRODUKSI DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM MAPPING* UNTUK *PRESSURE VESSEL* 421 PSI"

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Seluruh referensi yang dikutip dan dirujuk telah saya tulis secara lengkap di daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019

Yang membuat pernyataan,

Alifiya Nurul Aini

NRP. 02411650012006

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

PERANCANGAN ULANG PROSES PRODUKSI DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM MAPPING* UNTUK *PRESSURE VESSEL* 421 PSI

Nama	: ALIFIYA NURUL AINI
NRP	: 02411650012006
Pembimbing	: Prof. Ir. MOSES L.SINGGIH, M. Sc., Ph.D, IPU

ABSTRAK

Peningkatan produktivitas dan efisiensi kerja sekaligus pengurangan biaya produksi merupakan hasil yang diperoleh dari penerapan konsep *lean. Lean* berfokus pada rekonfigurasi proses produksi untuk mengurangi waktu tunggu dengan cara menyederhanakan proses sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Salah satu *tool* yang penting pada konsep *lean* adalah *value stream mapping.* Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan sebuah perancangan ulang proses produksi dengan menyederhanakan atau memangkas alur kerja yang memberikan dampak pada perubahan desain produk. Objek yang diamati adalah proses fabrikasi *shell* dengan tekanan desain 421 Psi. Proses fabrikasi tersebut dipetakan dengan menggunakan *current value stream mapping*, dan ditemukan bahwa waktu operasi memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan *lead time.* Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak terjadi waktu tunggu pada setiap proses. Selanjutnya dilakukan perbaikan untuk mengurangi waktu tunggu dengan usulan perbaikan penggantian metode pengelasan (*welding*) dan mengganti bentuk material yang memberikan dampak pada desain yang ada. Ditemukan bahwa biaya produksi dapat dikurangi hingga 14 juta dan waktu produksi dapat dikurangi hingga 16 hari, dari 21 hari menjadi 5 hari. Peta perbaikan untuk *future process* juga diberikan (*future value stream mapping*) pada penelitian ini.

Kata kunci: Fabrikasi *shell, welding, value stream mapping.*

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

REDESIGN PRODUCTION PROCESS USING VALUE STREAM MAPPING APPROACH FOR PRESSURE VESSEL 421 PSI

Nama Mahasiswa	: ALIFIYA NURUL AINI
NRP	: 02411650012006
Pembimbing	: Prof. Ir. MOSES L.SINGGIH, M. Sc., Ph.D, IPU

ABSTRAC

Increasing productivity and work efficiency while reducing production costs are the results obtained from the implemetation of lean concepts. Lean focuses on reconfiguring production processes to reduce waiting time by simplifying the process so as reduce the production costs. One important tool in lean concept is value stream mapping. This study aims to present the redesign/restructuring production process by simplifying or reducing workflows that have an impact on changes the product design. The object observed was the shell fabrication process with design pressure 421 Psi. The fabrication process is mapped using the current value stream mapping, and it is found that operating time has a lower value than the lead time. This shows that there is still a lot of waiting in each process. Furthermore, improvements are made to reduce the waiting time with the proposed improvement of the welding method while changing the material that has an impact on the existing design. It was found that production costs could be reduced until14 million and production time until 16 days, from 21 days to 5 days. Improvement maps for future processes are also given (future value state mapping) in this study.

Keywords: *Shell fabrication, welding method, value stream mapping*.

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

KATA PENGANTAR

Puji syukur, penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Rasullullah Muhammad SAW. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tesis ini dengan baik. Laporan tesis ini ditulis dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Pascasarjana di Jurusan Teknik Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul "Perencanaan Ulang Proses Produksi Dengan Pendekatan *Value Stream Mapping* Untuk *Pressure Vasel* 421 PSI".

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian tesis ini masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan, oleh sebab itu, sangat diharapkan saran dan masukan yang konstruktif dengan maksud untuk menyempurnakan. Dalam menyelesaikan laporan penelitan tesis ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., MRegSc., Ph.D. sebagai dosen pembimbing penelitian tesis yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan petunjuk yang sangat berguna dalam menyelesaikan laporan penelitian tesis ini.
2. Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. dan Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji pada saat sidang tesis, atas masukan, koreksi dan saran dalam pengerjaan laporan penelitian tesis ini.
3. Bapak Erwin Widodo, ST, M.Eng., Dr.Eng selaku Ketua Program Pascasarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan selaku dosen penguji pada saat seminar proposal tesis, atas masukan, koreksi dan saran dalam pengerjaan laporan penelitian tesis ini.
4. Teristimewa Orang tua penulis (Bapak Hanafi dan Ibu Siti Hotimah), adik penulis (Fadila Faiza Tsani dan Ahmad Miftahul Khoiri), dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, perhatian, nasihat, saran, serta mencukupi semua kebutuhan penulis.

5. Para Bapak dan Ibu Dosen studi Program Pascasarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang telah banyak memberikan Ilmu Pengetahuan bagi penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tesis ini.
6. Sahabat dan teman-teman yang telah memberikan dorongan dan motivasi.
7. Rekan-rekan perkulihan di studi Program Pascasarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dari berbagai angkatan, atas dukungan ilmu, diskusi dan semangat yang diberikan.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan doa dan bantuan serta motivasi yang diberikan, sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas seluruh bantuan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan thesis ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi terciptanya penulisan thesis yang lebih baik. Besar harapan dari penulis agar thesis ini dapat memberikan manfaat bagi setiap orang yang membaca. Selain itu juga dapat memberikan referensi untuk penelitian selanjutnya. Apabila terdapat kesalahan yang penulis buat, penulis memohon maaf dengan sepenuh hati

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

COVER i
COVER iii
LEMBAR PENGESAHAN v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS vii
ABSTRAK ix
ABSTRAC xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Asumsi penelitian 6
1.6 Batasan Penelitian 6
1.7 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Proses Manufaktur 9
2.2 *Value Stream Mapping* (VSM) 11
2.3 *Fish Bone Diagram* 18
2.4 *Manufacturing Matrix* 19
2.5 *Pressure vessel* 21
2.6 Proses Pengelasan Logam 23
2.6.1 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) 24
2.6.2 *Flux Core Arc Welding* (FCAW) 26
2.6.3 *Submerged Arc Welding* (SAW) 28
2.7 Posisi Penelitian 31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 37
3.1 Alur Penelitian 37
3.2 Tahap Identifikasi 38

3.3 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data 39
3.4 Tahap Perancangan Usulan Perbaikan 39
3.5 Analisa dan Pembahasan 39
3.6 Kesimpulan dan Saran 40
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 41
4.1 Kondisi Awal Proses Produksi 41
4.1.1 Perhitungan Ketebalan yang Dibutuhkan 42
4.1.2 Kebutuhan *Plate* dengan *Existing Design* 43
4.1.3 Aliran Proses Fabrikasi *Shell* 46
4.1.4 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja 50
4.1.5 Perhitungan Biaya Fabrikasi *Shell* 51
4.1.6 *Value Stream Mapping* Fabrikasi *Shell* 55
4.1.7 *Fishbone Diagram* 57
4.2 Usulan Penggantian Metode *Welding* 61
4.2.1 Metode FCAW dengan *Sheet Metal Plate* 63
4.2.2 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja 63
4.2.3 Perhitungan Biaya Fabrikasi dengan Metode FCAW 64
4.3 Usulan Penggunaan *Tubular Rolled Plate* 66
4.3.1 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja 69
4.3.2 Perhitungan Biaya Fabrikasi dengan TRP 69
4.3.3 Elaborasi Usulan 71
4.4 Perancangan Ulang Proses Produksi 74
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 79
5.1 Analisis dan Pembahasan Objek penelitian 79
5.2 Analisis dan Pembahasan Usulan Perbaikan Penggantian Metode 79
5.3 Analisis dan Pembahasan Penggunaan *Tubular Rolled Plate* 80
5.4 Analisis dan Pembahasan Perancangan Ulang Proses Produksi 82
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 85
6.1 Kesimpulan 85
6.2 Saran 85
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Current State Map 15
Gambar 2. 2 Future State Map 17
Gambar 2.3 Fish Bone Diagram Marking dan Cutting Process 19
Gambar 2.4 Metodologi Seleksi Proses *Manufacturing* 20
Gambar 2. 5 *Manufacturing Matrix Leather Bag* 20
Gambar 2. 6 Bagian-bagian Pressure Vessel 21
Gambar 2. 7 Ellipsoidal Head 22
Gambar 2. 8 Metode pengelasan SMAW dan Skema Detail Proses 25
Gambar 2. 9 Metode pengelasan FCAW dan Skema Detail Proses 27
Gambar 2. 10 Mesin SAW 29
Gambar 2. 11 Roller bed for SAW method 30
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian 38
Gambar 4. 1 Objek Penelitian (shell) 41
Gambar 4. 2 Kebutuhan Plate Actual Shell 44
Gambar 4. 3 Bentangan Pemetaan Kebutuhan Plate pada Shell 44
Gambar 4. 4 Rolling Plate Process 45
Gambar 4. 5 Zig zag method for long weld 46
Gambar 4. 6 Aliran Proses Fabrikasi Shell (actual) 47
Gambar 4. 7 Desain pengelasan plate shell 52
Gambar 4. 8 Tampak Samping Kampuh Las 53
Gambar 4. 9 Current State Mapping Shell Fabrication 56
Gambar 4. 10 Fishbone Diagram Lamanya Proses Fabrikasi 58
Gambar 4. 11 Usulan penggantian plate shell 67
Gambar 4. 12 Aliran proses fabrikasi dengan menggunakan TRP 68
Gambar 4. 13 Product element for concept A dan B 72
Gambar 4. 14 Future State Mapping Fabrikasi shell dengan Tubular Rolled Plate (TRP) 76

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Simbol-simbol pada Peta VSM 12
Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Pengelasan 23
Tabel 2. 3 Spesifikasi SMAW 26
Tabel 2. 4 Kelebihan dan Kekurangan SMAW 26
Tabel 2. 5 Kelebihan dan Kekurangan FCAW 28
Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan SAW 30
Tabel 2. 7 Posisi Penelitian 34
Tabel 2. 8 Posisi Penelitian (Lanjutan) 35
Tabel 4. 1 Basic Design of Shell Produk Amatan 42
Tabel 4. 2 Ukuran plate SA 516 Gr.70 43
Tabel 4. 3 Lead Time Actual Shell 47
Tabel 4. 4 Fabrication schedule 49
Tabel 4. 5 Pemetaan *plan* dan *actual schedule* 49
Tabel 4. 6 Biaya Pada Masing-masing Jenis Pekerjaan 50
Tabel 4. 7 Biaya Tenaga Kerja Langsung 50
Tabel 4. 8 Biaya Tenaga Kerja Langsung (Lanjutan) 51
Tabel 4. 9 Daftar Harga Plate SA 516 Gr.70 51
Tabel 4. 10 Biaya Fabrikasi Shell 55
Tabel 4. 21 Daftar Penyebab Waste yang Terjadi 59
Tabel 4. 22 Perbandingan Metode SAW dan FCAW. 62
Tabel 4. 23 Lead Time Fabrikasi Shell dengan FCAW 63
Tabel 4. 24 Biaya Tenaga Kerja Langsung Usulan Penggunaan Metode FCAW 64
Tabel 4.25 Rekap biaya shell metode FCAW 65
Tabel 4. 26 Perbandingan Actual Fabrikasi dengan Usulan Penggunaan Metode FCAW 66
Tabel 4. 27 Ukuran Tubular Rolled Plate yang Tersedia 67
Tabel 4. 28 Estimasi Waktu Penggunaan Tubular Rolled Plate 68
Tabel 4. 29 Biaya Tenaga Kerja Langsung Usulan Penggunaan TRP 69
Tabel 4. 30 Rekap Biaya Fabrikasi dengan TRP 71
Tabel 4. 31 Manufacturing Matrix Shell 73
Tabel 4. 32 The summarized values of each solution 73
Tabel 4. 33 Tabel Perbandingan Usulan Pernggunaan TRP dengan Actual Process 74

Tabel 4. 34 Perbandingan Usulan Pertama dan Usulan Kedua.....75
Tabel 4. 35 Perbedaan actual dan future process.....77
Tabel 5. 1 Tabel Selisih Perbandingan Actual Process dengan Future Process.....81

BAB I
PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian yang mencakup batasan serta asumsi penelitian dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa tahun terakhir industri manufaktur dipacu untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya. Sulit untuk menyangkal bahwa sebagian besar industri manufaktur yang berfokus pada strategi pengurangan biaya dengan menghilangkan pemborosan akan memiliki kemampuan *continous improvement* untuk dapat bersaing di dunia yang kompetitif ini (Papadopoulou & Özbayrak, 2005). Proses produksi di banyak industri manufaktur masih terdapat beberapa kegiatan yang menyebabkan pemborosan. Kegiatan tidak bernilai tambah dalam proses produksinya masih banyak ditemukan, sehingga waktu siklus yang dihasilkan untuk membuat produk akan lebih lama. Seperti misalnya pada beberapa industri manufaktur yang memiliki sistem produksi fabrikasi dengan produk logam, *waste* yang sering terjadi dalam kegiatan operasionalnya adalah pemborosan waktu dan tenaga kerja.

Proses produksi fabrikasi logam merupakan perubahan bentuk pada material baja untuk dapat menghasilkan produk sesuai dengan *design* melibatkan beberapa tahapan proses. Pada umumnya urutan produksi material baja diawali dengan proses desain (*engineering*) yang dilanjutkan dengan proses pendetailan, fabrikasi dan *assembly*. Fabrikasi merupakan suatu runtutan pekerjaan dari beberapa komponen material baik berupa *plate*, pipa ataupun baja profil dirangkai dan dibentuk dengan melewati beberapa tahapan berdasarkan unit tertentu sampai menjadi suatu bentuk yang dapat dipasang menjadi sebuah rangkaian alat produksi maupun konstruksi (Spiegel & Limbrunner, 1991). Fabrikasi struktur baja umumnya dilakukan di *workshop* terutama untuk skala proyek yang cukup besar.

Tahapan fabrikasi untuk struktur baja meliputi beberapa proses utama, antara lain: *marking, cutting, forming, welding and painting* (Brockenbrough & Merritt, 1999). Proses fabrikasi dan pengelasan baja pada perusahaan fabrikasi *pressure vessel* menghabiskan banyak waktu, dikarenakan seluruh prosesnya masih menggunakan banyak tenaga manusia. Penggunaan tenaga manusia meningkatkan kemungkinan terjadinya *human error* misalnya pada kesalahan dalam melakukan proses *marking raw material,* kesalahan *setting torch* untuk proses *cutting,* hasil pengelasan yang tidak tepat (banyak terjadi *defect* pada pengelasan), penampilan estetika (*weld*

cap) yang buruk dan produktivitas yang kurang. Kemudian seperti pada kesalahan proses *marking raw material* yang diakibatkan oleh beberapa hal antara lain kesalahan dalam menggunakan *drawing* yang bukan merupakan *final drawing,* kesalahan dalam membaca *drawing* untuk produk yang akan diproses ataupun kondisi dimana pekerja tergesa-gesa dalam melakukan proses *marking.* Hal ini menghasilkan penolakan (*reject*) pada tahap inspeksi visual dan juga mengakibatkan banyaknya proses pengerjaan ulang. Proses pengerjaan ulang secara tidak langsung dapat meningkatkan *volume* pekerjaan untuk satu produk yang sama. *Volume* kerja yang meningkat mengharuskan perusahaan memiliki efisiensi kerja yang tinggi. Nilai efiseinsi kerja berbanding lurus dengan nilai produktivitas pekerja. Tingkat efisiensi kerja yang rendah mengakibatkan lamanya waktu produk di produksi.

Beberapa hal lainnya yang menyebabkan rendahnya nilai efisiensi kerja adalah terjadinya waktu tunggu *raw material* untuk masing-masing *work station.* Keadaan ini diakibatkan oleh adanya proses yang dilakukan secara seri, dimana perbedaan nilai *cycle time* akan berdampak terjadinya waktu tunggu pada setiap *work station.* Waktu tunggu inilah yang menyebabkan tingginya nilai waktu siklus, yang berdampak pada waktu penyelesaian produk. Proses fabrikasi merupakan strategi produksi yang memungkinkan rentang produk yang berbeda dan tingkat penyesuaian yang berbeda pula. Masing-masing proses fabrikasi memiliki tahapan dimana satu *raw material* yang telah selesai pada proses pertama kemudian dilanjutkan proses kedua, yang pada saat bersamaan, masuknya *raw material* kedua untuk memulai aktivitas proses pertama. Hal ini mengakibatkan adanya waktu tunggu pada setiap stasiun kerja. Tingginya nilai waktu tunggu dipengaruhi oleh *cycle time* produk yang sedang diproses pada *raw material* sebelumnya. Dimana hal ini dapat mengakibatkan penumpukan material untuk dapat diproduksi. Nilai waktu tunggu semakin meningkat pada saat *raw material* terakhir yang menunggu dari dua atau tiga proses sebelumnya. Waktu tunggu ini merupakan *incremental* yang menyebabkan adanya kenaikan secara bertahap sedikit demi sedikit dan terus menerus. Atau dapat disimpulkan bahwa proses ini merupakan akumulasi dari waktu tunggu proses sebelumnya.

Besarnya nilai pengerjaan ulang akibat adanya kesalahan operator ataupun tingginya waktu tunggu, merupakan pokok permasalahan yang menyebabkan keterlambatan pada pemenuhan waktu *planning* untuk dapat menyelesaikan dan menghasilkan produk jadi. Rendahnya nilai efisiensi kerja juga membuat perusahaan tidak mampu menyelesaikan pekerjaan dalam batas waktu penyelesaian (Jadhav, Nagare, & Konda, 2018). Keadaan ini mengakibatkan terjadinya *financial lost* akibat penalty yang diberikan oleh *customer.* Selain itu, biaya produksi meningkat dikarenakan biaya tenaga kerja meningkat akibat lamanya poses fabrikasi. Ketika volume

pekerjaan meningkat, maka akan sangat sulit bagi industri fabrikasi untuk memaksimalkan alur kerja yang telah dirancang. Keadaan ini mengharuskan industri tersebut menambah tenaga kerja untuk dapat melakukan proses produksi. Penambahan tenaga kerja akan meningkatkan biaya tenaga kerja, walaupun tenaga kerja yang digunakan hanya sebatas kontrak (*outsourcing*) pada satu produk. Pada situasi seperti ini, pendapatan yang diperoleh akan meningkat, tetapi pendapatan tersebut harus dikurangi untuk biaya tenaga kerja *outsourcing.* Salah satu upaya untuk menurunkan biaya tenaga kerja dapat dengan meningkatkan produktivitas pekerja, sehingga perusahaan mampu menutupi biaya tenaga kerja dan membuat perusahaan memenuhi jadwal yang ditentukan sembari meningkatkan profit.

Didasari kedua hal tersebut, penerapan usulan perbaikan untuk selalu melakukan *continous improvement,* adalah sebuah upaya yang dapat dilakukan guna menigkatkan efisiensi kerja dan mengurangi waktu tunggu. Untuk dapat menerapkan perubahan dalam meningkatkan efisiensi kerja dapat dilakukan perbaikan dengan menganalisa proses produksi yang telah selesai dilakukan sebelumnya. Analisa proses produksi sebelumnya dapat menggunakan metode pendekatan *value stream mapping* (VSM) yang berfungsi sebagai sebuah alat peningkatan perusahaan untuk membantu dalam memvisualisasikan seluruh proses produksi, mewakili baik aliran materi dan informasi (B. Singh, Garg, & Sharma, 2011). Arus nilai yang ditetapkan sebagai pengumpulan semua nilai tambah kegiatan serta non-nilai menambahkan yang diperlukan untuk membawa produk atau sekelompok produk yang menggunakan sumber daya yang sama melalui arus utama, dari bahan baku ke konsumen akhir (Rother & Shook, 2003). Tidak sebagaimana kebanyakan teknik pemetaan lainnya yang hanya mendokumentasikan dasar aliran produk, VSM merupakan pemetaan aliran nilai sembari mendokumentasikan aliran informasi dalam sistem misalnya *raw material* disimpan ataupun sedang berada didalam proses (*work in process*) serta menimbulkan pergerakan material dari satu proses ke proses selanjutnya, merupakan informasi utama dalam VSM.

Value stream mapping mengarah pada spesifik perusahaan yang menambahkan nilai untuk produk atau layanan yang dipertimbangkan dan diperlukan untuk memetakan antara *inter- and intra-company value-adding streams* (Womack & Jones, 1997). Tingkat di mana nilai ditambahkan ke satu produk dari tahap bahan baku melalui pengiriman dan pengiriman ke pelanggan dan mengubah pandangan organisasi menuju perbaikan proses dibahas (Barker, 1994). VSM digunakan untuk itu memetakan jalur produksi yang menghasilkan berbagai jenis keluarga produk yang memiliki waktu pemrosesan yang berbeda dan waktu pengaturan untuk setiap langkah pemrosesan berbeda dari yang berbeda jumlah shift (Barker, 1994). Hal ini memberikan

pendapat bahwa kapan saja ada produk untuk pelanggan, maka pasti terdapat aliran nilai yang memiliki beberapa tantangan bergantung dengan melihat dan mengerjakannya. Hampir semua kegiatan bisnis dan diperluas ke hulu atau hilir. Alat yang ampuh ini tidak hanya menyoroti inefisiensi proses, transaksional dan ketidakcocokan komunikasi tetapi juga panduan tentang peningkatan (McDonald, Van Aken, & Rentes, 2002). Apa pun selain minimum jumlah peralatan, tenaga, bahan, bagian, ruang, dan waktu yang penting untuk menambah nilai pada produk tadi didefinisikan sebagai limbah.

Value stream mapping dapat digunakan sebagai pemetaan proses aliran kontinu, perbaikan proses apa yang dapat dilakukan, dan bagaimana menangani rangkaian produk yang berbeda saat memetakan operasi *workshop* (Singh et al., 2011). VSM merupakan standar dalam operasi bengkel kerja, semua informasi terkait harus dikumpulkan dari operasi terakhir ke operasi pertama, berbeda dengan sistem produksi lain di mana semua informasi dikumpulkan dari operasi pertama hingga terakhir, terakhir seperti di *workshop*, dengan operasi permintaan di masa depan tidak pasti, sehingga permintaan rata-rata pada tahun-tahun sebelumnya harus dipertimbangkan untuk memetakan rangkaian produk tertentu (Chitturi, Glew, & Paulls, 2007). Usulan memperoleh perbaikan kerangka kerja alternatif dan inovatif untuk aplikasi VSM terstruktur untuk produk yang membutuhkan aliran nilai nonlinier, dengan fase awal adalah analisis awal untuk mengidentifikasi jalur produksi yang lebih kritis. Setelah diidentifikasi jalur kritis, kemudian diberikan perbaikan yang mungkin dicari oleh perusahaan.

Ketika aliran nilai utama ditingkatkan, maka akan meningkatkan nilai kritis di jalur baru menjadi jalur kritis. Dengan demikian, analisis dilanjutkan secara iteratif hingga target optimum tercapai atau level WIP telah menurun di bawah level yang diinginkan (Braglia, Carmignani, & Zammori, 2006). Setiap industri harus menerapkan teknik VSM untuk menemukan titik pembuangan uang di neraca mereka dan juga menerapkan teknik ini untuk mengurangi biaya operasional. Hal ini juga dapat menghasilkan pengurangan dan menghilangkan waktu yang tidak bernilai tambah (*waiting*) dalam aliran nilai tertentu. VSM digunakan sebagai alat utama pada proses produksi untuk mengidentifikasi peluang dari berbagai teknik guna membedakan skenario sebelum dan sesudah secara rinci dikembangkan untuk menggambarkan kepada para manajer manfaat potensial seperti mengurangi waktu produksi dan mengurangi waktu tunggu (Singh et al., 2009). Manfaat potensial dari penggunaan VSM adalah mampu mengurangi waktu produksi dan waktu tunggu.

Besarnya nilai waktu produksi ataupun waktu tunggu dipengaruhi oleh beberapa permasalahan. Permasalahan tersebut kemudian dilakukan analisis lebih dalam untuk dapat

memperoleh akar penyebab masalah utama yang merupakan faktor dominan terjadinya waktu tunggu terlama pada perpindahan aliran proses. Beberapa usulan perbaikan diberikan namun, pada praktiknya tidak memberikan hasil yang signifikan dalam mengurangi waktu tunggu. Salah satu contoh perubahan sederhana pada industri manufaktur yang memiliki sistem produksi fabrikasi dengan produk logam yang dapat dilakukan adalah menyederhanakan alur kerja atau mengurangi aktivitas yang mengacu pada tingkat pelaksanaan praktik, dibandingkan dengan versi sebelumnya (Ansari, Fiss, & Zajac, 2010). Perubahan dalam menyederhanakan atau mengurangi alur kerja dapat menurunkan waktu proses fabrikasi. Penyederhanaan alur kerja bertujuan mengurangi rangkaian kerja yang seharusnya dapat digantikan dengan merubah rancangan/desain produk yang diprediksi akan memangkas waktu produksi. Rancangan produk yang diberikan berdasarkan dari sudut pandang pengurangan proses produksi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa, dengan menggunakan perancangan/desain produk yang diusulkan, maka proses produksi mengalami pemangkasan aktivitas guna memperoleh proses yang lebih singkat dan sederhana.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan mengenai latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas adalah apakah dengan mengurangi waktu tunggu dapat memberikan sebuah proses produksi yang lebih singkat dan biaya yang lebih murah, serta mampu memberikan perancangan ulang proses produksi dengan memberikan perbandingan antara *actual process* dengan ketika dilakukannya perbaikan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi aliran aktivitas pada proses produksi dan memberikan usulan perbaikan pada proses yang memiliki waktu tunggu terlama.
2. Memberikan sebuah representasi pengurangan aktivitas berdampak pada perancangan ulang proses produksi agar memperoleh proses yang lebih singkat dan sederhana serta biaya yang lebih murah.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diperoleh dengan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui aktivitas proses produksi pada saat dilakukannya proses produksi *shell.*

2. Memberikan sebuah prediksi perbaikan proses dengan melakukan perancangan ulang proses produksi agar memperoleh proses yang lebih singkat dan sederhana serta biaya produksi yang lebih rendah.

1.5 Asumsi penelitian

Asumsi penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian dilakukan pada saat proses fabrikasi (*operation time*) berjalan normal, mesin tidak rusak.

1.6 Batasan Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan memiliki ruang lingkup yang dilakukan pada proses produksi. Ruang lingkup tersebut memberikan beberapa batasan agar penelitian ini lebih fokus terhadap tujuan yang telah dijelaskan sebelumnya. Adapun batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Observasi dan pengambilan data dilakukan mulai dari bulan Juli 2018 sampai dengan bulan Desember 2018.
2. Data waktu yang digunakan, merupakan data yang diambil dengan satu kali pengukuran.
3. Biaya yang digunakan adalah biaya tenaga kerja langsung pada proses inti produksi serta harga material dan *filler metal* pada masing-masing usulan perbaikan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang mendasari dilakukannya penelitian, rumusan masalah yang diajukan, tujuan penelitian, manfaat, asumsi dan batasan penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang kajian pustaka yang diperoleh dari buku yang dijadikan acuan dan jurnal terkait mengenai pengertian umum, dasar hukum, dan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pembahasan untuk melakukan pengolahan data.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah penelitian berupa *flowchart* yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian sehingga penelitian dapat berjalan secara sistematis, sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi rekapitulasi data serta pengolahan data yang diperoleh berdasarkan studi lapangan dan sesi wawancara dengan pihak responden pada perusahaan dan objek amatan. Pengolahan data dilakukan perhitungan biaya dan waktu menggunakan data yang diperoleh dari perusahaan. Biaya untuk konsep usulan perbaikan diperoleh dari rata-rata kecepatan berdasarkan *welding procedure specification* untuk metode yang akan diusulkan.

BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini berisi analisa dari hasil pengamatan, pengumpulan dan pengolahan data informasi lapangan yang telah diperoleh.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang rincian kesimpulan dari keseluruhan hasil yang telah didapatkan dengan menjawab tujuan penelitian dan juga saran yang dapat dilakukan pada penelitian yang akan datang.

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka di gunakan beberapa landasan teori terkait dengan rumusan masalah yang diangkat sebagai landasan pemahaman dalam penelitian ini.

2.1 Proses Manufaktur

Manufaktur berasal dari kata "*manusfactus*" yang memiliki arti dibuat dengan tangan (R. Singh, 2006). Namun, dengan adanya perkembangan jaman, hal tersebut mengalami perubahan. Pembuatan sebuah produk tidak hanya dilakukan mengggunakan tangan tetapi dengan memanfaatkan alat-alat, mesin atau bahkan *computer*.

Proses manufaktur merupakan suatu proses pembuatan produk dimulai dari bahan baku sampai barang jadi atau belum sepenuhnya jadi, dengan atau tanpa penambahan proses. Proses manufaktur adalah aplikasi proses fisik dan kimia untuk mengubah geometri, sifat, dan / atau tampilan dari bahan awal yang diberikan untuk membuat bagian atau produk, manufaktur juga termasuk perakitan beberapa bagian untuk membuat produk (Groover, 2016). Proses manufaktur merupakan salah satu bagian dari proses produksi yang secara langsung berkaitan dengan perubahan bentuk atau dimedari bagian yang dihasilkan. Proses tersebut tidak tergolong pada transportasi, *material handling*, *inventory*.

Pada dasarnya, sebuah proses manufaktur terdiri dari 2 bagian utama, yakni: pengolahan dan perakitan (Gupta, 2009). Setiap proses bergantung pada materialnya masing-masing. Dalam hal ini, dapat di contohkan pada material berbahan logam. Material berbahan logam memiliki beberapa proses manufaktur yang dikelompokkan menjadi: *casting process*, *the process of formation*, c*utting process*, *assembly process*, *physical treatment process*, *final work process / inspection* (R. Singh, 2006).

