

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai profil perusahaan dan penjelasan tentang data-data yang dikumpulkan. Selain itu terdapat penjelasan tentang pengolahan pada data menggunakan teori yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya serta pembahasan dari hasil penelitian untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian.

4.1 PROFIL PERUSAHAAN

Dalam sub bab profil perusahaan ini akan dijelaskan tentang perusahaan tempat penelitian dilaksanakan. Penjelasan meliputi gambaran umum perusahaan, struktur organisasi, *Process Flow Diagram* dan Slab Steel Plant di PT. Krakatau Steel Tbk.

4.1.1 Gambaran Umum Perusahaan

Pada tahun 1960, Presiden Soekarno mencanangkan Proyek Besi Baja Trikora untuk meletakkan dasar industri nasional yang tangguh. Sepuluh tahun kemudian tepatnya 31 Agustus 1970, berdirilah PT. Krakatau Steel (Persero) yang memanfaatkan kembali peralatan-peralatan dari proyek itu yang berbentuk pabrik kawat baja, pabrik baja tulangan dan pabrik baja profil. Pada 1977, Presiden Suharto meresmikan mulai beroperasinya PT. Krakatau Steel di Indonesia.

Perkembangan Krakatau Steel dalam kurun waktu kurang dari sepuluh tahun meliputi menambah berbagai fasilitas produksi seperti Pabrik Besi Spons, Pabrik Billet Baja, Pabrik Batang Kawat, serta fasilitas infrastruktur berupa pusat pembangkit listrik, Pusat Penjernihan Air, pelabuhan khusus Cigading dan sistem telekomunikasi. Dengan perkembangan ini, PT Krakatau Steel (Persero) menjadi satu-satunya perusahaan baja yang terpadu di Indonesia. Perseroan terus mengembangkan produksi berbagai jenis baja untuk bermacam keperluan, seperti baja lembaran panas, baja lembaran dingin dan batang kawat.

Krakatau Steel saat ini memiliki kapasitas produksi baja kasar sebesar 2,45 juta ton per tahun untuk mendukung produksi baja tersebut. Dengan sebelas anak perusahaan Krakatau Steel sanggup mendiversifikasi usahanya pada usaha-usaha penunjang yang menghasilkan berbagai produk baja bernilai tambah tinggi (seperti pipa spiral, pipa ERW, baja tulangan, baja profil), menyediakan industri utilitas (air bersih, tenaga listrik), industri infrastruktur (pelabuhan, kawasan industri), industri jasa teknik

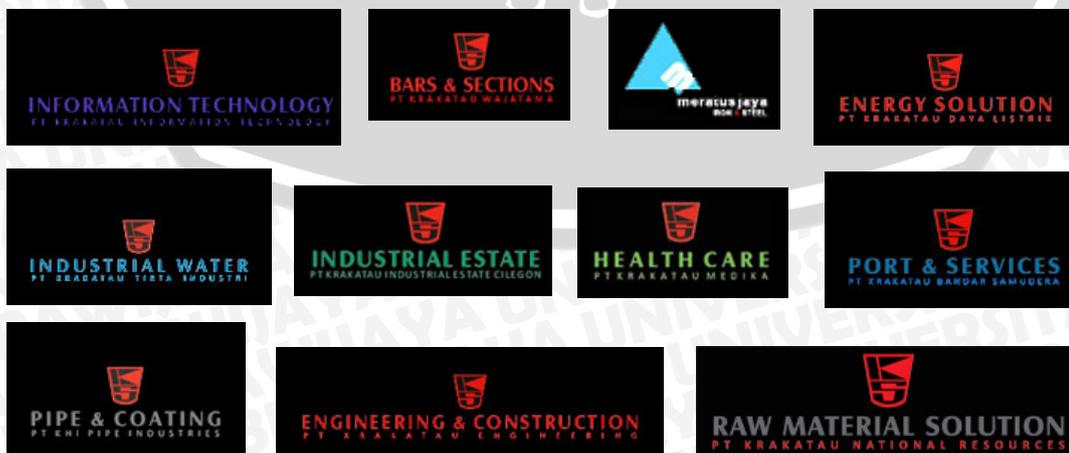
(konstruksi, rekayasa), teknologi informasi, serta menyediakan layanan kesehatan (rumah sakit). Produk-produk baja Krakatau Steel ini tak hanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan baja nasional, tetapi juga dipasarkan secara internasional.