Casting process adalah pembuatan *part* produk dengan memanaskan logam *ferrous* atau *non-ferrous* yang dapat berupa logam murni atau paduan di atas titik leburnya sampai menjadi cair kemudian menuangkan cairan / paduan tersebut kedalam rongga dengan bentuk dan ukuran yang sama dengan spesifikasi yang diminta. Setelah logam cair mendingin dan mengeras, maka akan membentuk dan menyerupai produk jadi yang diperlukan. Pada proses ini memerlukan cetakan untuk menampung dan membentuk logam cair. Cetakan yang digunakan harus memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari cairan logam, misalnya adalah pasir atau *ceramic*.

The process of formation adalah salah satu usaha mekanis dalam mengubah material logam atau paduan dengan memberikan gaya mekanis sehingga bentuk dan ukuran logam mengalami perubahan. Proses ini hanya dapat dilakukan jika logam memiliki struktur yang cukup lunak, ulet dan dapat mengelami fase deformasi plastis selama prosesnya. Demi mendapatkan material yang cukup lunak dapat dengan memanaskan benda kerja terlebih dahulu. *Process of formation* memiliki keuntungan dalam meningkatkan *mechanical properties* pada logam seperti misalnya pada *ultimate tensile strength, wear resistance, hardness* dan *yield point* tetapi juga dapat menurunkan *ductility* (ulet) benda kerja.

Cutting process adalah cara mengubah dimensi benda kerja atau material dengan membelah atau mengurangi perlahan apabila material yang digunakan berupa logam atau logam paduan. Pengurangan dimensi benda kerja secara perlahan menggunakan pahat yang terdapat pada mesin bubut (*lathe*), mesin freis (*milling*), atau gergaji besi (*sawing*). Penggunaan mesin bergantung pada kebutuhan dan bagaimana proses pemotongan diinginkan. Pahat yang digunakan harus mampu membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran objek tertentu tercapai. Material sisa yang sudah dipotong disebut "geram". Kecepatan pergerakan pahat yang melakukan pemotongan mempengaruhi kecepatan pengurangan benda kerja dan pembaungan geram.

Proses manufaktur selanjutnya adalah *assembly process.* Proses menempatkan setiap *parts* secara bersamaan untuk membentuk sebuah produk, sehingga dapat melakukan fungsi yang diinginkan, dikenal sebagai proses *assembly*. Kumpulan beberapa *parts* mungkin memerlukan beberapa bagian tambahan untuk digabungkan bersama menggunakan berbagai proses penyambungan. Secara general, proses ini digunakan dalam pekerjaan fabrikasi. Pada proses fabrikasi, terdapat proses dimana dua atau lebih potongan bagian logam digabungkan secara bersama untuk menghasilkan bentuk dan ukuran produk yang diinginkan. Proses penggabungan dilakukan dengan menyatukan menggunakan tekanan, atau tanpa tekanan sehingga ujung bagian yang akan di-*assembly* meleleh kemudian kedua ujung disatukan. Proses-proses ini digunakan untuk merakit bagian-bagian logam dan dalam pekerjaan fabrikasi umum. Salah satu contoh teknik yang digunakan pada metode ini adalah pengelasan (*welding*).

Physicical treatment process merupakan salah satu rangkaian proses pada *secondary machining process*. Pada proses ini dilakukan karena beberapa *parts* memerlukan pemrosesan yang lebih rinci dan presisi. Proses ini dilakukan dengan mengurangi sedikit permukaan atas benda kerja menggunakan alat pemotong/ pahat yang terdapat pada mesin yang berputar, misalnya *turning* dan *milling.*

Setelah seluruh rangkaian proses manufaktur dilakukan, proses *checking / final inspection* perlu dilakukan guna memastikan bahwa produk telah benar-benar siap melakukan fungsinya. Sebuah produk diproduksi guna memiliki spesifikasi terhadap sebuah dimensi dan fungsi nya. *Inspection* bertujuan memastikan bahwa produk tersebut telah sesuai dengan *spesifikasi* yang di syaratkan serta memiliki kualitas yang yang baik. Kegiatan inspeksi seharusnya dilakukan pada seluruh rangkaian proses agar memastikan bahwa produk tidak memiliki cacat sehingga mudah dilakukan perbaikan pada *parts* yang memiliki cacat

2.2 *Value Stream Mapping* (VSM)

Value stream mapping merupakan salah satu metode yang digunakan pada *lean manufacturing* untuk memetakan aliran aktivitas produksi. *Value stream* adalah aliran utama semua aktivitas baik *value added* dan *non value added activity* yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk, yaitu aliran produksi dari *raw material* hingga ke tangan konsumen dan aliran desain dari konsep sampai *launching* produk (Rother & Shook, 2003). VSM merupakan metode yang menggambarkan proses *actua*l untuk memproduksi barang dengan memetakan baik aliran material dan juga aliran informasi pada semua level, tidak hanya pada proses produksi tetapi juga mencakup *supplier* dan konsumen (Rother & Shook, 2003).

VSM memberikan gambaran nyata yang digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai didalam perusahaan. Seperti yang dapat disimpulkan dari Rother & Shook (2003) beberapa keuntungan dari VSM adalah sebagai berikut :

a. Untuk membantu industri manufaktur dalam usaha melakukan visualisasi lebih dari sekedar level proses tunggal.
b. Pemetaan membantu industri mengidentifikasi *waste* yang terjadi, namun juga sumber penyebab *waste* yang terdapat dalam aliran aktivitas produksi
c. Sebagai dasar dari rencana implementasi, dengan membantu perusahaan merancang bagaimana keseluruhan aliran *door-to-door*.

Value stream mapping memiliki beberapa fase. Fase pertama adalah identifikasi harapan pelanggan. Untuk dapat mengidentifikasi keinginan pelanggan adalah mengetahui rangkaian produk yang dapat dilakukan dengan menggunakan matriks proses yang kemudian diklasifikasikan dengan langkah-langkah proses serupa untuk produk yang berbeda atau dengan memilih produk yang menggunakan volume tertinggi. Setelah memilih rangkaian produk, langkah selanjutnya adalah menggambar peta keadaan saat ini untuk mengambil snapshot tentang bagaimana aliran yang terjadi. Pada setiap proses, semua informasi penting termasuk waktu

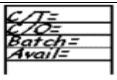
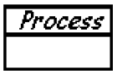
tunggu, waktu siklus, waktu penggantian, tingkat persediaan, dll. Didokumentasikan. Level inventaris pada peta harus sesuai dengan level pada saat pemetaan aktual dan bukan rata-rata karena penting untuk menggunakan angka aktual daripada rata-rata historis yang disediakan oleh perusahaan.

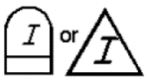
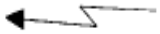
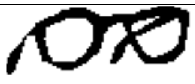
Selanjutnya pada tahapan kedua yang merupakan *information flows,* dimana pada fase ini ditambahkan aliran informasi yang terdapat pada proses yang ditinjau. Diberikan sebuah alur yang menunjukkan bagaimana setiap proses mengindikasikan aktivitas kerja yang ada. Aliran informasi diambil dari kanan ke kiri pada peta dan terhubung ke aliran material yang sebelumnya digambar. Setelah peta selesai, garis waktu diambil di bawah kotak proses untuk menunjukkan waktu produksi, yang merupakan waktu yang dihabiskan produk tertentu di lantai toko sejak kedatangan hingga selesai. Pada langkah kedua waktu nilai tambah kemudian ditambahkan. Waktu ini mewakili jumlah waktu pemrosesan untuk setiap proses.

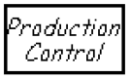
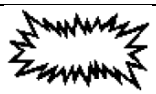
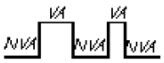
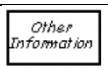
Fase ketiga adalah aliran fisik yang berasal dari dan keluar perusahan, seperti misalnya pada pengiriman *raw material* dari *supplier.* Fase keempat adalah hubungan antara aliran fisik dengan aliran informasi seperti rencana material atau rencana produksi yang kemudian di turunkan menjadi pemicu adanya aliran fisik dan sebaliknya. Pada fase ini, rencana produksi diuraikan menjadi jadwal produksi harian, sehingga dapat menjadi panduan untuk pemindahan material misalnya, hasil kegiatan inspeksi material akan memberikan informasi tentang *reject rate.* Informasi ini akan masuk ke bagian perencanaan material sehingga bisa digunakan sebagai dasar untuk memperbaiki atau membuat rencana baru (Zendy, 2011). Fase terakhir adalah fase melengkapi *value stream mapping* dengan informasi *lead time* dan *value adding time* dari keseluruhan proses.

VSM menggunakan symbol-simbol agar memudahkan visualisasi seluruh proses bisnis pada peta VSM. Tabel 2.1 dibawah ini merupakan simbol-simbol yang digunakan dalam peta VSM.

Tabel 2. 1 Simbol-simbol pada Peta VSM

Simbol	Nama	Keterangan
	*Data Box*	Kolom informasi aktivitas
	*Dedicated Process*	Proses, operasi, mesin atau departemen di terdapat aliran material
	Shared Process	Proses, operasi, mesin atau departemen di mana saling berbagi dengan *value stream* yang lain.

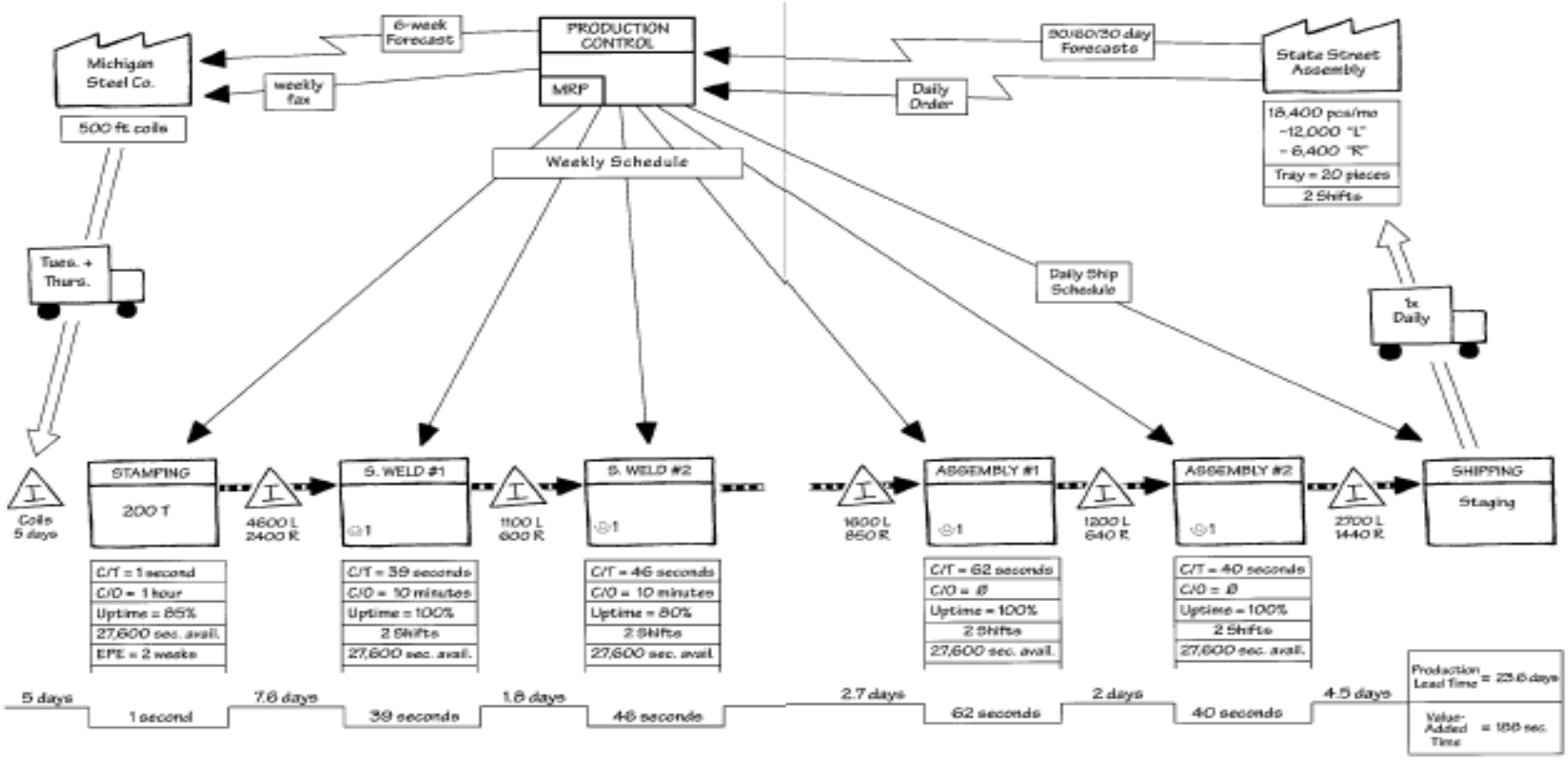
	Workcell	Indikasi dari multi operasi yang terintegrasi dalam *workcell*
	Supermarket	Persediaan yang sedikit tersedia dan operasi-operasi di bawahnya akan datang untuk mengambil sesuai dengan yang dibutuhkan.
	*Inventory*	Menunjukkan persediaan antara dua proses. Juga untuk persediaan *raw material* dan barang jadi.
	FIFO *Lane*	*First-In-First-Outinventory* dengan maksimum persediaan.
	Production Kanban	Sinyal untuk proses sebelumnya untuk menyediakan lebih lagi ke proses di bawahnya.
	Material Pull	Supermarket terhubung ke operasi di bawahnya dengan aliran *pull*.
	Outside Source	Representasi dari *supplier* dan konsumen.
	External Shipment	Pengiriman dari pemasok ke konsumen dengan transportasi luar.
	*Elektronik Info*	Aliran informasi secara elektronik.
	Push Arrow	Menunjukkan aliran *push*.
	Shipments	Menunjukkan pergerakan dari *raw material* dari pemasok dan di tempat pengiriman ke konsumen.
	Safety Stock	Digunakan untuk persediaan yang berfungsi sebagai penahan terhadap masalah sehinnga tidak terjadi kekurangan stok.
	*Go See*	Pengumpulkan informasi dengan melihat langsung.
	Manual Info	Aliran informasi secara manual, dapat berupa memo, laopran, dan percakapan.
	Operator	Menandakan pekerja.

	Withdrawal Kanban	Menginstruksikan operator untuk pergi ke supermarket dan mengambil barang yang dibutuhkan.
	Signal Kanban	Digunakan untuk level persediaan antara dua proses telah mencapai nilai minimum.
	Kanban Post	Lokasi di mana sinyal kanban diletakkan.
	Mrp/Erp	Penjadwalan dengan sistem.
	*Production Control*	Pusat penjadwalan dan kontrol.
	Kaizen *Burst*	Menandakan perencanaan perbaikan dan rencana untuk mencapai *future state*.
	*Timeline*	Menunjukkan waktu siklus dan waktu menunggu
	Verbal Information	Aliran informasi verbal.
	*Other*	Informasi lainnya yang mungkin berguna.

(Sumber: Rother & Shook, 2003)

Tabel 2.1 diatas merupakan symbol-simbol yang digunakan pada *value stream mapping.* Penggunaan symbol tersebut bergantung pada setiap proses produksi.

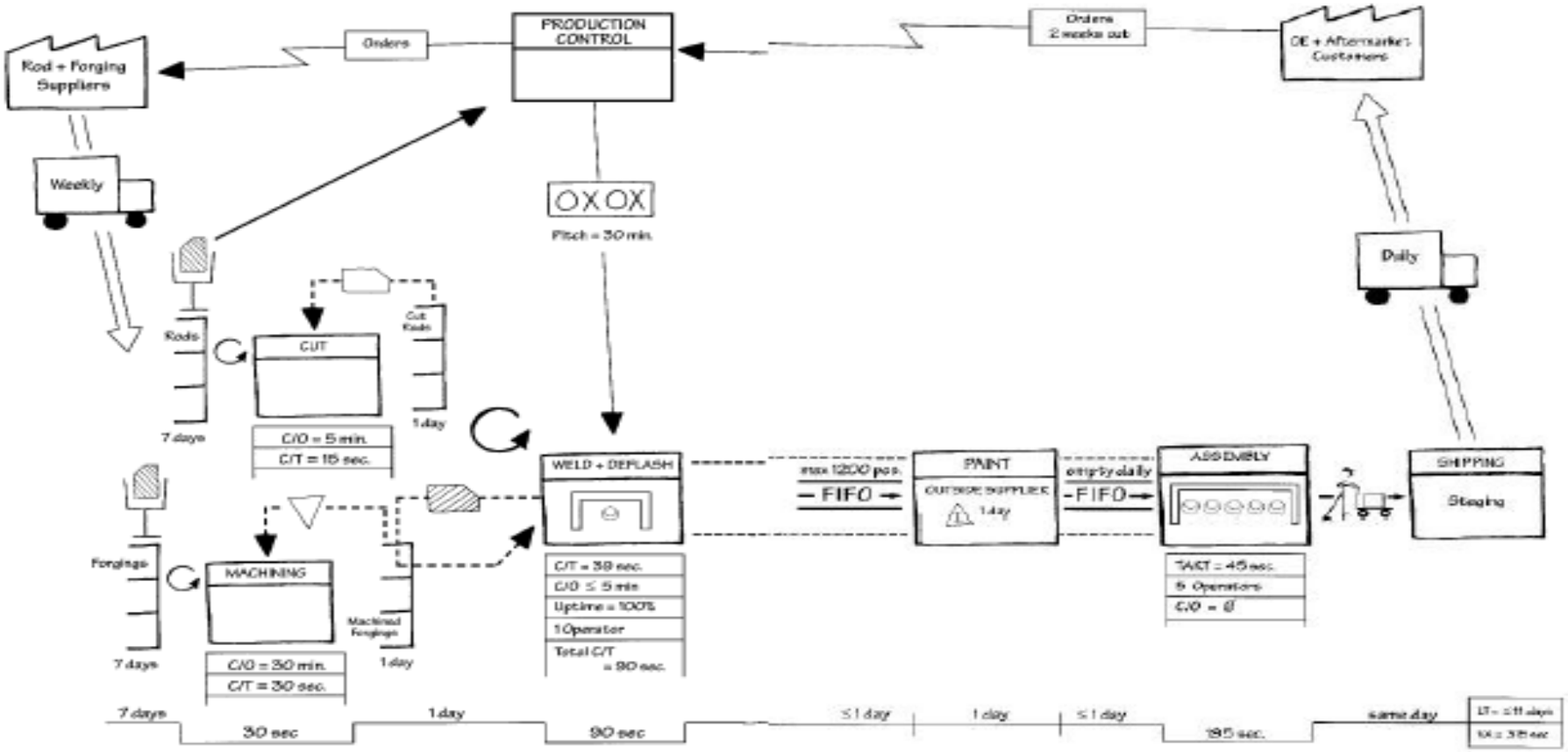
Value stream mapping memiliki dua tipe, yakni: *current state map* dan *future state map*. *Current state map* berfungsi untuk menentukan kondisi lantai produksi *actual* yang terjadi, sehingga dapat mengidentifikasi jenis *waste* yang terjadi. *Current state* VSM dapat memberikan kemungkinan untuk memetakan keseluruhan aliran, sehingga dapat mengidentifikasi dan memprioritaskan area atau proses yang akan dilakukan perbaikan. Daftar informasi yang diperlukan pada saat memetakan *current state mapping* adalah *Cycle Time* (C/T) yang merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk setiap part pada setiap proses yang telah selesai dilakukan, *Change-over Time* (C/O) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menganti produksi dari satu tipe ke tipe lainya, *uptime* adalah persentase waktu dimana mesin atau proses dititik *available* untuk *demand*, EPEI adalah ukuran *batch* yang ditulis dalam bentuk waktu, jumlah operator yang terlibat dalam aliran aktivitas produksi, jumlah variansi produk, *pack size* adalah jumlah item dalam sekali antar, waktu kerja atau *operation time* diluar waktu istirahat, *scrap rate* jumlah *scrap* yang terjadi pada aktivitas tersebut. Untuk mengetahui pemetaan dengan *current state map,* dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 *Current State Map*

(Rother & Shook, 2003)

Tipe selanjutnya adalah *future state map* yang merupakan proses pengembangan dari rencana implementasi perbaikan untuk mengurangi atau menghilangkan *waste* yang terdapat pada aktivitas yang mengalami *waste.* Identifikasi area yang perlu dilakukan perbaikan meliputi pengurangan waktu siklus, pengurangan *set-up*, mengurangi *batch*, meningkatkan kualitas kinerja, perubahan jadwal pengiriman dan penerapan kanban. Gambar 2.2 mengambarkan proses *future state map* VSM.



Gambar 2. 2 *Future State Map*

(Rother & Shook, 2003)

2.3 *Fish Bone Diagram*

Fish bone diagram atau diagram Ishikawa adalah sebuah diagram yang digunakan dalam perencanaan suatu produk untuk mencegah terjadinya cacat atau penurunan kualitas, dengan mengidentifikasi hubungan antara karakteristik mutu dan faktor penyebab terjadinya cacat potensial yang memiliki dampak tertentu. Diagram ini membantu dalam memecahkan suatu masalah dan fokus pada akar utama penyebab masalah itu sendiri. Dengan alat bantu ini maka kita akan dapat menjawab pertanyaan *what cause the problem*. Penyebab-penyebab tersebut biasanya dikelompokkan dalam kategori utama untuk mengidentifikasi sumber-sumber variasi tersebut. Langkah-langkah dalam membuat *fish bone diagram* adalah menyepakati pernyataan masalah utama yang akan dilakukannya perbaikan, mengidentifikasi kategori-kategori penyebab, menemukan sebab-sebab potensial dengan cara *brainstorming*, mengkaji dan menyepakati penyebab yang paling mungkin terjadi. Kategori-kategori utama ini biasanya berupa:

1. Manusia

   Semua sumber daya manusia yang ikut dalam proses tersebut, termasuk juga pelanggan, *supplier*, pengusaha, pemerintah, karyawan, pemilik saham, masyarakat sekitar dan sebagainya.

2. Metode

   Sumber penyebab terjadinya masalah pada metode adalah bagaimana proses aliran produksi berjalan dan beberapa hal yang perlu menjadi perhatian sebelum dilakukannya proses produksi harus diperhatikan. Misalnya adalah penggunaan prosedur dan aturan kerja.

3. Mesin

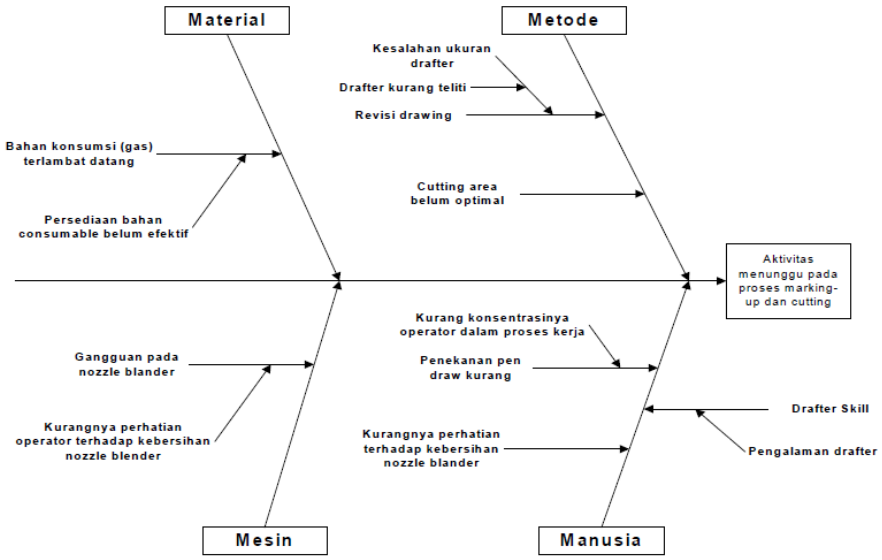
   Segala sesuatu yang menjadi menyebabkan kegagalan pada saat penggunaan mesin. Misalnya pada kerusakan mesin yang terjadi akibat tidak pernah dilakukan *maintenance*.

4. Material

   Bahan baku yang digunakan dalam proses produksi (barang atau jasa) biasanya juga berupa informasi atau data dari semua jenis bahan yang digunakan.

5. Lingkungan

   Lingkungan juga sangat mempengaruhi kinerja pekerja atau karyawan, kondisi kerja yang nyaman dan kondusif akan menghasilkan kinerja yang baik. Kondisi lingkungan seperti lokasi, waktu, temperatur, dan kultur dimana proses beroperasi. Lingkungan dapat dikategorikan dalam lingkungan fisik (suasana kerja) atau lingkungan manajemen (psikis). Salah satu contoh pemetaan *fish bone diagram* pada proses *marking* dan *cutting* terdapat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



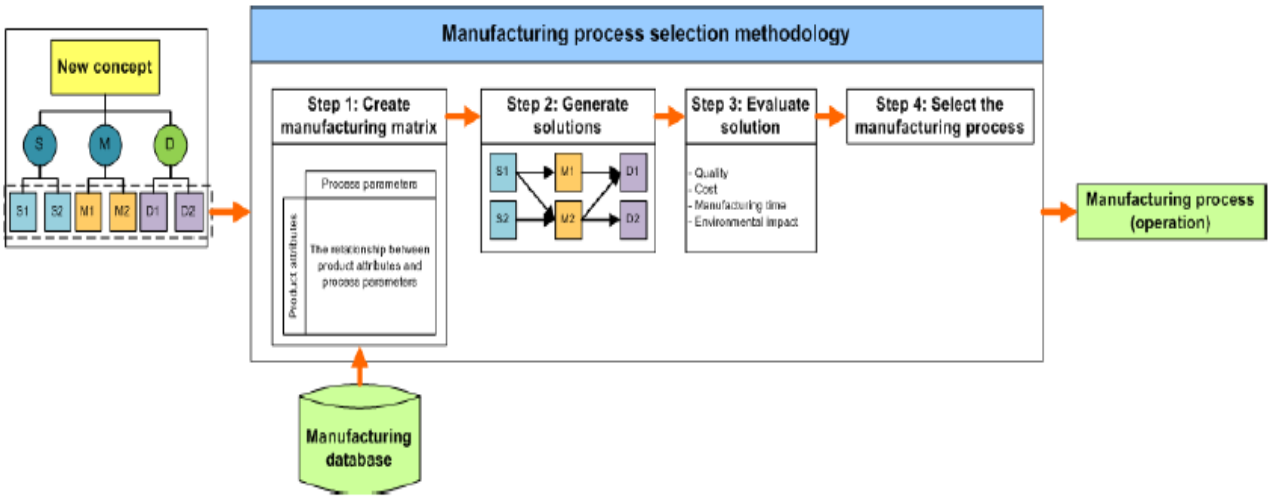
Gambar 2.3 *Fish Bone Diagram Marking dan Cutting Process*

(Nuruddin, Setyanto, & Soenoko, 2013)

Gambar 2.3 diatas memberikan contoh akar penyebab masalah yang terjadi pada proses *marking* dan *cutting* pada industri fabrikasi logam. Misalnya pada kategori manusia, penyebab kesalahan dlam melakukan proses *marking* adalah *drafter skill* yang dipengaruhi oleh pengalaman manusia tersebut dalam membaca gambar teknik.

2.4 *Manufacturing Matrix*

Pemilihan proses manufaktur sering melibatkan pertimbangan penggabungan yang kompleks antara karakteristik desain, bahan dan proses dengan pendekatan yang paling tepat untuk pemilihan selama desain teknik tergantung pada konteks desain itu sendiri (Shercli & Lovatt, 2001). Sebuah kemampuan memodifikasi pola pergerakan sesuai dengan karakteristik aktivitas manufaktur yang diilustrasikan dengan mempertimbangkan klasifikasi untuk bahan dan proses, yang menunjukkan bagaimana hal tersebut dapat dikombinasikan pada berbagai tingkat detail (Shercli & Lovatt, 2001). Gambar 2.4 dibawah ini merupakan metodologi untuk melakukan seleksi proses *manufacturing.*



Gambar 2.4 Metodologi Seleksi Proses *Manufacturing*

(Kongprasert & Butdee, 2015)

Atribut produk dan parameter proses dipetakan bersama pada matriks yang disebut matriks manufaktur. *Manufacturing matrix* diberikan untuk dapat mengevaluasi hubungan antara proses pembuatan setiap atribut produk dengan parameter proses, selain itu dapat membantu *designer* memutuskan untuk memilih proses manufaktur yang cocok sehingga mendapatkan beberapa keuntungan. Gambar 2.5 berikut ini adalah contoh *manufacturing matrix leather bag.*

			Process parameters																	
						Quality				Cost (Baht)		Environmental Impacts								
												Raw Mat.	Manufacturing		EOL				
			Process route	Machine usage	Raw material area (cm2)	Soft	Strong	Straight	Time (min)	Material	Labor	Water consumption (litre)	Energy Consumption (kWh)	Toxic emission (g)	Dissassembly	Separate	Existing recycling process	Recover
Product attribute	Handle tab (HT)	HT1	Cut leather	yes	120	3	4	5	0.5	180	2.5	1.116	0.00625		2	3	1	2
			Splitting	yes					1		5		0.05					
			Skiving	yes					1		5		0.0125					
			gluing	no					1		5			13.33				
			Folding Edge	no					5		25							
			Assembly with ring	no					1	30	5							
			Stitching	yes					3		15		0.0375					
		HT2	Cut leather	yes	88	4	4	5	0.5	132	2.5	0.8184	0.00625		2	2	1	2
			Splitting	yes					1		5		0.05					
			gluing	no					1		5			13.33				
			Assembly with ring	no					1	30	5							
			Stitching	yes					3		15		0.0375					
			Painting	no					3		15			84.52				

Gambar 2. 5 *Manufacturing Matrix Leather Bag*

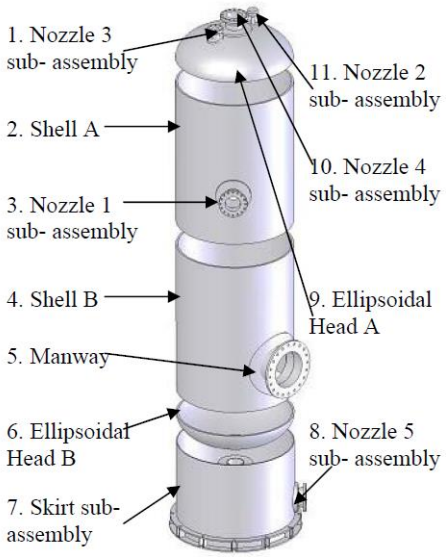
(Kongprasert & Butdee, 2015)

Struktur matriks manufaktur terdiri dari tiga bagian berbeda: atribut produk (vertikal), parameter proses (horizontal) dan hubungan antara atribut produk dan parameter proses. Kolom utama untuk parameter proses didorong oleh empat kriteria yang membuat kinerja manufaktur: kualitas, waktu, biaya, dan dampak lingkungan. Masing-masing dicirikan oleh indikator yang

ditentukan di bagian sebelumnya, yang mengarah pada indikator yang dituju untuk dapat dilakukan perkiraan. Dua kolom ditambahkan untuk lebih mudah menghitung antara interaksi dan nilainya: penggunaan mesin dan area bahan baku. Setiap interaksi dari matriks pusat mewakili nilai yang terkait dengan hubungan antara langkah proses atribut produk dan parameter proses. Estimasi atau perhitungan ini menggunakan berbagai metode dan teknik, misalnya observasi langsung dari database industri terkait, ekstraksi data kemudian reformulasi, nilai *quality* berdasarkan keahlian dari *expertis.*

2.5 *Pressure vessel*

Pressure vessel merupakan salah satu produk yang diproduksi berdasarkan desain *engineering calculation*, yakni *pressure vessel* atau bejana tekan. *Pressure Vessel* atau bejana tekan adalah tabung atau wadah tertutup yang dirancang untuk menampung cairan atau gas bertekanan pada temperatur yang berbeda dari temperatur lingkungan. Penggunaan bejana tekan untuk berbagai macam aplikasi di sektor industri seperti industri kimia *(petrochemical plant)*, energi *(power plant)*, minyak dan gas *(oil and gas)*, nuklir, makanan, bahkan sampai pada peralatan rumah tangga seperti *boiler* pemanas air atau *pressure cooker*. Di sektor industri, bejana tekan dirancang untuk pengoperasian yang aman pada tekanan dan temperatur tertentu secara teknik mengacu pada *design pressure* dan *design temperature*. Gambar 2.6 dibawah ini merupakan salah satu bentuk *pressure vessel* dan bagian – bagiannya.