Kemampuan teknis Krakatau Steel yang tinggi sudah diakui menurut standar internasional. Pada 1973 Perseroan sudah memperoleh Sertifikat ASTM A252 dan AWWA C200, serta pada 1977 memperoleh Sertifikat API 5L untuk produksi pipa spiral. Sertifikat ISO 9001 diperoleh PT Krakatau Steel (Persero) pada 1993 dan telah ditingkatkan menjadi ISO 9001:2000 pada 2003. Sementara itu, SGS internasional memberikan Sertifikat ISO 14001 pada 1997 atas komitmen Perseroan pada kesadaran lingkungan dan keselamatan kerja. Pada 10 November 2010, di tengah kondisi pasar yang masih bergejolak, PT Krakatau Steel (Persero) berhasil menjadi perusahaan terbuka dengan melaksanakan penawaran umum perdana (IPO) dan mencatatkan sahamnya di Bursa Efek Indonesia. Pada tahun 2011, PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. membukukan pendapatan bersih sebesar Rp 17,9 triliun dan laba bersih Rp 1,02 triliun. Pada tahun 2011, Perseroan dan anak perusahaan dengan aset senilai Rp 21,5 triliun memiliki 8.023 orang karyawan. PT. Krakatau Steel untuk saat ini menggunakan logo seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Logo Perusahaan PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk
Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk

PT. Krakatau Steel memiliki beberapa anak perusahaan yang berfungsi menunjang kegiatan perusahaan seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Logo Anak Perusahaan PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk
Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk

Anak perusahaan yang dimiliki oleh PT. Krakatau Steel merupakan perusahaan yang bergerak dibidang yang berbeda. Anak perusahaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. PT. KHI Pipe Industry. Berdiri pada tahun 1972, merupakan satu-satunya industri pipa spiral di Indonesia yang memiliki standar yang diakui Internasional dengan kapasitas produksi 155 ribu ton per tahun.
2. PT Krakatau National Resource. Krakatau National Resources merupakan perusahaan penyedia bahan baku industri baja dan industri terkait, serta trading bahan mineral & batubara industri dan baja baik lokal maupun orientasi ekspor.
3. PT. Krakatau Wajatama. Berdiri pada tahun 1992, merupakan produsen besi beton, besi profil, dan kawat baja dengan kapasitas produksi masing-masing 150 ribu, 150 ribu, dan 20 ribu ton per tahun.
4. PT. Krakatau Engineering. Berdiri pada tahun 1988, bergerak di bidang jasa *engineering* dengan total aset pada tahun 2003 senilai Rp 71,5 Milyar.
5. PT. Krakatau Industrial Estate. Berdiri pada tahun 1992, bergerak di bidang properti industri dan komersial dengan total aset pada tahun 2003 senilai Rp 267,6 Milyar.
6. PT. Krakatau Information Technology. Berdiri pada tahun 1993, menyediakan jasa konsultasi, perencanaan, instalasi, pengembangan, implementasi dan penyedia jasa pendukung termasuk komunikasi dan *procurement* perangkat lunak sistem informasi dengan total aset pada tahun 2003 senilai Rp 31,4 Milyar.
7. PT. Krakatau Daya Listrik. Berdiri pada tahun 1996, merupakan perusahaan pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas produksi 400 MW per tahun.
8. PT. Krakatau Tirta Industri. Berdiri pada tahun 1996, bergerak dibidang pengolahan dan distribusi air bersih bagi industri maupun perumahan dengan kapasitas produksi sebesar 33 Juta m³.
9. PT. Krakatau Bandar Samudra. Berdiri pada tahun 1996, merupakan operator dan penyedia jasa pelabuhan dengan aset pada tahun 2003 senilai Rp 118 Milyar.
10. PT. Krakatau Medika. Berdiri pada tahun 1996, merupakan pemberi jasa pelayanan kesehatan dan operator rumah sakit dengan total aset pada tahun 2003 senilai Rp 48 Milyar.
11. PT Meratus Jaya Iron & Steel. Sejak tahun 2005, PT Krakatau Steel (Persero) Tbk telah mulai meneliti penggunaan bijih besi dan batubara untuk pengembangan industri baja lokal. Fokus penelitian ini terpusat di Kalimantan Selatan yang memiliki sumber daya bijih besi dan batubara cukup besar.

4.1.2 Visi, Misi, dan Budaya Perusahaan

Dalam menjalankan kegiatannya, PT. Krakatau Steel Tbk. Memiliki visi misi yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Visi Perusahaan

Perusahaan baja terpadu dengan keunggulan kompetitif untuk tumbuh dan berkembang secara berkesinambungan menjadi perusahaan terkemuka di dunia. (*An integrated steel company with competitive edges to grow continuously toward a leading global enterprise*).

2. Misi Perusahaan

Menyediakan produk baja bermutu dan jasa terkait bagi kemakmuran bangsa. (*Providing the best-quality steel products and related services for the prosperity of the nation*).

3. Budaya Perusahaan

Adapun budaya yang terdapat pada PT. Krakatau Steel adalah sebagai berikut :

a. *Competence*

Yaitu mencerminkan kepercayaan dan kemampuan diri serta semangat untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, keahlian dan sikap mental demi meningkatkan kinerja yang berkesinambungan.

b. *Integrity*

Yaitu mencerminkan komitmen yang tinggi terhadap setiap kesepakatan, aturan, dan ketentuan serta undang-undang yang berlaku melalui loyalitas profesi dalam memperjuangkan kepentingan perusahaan.

c. *Reliable*

Yaitu mencerminkan kesiapan, kecepatan, dan tanggap dalam merespon komitmen dan janji dengan mensinergiskan berbagai kemampuan untuk meningkatkan kepuasan dan kepercayaan pelanggan.