Gambar 2. 6 Bagian-bagian *Pressure Vessel*

(K.Sopian, 2008)

Gambar 2.6 diatas merupakan desain dari *vertical pressure vessel. Pressure vessel* memiliki 2 komponen utama, yaitu: *head* dan *shell.* Komponen utama pembentuk *pressure vessel* ini

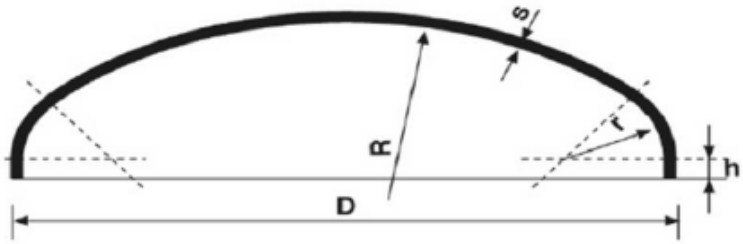
merupakan produk *family* dari *pressure vessel*, dimana merupakan produk yang dapat memenuhi kebutuhan inti dan memiliki tingkat efektivitas pemenuhan kepuasan pelanggan. Komponen bejana tekan terdiri dari beberapa bagian seperti:

1. Kulit *(shell)*

Shell adalah bagian dari *vessel* yang berbentuk silinder yang menyelubungi dari *vessel* itu sendiri dan dapat menahan tekanan dari dalam maupun luar. Tebalnya dinding tergantung dari hasil perhitungan dan dari karakteristik fluida yang akan diproses didalam bejana tekan tersebut,dimana dinding bejana tekan terbuat dari plat baja yang di roll di bentuk menjadi suatu diameter lingkaran yang berbentuk tabung, pada ujung-ujung arah horizontal disambungkan dengan cara pengelasan.

2. Kepala bejana tekan *(head)*

Penggunaan *head* pada penelitian ini mengacu pada *historical data.* Bentuk *head* yang digunakan adalah bentuk *ellipsoidal head.* Jenis *head* ini merupakan jenis yang sering digunakan dalam *pressure vessel.* Tutup bejana bentuk *elliptical* dihasilkan dengan perbandingan *axis mayor* (R) dan *minor* (r) adalah 2:1 sehingga kekuatan tutup mendekati sama dengan kekuatan pipa *shell* silinder yang sesuai dengan diameter dalam dan diameter luarnya. Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan letak perbandingan *axis mayor* (R) dan *minor* (r) pada *ellipsoidal head*:



Gambar 2. 7 *Ellipsoidal Head*

(Moss, 2004)

3. Lubang orang untuk *maintenance (manhole)*

Lubang orang yaitu lubang yang berfungsi untuk keluar masuknya orang untuk membersihkan atau melakukan *maintenance*. Besar dan ukuran dapat ditentukan sesuai ukuran badan orang dewasa yaitu sekitar 20”-24” atau sekitar 500mm-600mm untuk diameter lubangnya, untuk rating ditentukan sesuai dengan rating dari *nozzle inlet* atau *outlet* dari bejana tekan yang akan direncanakan.

4. Nosel-nosel *(nozzles)*

Nozzle merupakan sebuah mekanisme koneksi antara *vessel* dengan *piping*. Pada dasarnya *nozzle* merupakan saluran yang dihubungkan dengan penyambung, yang disebut *flange.* Jenis

nozzle berdasarkan pada kegunaannya dan aliran proses produksi yang berada di dalam *pressure vessel*. Beberapa jenis *nozzle* misalnya sebagai masuknya *crude oil* yang disebut dengan *inlet*, dan hasil dari proses yang akan dilanjutkan untuk proses selanjutnya melalui saluran *nozzle* yang disebut *outlet.* Beberapa *nozzle* juga berfungsi sebagai penahan aliran pada saat proses yang terjadi di dalam *vessel.*

2.6 Proses Pengelasan Logam

Pengelasan adalah proses sambungan termal di mana tepi logam induk yang akan bergabung dilebur dan menyebabkan material menjadi fusi (menyatu) dengan atau tanpa menggunakan *filler metal* (bahan isi metal) yang merupakan batang baja tipis atau kawat dengan komposisi yang mirip dengan logam induk yang disatukan, biasanya berlapis tembaga sehingga tidak berkarat (Timings, 2008). Salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas (Suratman, 2001). Pengelasan tidak hanya digunakan untuk menyambung dua atau lebih bagian, tetapi juga untuk meningkatkan mutu permukaan seperti pengerasan (*hardening*), pelapisan, pengerasan permukaan (*hard facing*) atau penyemprotan (*spraying*) teknik/cara tersebut juga dianggap sebagai pengelasan, dan digunakan untuk memperbaiki bagian yang aus atau rusak, atau untuk membuat bagian-bagian tersebut tahan aus, untuk memperpanjang umur atau penghematan material, khususnya pada bagian-bagian mesin dengan material baja, teknik sipil dan konstruksi termasuk konstruksi kapal laut (Sunaryo, 2008).

Material yang digunakan pada saat pengelasan harus dipastikan bersih dari gas (oksigen atau nitrogen), uap, pasir, oli atau minyak yang menyebabkan kegagalan saat melakukan pengelasan. Pengelasan memiliki kekuatan pengikat / sambungan yang sempurna dibandingkan dengan metode *assembly* lainnya, misalnya paku keeling, mur dan baut. Metode pengelasan memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan matode *assembly* lainnya. Tabel 2.2 dibawah ini merupakan kelebihan dan kekurangan pengelasan.

Tabel 2. 2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Pengelasan

No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Bentuk geometri sederhana dari bagian yang disambung, memungkinkan penurunan biaya dan berat material, waktu proses *assembly*, meningkatkan nilai ekonomis dan produktivitas.	Kualitas logam las berbeda dengan logam induk, dan kualitas dari logam induk pada daerah yang tidak terpengaruh panas ke bagian logam las berubah secara kontinyu.
2	Effisiensi sambungan yang baik (kekuatan dari sambungan las dan logam induk) dapat digunakan pada temperatur tinggi dan	Terjadinya distorsi dan perubahan bentuk (deformasi) disebabkan oleh pemanasan yang menyebabkan pemuaian dan pendinginan cepat yang menyebabkan penyusutan.

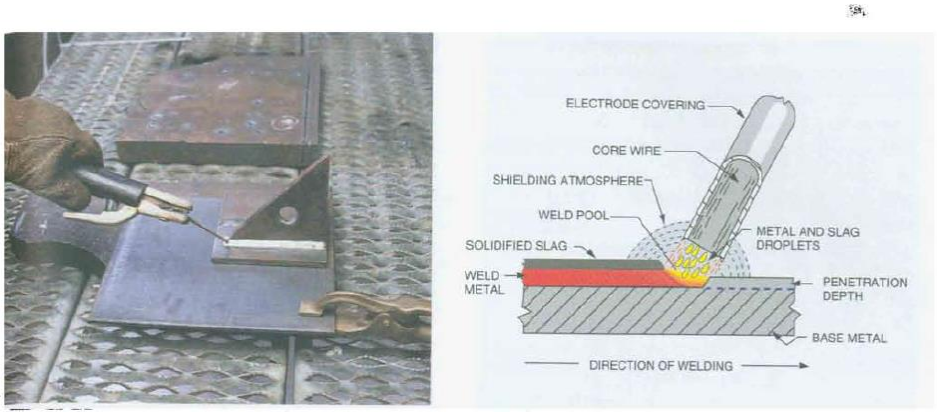
	tidak ada batas ketebalan logam induk.	
3	Geometri sambungan lebih sederhana dengan tingkat kekedapan terhadap udara, air dan minyak lebih sempurna.	Tegangan sisa termal dari pengelasan dapat menyebabkan kerusakan atau retak pada bagian las.
4	Fasilitas produksi lebih murah, berat yang lebih ringan dan batas mulur (*yield strength*) yang lebih baik.	Kerentanan terhadap retak rapuh dari sambungan las lebih besar dibandingkan dengan sambungan keling yang disebabkan metode konstruksi.
5		Bentuk yang kompleks dari daerah pengelasan menyebabkan konsentrasi tegangan dan akan sering mempercepat kerusakan.
6		Kerusakan bagian dalam sambungan las sukar dideteksi, jadi kualitas sambungan las tergantung pada ketrampilan tukang las.

(Sumber: Sunaryo, 2008)

Penggunaan metode las dipengaruhi beberapa hal, misalnya adalah kekuatan material induk terhadap *filler metal* serta polaritas metode yang digunakan. Material yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai *tensile strength* 490 Mpa, sehingga metode yang bisa digunakan adalah metode SMAW, FCAW, SAW dikarenakan metode tersebut memiliki karakteristik tegangan tarik (*tensile strength*) 490 Mpa. Pada sub-bab selanjutnya akan dijelaskan tiga metode pengelasan tersebut.

2.6.1 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Proses pengelasan SMAW merupakan suatu proses penyambungan dua logam dengan mencarikan logam pengisi (*electrode*) menggunakan panas yang ditimbulkan oleh lompatan ion listrik akibat adanya beda potensial antara katoda (ujung elektroda) dan anoda (permukaan plat yang akan dilas). Panas akibat lompatan ion listrik bekisar antara 4000^{o}- 4500^{o} C. Suhu tersebut mampu melelehkan besi dan mencairkan *electrode* yang kemudian membentuk satu cairan yang baru yang mengisi kampuh las (*weld metal*). Pada saat dilakukan pengelasan, tukang las harus menjaga agar busur las tetap baik dan konstan, serta lebar kampuh las yang baik adalah 2 kali diameter elektroda yang dipakai. Metode pengelasan biasa disebut sebagai metode *stick* dikarenakan *electrode* yang digunakan berupa *stick* Gambar 2.8 berikut ini merupakan proses pengelasan SMAW dengan menggunakan *electrode*.



Gambar 2. 8 Metode pengelasan SMAW dan Skema Detail Proses

(American Welding Committee & Society, 1994)

Gambar 2.8 diatas merupakan proses pengelasan dengan metode SMAW dengan menggunakan *electrode*. Jika *electrode* habis, maka *welder* (tukang las) mengganti dan memasang lagi *electrode* tersebut. Metode ini merupakan metode pengelasan yang masih sepenuhnya manual dilakukan oleh *welder*. Kegiatan mengganti dan memasang *electrode* membuat metode ini memiliki waktu yang lebih lama dari metode lainnya.

Electrode SMAW

Electrode SMAW merupakan *electrode* yang menggunakan *flux* pelindung. *Flux* memiliki fungsi sebagai pembentuk gas yang akan keluar pada saat terjadinya lompatan ion listrik sehingga dapat melindungi *filler metal* dari kontaminasi udara luar. Sebagian besar *electrode* las SMAW dilapisi oleh lapisan flux, yang berfungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekelilingnya. Selain itu *flux* berguna juga untuk membentuk terak las yang juga berfungsi melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan *electrode* ini merupakan campuran kimia yang komposisisnya sama dengan metalurgi dari *plate* yang digunakan.

Electrode dilambangkan dengan huruf E dan diikuti empat atau lima digit dibelakangnya misalnya sebagai berikut E xxxx (x) (American Welding Committee & Society, 1994). Dua atau tiga digit pertama menunjukan kekuatan tarik hasil las, tiga digit menunjukan kuat tarik lebih dari 100.000 psi sedangkan dua digit menunjukan kuat tarik hasil lasan kurang dari 100.000 psi. Salah satu contoh untuk *electrode* yang sering digunakan adalah merk ESAB tipe 7018.

Kawat Las (*electrode*) ESAB WELD 7018 memiliki diameter 3,2 mm adalah kawat las umum untuk pengelasan dengan sumber listrik AC/DC serta cocok untuk pengelasan baja ringan dan paduan rendah. *Electrode* tersebut memiliki sifat las yang sangat baik dan deposit logam las berkualitas tinggi dengan sifat mekanik yang sangat baik. Spesifikasi kawat las SMAW dapat dilihat pada Tabel 2.53 spesifikasi SMAW.

Tabel 2. 3 Spesifikasi SMAW

Spesifikasi: SFA/AWS A5.1	*Yield Strength: 480 MPa*
Klasifikasi: E7018	*Tensile Strength: 560 MPa*
Diameter: 3,2 mm	*Elongation: 28%*
Panjang: 350 mm	*Welding Ampere DC / AC (A): 90 - 155*
Isi Packing: 5 Kg	*Voltage: 22 Volt*
Isi 1 Dus: 20 Kg	*Alloy Type: Carbon manganese*

(Sumber: Wiryosumarto, 2000)

Demi mendapatkan hasil pengelasan yang baik harus memperhatikan laju pengelasan, jenis arus listrik dan polaritas, pergerakan *electrode,* serta pemilihan *electrode.* Pemilihan *electrode* ini berdasarkan pada sifat dari bahan yang akan dilas, posisi pengelasan, tipe sambungan, jumlah pengelasan, kerapatan sambungan pengelasan dan jenis arus yang tersedia. Metode pengelasan dengan menggunakan SMAW memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan yang tertera pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4 Kelebihan dan Kekurangan SMAW

No	Keuntungan	Kekurangan
1	Pada semua material dapat memakai peralatan yang sama	Lambat, dalam penggantian elektroda
2	Dapat dikerjakan pada ketebalan berapapun	Pada *low hydrogen electrode* perlu penyimpanan khusus
3	Dapat dikerjakan dengan semua posisi pengelasan	Terdapat slag yang harus dihilangkan
4	Material pengisi dapat bermacam-macam	Efisiensi endapan rendah.
5	Biaya awal invesmen rendah	
6	Secara operasional handal dan sederhana	
7	Biaya material pengisi rendah	

(Sumber: Sunaryo, 2008)

Tabel 2.4 diatas merupakan *summary* dari kelebihan dan kekurangan metode yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan *shell*. Kekurangan yang paling signifikan adalah proses yang lambat dikarenakan harus mengganti elektroda yang habis.

2.6.2 *Flux Core Arc Welding* (FCAW)

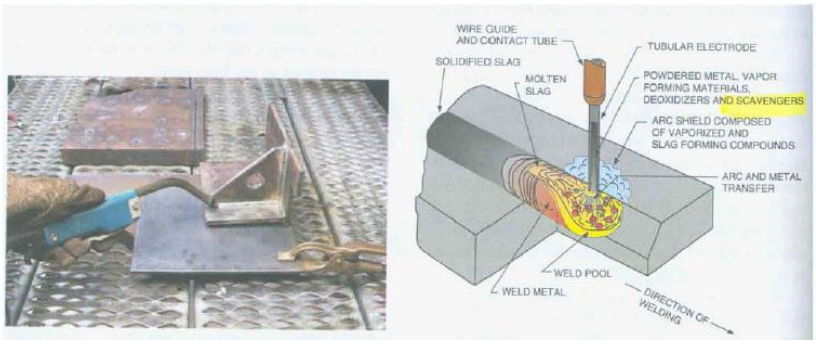
FCAW merupakan las busur listrik yang menggunakan *flux* yang berada pada inti tengah atau dapat disebut juga sebagai metode pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi dari beberapa proses pengelasan, misalnya SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yang digunakan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui *trafo* dan atau *rectifier*. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok *electrode* berupa kawat *filler* secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung

filler elektroda dan metal induk. Gas pelindung yang digunakan adalah karbon dioxida CO_2. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan yang disebut dengan super anemo. Sifat-sifat utama (*Principal features)* FCAW dalam proses pengelasan adalah:

1. Produktivitas yang kontinu dari pasokan elektroda las
2. Sifat *metalurgy* las yang dapat dikontrol dari pemilihan fluks
3. Pembentukan las yang cair dapat ditopang oleh *slag* yang tebal dan kuat.

Pelindung gas umumnya menggunakan gas CO_2 atau campuran CO_2 dengan Argon. Namun dengan keberadaan oksigen kadang akan menimbulkan problem baru yaitu dengan *porosity* yang dihasilkan reaksi CO2 dan oxygen yang ada di udara sekitar lasan, sehingga perlu memilih *flux* yang mengandung zat yang bersifat pengikat *oxygen* atau *deoxydizer*.

FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok *filler electrode* secara *continue* ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung *filler* dan *plate* induk. Walaupun *filler metal* dapat dipasok secara *continue*, namun tetap membutuhkan *welder* untuk memegang *torch.* Metode ini disebut sebagai metode *welding semi automatic*. Elektroda pada FCAW terbuat dari metal tipis yang digulung *cylindrical*, diisi dengan flux sesuai kegunaannya. Pelindung untuk lelehan dari *filler metal* dapat menggunakan gas CO_2 murni atau campuran dengan argon. Gambar 2.9 berikut ini adalah proses pengelasan dengan metode FCAW dan skema detail proses pelelehan *filler metal.*



Gambar 2. 9 Metode pengelasan FCAW dan Skema Detail Proses

(American Welding Committee & Society, 1994)

Penggunaan FCAW memiliki produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode SMAW. Berbeda dengan metode SMAW ataupun SAW, biaya untuk menggunakan metode ini relative lebih rendah secara biaya per-non-logam. FCAW merupakan metode *welding* yang memiliki aksesibilitas yang mudah dengan tingkat deposisi yang lebih tinggi (American Welding Committee & Society, 1994). FCAW memiliki beberapa keuntungan dan kekurangan seperti yang terdapat dalam Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2. 5 Kelebihan dan Kekurangan FCAW

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Menghasilkan kualitas logam yang tinggi dengan penampilan las yang baik.	Terbatas pada pengelasan logam besi dan paduan nikel.
2	Dapat diaplikasikan dalam berbagai macam ketebalan *plate.*	Proses menghasilkan penutup terak yang harus dibuang.
3	Efisiensi penggunaan *filler metal* yang tinggi.	Peralatan lebih mahal dan kompleks daripada yang diperlukan untuk SMAW, namun, peningkatan produktivitas biasanya mampu mengkompensasi.
4	Menghasilkan distorsi lebih sedikit dibandingkan SMAW.	Menghasilkan lebih banyak asap.
5	Harga pelindung lelehan metal relative rendah.	Perlu control yang ketat terhadap tebal dan lebar *bead* dan *electrode*.
6	Biaya invesatsi awal yang rendah	

(Sumber: Sunaryo, 2008)

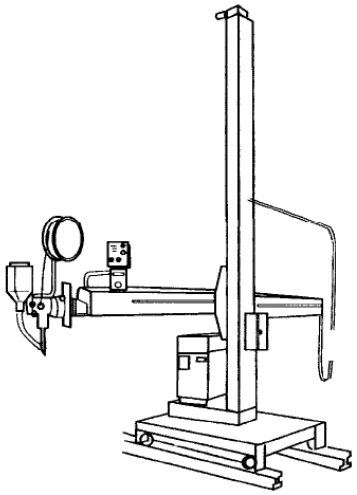
Dari tabel 2.5 diatas diketahui bahwa metode FCAW memliki kelebihan terhadap hasil pengelasan yang lebih baik, harga *filler metal* lebih murah dibandingkan metode lainnya. Namun FCAW memiliki beberapa kekurangan seperti misalnya proses ini menghasilkan lebih banyak asap.

2.6.3 *Submerged Arc Welding* (SAW)

SAW adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda (Jenney & O'Brien, 2001). Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas. Salah satu tanda yang membedakan dari pengelasan lainnya adalah bahwa *flux* menutupi busur dan mencegah asap, percikan api dan radiasi dari pelehan *filler metal*. Stabilitas busur, sifat mekanilk dan kimia serta kualitas las dapat di kendalikan oleh *control flux.*

Elektroda pada proses SAW terbuat dari metal padat (*solid*). Prinsip pada pengelasan ini hampir sama dengan pengelasan pada SMAW. Bedanya dengan SMAW adalah pada SAW flux tidak di bungkus ke elektroda, menggunakan elektroda kontinu, arus lebih tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengelas benda yang lebih tebal hanya dengan waktu yang lebih sedikit. SAW merupakan metode pengelasan yang sudah otomatis. *Filler metal* yang mencair akan dengan sendiri nya bergerak mengisi area pengelasan. SAW dapat digunakan dalam proses pembuatan *weld butt joint*, *fillet weld*, dan *base metal* dalam posisi datar/horizontal (American Welding Committee & Society, 1994). Pada pengelasan SAW, elektroda yang digunakan memiliki *flux* dan

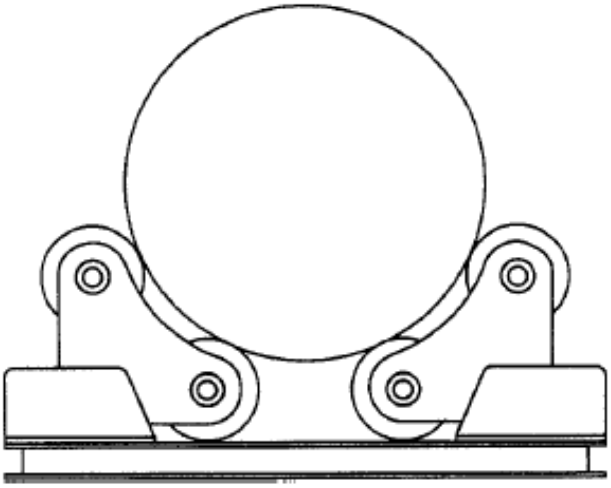
berbentuk roll seperti gulungan kabel. Elektroda dalam bentuk kawat diumpankan ke kampuh las benda kerja secara kontinyu dan ditutup dengan flux dalam bentuk serbuk halus. Busur listrik tercipta diantara elektroda dan benda kerja namun tidak terlihat karena elektroda tertutup oleh flux. Karena SAW memanfaatkan gravitasi untuk menyediakan butir flux, maka benda kerja yang dilas selalu diorientasikan secara horizontal. Gambar 2.10 berikut ini adalah penggunaan *welding tractor* untuk metode SAW.



Gambar 2. 10 Mesin SAW

(Weman, 2003)

Metode penyediaan butir flux dengan memanfaatkan gaya gravitasi juga menuntut proses SAW menggunakan plat yang sering diletakkan pada bagian bawah sambungan selama proses pengelasan. SAW memiliki karakteristik kualitas pengelasan baik, tingkat deposisi tinggi, penetrasi yang dapat dikontrol pada ketebalan plat yang besar atau tipis, dan kemampuan beradaptasi untuk operasi otomatis membuat proses ideal untuk pembuatan lasan besar. SAW digunakan secara luas dalam pembangunan kapal dan tongkang, fabrikasi kereta api dan fabrikasi struktur dimana lasan panjang diperlukan. Keterbatasan utama dari metode ini adalah dapat didukung dalam sambungan las. Saat pengelasan pada posisi selain dari posisi *fillet* datar atau horizontal yang digunakan, beberapa perangkat diperlukan untuk menahan fluks pada tempatnya sehingga dapat melakukan tugasnya, atau menggunakan peralatan tambahan pada proses pengelasan yang memutar, dimana perputaran dilakukan pada benda kerja, untuk posisi pengelasan berada di posisi bagian atasnya. Gambar 2.11 berikut ini adalah mesin tambahan untuk pengelasan *rotary* dengan SAW.



Gambar 2. 11 *Roller bed for* SAW *method*

(Weman, 2003)

Gambar 2.11 diatas merupakan penggunaan *roller bed* untuk metode SAW. Roller bed yang secara otomatis beradaptasi dengan diameter benda kerja. Mesin ini sering digunakan bersama dengan material yang memiliki bentuk unit kolom dan *boom*. Kecepatan rotasi dikendalikan oleh motor yang terdapat pada mesin. Untuk mengetahui ringkasan mengenai kelebihan dan kekurangan metode ini yang terdapat pada Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan SAW

No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Proses dilakukan secara otomatis, tidak memerlukan keterampilan juru las.	Posisi pengelasan terbatas hanya pada posisi horizontal
2	Seluruh cairan tertutup oleh fluks maka kwalitas daerah las sangat baik.	Memerlukan lintasan dan *material handling* tambahan untuk bisa memutar benda kerja dan melakukan pengelasan *rotary*.
3	Efisiensi tinggi dikarenakan waktu las yang dibutuhkan lebih cepat.	Tidak dapat melakukan inspeksi pada saat proses *welding* dikarenakan nyala busur yang tidak terlihat.
4	Dapat menyesuaikan dengan desain *bevel.*	Kesalahan awal pada setting, dapat menggagalkan seluruh hasil las.
		Dikarenakan prosesnya yang otomatis, maka penggunaannya lebih terbatas bila dibandingkan las dengan tangan atau semi otomatis.
		Memerlukan waktu yang lebih lama untuk *fit up* dan *setting.*

		Tidak dapat digunakan pada baja dengan karbon tinggi, *tool steel* dan sebagian besar logam *non-ferro*.

(Sumber: Sunaryo, 2008)

Tabel 2.6 diatas menunjukkan kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh mesin SAW. Memerlukan lintasan dan *material handling* untuk bisa memutar benda kerja dan melakukan pengelasan *rotary*.

2.7 Posisi Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh penulis berdasarkan pada hasil *review* dari beberapa jurnal yang terkait. Penelitian yang dilakukan oleh Septiawan & Bekti (2016) mengidentifikasi akar masalah keterlambatan pada industri konstruksi fabrikasi yang terjadi pada beberapa aktivitas produksi. Penyelesaian proyek konstruksi fabrikasi yang diteliti mengalami keterlambatan selama 11 bulan, terlepas dari kenyataan bahwa proyek dimulai tepat waktu. Keterlambatan yang terjadi kemudian dilakukan analisa menggunakan metode sistematis untuk menemukan akar penyebab keterlambatan penyelesaian proyek. Metode yang digunakan merupakan metode ishikawa / *fish bone diagram.* Setelah diperoleh akar penyebab utama, kemudian dilakukan analisa dengan kriteria "5M". Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan paling kuat disebabkan oleh kesalahan manusia. Penelitian ini memberikan solusi terbaik untuk menjadi umpan balik ke perusahaan guna meningkatkan kinerja untuk masa yang akan datang. Pada fase merancang atau mendesain sebuah produk merupakan hal yang paling krusial yang dapat menyebabkan lamanya waktu pada proses produksi produk itu sendiri. Selain itu, dalam menghasilkan proses gambar yang sesuai dengan *customer requirement*, perlu dilakukannya revisi *drawing*, yang menghasilkan banyaknya *drawing* untuk satu produk. Penelitian ini, memberikan analisa bahwa pada saat proses produksi, banyak pekerja yang tidak memiliki kemampuan dalam membaca gambar teknik dikarenakan *skill* pekerja kurang memadai. Rekomendasi yang diberikan adalah untuk meningkatkan kemampuan pekerja dengan melakukan pelatihan, merekrut lebih banyak orang profesional, merekrut pihak ketiga, atau memberikan penalti jika *drawing* yang digunakan terlambat.

Penelitian yang dilakukan Alvarez (2015) menggabungkan antara pendekatan *six sigma* dan *lean* ke dalam proses pengembangan produk yang seharusnya perlu dilakukan. Penelitian ini menunjukkan keterlibatan yang praktis dan bagaimana dapat dengan mudah digabungkan agar desain produk yang baru lebih dapat diandalkan untuk manufaktur berbiaya rendah dan mencapai *zero faulty* produk dengan desain. Penelitian ini berfokus pada tahap perancangan produk dimana

metode *lean six sigma, design failure mode and effect analysis, stack-up tolerance analysis, capability analysis* dan sa*fety factor* digunakan. Produk yang diteliti adalah keran air yang sering terjadi kebocoran pada daerah *chamfer* dan ulir kran. Perancangan produk dilakukan dengan menghitung *risk priority number* (RPN) dan dengan memasukkan nilai *safety number*. Sehingga dilakukan analisa terhadap produk setalah dilakukan perbaikan perancangan dapat menurunkan jumlah *defect.* Dalam hal ini defect yang terjadi adalah kebocoran pada bagian ulir kran. Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai RPN dapat berkurang, jarak antar ulir juga berkurang sehingga dapat meningkatkan keandalan produk serta mengurangi biaya pada proses produksi. Kesimpulan yang diperoleh adalah bahwa penerapan *lean* dan *six sigma* dalam proses mendesain produk memberikan pengaruh terhadap pengurangan jumlah *defect* yang terjadi pada produk tersebut

Penelitian yang dilakukan oleh Chauhan & Singh (2012) adalah mengukur implementasi *lean manufacturing* terhadap parameter *waste* yang terjadi pada perusahaan yang memproduksi produk *engineering* (*tractors, machine tools, cycles, auto parts, pressure vessels, presses, electrical and construction machinery, plant and machinery for cement, paper and sugar, and a large number of other industrial and consumer goods*) memiliki nilai rata-rata *lean manufacturing* di antara perusahaan yang disurvei adalah 0,6178. Nilai rata-rata menunjukkan bahwa status aspek penting dari *lean manufacturing* tidak terlalu baik di industri tersebut. Penelitian ini menyebutkan parameter *lean* yang telah menjadi fokus utama pencapain *lean manufacturing* pada perusahaan yang di teliti. Penelitian ini memberikan statistik deskriptif (*mean* dan *standard deviations*) dari parameter *lean manufacturing* dari unit yang disurvei. Menunjukkan bahwa perusahaan *engineering to order* telah melaksanakan *lean* dalam hal "*eliminating waste*" yang mencapai nilai maksimum (0,6748), diikuti oleh "*continous improvement*" (0,6648), "*vertical information system*" (0.6398) dan "*zero defects*" (0.6385), ini menunjukkan bahwa industri tersebut hanya memberikan penekanan pada bidang-bidang ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Jadhav et al. (2018) memaparkan tentang implementasi *lean manufacturing* pada industri fabrikasi logam masih terdapa *non-value added activity* (NVA) yang menyebabkan terjadinya pemborosan terhadap waktu dan biaya tenaga kerja. *Fish bone diagram* digunakan untuk menganalisa akar penyebab terjadinya NVA pada 5 kategori (*man, machine, method, material, environtment*). Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kemungkinan meningkatkan indikator proses fabrikasi dengan menghilangkan kegiatan di proses manufaktur yang tidak menambah nilai pada produk juga untuk memberikan solusi yang efektif untuk masalah ini melalui teknik *lean manufacturing*. Dengan menerapkan prinsip *lean manufacturing* waktu yang tidak perlu untuk melakukan operasi pengelasan berkurang secara drastis, yang mengarah

pada pengurangan waktu siklus dari proses pengelasan. Pengurangan dalam waktu siklus ini memiliki dampak signifikan pada produktifitas perusahaan. Metode yang diusulkan untuk memperbaiki masalah fabrikasi di aktivitas pengelasan adalah dengan mengadopsi proses otomasi dan mencoba melakukan penggabungan terhadap kegiatan yang parallel pada satu waktu tanpa mempengaruhi output sehingga meningkatkan kecepatan pengelasan. Selain itu metode yang diusulkan adalah peningkatan material dalam metode peramalan untuk ketersediaan material serta memberikan *training* untuk mengetahui penggunaan mesin pengelasan yang otomatis.

Penelitian terakhir yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini adalah, penelitian yang dilakukan oleh K.Sopian (2008). Pada penelitian ini memberikan uraian mengenai penggunaan metode *design for manufacturing* (DFM) dan *design for assembly* (DFA) dapat mengurangi waktu produksi pada industri *engineering to order,* dengan objek amatan *pressure vessel*. Penelitian ini melakukan proses perubahan desain agar menghasilkan waktu fabrikasi yang lebih singkat. Parameter utama yang diukur pada penelitian ini terbatas pada pengurangan jumlah komponen dan waktu fabrikasi. Bagian *pressure vessel* yang menjadi fokus utama untuk di rancang dengan pendekatan DFA dan DFM bukan merupakan bagian utama penyusun *pressure vessel.* Melainkan pada bagian fungsional atau *complementary* dari *pressure vessel.* Bagian *complementary* dari *pressure vessel* tergantung dari fungsi operasional *pressure vessel* itu sendiri. bagian atau komponen (*complementary*) tidak selalu ada disetiap produk *pressure vessel.*

Dari beberapa uraian mengenai penelitian sebelumnya, maka penelitian ini ingin melakukan eksplorasi terhadap proses produksi yang ada guna mengetahui aktivitas-aktivitas yang menyebabkan pemborosan. Pendekatan yang dilakukan dengan menggunakan *lean manufacturing* untuk mengetahui *waste* yang terjadi. Selanjutnya dilakukan pengurangan terhadap NVA sehingga memberikan dampak pada perubahan proses produksi. Perubahan dengan menyederhanakan alur kerja atau mengurangi aktivitas kerja dapat dilakukan dengan memiliki beberapa usulan perbaikan. Misalnya dengan menggunakan ide pokok *lean* kedalam perubahan pemilihan material yang berdampak pada perancangan produk, sehingga dapat menyederhanakan proses produksi. Penyederhanaan alur kerja bertujuan mengurangi rangkaian kerja yang memiliki kontribusi terjadinya *waste* sehingga, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini ingin memberikan gagasan untuk implementasi *lean manufacturing* tidak hanya dapat dilakukan untuk perbaikan proses produksi melainkan dapat dilakukan dengan memangkas proses produksi tersebut. Tabel 2.7 sampai dengan Tabel 2.8 merupakan rangkuman posisi penelitian yang diperoleh dari beberapa jurnal.

Tabel 2. 7 Posisi Penelitian

No.	Judul Peneli-tian	Peneliti / Tahun	Obyek Penelitian	Kategori							
				Lean Manufacturing	*Value stream Mapping*	*Process Activity Mapiing*	*Fish bone Diagram*	*Lean Six Sigma*	*Lean and Design For six sigma*	*Product Design*	*Design for manufacturing and assembly*
1	*Analysis of Project Contruction Delay Using Fishbone Diagram at Rekayasa Industry*	(Septiawan & Bekti, 2016)	*Engineering and Construction Businesses (Rekayasa Industry)*	-	√	-	√	-	-	-	-
2	*Applying Lean Six Sigma for Waste Reduction in a Manufacturing Environment*	(Hassan, 2013)	*Welding wire manufacturing industry*	√	-	-	√	√	-	-	-
3	*Lean design for Six Sigma : An integrated approach to achieving product reliability and low-cost manufacturing*	Jesus Cruz Alvarez (2015)	Keran air dengan sub komponen : keran air kuningan, cerat air dan o-ring	-	-	-	-	-	√	√	-
4	*Combining lean and six sigma in the context of sysrems engineering design*	Tr sreram, Asokan Thondiyath (2015)	*Design of a pressure vessel, reliev valve and autonomous underwater vehicles*	-	-	-	-	-	√	√	-

Tabel 2. 8 Posisi Penelitian (Lanjutan)

No.	Judul Peneli-tian	Peneliti / Tahun	Obyek Penelitian	Kategori							
				Lean Manufacturing	*Value stream Mapping*	*Process Activity Mapiing*	*Fish bone Diagram*	*Lean Six Sigma*	*Lean and Design For six sigma*	*Product Design*	*Design for manufacturing and assembly approach*
5	*Measuring parameters of lean manufacturing realization*	(Chauhan & Singh, 2012)	*Engineering to order indusrty*	√	-	-	-		-	-	-
6	*DFM and DFA approach on designing pressure vessel*	(K.Sopian, 2008)	*Pressure Vessel Design*	-	-	-	-	-	-	√	√
7	*Implementing Lean Manufacturing Principle In Fabrication Process- A Case Study*	(Jadhav et al., 2018)	Fabrikasi Logam	√	-	-	√	-	-	-	-
8	Perancangan Ulang Proses Produksi dengan Pendekatan *Lean Manufacturing* untuk *Pressure Vessel* 421 Psi	Peneliti	*Pressure vessel*	√	√	√	√	-	-	-	√

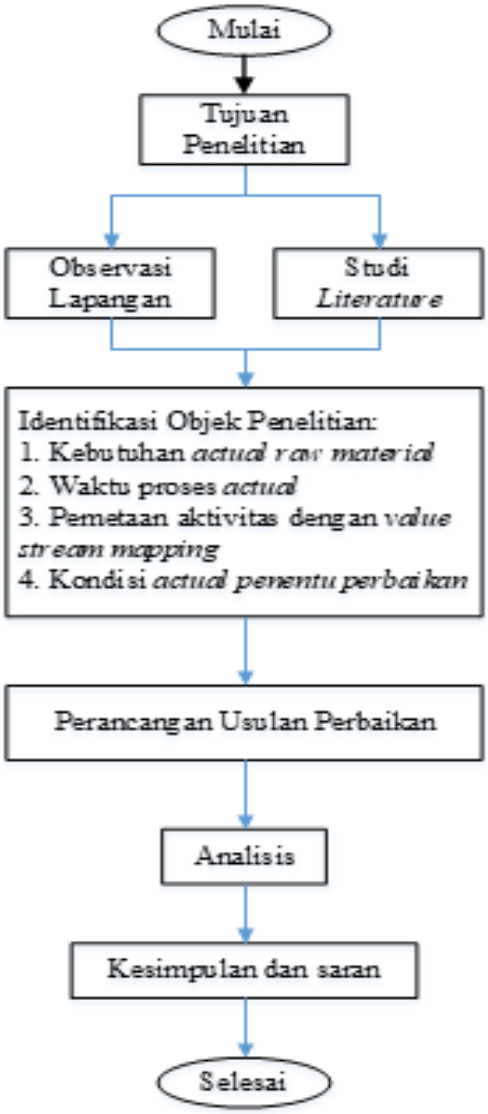
~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan penelitian. Metodologi penelitian bertujuan sebagai pedoman agar penelitian dapat dilakukan secara sistematis guna mencapai tujuan dilakukannya penelitian. Untuk dapat membangun penelitian ini, metode pendekatan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *value stream mapping* pada proses produksi yang telah selesai dilakukan sebelumnya yang kemudian dilakukan analisa akar penyebab masalah yang terjadi. Langkah selanjutnya adalah memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi waktu dan biaya produksi. Pada bab ini dilakukan pembuatan kerangka berfikir yang menjadi alur penelitian.

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan memetakan kerangka berpikir untuk penelitian. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan detail dari kerangka berfikir yang dimulai dengan *study literature* dan identifikasi masalah.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Tahap Identifikasi

Tahapan awal pada penelitian ini adalah menentukan tujuan dilakukannya penelitian. Sasaran yang akan dihasilkan dengan dilakukannya penelitian. Selanjutnya dari tujuan penelitian dilakukan *literature review* yang diperoleh dari jurnal, buku atau penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya. *Literature review* berguna untuk memberikan ide dan referensi dalam melakukan penelitian. Pada tahapan ini diawali dengan mempelajari metode terkait tema penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, pada tahapan ini juga dilakukannya observasi pada objek amatan. Topik utama yang diambil pada penelitian ini adalah perancangan ulang proses produksi dengan pendekatan *value stream mapping*. Objek yang menjadi amatan adalah *shell* yang merupakan produk family dari

pressure vessel. Perancangan ulang proses produksi diperoleh dengan melihat keadaan dan proses yang telah dilakukan sebelumnya.

3.3 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahapan ini merupakan tahapan pengumpulan informasi yang dibutuhkan terkait objek amatan untuk membangun penelitian. Informasi objek amatan dapat berupa proses fabrikasi, kebutuhan terhadap *raw material* dan waktu proses *actual*. Tahap pengumpulan data dilakukan dengan metode wawancara dan observasi. Wawancara dilakukan dengan sesi tanya jawab dengan sumber secara langsung. Observasi (pengamatan) langsung terhadap objek yang di teliti sehingga diketahui secara pasti proses fabrikasi yang dilakukan. Dari beberapa informasi tersebut kemudian dilakukan pemetaan aktivitas dengan menggunakan *value stream mapping* yang menggambarkan kondisi perusahan. Jenis *value stream mapping* pada tahapan ini adalah *current value stream mapping* yang memberikan gambaran aliran proses dengan mengidentifikasi secara umum proses yang terjadi.

3.4 Tahap Perancangan Usulan Perbaikan

Pada tahapan ini memberikan usulan untuk mengurangi waktu tunggu yang terjadi pada setiap proses. Pengurangan waktu tunggu dilakukan dengan memberikan usulan perbaikan yang diperoleh dari analisa akar penyebab masalah. Usulan perbaikan yang diberikan kemudian dianalisa dengan menggunakan metode *manufacturing matrix.* Dari usulan perbaikan juga dilakukan analisa faktor lain yang berupa komponen atau *raw material,* biaya tenaga kerja yang berdampak pada pengurangan biaya manufaktur. Hasil usulan perbaikan dibandingkan dengan proses sebelumnya, jika usulan yang diberikan lebih baik, maka dilanjutkan pada tahapan selanjutnya.

3.5 Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil dari tahapan penelitian yang telah diuraikan pada beberapa penjelasan diatas. Analisa diberikan mengenai konsep yang dibuat yang sesuai dan yang bertentangan dengan teori yang ada. Serta pembahasan pada setiap hasil yang diperoleh dari pengolahan data.

3.6 Kesimpulan dan Saran

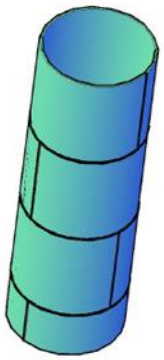
Kesimpulan dan saran merupakan langkah terakhir pada penelitian ini. Kesimpulan adalah rangkuman inti hasil penelitian yang merupakan jawaban dari adanya tujuan penelitian, sedangkan saran merupakan masukan yang akan diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan apabila terdapat kekurangan yang tidak bisa terlaksana atau terjawab pada penelitian ini.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini membahas mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data. Pengumpulan dan pengolahan data diperoleh dari hasil studi lapangan yang dilakukan di salah satu industri manufaktur yang bergerak pada bidang produksi fabrikasi logam. Pengolahan data dilakukan berdasarkan metode penelitian yang sudah dirancang yakni menggunakan pendekatan *lean manufacturing.* Pada sub-bab 4.1 akan dijelaskan mengenai kondisi *existing* dari proses produksi *shell,* selanjutnya pada sub-bab 4.2 dijelaskan mengenai usulan perbaikan perubahan metode pengelasan namun dengan menggunakan *plate* yang sama pada kondisi *existing,* pada sub-bab 4.3 dijelaskan mengenai usulan perbaikan dengan menggunakan metode pengelasan terpilih dari sub-bab 4.2 dengan penggunaan *tubular plate* yang menyebabkan perubahan desain, kemudian diakhiri dengan pemilihan usulan terbaik secara desain dan metode pengelasan.

4.1 Kondisi Awal Proses Produksi

Objek amatan untuk penelitian ini merupakan produk *pressure vessel* atau bejana tekan. Bagian yang menjadi fokus penelitian adalah *shell* yang merupakan bagian dari *pressure vessel. Shell* merupakan bagian yang menyelimuti *pressure vessel. Shell* terdiri beberapa *plate* yang dilakukan proses *rolling* dan *welding.* Gambar 4.1 di bawah ini merupakan objek yang akan diteliti.



Gambar 4. 1 Objek Penelitian (*shell*)

Proses produksi *shell* merupakan proses produksi fabrikasi logam dengan merubah bentuk pada material baja untuk dapat menghasilkan produk sesuai dengan *design* yang melibatkan beberapa tahapan proses. Pada umumnya urutan produksi material baja diawali dengan proses desain (*engineering*) yang dilanjutkan dengan proses pendetailan, fabrikasi dan *assembly*. Desain

(*engineering*) untuk *shell* diperoleh dari *basic design* yang kemudian dilakukan *design calculation* berdasarkan *rule* yang telah ditentukan oleh *American Society of Mechanical Engineering*/ASME dan *pressure vessel handbook* (Moss, 2004) divisi 1 dan 2 didalam *welding procedure specification.* Setelah desain produk telah diketahui, maka dilakukan *procurement* yang meliputi *bill of material, purchasing material, incoming material* yang berupa *mill certificate and or testing material.* Setelah dipastikan bahwa material memiliki kualifikasi dengan yang dibutuhkan, maka selanjutnya dilakukan proses fabrikasi. Tabel 4.1 berikut ini adalah *basic design shell.*

Tabel 4. 1 *Basic Design of Shell* Produk Amatan

No.	Parameter	Besaran & Satuan
1.	*Design Pressure*	2,9 MPa = 421 Psi
2.	*Operation Pressure*	2,2 MPa = 332 Psi
3.	*Temperature Design*	60^o C = 140^o F
4.	*Temperature Operation*	32^o C = 89,6^o F
5.	*Size*	ID = 1700 mm = 66,9 inch L = 5348 mm = 210.5 inch
6.	*Corrosion Allowance*	3 mm = 0,118 inch
7.	*Joint Efficiency*	0,85
8.	*Material*	*Shell / head* = SA-516.Gr.70
9.	*Type shell*	*Cylindrical*
10.	*Pressure Vessel Type*	*Vertical*
11.	*Service*	*Gas / Liquid*
12.	*References*	*ASME Section VIII, div.1, 2013 ed.*

(Sumber:*Fabricator Database*)

Tabel 4.1 merupakan data *basic design of shell* yang digunakan untuk memberikan informasi general untuk dilakukannya perhitungan ketebalan minimal yang dibutuhkan. Ukuran *shell* memiliki diameter 66,9 inch dan panjang 210,5 inch. Tipe yang digunakan merupakan tipe *cylindrical shell.* Tipe material yang digunakan adalah SA 516 Gr.70. selanjutnya dilakukan perhitungan ketebalan yang dibutuhkan untuk dapat menahan tekanan 421 Psi.

4.1.1 Perhitungan Ketebalan yang Dibutuhkan

Untuk mengetahui ketebalan material yang dibutuhkan agar mampu menerima tekanan sebesar 421 Psi, berdasarkan perhitungan *thickness of shell under internal pressure* pada *circumferential strees* dikarenakan untuk tingkat *stress* material pada bagian ini adalah yang terbesar. Untuk

perhitungan ketebalan menggunakan *rule* yang berasal dari (ASME & Committee, Boiler, 2017) *section* VIII divisi 1 UG-27, yakni :

$$t = \frac{(\text{P x (R + CA)})}{\text{S E} - (0{,}6 \text{ x P})} + CA$$

$$t = \frac{(421 \text{ Psi x } (33{,}46 \text{ inch} + 0{,}118 \text{ inch}))}{(20015 \text{ Psi x } 0{,}85) - (0{,}6 \text{ x } 421 \text{ Psi})} + 0{,}118$$

$$t = \frac{(421 \text{ Psi x } 33{,}578 \text{ inch})}{(17012{,}75 \text{ Psi} - 252{,}6 \text{ Psi})} + 0{,}118$$

$$t = \frac{14136{,}338}{16760{,}15} + 0{,}118$$

$t = 0{,}843$ inch $+ 0{,}118$ *inch* $= 0{,}961$ *inch* = 24,409 mm

Minimal ketebalan *plate* yang disyaratkan adalah 24.5 mm. *Plate* SA 516.Gr70 dengan ukuran 24.5 mm tidak tersedia dipasaran, sehingga menggunakan *plate* yang lebih tebal, yaitu 25 mm. Untuk mengetahui ketebalan pada *plate* SA-516 Gr.70 berada pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Ukuran *plate* SA 516 Gr.70

Product thickness	*Thickness (inch)*	*Size* p x l (*inch*)
Plat SA 516 5 mm	0.1875	60 x 240
Plat SA 516 6 mm	0.23	60 x 240
Plat SA 516 8 mm	0.31	60 x 240
Plat SA 516 10 mm	0.37	60 x 240
Plat SA 516 12 mm	0.47	60 x 240
Plat SA 516 14 mm	9/16	60 x 240
Plat SA 516 16 mm	0.55	60 x 240
Plat SA 516 19 mm	0.63	60 x 240
Plat SA 516 25 mm	0.98	60 x 240
Plat SA 516 38 mm	1.49	60 x 240

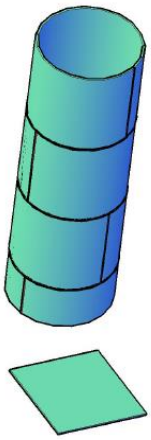
(Sumber: *Supplier Database*)

Dari Tabel 4.2 diketahui bahwa untuk dapat memenuhi ketebalan yang disyaratkan adalah dengan menggunakan *plate* dengan tebal 25 mm, yang memiliki ukuran 60 x 240 inch. Langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan *plate* dengan menggunakan desain *shell* yang memiliki panjang 210.5 inch.

4.1.2 Kebutuhan *Plate* dengan *Existing Design*

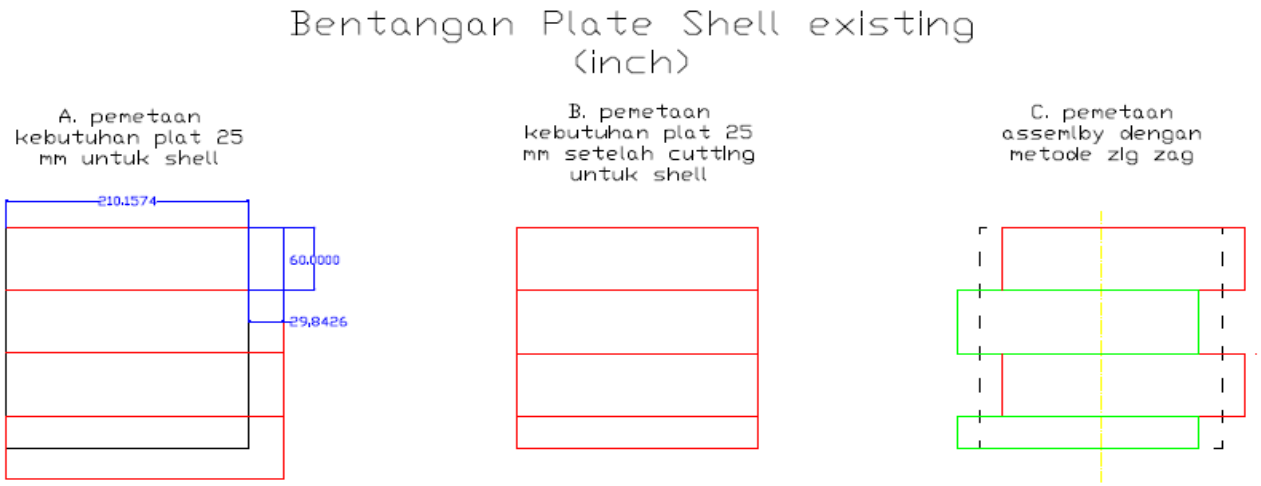
Dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa *plate* SA 516 Gr.70 yang digunakan adalah yang memiliki ketebalan 25 mm dengan ukuran 60 x 240. Untuk dapat memenuhi desain *shell* yang

memiliki panjang 210.5 inch, adalah dengan menggunakan 4 *plate* SA 516 Gr.70 yang digabungkan. Gambar 4.2 dibawah ini merupakan representasi penggunaan 4 *plate*.



Gambar 4. 2 Kebutuhan *Plate Actual Shell*

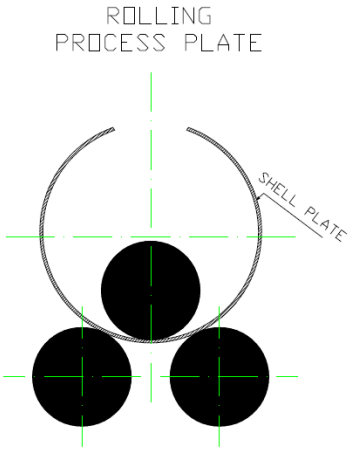
Untuk mengetahui kebutuhan luasan *plate* diperoleh dari gambar bentangan *shell*. Gambar 4.3 merupakan pemetaan kebutuhan *plate* yang digunakan untuk *shell*.



Gambar 4. 3 Bentangan Pemetaan Kebutuhan *Plate* pada *Shell*

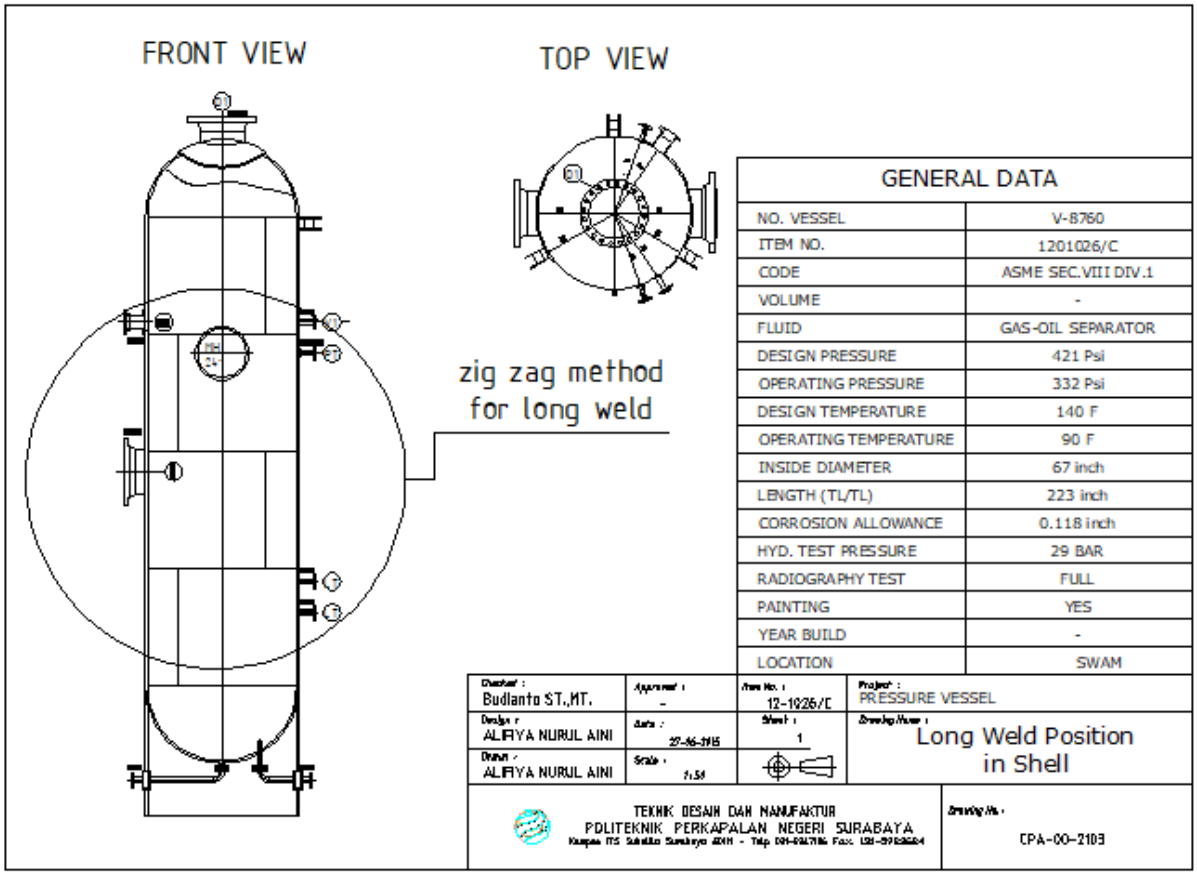
Dari Gambar 4.3 diatas merupakan kebutuhan *plate* untuk *shell* berjumlah 4 buah. Gambar 4.3 A yang bergaris merah merupakan *plate* yang tersedia di pasaran. Penggabungan 4 *plate* tersebut akan melebihi dari luasan *shell*, sehingga dilakukan pemotongan untuk setiap *plate* guna menyamakan dengan ukuran *shell* sesuai dengan dimensi *shell* seperti yang tunjukkan oleh Gambar 4.3 point B.

Proses pemotongan *plate* menghasilkan sisa material yang tidak dapat digunakan lagi. Sisa *plate* yang tidak dapat digunakan merupakan *waste in excessive material use.* Setelah dilakukannya proses *marking* dan *cutting*, kemudian dilanjutkan pada proses *rolling plate* menjadi bentuk *tubular*. Gambar 4.4 dibawah ini merupakan gambaran proses *rolling plate.*



Gambar 4. 4 *Rolling Plate Process*

Setiap *plate* yang dibutuhkan untuk *shell* dilakukan *treatment* yang sama. *Plate* yang sudah terbentuk *roll* kemudian di *welding* agar tidak ada *gap* dan menjadi bentuk *tubular* yang utuh. Proses tersebut kemudian dilakukan *assembly* dengan *plate* lainnya. Pada saat dilakukan *assembly*, posisi pengelasan yang *longitudinal* tidak boleh diletakkan dalam satu garis panjang, guna mengurangi *stress* material pada pengelasan. Untuk mengurangi *longitudinal stress* dapat dilakukan metode *zig-zag* seperti pada Gambar 4.5 di bawah ini.

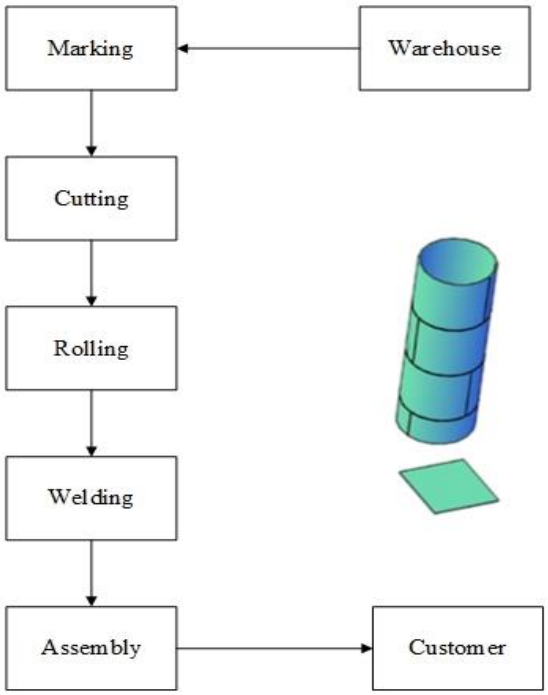


Gambar 4. 5 *Zig zag method for long weld*

Gambar 4.5 merupakan representasi dari metode zig-zag yang digunakan untuk *longitudinal welding* pada *shell* yang menggunakan *sheet metal plate.* Metode zig-zag adalah untuk mengurangi *stress* yang diakibatkan oleh tekanan secara *circumferential.* Pada metode ini, terdapat pertemuan antara bagian *longitudinal welding* dengan *circum welding.*

4.1.3 Aliran Proses Fabrikasi *Shell*

Proses fabrikasi *shell* terdiri dari beberapa tahapan yang dimulai dengan pengambilan *raw material* yang telah dipesan sebelumnya pada *supplier*, yang kemudian di pindahkan ke *workshop* menggunakan *material handling.* Selanjutnya dilakukan proses berupa *marking plate, cutting and edge preparation, rolling, welding* dan *assembly.* Gambar 4.6 berikut ini merupakan aliran proses fabrikasi *shell.*



Gambar 4. 6 Aliran Proses Fabrikasi *Shell* (*actual*)

Gambar 4.6 diatas merupakan aliran proses fabrikasi *shell.* Untuk mengetahui waktu proses fabrikasi yang diperlukan terdapat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 *Lead Time Actual Shell*

Process	*Marking*	*Cutting*	*Rolling*	*Long weld*	*Circum weld (assembly)*	*Shipping*	Total
Detik	6590	5690	35994	198796	218960	53100	519130
Jam	1.83056	1.58056	9.99833	55.2211	60.8222	14.75	144.203
Hari	0.26151	0.22579	1.42833	7.88873	8.68889	2.10714	20.6004

Tabel 4.3 diatas merupakan waktu yang dibutuhkan untuk dapat memproduksi *shell.* Nilai yang terdapat pada tabel tersebut merupakan hasil dari observasi lapangan dengan mengukur secara langsung, dan pengukuran hanya dilakukan satu kali. Total waktu yang diperlukan kemudian dikonversikan kedalam jam kerja perusahaan. Proses fabrikasi *shell* memiliki *lead time* 521000 detik = 144.7 jam. Dalam satu hari kerja, perusahaan amatan memiliki rentang waktu selama 7 jam. Sehingga dari *lead time* 521000 detik = 144.2 jam kemudian dengan mengikuti jam kerja perusahaan, maka proses fabrikasi *shell actual* memerlukan waktu selama 20.6 hari atau 21 hari.

Proses produksi untuk *shell* memiliki beberapa tahapan proses yang dimulai dari proses *marking and stamping* kemudian *cutting and edge preparation, shell and plate rolling, welding,* dan

inspection. Setiap proses produksi dilakukan manual oleh manusia (*man production*). Lamanya waktu proses fabrikasi ditentukan dari jumlah *plate* yang akan dikerjakan untuk memproduksi *shell.* Dari Tabel 4.3 diketahui bahwa proses *actual* fabrikasi *shell* membutuhkan waktu selama 21 hari, sedangkan kontrak fabrikasi *shell* selama 11 hari, maka proses fabrikasi *actual shell* mengalami keterlambatan selama 10 hari dari kontrak yang telah ditentukan. Keterlambatan tersebut berdampak pada *financial lost* karena *penalty* yang diberikan *customer,* selain itu menambah besarnya biaya produksi (operasional). Tabel 4.4 dibawah ini merupakan pemetaan antara jadwal yang direncanakan dengan *actual* proses yang terjadi.

Tabel 4. 4 *Fabrication schedule*

Detail Fabrication Schedule for Shell PV V-8760									
Pek. Supplay Fab. Pressure V-8760 oil separator PHM									
No	PRODUCT	Unit	Delivery date to site		Ass'y		Priority (Installion sequence)	Status	Mapping
			SECTION	TO SITE	Shop	Site			
1	PV V-8760	Unit-1	All production and process of PV	1/1/2019	●	-	2	Delay	

Tabel 4. 5 Pemetaan *plan* dan *actual schedule*

Work	September																		October						
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7
Plan																										
Actual																										

Keterangan :

Shell

Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 memetakan perbandingan antara jadwal yang direncanakan dan batas waktu yang ditentukan oleh *customer*. Waktu *planning* untuk proses pembuatan *shell* diharuskan selesai dalam 11 hari kerja. Waktu *actual* dan *planning* memiliki perbedaan sebesar 10 hari. Proses fabrikasi yang terjadi memerlukan waktu lebih dari 11 hari dikarenakan banyaknya waktu tunggu yang terjadi pada proses produksi yang mengakibatkan proses tersebut menjadi tidak effisien. Lamanya waktu fabrikasi berbanding lurus dengan peningkatan biaya tenaga kerja. Untuk mengetahui total biaya fabrikasi, akan dijelaskan pada beberapa uraian berikutnya.

4.1.4 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Pada sub-bab ini dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja yang dilakukan dengan menghitung *man power* yang terlibat dalam proses fabrikasi *shell* yang dimulai dari proses *marking.* Setelah diketahui *actual process,* kemudian menghitung biaya tenaga kerja. Biaya tenaga kerja ini dihitung berdasarkan dari jenis aktivitas yang dilakukan dengan deskripsi pekerjaan serta lamanya waktu yang dibutuhkan pada proses tersebut. Tabel 4.6 dibawah ini merupakan biaya pada setiap jenis pekerjaan pada perusahaan amatan.

Tabel 4. 6 Biaya Pada Masing-masing Jenis Pekerjaan

NUMBER	*Lot*	*JOB DESCRIPTON*	*COST* (Rp/day)
1	1	*Advanced Quality Control* (AQC)	350,000
2	1	*Quality Control* (QC)	250,000
3	1	*Welding certified SMAW* (*Welder*)	250,000
4	1	*Fitter*	150,000
5	1	*Helper*	100,000

Pada sub-bab 4.1.3, telah diketahui aliran proses dan *lead time* masing-masing proses. Untuk menghitung biaya tenaga kerja, dapat dengan mengalikan waktu yang dibutuhkan pada proses tersebut dengan jumlah pekerja yang memiliki keahlian pada setiap proses. Tabel 4.7 dibawah ini merupakan rekap perhitungan biaya tenaga kerja.

Tabel 4. 7 Biaya Tenaga Kerja Langsung

Aktivitas	Man Power	Job des	Lama Proses (days)	Cost
Marking	1	Fitter	0.31	46500
	1	QC		77500
Cutting	1	Fitter	0.26	39000

Tabel 4. 8 Biaya Tenaga Kerja Langsung (Lanjutan)

Aktivitas	Man Power	Job des	Lama Proses (days)	Cost
Rolling	1	Helper	1.88	188000
	1	Fitter		282000
	1	QC		470000
Long weld	1	Helper	11.1	1110000
	1	Fitter		1665000
	1	Welder		2775000
	1	AQC		3885000
Circum weld (assembly	1	Helper	5.02	502000
	1	Fitter		753000
	1	Welder		1255000
	1	AQC		1757000
Shipping	1	Helper	2.11	211000
Total	15		20.68	15016000

Tabel 4.8 diatas merupakan rekap biaya untuk proses fabrikasi *shell* yang dilakukan selama 21 hari menghabiskan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 15.016.000. setelah diketahui biaya tenaga kerja yang diperlukan, kemudian dilakukan perhitungan terhadap biaya *raw material* dan *filler metal.*

4.1.5 Perhitungan Biaya Fabrikasi *Shell*

Pada sub bab ini, dilakukan perhitungan biaya fabrikasi *shell* yang diperoleh dari total material dan *electrode* serta biaya tenaga kerja. Untuk dapat menghitung biaya material dilakukan dengan mengalikan kebutuhan *actual plate* dengan harga *plate* yang ada. Pada pembahasan sebelumnya, telah diketahui bahwa material yang digunakan adalah SA 516 Gr.70 dengan ketebalan 25 mm dengan jumlah yang dibutuhkan sebanyak 4 *plate*. Tabel 4.9 dibawah ini memberikan daftar harga *plate* SA 516 Gr.70

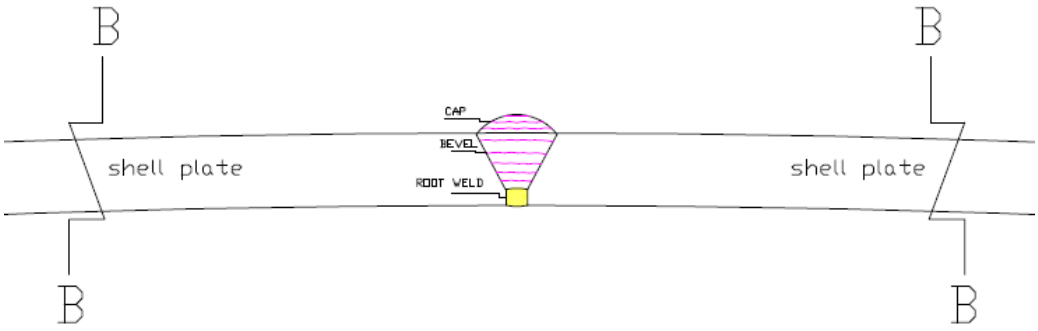
Tabel 4. 9 Daftar Harga *Plate* SA 516 Gr.70

Product thickness (mm)	*Thickness (inch)*	*Size (feet)*	*Price* (Rp.)
12	1/2"	5’x20’	31.015.444
14	9/16”	5’x20’	34.900.748
16	5/8”	5’x20’	38.786.052
19	3/4"	5’x20’	46.523.166
25	1”	5’x20’	62.030.888
38	1/5”	5’x20’	70.587.056

(Sumber: *Supplier Database*)

Penggunaan *plate* SA 516 Gr.70 untuk badan *shell* memerlukan *plate* sebanyak 4 lembar dengan harga satu *plate* adalah Rp. 62,030,888. Total biaya material yang dibutuhkan untuk penggunaan 4 *plate* adalah Rp. 248.123.552

Selanjutnya adalah menghitung kebutuhan terhadap *filler metal* yang berupa *electrode* pada proses pengelasan *actual.* Untuk memperoleh biaya dari penggunaan material *filler metal* yang digunakan adalah dengan menghitung *volume* pengisi pada saat dilakukan proses menyatukan bagian ujung *plate* setelah dilakukannya proses *rolling.* Pada perhitungan biaya *filler metal* juga membutuhkan perhitungan jumlah kebutuhan *filler metal,* sehingga diketahui biaya untuk *consumable* badan *shell*. Perhitungan kebutuhan *filler metal* yang digunakan, dimulai dari panjang pengelasan hingga *volume bevel*. *Filler metal* yang digunakan adalah *electrode* yang memiliki isi *metal* pada bagian dalam dan dilapisi oleh *flux.* Sebelum melakukan perhitungan, harus diketahui desain sambungan pengelasannya. Desain sambungan pengelasan bisa dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini:



Gambar 4. 7 Desain pengelasan *plate shell*

Gambar 4.7 menunjukkan gambaran kampuh las untuk ketebalan *shell* 25 mm. Untuk mendesain ukuran kemiringan pengisian kampuh las (*bevel*) dan ukuran bagian bawah kampuh las (*root*) dilakukan oleh devisi yang telah memperhitungkan kekuatannya, kemudian menjadi *ouput* berupa spesifikasi (*Welding Procedure* Spesification) sebuah *form* yang berisikan tentang jenis pengelasan, jenis kawat las, kecepatan pengelasan, dan spesifikasi untuk melakukan pengelasan) yang harus dilakukan di lantai produksi.

Karena bentuk pada *bevel* dan *root* berbeda, maka rumus *volume* yang akan digunakan juga berbeda. Dengan bentuk *area bevel* dengan bentuk trapesium, dan area *root* dengan bentuk persegi, sehingga perhitungan *volume filler metal* dilakukan dengan beberapa tahapan. Uraian berikut ini merupakan langkah-langkah menghitung *volume filler metal.*

a. Menghitung luas pengelasan *Root*

   Luasan pengelasan = 3 mm x 1524 mm

= 4571 mm^2

b. Menghitung *Volume Area Root Opening*

Diketahui pada gambar 3 bahwa :

Root Opening = 3 mm

Root Face = 3 mm

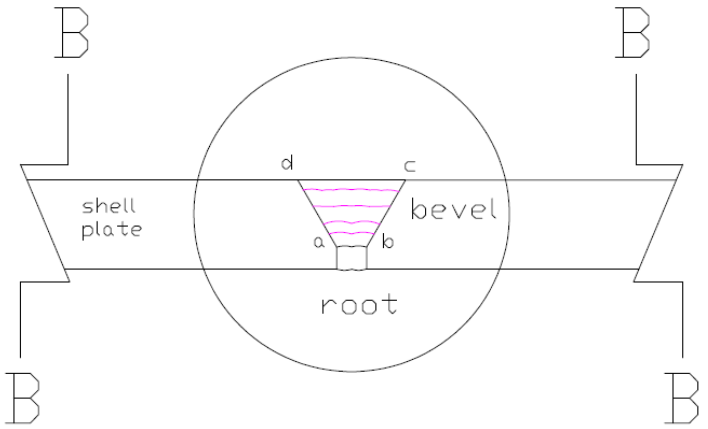
Volume Root = Panjang pengelasan x *root face* x *root opening*

= 4571 mm x 3 mm x 3 mm

= 41148 mm^3 = 0,000041148 m^3

c. Menghitung volume a*rea bevel*

Kebutuhan kawat las dan harga kawat las sesuai dengan metode yang dibutuhkan. Untuk mempermudah dalam menghitung kebutuhan *filler metal* dapat dengan mudah membuat dua bagian kampuh las yang nantinya kebutuhan *filler metal* dikalikan dua untuk desain seperti Gambar 4.7 sebelumnya. Penampang tampak samping dari kampuh las dilihat dari Gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 4. 8 Tampak Samping Kampuh Las

Point A, B, C, dan D menunjukkan tampak samping dari area pengelasan. A dan B adalah root face (bagian akar las yang menjadi dasar dan awal pertama kali akan di lakukannya pengelasan), point C dan D adalah bagian yang diisi oleh *electrode* paling banyak (*filling*).

Sisa tebal dari pengurangan *Root Face* = 22 mm. Sehingga di peroleh perbandingan kebutuhan kawat las dari volume yang telah di hitung di atas. Perhitungan di bawah ini menunjukkan seberapa besar kebutuhan kawat las:

Sudut *bevel* = 30^o

Area sudut *bevel* = tebal *root face* x *tan sudut bevel*

= 22 tan 30^o = 12.7 mm

Luas alas *bevel*:

$$\frac{AB + CD}{2}\ x\ tinggi$$

$$\frac{3 + 12.7}{2}\ x\ 22 = 172.7\ mm^2$$

Volume = Luas alas *bevel* x panjang pengelasan

= 172,7 mm^2 x 1524 mm = 263194,8 mm^3 = 0.000263194 m^3

d. Perhitungan Kebutuhan Kawat Las

Volume root = 0,000041148 m^3, *Volume bevel* = 0.000263194 m^3

Total *volume* = 0,000304342 m^3

ρ besi = 7847 kg/m^3

Diameter electrode: 3.2 mm

$\rho = \frac{m}{v}$ → m = ρ x v

m = 7847 kg/m^3 x 0,000304342 m^3 = 2,388 kg = 3 kg

Massa yang di butuhkan untuk mengisi kampuh las dengan sudut *bevel* 30^o menggunakan *filler metal* berupa *electrode* adalah 3 kg. Efisiensi *electrode* SMAW hanya 60% dari beratnya, sehingga diperoleh perhitungan dengan efisiensi kawat las adalah sebagai berikut:

0.6 X = 3

X = $\frac{3\ kg}{0.6}$ = 5 kg kebutuhan berat *filler metal* untuk mengisi kampuh las.

e. Harga *electrode*

Harga per 1 kg *electrode* SMAW adalah Rp. 37.700. *Electrode* yang dibutuhkan untuk mengisi kampuh las dengan metode SMAW adalah 5 kg, maka harganya adalah Rp. 188.500. Harga *electrode* untuk 4 *plate* adalah Rp.754.000. Perhitungan diatas merupakan biaya *electrode* untuk *longitudinal welding.* Sedangkan untuk proses *assembly* 4 *plate* membutuhkan biaya *electrode* sebesar Rp. 1.084.339, sehingga biaya *electrode* adalah Rp. 1.838.339.

Setelah diketahui biaya material dan *electrode actual.* Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan biaya fabrikasi keseluruhan, yang diperoleh dari penjumlahan biaya tenaga kerja, biaya material dan *electrode.* Tabel 4.10 dibawah ini merupakan biaya fabrikasi *shell.*

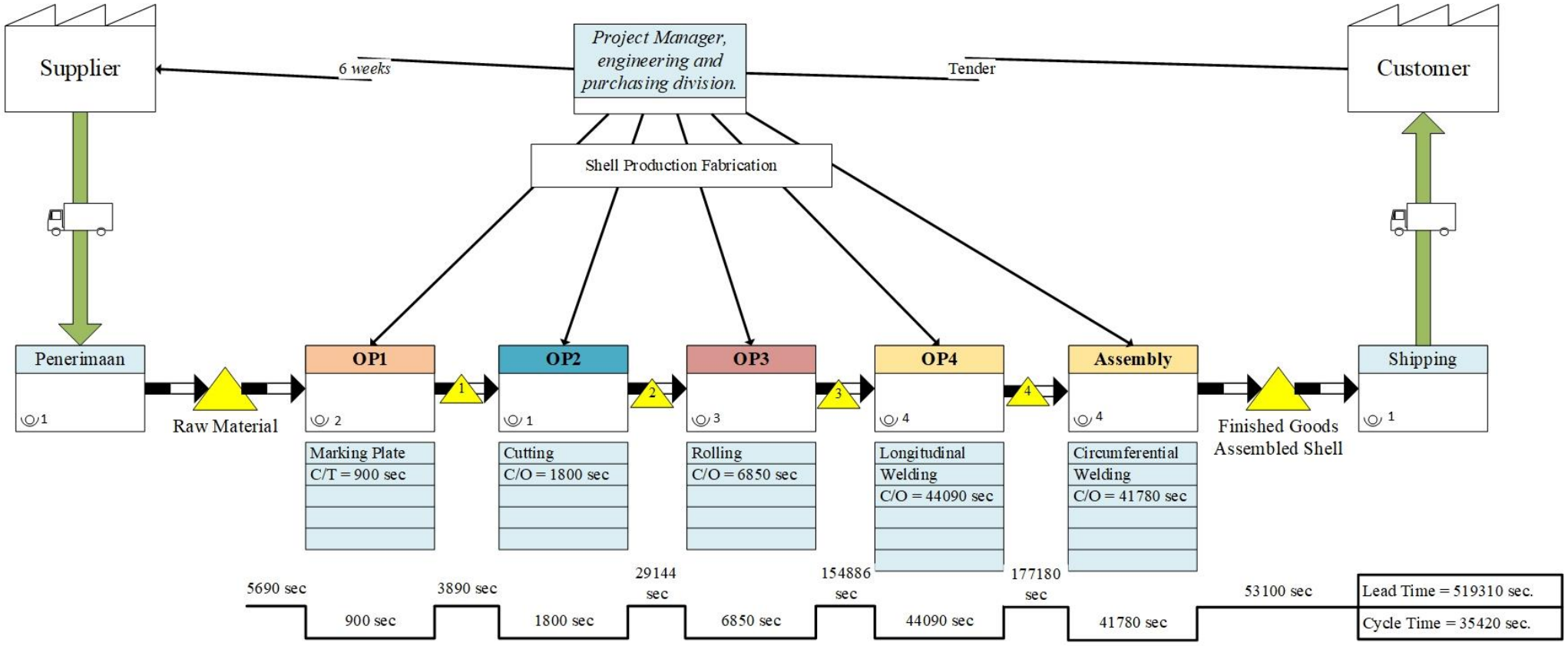
Tabel 4. 10 Biaya Fabrikasi *Shell*

Variabel	Jumlah	Biaya (Rp.)
Tenaga Kerja	21 Hari	15.016.000
Material	4 *plate*	248.123.552
Filler	49 kg	1.838.339
Total		264.977.891

Dari Tabel 4.10 diketahui bahwa proses fabrikasi *shell* memerlukan waktu selama 21 dan menghasilkan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 15.016.000. Jumlah *raw material* yang dibutuhkan adalah 4 lembar *plate* dan jumlah *electrode* yang dibutuhkan adalah 49 kg. Total biaya *actual* fabrikasi *shell* adalah Rp. 264.977.891. Proses fabrikasi *shell* mengalami keterlambatan selama 10 hari dari jadwal yang diberikan.

4.1.6 *Value Stream Mapping* Fabrikasi *Shell*

Proses *actual* kemudian dipetakan dengan menggunakan *value stream mapping* atau disebut dengan *current state mapping. Value stream mapping* merupakan pemetaan data aliran bahan dimulai dari *raw material* datang kemudian di proses hingga menghasilkan barang jadi. *Value stream mapping* (VSM) memuat *lead time* masing-masing stasiun kerja yang dipetakan secara luas, namun dengan tingkat keditailan yang rendah. Dengan menggunakan VSM dapat menunjukkan aliran proses dan menemukan lokasi terjadinya *waste* namun tidak rinci. Gambar 4.9 di bawah ini merupakan *current state mapping* proses fabrikasi objek amatan.



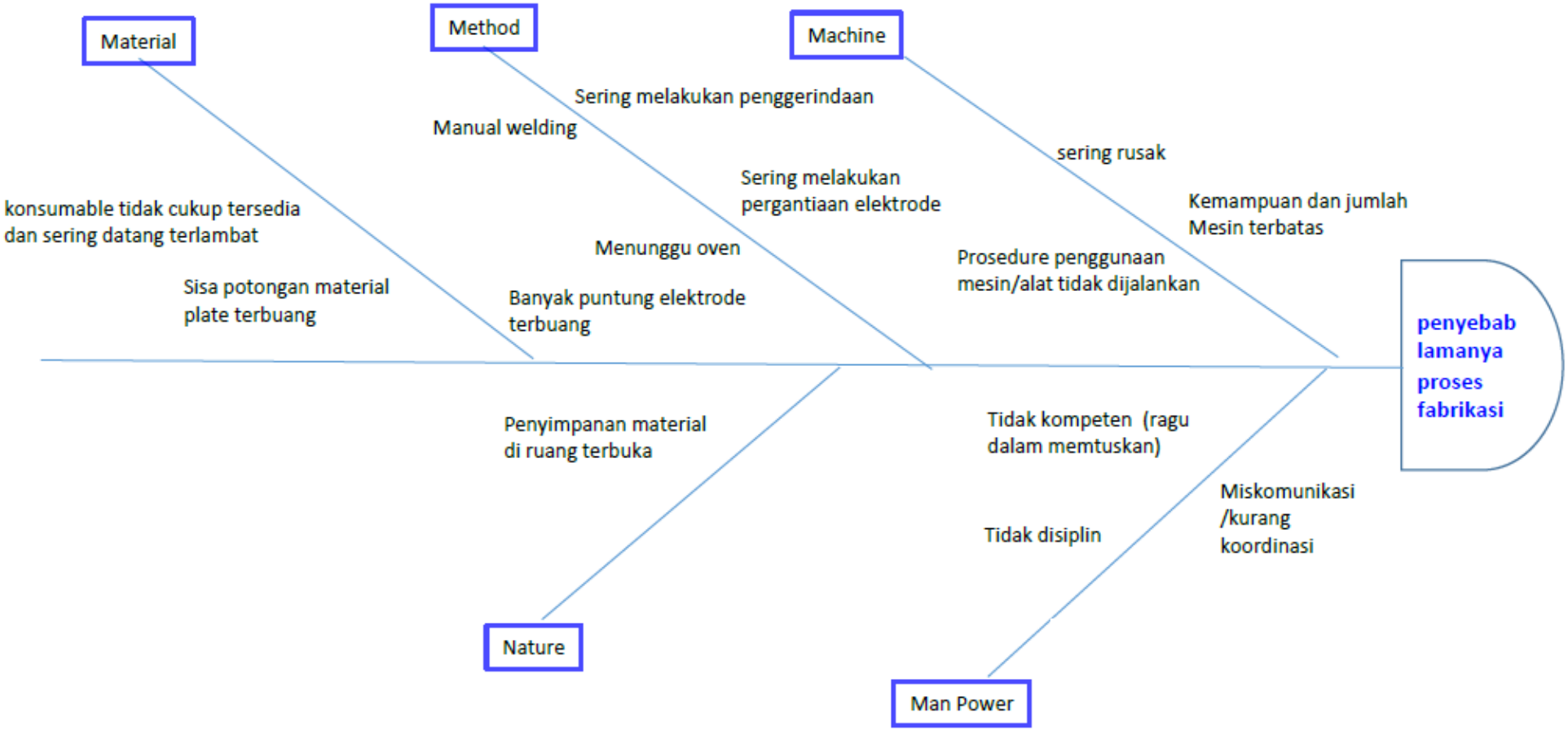
Gambar 4. 9 *Current State Mapping Shell Fabrication*

Gambar 4.9 diatas merupakan *current state mapping shell fabrication,* diketahui bahwa total *lead time* sebesar 519310 detik dengan *cycle time* adalah 354210 detik. Dari gambar diatas diketahui adanya *temporary inventory* dikarenakan adanya waktu tunggu yang terjadi untuk dapat dilakukannya proses selanjutnya. Waktu tunggu yang dihasilkan merupakan sebuah nilai incremental yang memiliki pertambahan dari beberapa nilai sebelumnya. Pertambahan ini disebabkan dari perbedaan waktu siklus yang terjadi pada setiap aktivitas. Pada proses fabrikasi *shell,* aktivitas produksi merupakan sebuah aliran yang dilakukan secara seri. Ketika ada saat dimana satu *plate* telah menyelesaikan aktivitas tersebut, *plate* yang lainnya sedang menunggu dilakukannya proses selanjutnya dikarenakan adanya perbedaan waktu siklus pada aktivitas seri.

Perbedaan waktu siklus memberikan besarnya nilai pada waktu tunggu. Seperti dalam proses fabrikasi *shell,* dimana perbedaan waktu siklus terbesar berada pada perpindahan proses dari *rolling* ke *longitudinal welding,* pada saat inilah terjadi waktu tunggu terbesar. Ada saat dimana ketika *plate* pertama belum selesai dilakukan pengelasan, kemudian datang *plate* kedua dan *plate* ketiga yang telah selesai dilakukan proses *rolling.* Begitu pun ketika pada saat dilakukannya proses *assembly* yang harus menunggu material dari proses sebelumnya. Untuk dapat mengetahui alur proses dan waktu proses produksi, terdapat pada lampiran. Dari *current state mapping,* diketahui bahwa nilai dari waktu tunggu terbesar berada pada proses *longitudinal welding.* Langkah selanjutnya adalah dilakukan analisa penyebab potensial pada lamanya waktu tunggu yang terjadi pada proses *longitudinal welding* dengan menggunakan *fish bone diagram* yang akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

4.1.7 *Fishbone Diagram*

Fishbone diagram merupakan diagram sebab akibat yang dapat mengidentifikasi hubungan antara permasalahan yang terjadi serta faktor penyebab yang mempengaruhi dan menghasilkan dampak tertentu. Gambar 4.10 dibawah ini merupakan *fish bone diagram* yang digunakan.



Gambar 4. 10 *Fishbone Diagram* Lamanya Proses Fabrikasi

Dari Gambar 4.10 merupakan *fishbone diagram* yang digunakan untuk mengetahui akar penyebab masalah lamanya proses fabrikasi *shell.* Akar penyebab masalah yang ditemukan, kemudian rangkum seperti pada Tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4. 11 Daftar Penyebab *Waste* yang Terjadi

No.	Kategori	Akar Penyebab
1	*Machine*	Kemampuan dan jumlah mesin terbatas, sering rusak, sudah tua dan kurang *maintenance*
2	*Method*	Manual welding: Menunggu proses oven elektrode, Sering melakukan pergantian elektrode
		Sering melakukan penggerindaan
		Prosedure penggunaan mesin/alat tidak dijalankan
3	*Material*	Sisa potongan material plate terbuang
		Banyak sisa elektrode terbuang
4	*Man*	Tidak kompeten, Ragu-ragu memutuskan, sering salah melakukan pekerjaan
		Mis-komunikasi/kurang koordinasi
5	*Nature*	Penyimpanan material di ruang terbuka

Dari Tabel 4.22, diketahui beberapa akar penyebab masalah yang menimbulkan terjadinya *waste.* Tabel 4.22 merupakan rangkuman yang diperoleh dari *fishbone diagram.* Diagram *fishbone* memetakan kategori-kategori yang menyebabkan terjadinya *waste.* Dari Tabel 4.22 di atas, diketahui beberapa akar penyebab masalah yang menimbulkan terjadinya *waste.* Masing-masing kategori memberikan kontribusi terhadap akar masalah yang terjadi. Uraian dibawah ini merupakan penjelasan mengenai akar masalah yang terjadi.

1. *Machine:*

   Kemampuan dan jumlah mesin yang terbatas akan menyebakan masa tunggu lebih lama, proses manufaktur sering menunggu mesin untuk proses berikutnya dan secara keseluruhan masa produksi akan terhambat. Mesin/tool rusak yang diakibatkan karena umur mesin dan kapasitas kerja mesin, apabila kondisi mesin sering mengalami *breakdown* tentu harus dilakukan pergantian mesin segera.

   Penambahan investasi mesin guna meningkatkan kemampuan produksi dan memangkas masa tunggu adalah solusi untuk mengatasi hal ini, namun sangat tergantung kepada kemampuan finansial perusahaan. Penambahan investasi harus dihitung dengan

cermat berkaitan dengan *Return of Investment* (RoI) agar kondisi keuangan perusahaan tetap sehat.

2. *Methode:*

Manual welding yang selama ini digunakan adalah proses pengelasan yang sangat bergantung kepada keahlian dan *skill welder*. *Human factor* akan sangat berpengaruh pada proses manufaktur. Proses yang dilakukan secara manual banyak menyita waktu dan menyebabkan masa tunggu akan lebih lama. Pada proses manual welding, sering melakukan penggantian *electrode* dikarenakan ukuran yang terbatas. Selain itu, *manual welding* memiliki karakteristik adanya *heavy slag* akibatkan mengumpankan *electrode* pada benda kerja. Proses ini mengharuskan pengumpanan awal yang dilakukan berkali kali pada saat mengganti *electrode.* Proses *manual welding* memberikan waktu yang relative lebih lama dikarenakan proses pengelasannya itu sendiri ataupun pada saat membersihkan *heavy slag* yang mengharuskan penggunaan gerinda. Usulan pergantian metode yang memiliki proses memasok *filler metal* secara terus menerus merupakan langkah strategis untuk meningkatkan produktifitas, memperpendek masa tunggu proses manufaktur dan memangkas biaya produksi serta mengurangi terjadinya *heavy slag* untuk awal proses mengelas.

3. *Material*:

Penggunaan *plate* mengharuskan dilakukannya pemotongan guna menyesuaikan dengan dimensi *shell.* Sisa potongan merupakan *excessive raw material* yang tidak dapat digunakan lagi. Penggantian *raw material,* merupakan usulan yang dirasa dapat mengurangi hal ini. Penggantian tersebut, harus melihat pada karakteristik material yang digunakan, dan ketersediaan yang ada.

4. *Man*:

Personnel yang ragu-ragu dalam pengambilan keputusan merupakan faktor yang juga akan menjadi penghambat proses produksi yang menyebabkan proses manufaktur yang tidak effisien. Keraguan dalam memutuskan hasil inspeksi terutama pada hasil *nondestructive test* (*radiography* atau *ultrasonic*) merupakan penyebab yang sering terjadi, yang akan mengakibatkan proses fabrikasi tidak dapat dilanjutkan sebelum adanya hasil dari inspeksi. Perusahaan telah menerapkan sistem *moke up* (tes keahlian) yang dilakukan pada saat penerimaan karyawan, namun tidak dilakukan secara *continue.* Usulan yang diberikan guna

mengatasi akar permasalahan ini adalah dengan cara melakukan *moke up* kepada karyawan yang dapat dilakukan dalam periode tertentu.

5. *Nature:*

Penyimpanan material di ruang terbuka akan menyebabkan material kotor dan kemungkinan munculnya karat pada material baja. Persiapan permukaan material untuk dapat menghilangkan kotoran pada raw material dapat menambah lamanya waktu persiapan proses fabrikasi. Usulan yang diberikan adalah membangun *temporary warehouse*, untuk penyimpanan agar menghindari korosi pada material.

Dari beberapa usulan yang diberikan, perlu dilakukan analisa lebih dalam pada usulan perubahan metode pengelasan untuk mengetahui dampak yang dihasilkan. Dari analisa penggantian metode, kemudian diketahui perubahan yang dapat dihasilkan. Pada subbab selanjutnya, akan diuraikan mengenai analisa penerapan penggantian metode pengelasan.

4.2 Usulan Penggantian Metode *Welding*

Pada usulan perbaikan ini dilakukan penggantian metode *welding* yang merupakan faktor dominan pertama yang menyebabkan terjadinya *waste.* Melakukan perubahan dengan mengganti metode *welding* yang lebih baik, dari segi waktu proses yang lebih cepat dan biaya yang lebih murah. Industri fabrikasi yang diobservasi melakukan proses produksi *shell* menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada saat proses pengelasan *longitudinal* ataupun *assembly.* Metode SMAW mengharuskan tukang las menjaga agar busur dan lebar kampuh las tetap baik dan konstan. Metode ini umumnya disebut sebagai metode *stick* dikarenakan *electrode* yang digunakan berupa *stick.* Jika *electrode* habis, maka *welder* (tukang las) mengganti dan memasang lagi *electrode* tersebut. Metode ini merupakan metode pengelasan yang masih sepenuhnya manual dilakukan oleh *welder.* Kegiatan mengganti dan memasang *electrode* membuat metode ini memiliki waktu yang lebih lama dari metode lainnya. Metode yang digunakan memberikan dampak terjadinya *non-value added activity* yang berupa *unnecessary-motion* dan *waiting.*

Pada usulan ini memberikan uraian mengenai kelebihan dan kekurangan dua metode *welding.* Kedua metode tersebut adalah SAW (*submerged arc welding*) dan FCAW (*flux core arc welding*). Tabel 4.23 dibawah ini merupakan perbandingan antara kelebihan dan kekurangan yang terdapat pada masing-masing metode.

Tabel 4. 12 Perbandingan Metode SAW dan FCAW.

No	Metode	Kekurangan	Kelebihan	Keterangan
1	SAW	• Hanya dapat digunakan untuk material tebal. • Mesin yang digunakan membutuhkan *space* luas.	• Tidak memerlukan keahlian *welder*, sehingga biaya untuk lebih murah dibanding biaya *professional welder.* • Mesin sudah terotomatis dan hanya perlu waktu *setting.*	Metode ini dirasa kurang sesuai dan efisien untuk dapat sepenuhnya di terapkan, dikarenakan mesin membutuhkan tempat yang lebih luas.
2	FCAW	• Masih membutuhkan keahlian *professional welder.*	• Ukuran mesin *accesability, flexible* dan tidak membutuhkan *space* luas. • Dapat diaplikasikan dengan ketebalan *plate* berapapun. • Harga *filler metal* murah.	Metode ini dipilih dikarenakan mampu memberikan waktu yang lebih singkat dari metode sebelumnya.

Metode pertama yang diusulkan adalah metode SAW (*submerged arc welding*), merupakan metode yang menggunakan proses secara otomatis tanpa membutuhkan keterampilan *welder* (tukang las). Metode ini memberikan waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan metode lainnya. Namun, metode ini terbatas hanya dapat melakukan pengelasan dengan posisi horizontal. Jika ingin melakukan *rotary welding*, memerlukan mesin tambahan untuk dapat memutar benda kerja. Dengan begitu, maka akan membutuhkan tempat yang lebih luas. Oleh karena itu, metode ini dianggap kurang sesuai dengan perusahaan dimana penelitian dilakukan.

Metode kedua adalah menggunakan pengelasan FCAW (*flux core arc welding*) yang merupakan metode pengelasan *semi-automatic.* Pada proses ini, aliran *filler metal* dipasok secara terus menerus namun masih membutuhkan *welder* untuk memegang *torch* dimana lelehan *filler metal* keluar. Metode ini dapat digunakan untuk melakukan pengelasan yang membutuhkan berbagai macam posisi. Metode ini tidak memerlukan penambahan mesin untuk memutar benda kerja. Dengan beberapa pertimbangan bahwa FCAW dapat mereduksi waktu pengelasan dan biaya

filler metal yang murah. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa penerapan metode FCAW pada proses fabrikasi *shell* dengan menggunakan 4 lembar *plate.*

4.2.1 Metode FCAW dengan *Sheet Metal Plate*

Salah satu usulan untuk mengurangi *lead time* dapat dilakukan dengan menggunakan metode FCAW. Pada usulan ini, diberikan uraian penggunaan metode FCAW pada proses *longitudinal welding* dan *assembly* yang akan mengurangi waktu pada proses tersebut. *Raw material* yang digunakan masih berupa lembaran *plate* yang memiliki beberapa proses produksi yang sama yang terjadi pada proses *actual* fabrikasi sebelumnya, sehingga pada usulan ini perlu dilakukan analisa terhadap besarnya pengurangan waktu yang dapat diberikan.

Uraian yang akan diberikan merupakan prediksi proses produksi jika mengganti metode las menjadi FCAW yang kemudian dilanjutkan dengan menghitung biaya produksi. Tabel 4.24 dibawah ini memberikan pemetaan untuk proses *welding* dengan FCAW.

Tabel 4. 13 *Lead Time* Fabrikasi *Shell* dengan FCAW

Process	*Marking*	*Cutting*	*Rolling*	*Long weld*	*Circum weld (assembly)*	*Shipping*	Total
Detik	6590.0	5690.0	35994.0	140616.0	161410.0	53100.0	403400.0
Jam	1.8	1.6	10.0	39.1	161410.0	14.8	112.1
Hari	0.3	0.2	1.4	5.6	23058.6	2.1	16

Tabel 4.24 merupakan rangkuman dari prediksi penggunaan metode FCAW dengan *plate* yang masih memerlukan proses *forming* menjadi *tubular*. Total waktu yang diperlukan dalam proses produksi badan *shell* dengan metode FCAW adalah 383000 detik = 16 hari kerja. Untuk detail aktivitas pada masing-masing proses, terdapat pada lampiran. Total waktu yang dibutuhkan melebihi dari waktu yang direncanakan (*planning*) sebesar 5 hari.

4.2.2 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Pada sub-bab ini dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja yang dilakukan dengan menghitung *man power* yang terlibat dalam proses fabrikasi yang memiliki proses yang sama dengan proses *actual* fabrikasi, namun memiliki perbedaan pada proses pengelasannya, dimana pada proses ini memiliki kecepatan pengelasan yang relative lebih tinggi. Selanjutnya menghitung biaya tenaga kerja berdasarkan dari jenis aktivitas yang dilakukan dengan deskripsi pekerjaan serta lamanya waktu yang dibutuhkan pada proses tersebut. Merujuk pada Tabel 4.6 yang merupakan

biaya tenaga kerja sesuai dengan jenis pekerjaannya, sehingga diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 4.25 dibawah ini.

Tabel 4. 14 Biaya Tenaga Kerja Langsung Usulan Penggunaan Metode FCAW

Aktivitas	Man Power	Job des	Lama Proses (days)	Cost (Rp.)
Marking	1	Fitter	0.31	46500
	1	QC		77500
Cutting	1	Fitter	0.26	39000
Rolling	1	Helper	1.88	188000
	1	Fitter		282000
	1	QC		470000
Long weld	1	Helper	5.69	569000
	1	Fitter		853500
	1	Welder		1138000
	1	AQC		1991500
Circum weld (assembly)	1	Helper	4.95	495000
	1	Fitter		742500
	1	Welder		990000
	1	AQC		1732500
Shipping	1	Helper	2.11	211000
Total	15		16	9826000

Tabel 4.25 diatas merupakan rekap biaya untuk proses fabrikasi *shell* dengan menggunakan usulan metode FCAW yang dilakukan selama16 hari dan menghabiskan biaya tenaga kerja sebesar Rp.9.826.000. Setelah diketahui biaya tenaga kerja yang diperlukan, kemudian dilakukan perhitungan terhadap biaya *raw material* dan *filler metal.*

4.2.3 Perhitungan Biaya Fabrikasi dengan Metode FCAW

Langkah selanjutnya adalah menghitung biaya produksi dengan menggunakan usulan ini. Total biaya diperoleh dari biaya *filler metal,* biaya *raw material* dan biaya tenaga kerja yang kemudian dijumlahkan. Biaya raw material yang digunakan masih sama dengan biaya raw material pada *actual* fabrikasi, sedangkan untuk mengetahui biaya *filler metal* dimulai dengan menghitung kebutuhan *filler metal* untuk metode FCAW dari perhitungan luas pengelasan, *volume area root opening* dan *volume bevel*, sehingga diperoleh berat yang dibutuhkan. Dari berat yang dibutuhkan, nantinya dapat dikonversi kedalam harga dari *filler metal.* Sebelum melakukan perhitungan, harus diketahui desain sambungan pengelasannya. Desain sambungan pengelasan

bisa dilihat pada Gambar 4.7 yang berada pada uraian kebutuhan *filler metal actual.* Langkah-langkah dalam menghitung kebutuhan *filler metal* FCAW dapat dilakukan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan pada sub-bab 4.1.5 dengan *volume* pengelasan yang sama. Namun memiliki perbedaan pada diameter *filler metal*, sehingga dilakukan proses menghitung dimulai dari perhitungan kawat las.

a. Perhitungan Kebutuhan Kawat Las

Total *volume* = *volume root* + *volume bevel* = 0,000263271 m^3

ρ besi = 7847 kg/m^3

Diameter electrode: 0.8 mm

$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow$ m = ρ x v

m = 7847 kg/m^3 x 0,000263271 m^3 = 2,065 kg = 2,7 kg

Massa yang di butuhkan untuk mengisi kampuh las dengan sudut *bevel* 25^o menggunakan *filler metal* berupa *electrode* adalah 2,7 kg. 1 *roll filler metal* = 15 kg dengan panjang 5356 mm. Untuk dapat mengisi *area bevel* dengan kebutuhan 2,7 kg, maka memerlukan *filler metal* sepanjang 964 mm.

Harga satu *roll filler metal* adalah Rp.330.000, sehingga untuk mengetahui harga yang diperlukan dalam mengisi *area bevel* yang memerlukan 964 mm *roll filler metal* adalah Rp.59.392 sehingga untuk kebutuhan *shell* dengan 4 *longitudinal welding* dan 3 *assembly* (*circum welding)* adalah Rp. 997.548

Pada usulan mengganti metode pengelasan dengan menggunakan FCAW membutuhkan waktu selama 16 hari kerja. Oleh karena itu, biaya pekerja dengan menggunakan metode FCAW hanya membutuhkan biaya sebesar Rp.9.826.000 sedangkan biaya raw material yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 248.123.552. Rangkuman biaya yang dihasilkan dari usulan penggantian metode pengelasan dengan material dan proses yang sama dengan *actual* terdapat pada Tabel 4.26 dibawah ini.

Tabel 4.15 Rekap biaya *shell* metode FCAW

Variabel	Jumlah	Biaya (Rp.)
Tenaga Kerja	16 Hari	9.826.000
Material	4 *plate*	248.123.552
Filler	49 kg	997.548
Total		258.947.100

Tabel 4.26 diatas merupakan rekapitulasi biaya pembuatan *shell* yang terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya material dan biaya *consumable filler metal.* Tabel diatas diciptakan untuk mempermudah dalam mengetahui harga dari *shell* dengan menggunakan metode FCAW. Biaya

total yang dihasilkan memiliki perbedaan yang relatif besar dibandingkan dengan biaya produksi *actual*. Usulan ini mampu mengurangi besarnya biaya produksi namun, waktu produksi yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini hanya mampu mengurangi *lead time* selama 5 hari. Untuk mempermudah dalam membandingkan dengan *actual* proses, maka diberikan pembanding seperti Tabel 4.27 dibawah ini

Tabel 4. 16 Perbandingan *Actual* Fabrikasi dengan Usulan Penggunaan Metode FCAW

Variable	*Actual* Fabrikasi	Usulan Perbaikan	Selisih
Waktu fabrikasi	21 hari	16 hari	5 hari
Biaya tenaga kerja	Rp. 15.016.000	Rp. 9.826.000	Rp. 5.190.000
Biaya filler metal	Rp. 1.838.339	Rp. 997.548	Rp. 840.791

Dari Tabel 4.27 diketahui bahwa metode ini memberikan perubahan dalam pengurangan waktu fabrikasi yang berdampak pada pengurangan biaya tenaga kerja. Penggunaan metode ini tidak mampu memenuhi *schedule* yang telah direncanakan yakni 11 hari. Oleh karena itu, perlu diberikan beberapa usulan lagi, guna memberikan sebuah usulan yang lebih baik. Usulan yang diberikan, tidak dapat mengurangi waktu fabrikasi secara signifikan, sehingga perlu dilakukannya perubahan proses produksi dengan mengurangi atau menghilangkan proses yang memiliki kontribusi *non-value added* terbesar, yaitu pada proses *longitudinal welding.* Pengurangan proses ini, dapat menggunakan *raw material* yang sudah dilakukan proses *forming* dan tanpa harus dilakukan proses *longitudinal welding*, sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya produksi. *Raw material* yang diusulkan merupakan *raw material* yang memiliki bentuk *tubular*. Pada pembahasan selanjutnya akan diuraikan mengenai penggunaan *material* ini.

4.3 Usulan Penggunaan *Tubular Rolled Plate*

Setelah dilakukannya analisa terhadap usulan sebelumnya, maka metode FCAW dipilih sebagai metode yang mampu mengurangi proses pengelasan dan proses ini memiliki biaya *filler metal* yang lebih murah. Dari beberapa pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa proses produksi *shell* yang memiliki waktu tunggu terlama adalah pada saat dilakukannya proses *longitudinal welding*. Sehingga, pada uraian ini akan diberikan usulan mengenai pengurangan aktivitas *longitudinal welding.* Analisa di mulai dengan menghilangkan aktivitas *longitudinal welding* kemudian dilanjutkan dengan analisa perubahan rancangan produk dengan menggunakan pendekatan *design for manufacturing and assembly*.

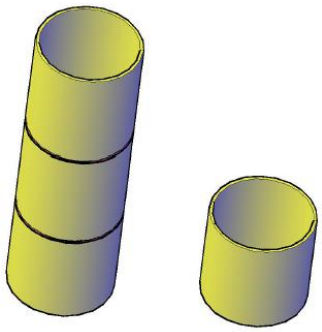
Konsekuensi yang diperoleh dengan menghilangkan *longitudinal welding* adalah dengan mengganti *raw material* menjadi *tubular rolled plate* (TRP). Ketersediaan TRP yang ada dipasaran adalah dengan ketebalan minimal yang tersedia yaitu 45mm. Merujuk pada sub-bab 4.1.1 mengenai perhitungan ketebalan yang disyaratkan, maka TRP yang dipilih adalah yang memiliki tebal minimal. Tabel 4.28 dibawah ini merupakan ukuran *tubular rolled plate* yang tersedia.

Tabel 4. 17 Ukuran *Tubular Rolled Plate* yang Tersedia

Rolled Plate (*Tubular*)	*Thickness (inch)*	*Size* t x ID (*inch*)	*Price* (Rp.)
45 mm	1.75	72 x 67	82.740.762
50 mm	2	72 x 67	91.934.180
60 mm	2.375	72 x 67	110.321.016
65 mm	2.625	72 x 67	119.514.434

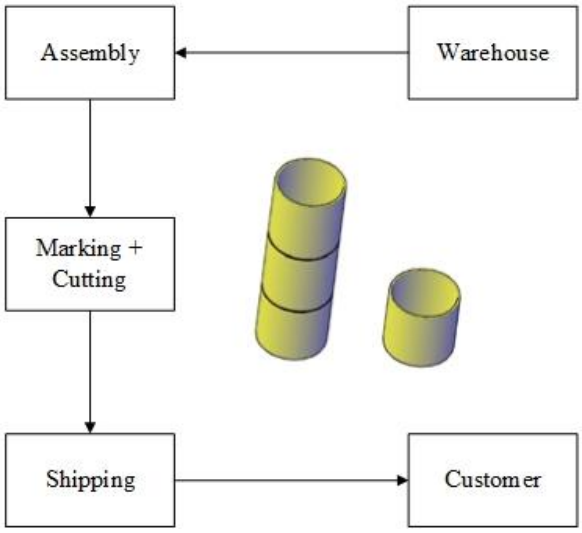
(Sumber: *Supplier Database*)

Penggunaan TRP dapat menghilangkan kegiatan *longitudinal welding* sekaligus menghilangkan aktivitas sebelumnya yakni proses *rolling.* Sehingga akan mengurangi aktivitas produksi *shell.* Usulan penggunaan TRP diilustrasikan pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Usulan penggantian *plate shell*

Gambar 4.11 diatas merupakan usulan penggunaan *tubular rolled plate*. Ukuran *actual shell* memiliki panjang sebesar 210,545 inch sehingga, dengan ukuran TRP yang tersedia untuk memenuhi panjang *shell,* hanya memerlukan 3 buah TRP. Dengan penggunaan TRP maka akan memangkas waktu proses fabrikasi karena akan menghilangkan waktu untuk *rolling* dan *longitudinal welding.* Sedangkan untuk aktivitas *marking* dan *cutting* masih dilakukan dikarenakan 3 TRP yang disusun melebih dari panjang *shell actual* namun waktu yang dibutuhkan lebih singkat di bandingkan dengan *actual* fabrikasi. Untuk dapat mengetahui estimasi waktu terhadap aktivitas fabrikasi, maka dilakukan pemetaan proses produksi. Gambar 4.12 di bawah ini merupakan aliran proses fabrikasi dengan menggunakan TRP.



Gambar 4. 12 Aliran proses fabrikasi dengan menggunakan TRP

Dari Gambar 4.12 di atas diketahui bahwa proses fabrikasi *shell* dimulai dari proses *material handling* dari *ware house* ke *yard* yang kemudian dilakukan proses *assembly*. Setelah dilakukan proses *assembly*, kemudian dilakukan pengukuran terhadap dimensi panjang *shell* yang dibutuhkan yaitu 5348 mm atau 210,5 inch. Penggabungan tiga TRP melebihi panjang *shell actual*, sehingga dilakukan aktivitas pemotongan (*cutting*). Untuk mengetahui estimasi waktu fabrikasi menggunakan TRP dapat dilihat pada Tabel 4.29 di bawah ini.

Tabel 4. 18 Estimasi Waktu Penggunaan *Tubular Rolled Plate*

Process	*Circum weld (assembly)*	*Cutting*	*Shipping*	Total
Detik	72300	3020	53100	128420
Jam	20.08	0.84	14.75	35.67
Hari	2.87	0.12	2.11	5

Tabel 4.29 diatas merupakan estimasi waktu fabrikasi menggunakan TRP. Penggunaan *tubular rolled plate* membutuhkan waktu yang lebih singkat, karena proses manufaktur berkurang, misalnya proses *rolling* dan *longitudinal welding.* Aktivitas *marking* dan *cutting* mengalami pengurangan waktu, karena pada proses ini tidak membutuhkan pengulangan aktivitas. Aktivitas *marking* dan *cutting* pada penggunaan TRP dilakukan untuk menyesuaikan dengan panjang desain *shell actual*. Selain itu, waktu untuk aktivitas *assembly* juga berkurang dikarenakan jumlah *assembly* hanya membutuhkan 2 kali *assembly*, serta metode yang digunakan adalah metode FCAW *welding.* Nilai pada aktivitas *assembly* untuk proses *welding* dilakukan dengan mengestimasikan lamanya waktu pengelasan. Tabel 4.29 diatas adalah penggabungan ide pada usulan pertama (mengganti metode *welding*) dan usulan pengurangan *longitudinal welding.*

Langkah selanjutnya adalah menghitung biaya tenaga kerja, dan biaya fabrikasi dengan TRP. Perhitungan waktu didasarkan pada saat perhitungan waktu dengan menggunakan TRP namun waktu untuk proses *welding* menggunakan waktu dari metode FCAW.

4.3.1 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Pada sub-bab ini dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja yang dilakukan dengan menghitung *man power* yang terlibat dalam proses fabrikasi sesuai dengan usulan yang diberikan yang pada proses pengelasan memiliki kecepatan pengelasan yang lebih tinggi. Merujuk pada Tabel 4.6 yang merupakan biaya tenaga kerja sesuai dengan jenis pekerjaannya, sehingga diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 4.30 dibawah ini.

Tabel 4. 19 Biaya Tenaga Kerja Langsung Usulan Penggunaan TRP

Aktivitas	*Man Power*	Job des	Lama Proses (days)	*Cost* (Rp)
Circum weld (assembly)	1	Helper	2.87	286904
	1	Fitter		430357
	1	Welder		573809
	1	AQC		1004166
Cutting	1	Fitter	0.12	17976
Shipping	1	Helper	2.11	211000
Total	6		5	2524214

Tabel 4.30 diatas merupakan rekap biaya untuk proses fabrikasi *shell* dengan menggunakan usulan penggunaan *tubular rolled plate* dan metode FCAW yang dilakukan selama 5 hari dan menghabiskan biaya tenaga kerja sebesar Rp.2.524.214. Setelah diketahui biaya tenaga kerja yang diperlukan, kemudian dilakukan perhitungan terhadap biaya *raw material* dan *filler metal.*

4.3.2 Perhitungan Biaya Fabrikasi dengan TRP

Langkah selanjutnya adalah menghitung biaya produksi dengan menggunakan usulan ini. Perhitungan biaya fabrikasi *shell* diperoleh dari total material dan *filler metal* serta biaya tenaga kerja yang kemudian dijumlahkan. Merujuk pada Tabel 4.28 harga material TRP dengan ketebalan 45 mm adalah sebesar Rp. 82,740,762. Penggunaan TRP untuk badan *shell* adalah sebanyak 3 buah sehingga, total biaya material yang dibutuhkan adalah Rp. 248.222.286.

Untuk mengetahui biaya *filler metal* dimulai dengan menghitung kebutuhan *filler metal* untuk metode FCAW dari perhitungan luas pengelasan, *volume area root opening* dan *volume bevel*, sehingga diperoleh berat yang dibutuhkan. Dari berat yang dibutuhkan, nantinya dapat

dikonversi kedalam harga dari *filler metal.* Sebelum melakukan perhitungan, harus diketahui desain sambungan pengelasannya. Desain sambungan pengelasan merujuk pada Gambar 4.7 yang berada pada uraian kebutuhan *filler metal actual.* Langkah-langkah dalam menghitung kebutuhan *filler metal* FCAW dapat dilakukan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan pada sub-bab 4.1.5 dengan *volume* pengelasan berbeda dikarenakan pada perhitungan ini disesuaikan dengan panjang pengelasan *circum welding* (*assembly*). Total panjang pengelasan pada proses *assembly* adalah 2 *circumferential welding* atau 10696 mm.

a. Menghitung luas pengelasan *Root*

Luasan pengelasan = 3 mm x 10696 mm

= 32088 mm^2

b. Menghitung *Volume Area Root Opening*

Diketahui pada gambar 3 bahwa:

Root Opening dan *root face* = 3 mm

Volume Root = Panjang pengelasan x *root face* x *root opening*

= 32088 mm x 3 mm x 3 mm

= 288792 mm^3 = 0,000288792 m^3

c. Menghitung *Volume Bevel*

Sisa tebal dari pengurangan *Root Face*= 42 mm. Sehingga di peroleh perbandingan kebutuhan kawat las dari *volume* yang telah di hitung diatas. Perhitungan di bawah ini menunjukkan seberapa besar kebutuhan kawat las:

Sudut *bevel* = 25^o

Area sudut bevel = tebal *root face* x tan sudut *bevel*

= 42 tan 25^o = 19,58 mm

Luas alas bevel:

$\frac{AB+CD}{2}\ x\ tinggi = \frac{3+19,58}{2}\ x\ 42 = 474,18\ mm^2$

Volume bevel = Luas alas *bevel* x panjang pengelasan

Volume bevel = 474,18 mm^2 x 1524 mm = 722650 mm^3 = 0.000722650 m^3

Volume root = 0,000288792 m^3

Total volume = 0,001011442 m^3

ρ besi = 7847 kg/m^3

Diameter electrode: 0.8 mm

$\rho = \frac{m}{v}$ → m = ρ x v

m = 7847 kg/m^3 x 0,001011442 m^3 = 7,936 kg = 8 kg.

Massa yang dibutuhkan untuk mengisi kampuh las dengan sudut *bevel* 25^o menggunakan *filler metal* berupa *electrode* adalah 8 kg. 1 *roll filler metal* = 15 kg memiliki panjang 5356 mm. Untuk dapat mengisi *area bevel* dengan kebutuhan 8 kg, maka memerlukan 2857 mm

Harga satu *roll filler metal* adalah Rp.330.000 dengan panjang 5356 mm harga yang diperlukan dalam mengisi *area bevel* yang memerlukan 2857 mm *roll filler metal* adalah Rp. 176.020. Biaya 3 TRP yang dibutuhkan adalah Rp. 248.222.286. Untuk dapat mengetahui total biaya yang dibutuhkan, terdapat pada Tabel 4.31 di bawah ini.

Tabel 4. 20 Rekap Biaya Fabrikasi dengan TRP

Variabel	Jumlah	Biaya (Rp.)
Tenaga Kerja	5 Hari	2.524.214.
Material	3 TRP	248.222.286.
Filler	15 kg	176.020
Total		250.922.520

Tabel 4.31 diatas merupakan rekapitulasi biaya pembuatan *shell* yang terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya material dan biaya *consumable filler metal.* Biaya total yang diperlukan adalah Rp. 250.922.520. Lamanya waktu yang diperlukan dalam memproduksi *shell* menggunakan metode ini adalah 5 hari. Tabel diatas diciptakan untuk mempermudah dalam mengetahui harga dari *shell* dengan menggunakan TRP dan FCAW.

Penggunaan TRP memberikan beberapa perubahan yang mengakibatkan adanya pengurangan proses *assembly.* Langkah selanjutnya adalah analisa perubahan rancangan produk dengan menggunakan pendekatan *design for manufacturing and assembly* yang akan diuraikan pada sub-bab berikutnya.

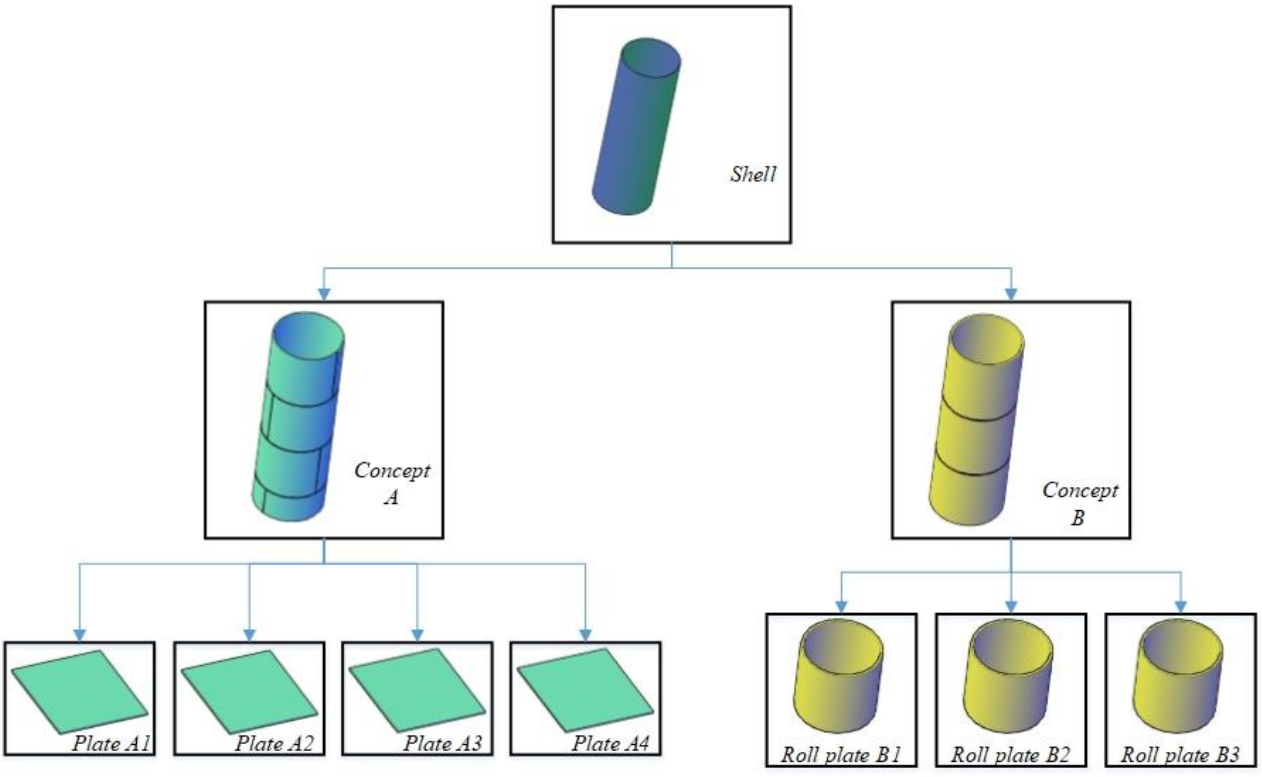
4.3.3 Elaborasi Usulan

Pada tahapan ini, dilakukan elaborasi usulan perbaikan yang telah diperoleh dari uraian sebelumnya. Elaborasi berdasarkan tujuan dilakukannya perbaikan. Tujuan dari fase ini adalah untuk mengimplementasikan usulan perbaikan ke dalam detail desain dengan cara mengukur proses yang lebih sedikit aktivitas manufaktur dan *assembly*. Pada fase ini, memiliki beberapa tahapan lagi, yaitu: menentukan *quality function*, membuat *manufacturing matrix, evaluate the candidate* dan *select the manufacturing process.*

Fase pertama adalah menentukan *quality function. Quality function* adalah kemampuan produk untuk dapat memenuhi fungsi yang diinginkan misalnya dalam hal kemampuan menahan *pressure* sesuai dengan persyaratan *basic design*, serta kemampuan material untuk tidak mudah

menipis (*thinning*) dan bekerja dalam waktu yang lebih lama karena tahan terhadap korosi maupun erosi. Definisi *pressure* adalah kemampuan produk dalam menahan tekanan yang disyaratkan. Definisi *thinning* adalah kemampuan material untuk tidak mudah mengalami penipisan atau penurunan ketebalan dikarenakan faktor korosi dan erosi yang. Pemilihan level yang digunakan untuk menilai *quality function* berdasarkan dari perhitungan secara teknik. Nilai yang diberikan merupakan tingkatan (skala) kemampuan dalam melakukan *quality function.* Skala tersebut memiliki 5 level, yaitu: 1 (sangat tidak kuat), 2 (tidak kuat), 3(sedang), 4(kuat), 5 (sangat kuat). Semakin tinggi nilai yang diberikan, maka semakin baik produk dalam pemenuhan *quality function.*

Fase selanjutnya adalah membuat *manufacturing matrix.* Fungsi penggunaan *manufacturing matrix* adalah untuk membantu *designer* memutuskan dalam memilih proses manufaktur yang sesuai antara *quality function, number of parts,* waktu dan biaya produksi. Sebelum membuat *manufacturing matrix,* dilakukan pemetaan *product element* berdasarkan usulan pada fase sebelumnya. Pemetaan tersebut terdapat pada Gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4. 13 *Product element for concept* A dan B

Atribut produk (*individual part*) dan parameter proses usulan dipetakan pada matriks yang disebut matriks manufaktur. Struktur matriks manufaktur terdiri dari tiga bagian yang berbeda: atribut produk (vertikal), parameter proses (secara horizontal) dan hubungan antara atribut produk dan parameter proses. Parameter proses terletak pada bagian atas dari tabel *manufacturing matrix*

yang terdiri dari kriteria yang menunjang *manufacturing process*, antara lain: *quality function, time* dan *cost.* Tabel 4.32 merupakan *manufacturing matrix* untuk *actual process* dan *future process* (usulan penggunaan TRP dan FCAW).

Tabel 4. 21 *Manufacturing Matrix Shell*

Fabrikasi *Shell*	*Parts of*	*Process parameter*					
		Quality Function		*Time* (*days*)	*Cost* (Rp.)		
		Pressure	*Thinning*		*Material*	*Labour*	*Filler Metal*
Actual Process	PA1	4	3	21	248.123.552	15.016.000	1.838.339
	PA2	4	3				
	PA3	4	3				
	PA4	4	3				
Future Process	TRP 1	5	5	5	248.222.286	2.524.214	176.020
	TRP 2	5	5				
	TRP 3	5	5				

Tabel 4.32 diatas merupakan tabel *manufacturing matrix concept* usulan perbaikan untuk proses produksi *shell.* Setelah diketahui nilai dari masing-masing *quality function,* kemudian dicari nilai rata rata pada setiap usulan. Nilai rata-rata diperoleh dari nilai yang terdapat di masing-masing *parts* untuk setiap usulan. Nilai *quality function* untuk setiap usulan terdapat pada Tabel 4.33 dibawah ini.

Tabel 4. 22 *The summarized values of each solution*

Assembly set	*Quality Function*		*Time (days)*	*Cost* (Rp.)		
	Pressure	*Thinning*		*Material*	*Labour*	*Filler Metal*
Actual : Pa1 + Pa2 + Pa3 + Pa4	4	3	21	248.123.552	15.016.000	1.838.339
Future: Rpb1 + Rpb2 + Rpb3	5	5	5	248.222.286	2.524.214	176.020
Selisih	1	2	16	(-) 98734	12.491.786	1.662.319

Tabel 4.33 merupakan ringkasan nilai untuk setiap proses. Untuk *actual* proses dengan individual *parts* (PA1+PA2+PA3+PA4), memiliki nilai untuk *pressure* sebesar 4 dan nilai *thinning* sebesar 3. Nilai *quality function* untuk *future* proses dengan individual parts (TRP1 + TRP2+ TRP3) memiliki nilai *pressure* sebesar 5 dan nilai *waiting* sebesar 5. Semakin tinggi nilai yang terdapat pada *quality function,* maka semakin tinggi kemampuan produk dalam hal pemenuhan persyaratan fungsional.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara *actual process* dengan *future process.* Pada langkah ini melakukan pemeriksaan ulang pada usulan perbaikan proses fabrikasi *shell* dari sudut pandang usulan yang memiliki keutamaan dalam mengurangi jumlah *parts* dan aktivitas *assembly*. Usulan yang diberikan memiliki perbedaan dari beberapa aspek. Perbedaan tersebut terdapat pada Tabel 4.34 di bawah ini.

Tabel 4. 23 Tabel Perbandingan Usulan Pernggunaan TRP dengan *Actual Process*

Kriteria	Klasifikasi	Selisih Nilai
Pengurangan Biaya Komponen	*Raw Material* (jumlah)	1
	Method / Processing (days)	16
Pengurangan Biaya *Assembly*	*Labour* (biaya tenaga kerja)	Rp.12.491.786
	Equipment / tools (filler metal)	Rp.1.662.319
Minimal *waste*	*Pressure*	1
	Thinning	2

Tujuan pada fase ini adalah untuk memastikan tingkat keefektifan perubahan yang telah dirancang pada fase sebelumnya terkait manfaat dan kelebihan dari konsep sistem yang dibangun. Potensi adanya peningkatan *improvement* jika menerapkan usulan yang dipilih. Untuk usulan *future* proses memiliki kelebihan dalam mengurangi jumlah *raw material*, biaya yang disebabkan pemakaian *tools*, mengurangi *lead time* yang terjadi, sehingga dapat menurunkan biaya tenaga kerja serta biaya manufaktur. Biaya tenaga kerja mengalami penurunan dikarenakan aktivitas yang diusulkan lebih cepat dan sederhana dibandingkan *actual* aktivitas. Aktivitas *future* proses mengurangi aktivitas *longitudinal welding* dan *rolling*, sehingga *waste* seperti gerakan dan waktu tunggu menjadi minimal. Parameter lain dalam usulan yang diberikan adalah kemampuan produk dalam menahan *pressure* yang disyaratkan (421 Psi), dan kemampuan material untuk tetap digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama.

4.4 Perancangan Ulang Proses Produksi

Pada sub-bab ini akan dilakukan proses merancang ulang proses produksi. Langkah pertama untuk dapat melakukan perancangan ulang proses produksi adalah dengan memilih usulan yang telah diberikan sebelumnya. Kedua usulan yang diberikan memiliki perbedaan dalam proses produksinya. Usulan pertama memiliki alur proses yang sama dengan proses *actual* hanya saja pada saat dilakukan pengelasan memiliki perbedaan waktu dikarenakan pada usulan ini metode yang digunakan merupakan metode semi otomatis. Sedangkan usulan kedua merupakan sebuah usulan penggunaan *tubular rolled plate* yang menyebabkan perubahan proses produksi dengan memangkas beberapa proses produksi.

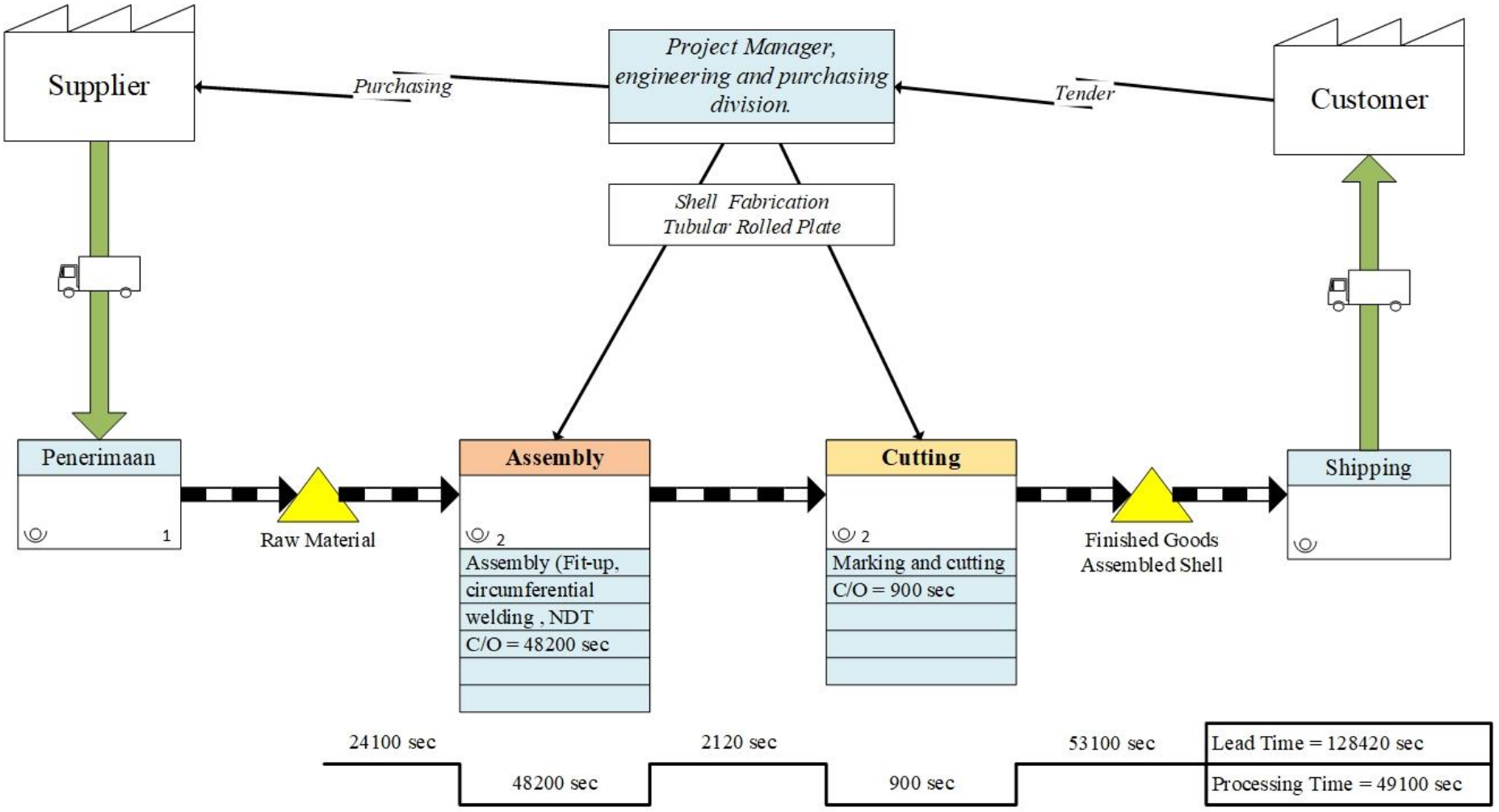
Pemilihan usulan perbaikan bertujuan untuk memilih usulan terbaik dari 2 usulan sebelumnya, yaitu: penggunaan metode FCAW (usulan pertama) dengan penggunaan *tubular rolled plate* dan FCAW (usulan kedua). Tujuan dilakukannya perbaikan adalah mengurangi waktu produksi. Secara konseptual, usulan pertama tidak mengalami perubahan rancangan produk. Sedangkan untuk usulan kedua, memperoleh perubahan desain serta proses produksi. Usulan kedua memberikan perubahan dalam proses *actual* yang hanya membutuhkan proses *rolling* dan *longitudinal welding*, serta mengurangi jumlah aktivitas *assembly* menjadi 2 proses. Dampak dari pengurangan proses *assembly* adalah perubahan waktu yang dibutuhkan untuk *assembly*. Langkah selanjutnya adalah memberikan perbandingan antara usulan pertama dan usulan kedua. Pada tahapan ini diberikan perbandingan jumlah komponen, selain itu juga diberikan perbedaan jumlah aktivitas kerja dan waktu fabrikasi yang dibutuhkan. Tabel 4.35 di bawah ini merupakan perbedaan antara usulan pertama dan usulan kedua.

Tabel 4. 24 Perbandingan Usulan Pertama dan Usulan Kedua

Konsep proses	Jumlah Komponen	*Lead time* (*days*)	Jumlah *assembly*	Biaya Produksi (Rp.)
Usulan pertama	4	16	3	258.947.100
Usulan kedua	3	5	2	250.922.520
Selisih	1	11	1	8.024.580

Tabel 4.35 merepresentasikan perbedaan antara usulan pertama dengan usulan kedua. Untuk usulan pertama: jumlah *raw material* 4, jumlah *assembly* 3, *lead time* 16 hari, biaya manufaktur yang dibutuhkan Rp.258.947.100 dengan aktivitas proses: *marking; cutting; rolling; longitudinal welding* dan *assembly*. Untuk usulan kedua: 3 *tubular rolled plate,* jumlah proses *assembly* 2, *lead time* 128420 detik, biaya manufaktur yang dibutuhkan adalah Rp.250.922.520 dengan aktivitas proses: *assembly* dan *marking and cutting for escessive material*. Uraian diatas merupakan perbedaan antara konsep usulan pertama dan kedua, maka dipilih usulan yang memiliki nilai terendah pada *lead time* dan biaya produksi yaitu usulan kedua. Usulan kedua adalah menggunakan *tubular rolled plate* dan metode FCAW.

Langkah selanjutnya adalah memetakan aliran proses fabrikasi untuk usulan kedua, agar mengetahui perbedaan yang telah disebutkan sebelumnya. Merujuk pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.29, telah diketahui aliran proses produksi dan waktu yang dibutuhkan pada usulan kedua kemudian dilakukan pemetaan aktivitas fabrikasi untuk dengan menggunakan *value stream mapping* sebagai sebuah *future process.* Gambar 4.14 dibawah ini merupakan *value stream mapping* untuk *future* proses (*future state mapping*).



Gambar 4. 14 *Future State Mapping* Fabrikasi *shell* dengan *Tubular Rolled Plate* (TRP)

Dari Gambar 4.14 diatas diketahui bahwa proses fabrikasi dengan menggunakan TRP memperoleh *lead time* sebesar 128420 detik, sedangkan untuk *operation time* yang dibutuhkan adalah 49100 detik. Pada usulan ini waktu yang dibutuhkan adalah 5 hari. Pada usulan ini sudah dapat memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh *customer*. Selain itu, proses ini dapat memangkas beberapa aktivitas produksi dan biaya produksi yang lebih murah. Untuk mengetahui selisih waktu produksi, biaya produksi, jumlah komponen dan jumlah *assembly* antara *actual process* dengan *future process* terdapat pada Tabel 4.36 dibawah ini

Tabel 4. 25 Perbedaan *actual* dan *future process*

Konsep proses	Jumlah Komponen	*Lead time* (*days*)	Jumlah *assembly*	Biaya Produksi (Rp.)
Actual Process	4	21	3	264.977.891
Future Process	3	5	2	250.922.520
Selisih	1	16	1	14.055.371

Dari Tabel 4.36 diatas diketahui bahwa usulan kedua memiliki waktu yang relative lebih cepat dikarenakan dapat memangkas aktivitas produksi dan menurunkan biaya produksi. Perbedaan waktu yang terjadi adalah 16 hari, dan biaya produksi sebesar Rp. 14.055.371. usulan ini merupakan solusi yang terbaik untuk proses fabrikasi *shell.*

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai analisis yang diberikan untuk menjabarkan hasil setelah dilakukan pengkajian sebaik-baiknya. Analisis diuraikan berdasarkan pada pengolahan data yang terdapat di bab sebelumnya.

5.1 Analisis dan Pembahasan Objek penelitian

Objek yang menjadi amatan adalah *shell. Shell* merupakan komponen utama penyusun *pressure vessel.* Desain utama yang di butuhkan adalah *design pressure* yang dapat menentukan ketebalan minimal dari penggunaan *raw material*. Ketebalan minimal dengan *design pressure* 421 Psi adalah 24.5 mm. *Plate* dengan ukuran ketebalan 24.5 mm tidak tersedia dipasaran, sehingga pemilihan *plate* adalah dengan menggunakan *plate* 25 mm. Tinggi *shell* adalah 210.5 inch, lebar *plate* yang digunakan memiliki ukuran 60 inch. Untuk dapat memenuhi desain *shell* dengan tinggi 210,5 inch, maka membutuhkan *raw material* sebanyak 4 *plate* yang disusun secara vertikal.

Shell memiliki bentuk *cylindrical* (tabung) yang mengharuskan *plate* dilakukan proses *forming.* Aliran proses fabrikasi *shell* dimulai dari aktivitas *marking, cutting, rolling, longitudinal welding* dan *assembly.* Total waktu fabrikasi *shell* adalah 521000 detik atau 21 hari kerja. Waktu fabrikasi ini mengalami keterlambatan dari jadwal yang sudah ditetapkan oleh *customer.* Perbedaan antara *planning* dan *actual schedule* adalah sebesar 10 hari. Besarnya waktu yang dibutuhkan dikarenakan lamanya waktu tunggu. Hal tersebut mengakibatkan pengaruh pada biaya tenaga kerja. Biaya tenaga kerja yang dibutuhkan untuk proses fabrikasi *shell* selama 21 hari adalah Rp. 15.016.000. Total biaya fabrikasi *shell* adalah Rp. 264.977.891. Dilakukan pemetaan proses fabrikasi guna mengetahui aktivitas yang tidak bernilai tambah sehingga dapat dikurangi atau dihilangkan yang nantinya memiliki dampak pada pengurangan waktu dan biaya fabrikasi.

Pemetaan dilakukan dengan menggunakan *value stream mapping* dan menemukan besarnya waktu tunggu pada pergantian proses dari proses *rolling* menuju *longitudinal welding.* Kemudian dilakukan analisa akar penyebab masalah yang terjadi dengan menggunakan *fishbone diagram.* Dari analisa tersebut kemudian diberikan beberapa usulan perbaikan, salah satunya mengganti metode pengelasan. Analisa penggantian metode tersebut dijelaskan pada subbab selanjutnya.

5.2 Analisis dan Pembahasan Usulan Perbaikan Penggantian Metode

Usulan ini diperoleh dengan membandingkan antara metode pengelasan yang *full automatic* (SAW) dengan metode *semi-automatic* (FCAW). Diperoleh bahwa metode SAW memerlukan

space yang besar dikarenakan SAW membutuhkan penambahan mesin untuk dapat memutar benda kerja dimana mesin tersebut memiliki luasan yang besar. Usulan perbaikan yang diberikan adalah penggunaan metode FCAW yang dinilai sebagai metode yang sesuai untuk proses produksi *shell,* dikarenakan metode ini memiliki kelebihan pada waktu *welding* yang lebih cepat dibandingkan metode *actual* yang digunakan (SMAW). Selain itu, metode FCAW tidak memerlukan kegiatan mengganti *electrode* dikarenakan *supply filler metal* dapat secara *continue.* Penggunaan metode FCAW masih memerlukan juru las yang memegang *torch welding,* sehingga metode ini dapat dilakukan dengan berbagai posisi.

Analisa selanjutnya adalah prediksi penggunaan metode FCAW pada proses pengelasan *shell.* Pada proses ini, material yang digunakan adalah berupa lembaran *plate* yang masih dibutuhkan proses *forming.* Proses fabrikasi pada usulan ini tidak mengalami perubahan dari proses *actual* yang terjadi. Namun, pada saat aktivitas pengelasan, memiliki perbedaan waktu yang relative lebih cepat. Waktu fabrikasi yang diperoleh dengan menggunakan usulan ini adalah selama 16 hari dengan biaya produksi sebesar Rp. 258.947.100. Selisih nilai antara proses *actual* dan usulan ini adalah menurunnya waktu produksi selama 5 hari, biaya tenaga kerja sebesar Rp. 5.190.000 serta biaya *filler metal* Rp.840.791. Penggunaan metode ini tidak mampu memenuhi *schedule* yang telah direncanakan yakni 11 hari. Oleh karena itu, perlu diberikan beberapa usulan lagi, guna memberikan sebuah usulan yang lebih baik. Usulan yang diberikan, tidak dapat mengurangi waktu fabrikasi secara signifikan, sehingga diberikan usulan yang lebih baik.

5.3 Analisis dan Pembahasan Penggunaan *Tubular Rolled Plate*

Dari hasil pembahasan pada usulan yang diberikan sebelumnya, diketahui bahwa usulan tersebut tidak dapat mengurangi waktu dan biaya produksi secara signifikan, sehingga perlu dilakukannya perubahan proses produksi dengan mengurangi atau menghilangkan proses yang memiliki waktu tunggu terbesar, yaitu pada proses *longitudinal welding.* Pengurangan proses ini, dapat menggunakan *raw material* yang sudah dilakukan proses *forming* dan tanpa harus dilakukan proses *longitudinal welding,* sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya produksi. *Raw material* yang diusulkan merupakan *raw material* yang memiliki bentuk *tubular.*

Dampak yang diperoleh dengan menghilangkan *longitudinal welding* adalah mengganti *raw material* menjadi *tubular rolled plate* (TRP). TRP yang tersedia memiliki dimensi *inside diameter* 67 inch, lebar 72 inch, pemilihan TRP dilakukan dengan memilih minimal ketebalan *plate* yang tersedia. Proses fabrikasi *shell* dengan menggunakan TRP hanya memerlukan proses *assembly* yang kemudian dilakukan proses penyesuaian ketinggian dari desain *shell* dengan

melakukan aktivitas *cutting* pada akhir proses. Proses *assembly* yang dilakukan dengan menerapkan usulan pertama, yakni penggunaan FCAW *welding.* Waktu proses fabrikasi yang dibutuhkan adalah 5 hari. Total waktu yang diperlukan memberikan efek terhadap penurunan biaya tenaga kerja. Harga *filler metal* untuk metode FCAW juga lebih murah dibandingkan dengan metode SMAW. Akumulasi pengurangan biaya dari segi biaya tenaga kerja dan biaya *filer metal* (*consumable*) menjadikan usulan ini memiliki nilai biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan proses fabrikasi *actual.* Total estimasi biaya manufaktur dengan penerapan usulan ini adalah Rp.250.922.520.

Pada usulan ini juga dilakukan elaborasi berdasarkan tujuan dilakukannya perbaikan. Elaborasi desain usulan dengan menggunakan pendekatan *design for manufacturing and assembly* guna memperoleh usulan yang lebih sedikit aktivitas manufaktur dan *assembly*. Pada fase ini juga diberikan parameter lain sebagai pembanding antara usulan yang diberikan dengan *actual,* serta dilakukan pemetaan *product element* yang menyusun *actual process* dan *future process* (usulan perbaikan). Selanjutnya dipetakan pada *manufacturing matrix* guna memunculkan parameter lain (*quality function*). Dari *manufacturing matrix* diperoleh nilai rata-rata terhadap *quality function* pada *actual process* dengan *future process*. Nilai rata-rata *quality function* terbesar menentukan tingkat kemampuan produk dalam hal menahan *pressure* dan penipisan material.

Usulan ini memberikan manfaat dalam mengurangi jumlah komponen (*raw material* yang digunakan) dan jumlah proses *assembly* serta waktu produksi. Selain itu juga mengurangi biaya tenaga kerja dan biaya *filler metal.* Untuk mengetahui selisih antara *actual process* dengan usulan ini terdapat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Tabel Selisih *Actual Process* dengan Usulan Penggunaan TRP

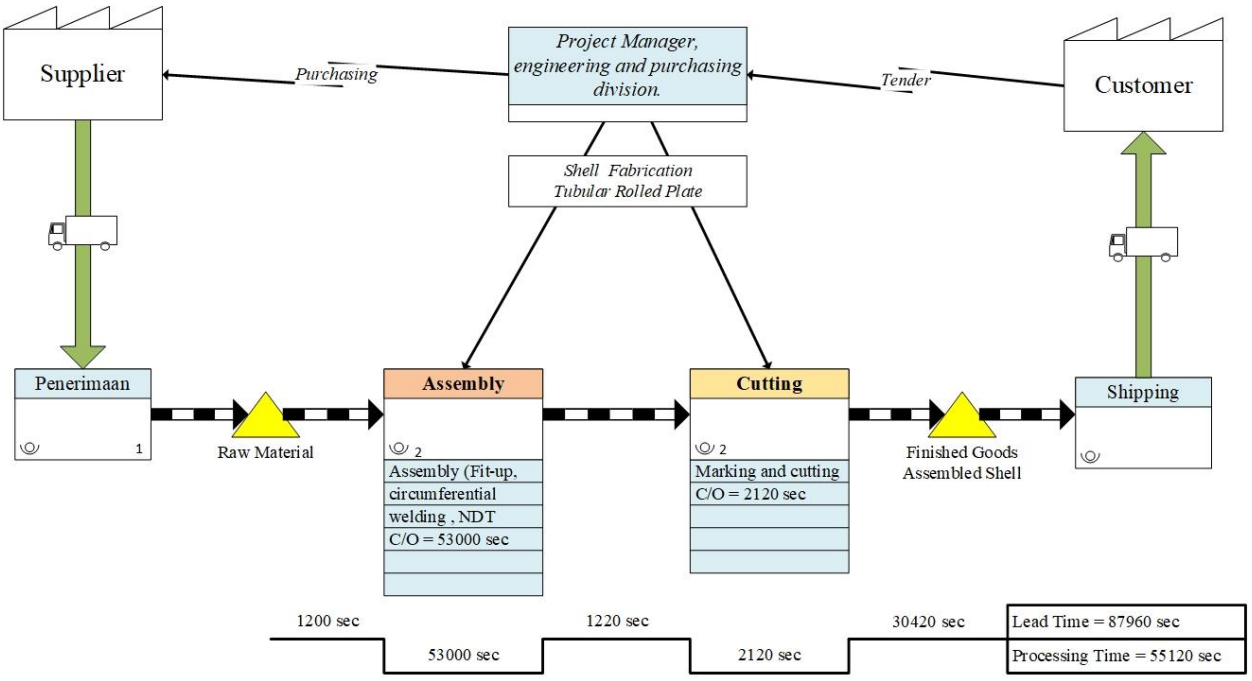
Kriteria	Klasifikasi	Selisih Nilai
Pengurangan Biaya Komponen	*Raw Material* (jumlah)	1
	Method / Processing (days)	16
Pengurangan Biaya *Assembly*	*Labour* (biaya tenaga kerja)	Rp.12.491.786
	Equipment / tools (filler metal)	Rp.1.662.319
Quality Function	*Pressure*	1
	Thinning	2

Jumlah *raw material* yang berkurang adalah 1, dengan pengurangan waktu proses fabrikasi sebesar 16 hari. Selisih biaya tenaga kerja pada *actual process* dengan *future process* adalah Rp. 12.491.786, dan selisih biaya *equipment* (*filler metal*) adalah Rp.1.662.319. Pengaruh faktor lainnya adalah nilai *quality function* (*pressure* dan *thinning*), dengan masing-masing nilai 1 dan 2.

5.4 Analisis dan Pembahasan Perancangan Ulang Proses Produksi

Untuk dapat menentukan atau merancang proses produksi, dilakukan dengan memilih usulan perbaikan yang akan diterapkan. Kedua usulan yang diberikan memiliki perbedaan dalam proses produksinya. Usulan pertama memiliki alur proses yang sama dengan proses *actual* hanya saja pada saat dilakukan pengelasan waktu yang dibutuhkan lebih cepat. Sedangkan usulan kedua dapat menyederhanakan proses porduksi dengan memangkas beberapa proses dengan menggunakan *tubular rolled plate.* Dari uraian pada bab sebelumnya, diperoleh bahwa usulan terbaik adalah usulan kedua, yang mampu secara signifikan mengurangi waktu dan biaya produksi.

Usulan perbaikan kedua memberikan sebuah proses produksi yang lebih baik dari beberapa faktor antara lain: pengurangan jumlah *raw material*, proses *assembly*, waktu produksi, biaya tenaga kerja, biaya *filler metal*, serta peningkatan nilai *quality function.* Selain itu, usulan perbaikan yang diberikan menghasilkan proses yang lebih singkat, dikarenakan dapat memotong beberapa aktivitas, yakni *rolling* dan *longitudinal welding.* Dari analisa tersebut, diperoleh *future state map* yang merupakan pemetaan proses pada usulan perbaikan. Dari seperti pada Gambar 5.1 di bawah ini merupakan *future state map* untuk usulan perbaikan.



Gambar 5. 1 *Future State Map Estimation* dengan Perbaikan Desain Produk

Dari Gambar 5.1 di atas diketahui bahwa aktivitas fabrikasi *shell* mengalami penyederhanaan sehingga proses fabrikasi lebih cepat dilakukan. Selisih waktu fabrikasi dengan *actual* adalah 16 hari dan biaya produksi sebesar Rp. 14.055.371. Sebuah analisa *lean manufacturing* untuk memperoleh *waste* dan akar penyebabnya kemudian menjadi *input* untuk

dapat dilakukan proses mencari alternative terbaik. Usulan ini memberikan solusi terbaik untuk dapat mengurangi waktu produksi, selain itu desain produk yang diperoleh secara tidak langsung juga menerapkan filososfi dari *design for manufacturing and assembly*.

~~ Halaman ini sengaja dikosongkan~~

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, serta langkah-langkah dan hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari pengolahan data dan tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Proses pemetaan aktivitas produksi menggunakan *value stream mapping* merupakan pemetaan aliran proses produksi guna mengetahui waktu tunggu pada setiap aktivitas. Dalam proses fabrikasi *shell* yang memiliki aliran proses seri. Perbedaan waktu siklus dapat mengakibatkan adanya waktu tunggu yang besar pada proses produksinya dikarenakan *raw material* menunggu proses pengerjaan *raw material* pada tahapan proses yang sama. Usulan perbaikan yang diberikan untuk menyiasati hal ini adalah penggantian metode pengelasan, namun tidak memiliki perubahan waktu yang signifikan. Sehingga, usulan perbaikan ini perlu ditingkatkan lagi. Usulan selanjutnya adalah mengganti bentuk material sekaligus metode pengelasan sehingga memperoleh penurunan waktu tunggu dan proses produksi yang lebih singkat.
2. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa perancangan ulang proses produksi dengan memberikan solusi penggantian metode pengelasan dan bentuk material mampu menyederhanakan dan memangkas aktivitas produksi. Kombinasi usulan perbaikan dilakukan guna mendapatkan proses yang lebih singkat dan sederhana serta mampu menurunkan waktu dan biaya produksi. Usulan perbaikan tersebut dapat mengurangi jumlah kebutuhan *raw material* sebesar 1 buah, waktu proses fabrikasi selama 16 hari, biaya tenaga kerja Rp. 12.491.786 dan biaya *filler metal* Rp.1.662.319.

6.2 Saran

Berdasarkan dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran untuk perusahaan fabrikasi dan untuk penelitian selanjutnya. Berikut ini adalah saran yang diberikan:

1. Rekomendasi usulan perbaikan untuk proses fabrikasi *shell,* diharapkan dapat diterapkan pada fabrikator yang memproduksi produk yang sama, sehingga pada saat proses fabrikasi, perusahaan tidak mengalami masalah yang serupa. Selain itu, metode perbaikan perubahan metode pengelasan yang diberikan dapat dilakukan pada semua proses fabrikasi logam.

2. Pengambilan data yang dilakukan dengan observasi, perlu dilakukannya pengambilan dan pengukuran beberapa waktu.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisa lebih dalam untuk keseluruhan produk yang berfokus pada penggunaan pendekatan *design for manufacturing and assembly* sehingga, diketahui besarnya pengaruh desain dalam keseluruhan proses fabrikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Alvarez, J. C. (2015). Lean design for Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *32*(8), 895–905.

Ansari, S. M., Fiss, P. C., & Zajac, E. J. (2010). Made to fit: How practices vary as they diffuse. *Academy of Management Review*, *35*(1), 67–92.

ASME, & Committee, Boiler, P. V. (2017). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII.. Rules for Construction of Pressure Vessels*. American Society of Mechanical Engineers.

Barker, R. C. (1994). The design of lean manufacturing systems using time-based analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, *14*(11), 86–96.

Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, *44*(18–19), 3929–3952.

Brockenbrough, R. L., & Merritt, F. S. (1999). *Structural steel designer's handbook*. New York (NY): McGraw-Hill.

Chauhan, G., & Singh, T. P. (2012). Measuring parameters of lean manufacturing realization. *Measuring Business Excellence*, *16*(3), 57–71.

Chitturi, R. M., Glew, D. J., & Paulls, A. (2007). Value stream mapping in a jobshop.

Committee, A. W. S. S. W., & Society, A. W. (1994). *Structural welding code--steel*. Amer Welding Society.

Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson Education India.

Gupta, H. N. (2009). *Manufacturing Process*. New Age International.

Hassan, M. K. (2013). Applying Lean Six Sigma for Waste Reduction in a Manufacturing Environment, *1*(2), 28–35.

Jadhav, P. K., Nagare, M. R., & Konda, S. (2018). Implementing Lean Manufacturing Principle In Fabrication Process-A Case Study.

Jenney, C. L., & O'Brien, A. (2001). *Welding handbook: welding science and technology*. American Welding Society.

K.Sopian, D. A. W. (2008). DFM and DFA Approach on Designing Pressure Vessel, (May 2015).

Kongprasert, N., & Butdee, S. (2015). A methodology for the selection of manufacturing processes based on the design of the Manufacturing Matrix Manufacturing Matrix, (January 2012).

McDonald, T., Van Aken, E. M., & Rentes, A. F. (2002). Utilising simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. *International Journal of Logistics*, *5*(2), 213–232.

Moss, D. R. (2004). *Pressure vessel design manual*. Elsevier.

Nuruddin, A. W., Setyanto, N. W., & Soenoko, R. (2013). Implementasi Konsep Lean Manufactur ing Untuk Meminimalkan Waktu Keterlambatan Penyelesaian Produk " A " Sebagai Value Pelanggan (Studi Kasus Pt . Tsw (Tuban Steel Work), *4*(2), 147–156.

Papadopoulou, T. C., & Özbayrak, M. (2005). Leanness: experiences from the journey to date. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *16*(7), 784–807.

Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.

Septiawan, D. B., & Bekti, R. (2016). Analysis of Project Contruction Delay Using Fishbone Diagram at Rekayasa Industry, *5*(5), 634–650.

Shercli, H. R., & Lovatt, A. M. (2001). Selection of manufacturing processes in design and the role of process modelling, *46*, 429–459.

Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2009). Lean can be a survival strategy during recessionary times. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *58*(8), 803–808.

Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping : literature review and implications for Indian industry, 799–809. https://doi.org/10.1007/s00170-010-2860-7

Singh, R. (2006). *Introduction to basic manufacturing process and workshop technology*. New Age International.

Spiegel, L., & Limbrunner, G. (1991). Desain Baja Struktural Terapan. *Penerbit Eresco, Bandung*.

Sunaryo, H. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal*. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.

Suratman, M. (2001). Teknik Mengelas Asetilin, Brazing, dan Las Busur Listrik. *Bandung: Pustaka Grafika*.

Timings, R. (2008). *Fabrication and Welding Engineering*. Elsevier Ltd.

Weman, K. (2003). *Welding processes handbook*. Cambridge: CRC Press LLC.

Wiryosumarto, H. (2000). *Tekonologi Pengelasan Logam*. Jakart: PT. Pradnya Paramita.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(11), 1148.

Zendy, D. (2011). Penerapan Lean Manufacturing Guna Meminimasi Waste pada Lantai Produksi.

LAMPIRAN

PRESSURE VESSEL DATA SHEET

PRESSURE VESSEL DATA SHEET & HISTORY CARD

NT DATA

IDENTIFICATION		DESIGN / OPERATING DATA	
Tag No.	: V-8760	Construction Code	: ASME SECT.VIII
Location	: HDL/CPA	Division	: Div.1
Description	: MP SEPARATOR	Ed./Add	: 1980 Ed
Unit	: SLUG CATCHER,MAIN/TEST SEPARATION	Design Pressure	: 30 (Barg)
System	: HYDROCARBON EXTRACTION	Max.Allow.Working Pressure (MAWP)	: 30 (Barg)
Fluid	: GAS/LIQUID	Operating Pressure	: 19.6 (Barg)
PID No.	: CPA-10-1005	Design Temperature	: 60 (°C)
PSV tags	: PSV-8765 & PSV-8766	Operating Temperature	: 41 (°C)
Set Pressure	: 29 (Barg)	Sacrificial Anodes	: N/A
Drawing No.	: 520-31-4305 Rev.6	Shell Thickness Required	: 20.92 (mm)
Document Ref.	: -	Heads Thickness Required	: 20.67 (mm)
		Corrosion Allowance	: 3 mm

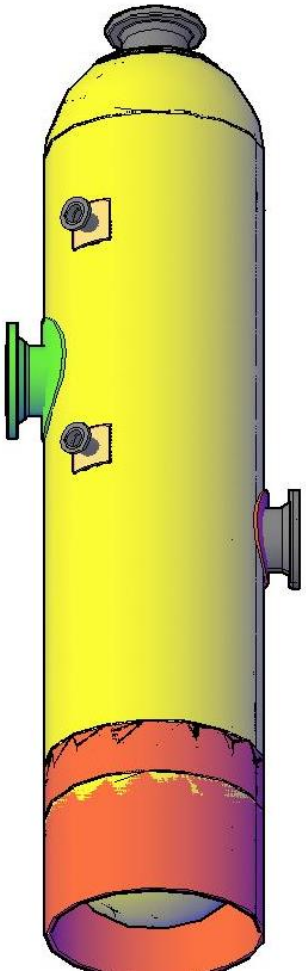
MANUFACTURING / INSTALLATION			
Jurisdiction/National Board Number	: -	Nominal Wall Thickness of Shell	: 25 mm
Manufacturer	: CAC Degremont Le Ceteau	Minimum Wall Thickness of Heads	: -
Manufacturer's Serial Number	: 7633	Type Head 1	: Ellipsoidal
Manufacturer Year	: 1982	Type Head 2	: Ellipsoidal
Material of Shell	: SA-516-70	PWHT	: -
Material of Heads	: SA-516-70	Impact Test	: -
Material of Internals	: -	Insulation	: -
Material of Clad/Linings	: -	Insulation Material	: -
Material of Nozzles	: A-106-B	External Coatings	: YES
Material of Gaskets	: -	Internal Coatings	: Sakhapen Type SI 140G
Size (mm/inch)	: 1700 (ID) x 5655 (TL/TL)	Test Pressure	: 43.5 (Barg)
Empty Weight	: 8960 (Kg)	Commisioning Date	: 1983
Operation Weight	: -		
Type	: Vertical		

3.2. GENERAL DATA

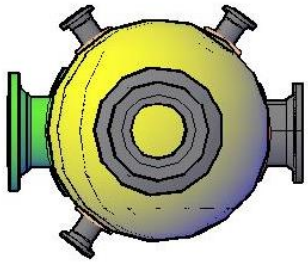
Owner	:	Total E&P Indonesie
Location	:	HDL-CPA-LEX Handil, Kalimantan Timur
Tag No.	:	V-8760
Manufacture Serial No.	:	7633
Description	:	MP SEPARATOR
Type	:	Vertical
Service	:	Gas / Liquid
Design Pressure	:	30 Barg
Design Temperature	:	60 °C
MAWP	:	30 Barg
Radiography	:	Full
Size	:	1750.6 mm OD x 5655 mm T/T
Material:		
Shell	:	SA-516-Gr.70
Head	:	SA-516-Gr.70
Nozzle	:	A-105
Inspection Code	:	API 510, ASME Section VIII Div. 1 : 2007 Ed.

3D DRAWING

FRONT VIEW



TOP VIEW



GENERAL DATA	
NO. VESSEL	V 8760
ITEM NO.	1201026/C
CODE	ASME SEC.VIII DIV.1
VOLUME	-
FLUID	GAS-OIL SEPARATOR
DESIGN PRESSURE	421 Psi
OPERATING PRESSURE	332 Psi
DESIGN TEMPERATURE	140 F
OPERATING TEMPERATURE	90 F
INSIDE DIAMETER	67 inch
LENGTH (TL/TL)	223 inch
CORROSION ALLOWANCE	0.118 inch
HYD. TEST PRESSURE	29 BAR
RADIOGRAPHY TEST	FULL
PAINTING	YES
YEAR BUILD	1982
LOCATION	Handil-CPA Facilities

Checked : Budianto ST.,MT.	Approved : -	Item No. : 12-1026/C	Project : PRESSURE VESSEL
Design : ALIFIYA NURUL AINI	Date : 27-06-2015	Sheet : 1	Drawing Name : MP SEPARATOR V-8760 CPA-HANDIL FIELD
Drawn : ALIFIYA NURUL AINI	Scale : 1:50		

PART-VIII
CALCULATION SHEET

PRESSURE VESSEL CALCULATION

DESIGN CRITERIA

TAG No	: V-8760				
Description	: MP Separator				
Design Code	: ASME Sect. VIII Div.1				
Location	: HDL/CPA				
Design Pressure	: 420.6	Psi	=	29.0 Barg	
Design Temperature	: 60	°C	=	140 °F	
Operating Pressure	: 19.6	Barg			
Operating Temperature	: 41	°C			
Corrosion allowance	: 3.00	mm			
Joint efficiency	: 1.00				
Year built	: 1982				
Size (mm)	: 1700	ID	x	5655.0	T/T

MATERIALS

Shell	:	SA-516-70
Head	:	SA-516-70
Flange #	:	300#RFWN
Head Type	:	2:1 SE Head

SHELL

Circumferential Stress (Longitudinal Joints)

Formula : t req = P.R/(S.E - 0.6 P)

		=	0.82	in	S	=	17,500.00	Psi	(Allowable Stress)
			20.92	mm	E	=	1.00		(Joint Efficiency)
					ID		66.929	in	(Inside Diameter)
UG - 16 (b) requirement	tr	=	20.92	mm	Ri	=	33.465	in	(Inside Radius)
					CA	=	0.1181	in	(Corrosion Allowance)
					P	=	420.60	Psi	(Design Pressure)
					Sh	=	2.42	psi	(static head)
					ta	=	25.30	mm	(Actual Thickness)

Conclusion : The actual thickness is **ACCEPTABLE**

HEAD (2 : 1 ellipsoidal)

Formula : treq=PDi / (2SE-0.2P)

		=	0.81	in	S	=	17,500.00	Psi	(Allowable Stress)
			20.67	mm	E	=	1.00		(Joint Efficiency)
					K	=	1.00		(Factor depend on Head proportion)
UG - 16 (b) requirement	tr	=	20.67	mm	Di		66.929	in	(Inside Diameter)
					CA	=	0.1181	in	(Corrosion Allowance)
					P	=	420.60	Psi	(Design Pressure)
					Sh	=	2.42	psi	(static head)
					ta	=	24.85	mm	(Actual Thickness)

Conclusion : The actual thickness is **ACCEPTABLE**

GRAFIK GENERAL DESIGN BETWEEN THICKNESS, DIAMETER AND PRESSURE

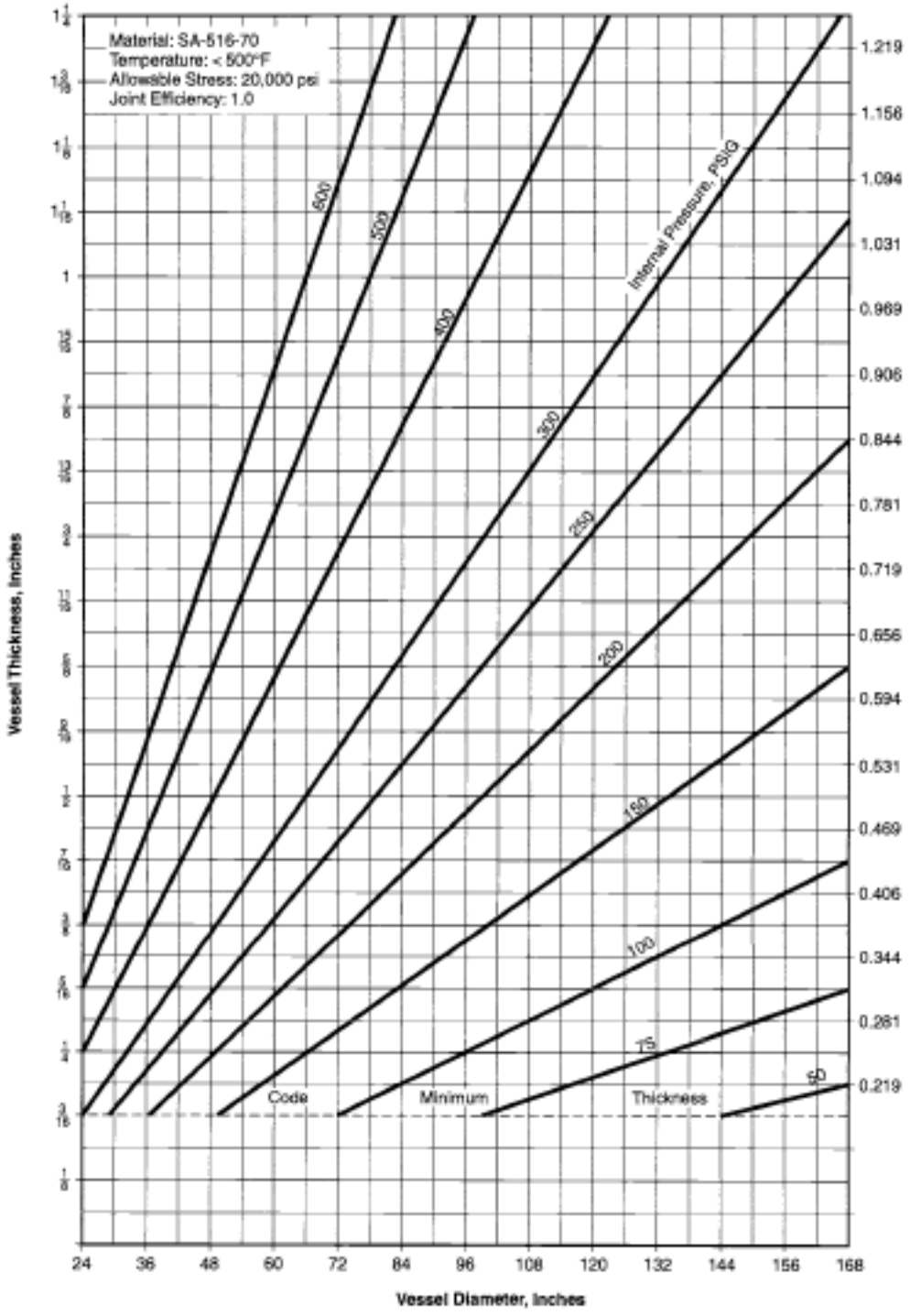


Figure 2-1a. Required shell thickness of cylindrical shell.

GRAFIK GENERAL DESIGN BETWEEN THICKNESS, DIAMETER AND PRESSURE

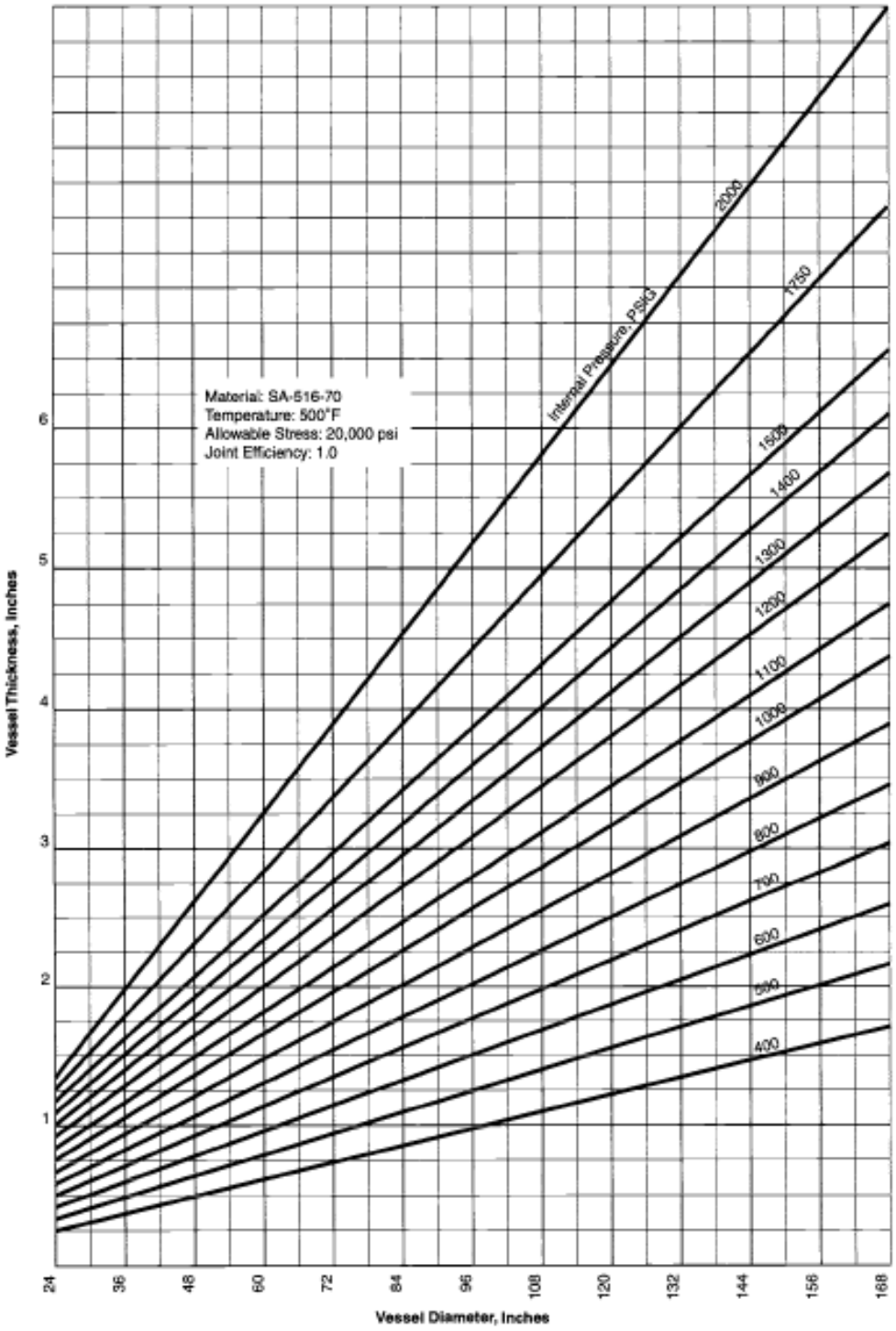


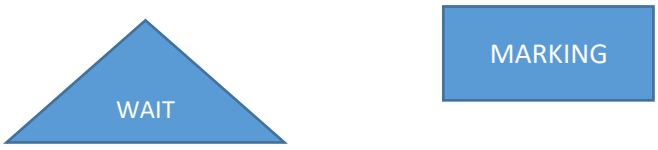
Figure 2-1a. (Continued)

SEQUENCE OF ACTUAL FABRICATION

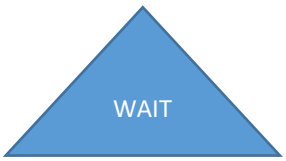
		ACTUAL			
No.		**Process**	**Description**	Time (second)	
				Essential Process	Main Process (OT)
Material handling from warehouse to marking				290	
1	OP 1	MARKING			
			Laid down plate	153	
			Prepare Drawing and Tools	96	
			Marking, stamping and identification		420
			Inspection	231	
		TOTAL CYCLE TIME		900	
Material handling from marking to cutting				290	
2	OP 2	CUTTING			
			Prepare Tools and Equipments	521	
			Cutting and bevelling		960
			Finishing	319	
		TOTAL CYCLE TIME		1800	
Material handling from cutting to rolling				294	
3	OP 3	ROLLING			
			prepare and Set up Machine	895	
			Pre rolling (Press edge of plate)		1781
			Load up part to Machine, material handling	597	
			Prepare Inspection Template	1193	
			Rolling		3804
			Inspection	530	
		TOTAL CYCLE TIME		8800	
Unload, material handling from rolling to welding				616	
4	OP 4	FIT UP + LONG WELDING + NDT			
			Prepare Support plate and Equipments	1290	
			Surface preparation	897	
			Fit Up: Material handling and tack weld.		2713
			Inspection	198	
			Prepare tool and equipments	535	
			Welding		28606

			Cleaning and Finishing	1201	
			Prepare tool and equipments	1202	
			Visual Inspection		1057
			Magnetic Particle/ Penetrant Test		1804
			Radiographic Test		4587
		TOTAL CYCLE TIME		44090	
Unload, material handling from inspection to be assembly				910	
ASSY SHELL #1-2, #2-3, #3-4 (Circumferential Joint)					
5	OP5	FIT UP	Prepare tools and equipments	697	
			Surface preparation	920	
			Fit Up: Material handling and tack weld.		2863
			Inspection	350	
		WELDING	Prepare tool and equipments	500	
			Welding		28650
			Cleaning and Finishing	900	
		INSPECTION	Prepare tool and equipments		
			Visual Inspection	1200	
			Magnetic Particle/ Penetrant Test		900
			Radiographic Test		4800
		TOTAL CYCLE TIME			41780

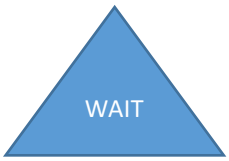
SEQUENCE OF ACTUAL FABRICATION



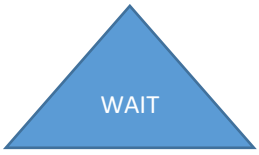
mh	290	p1	900
p2	900	p2	900
p3	1800	p3	900
p4	2700	p4	900
total	5690		



mh	290	p1	1800
p2	900	p2	1800
p3	900	p3	1800
p4	1800	p4	1800
total wait	3890		

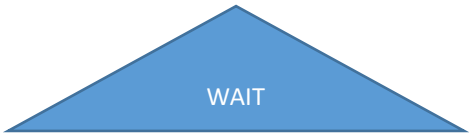


mh	294	p1	6850
p2	4150	p2	6850
p3	11000	p3	6850
p4	13700	p4	6850
total	29144		

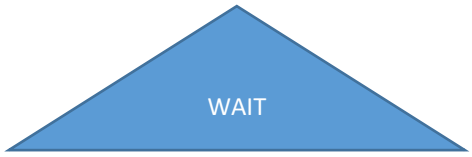


mh	616	p1	44090
p2	33090	p2	44090
p3	55090	p3	44090
p4	66090	p4	44090
			176360
total	154886		

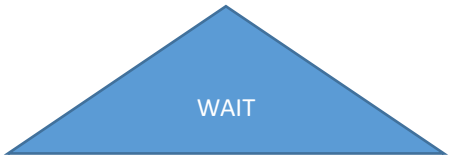
SEQUENCE OF FCAW DENGAN PLATE YANG SAMA.



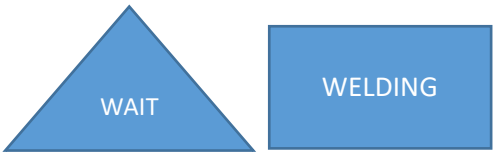
mh	290	p1	900
p2	900	p2	900
p3	1800	p3	900
p4	2700	p4	900
total	5690		



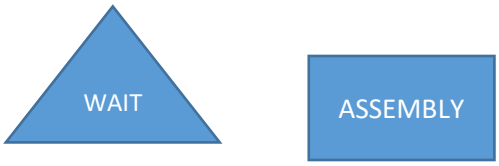
mh	290	p1	1800
p2	900	p2	1800
p3	900	p3	1800
p4	1800	p4	1800
total wait	3890		



mh	294	p1	6850
p2	4150	p2	6850
p3	11000	p3	6850
p4	13700	p4	6850
total	29144		



mh	616	p1	29500
p2	18500	p2	29500
p3	40500	p3	29500
p4	51500	p4	29500
			118000
total	111116		



mh	910		
p1 nunggu			
p2	40500	a1	28000
a1 nunggu			
p3	40500	a2	28000
a2 nunggu			
p4	51500	a3	28000
total	133410		

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Alifiya Nurul Aini

Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 09 April 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 2 (dua) bersaudara. Penulis berasal dari Kecamatan Kamal, Kabupaten Bangkalan, Madura. Domisili di Bumi Marina Emas Barat Gang V, no.48, Keputih, Sukolilo, Surabaya.

Adapun perjalanan penulis dalam menuntut Ilmu Pengetahuan, penulis telah mengikuti pendidikan formal sebagai berikut:

Tahun 2000	Memasuki Sekolah Dasar Negeri Banyuajuh 02, Kamal. Dan telah menyelesaikan pendidikan SD Pada Tahun 2006.
Tahun 2006	Memasuki Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama di SMP Negeri 1 Bangkalan, dan telah menyelesaikan pendidikan pada tahun 2009.
Tahun 2009	Memasuki SMA Darul Ulum 1 Unggulan BPPT, Pondok Pesantren Darul Ulum, Peterongan, Jombang
Tahun 2012	Terdaftar Sebagai Mahasiswa Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Jurusan Desain dan Manufaktur.
Tahun 2016	Terdaftar sebagai mahasiswa program pascasarjana bidang keahlian Manajemen Kualitas Manufaktur, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Dan Menyelesaikan Masa Studi Pada Tahun 2018.
Nomor Handpone	0822-3490-9653
E-Mail	Alifiyanurulaini@gmail.com
Judul Penelitian Tesis	Perencanaan Ulang Proses Produksi Dengan Pendekatan *Value Stream Mapping* Untuk *Pressure Vasel* 421 PSI.