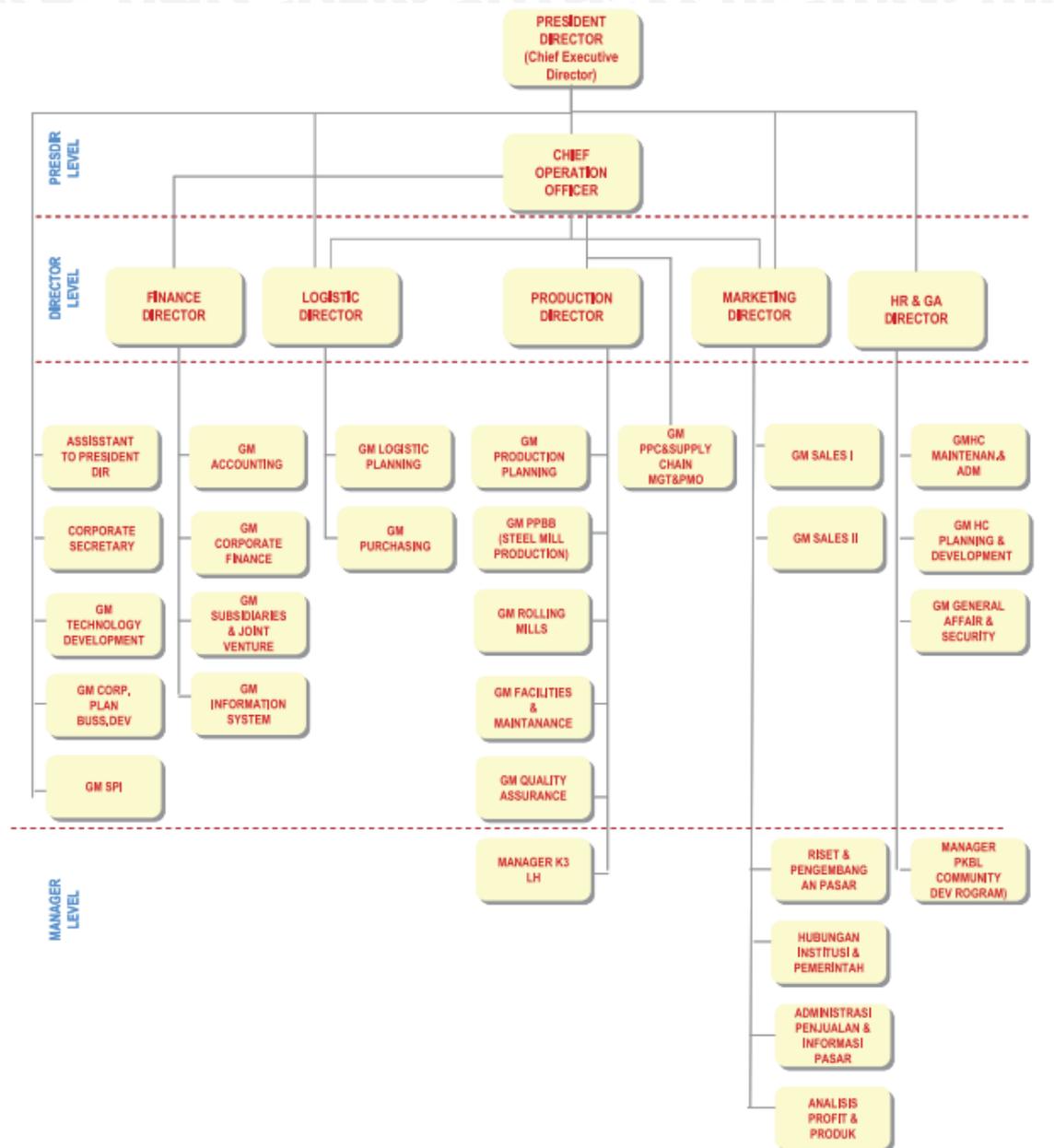
d. *Innovative*

Yaitu mencerminkan kemauan dan kemampuan untuk menciptakan gagasan baru dan implementasi yang lebih baik dalam memperbaiki kualitas proses dan hasil kerja diatas standar.

4.1.3 Struktur Organisasi

Struktur organisasi memiliki peran yang sangat penting bagi suatu perusahaan karena di dalamnya digambarkan hubungan antar bagian yang terdapat di dalam

perusahaan tersebut. Gambar 4.3 menjelaskan struktur organisasi PT. Krakatau Steel secara umum organisasi divisi yang diteliti.



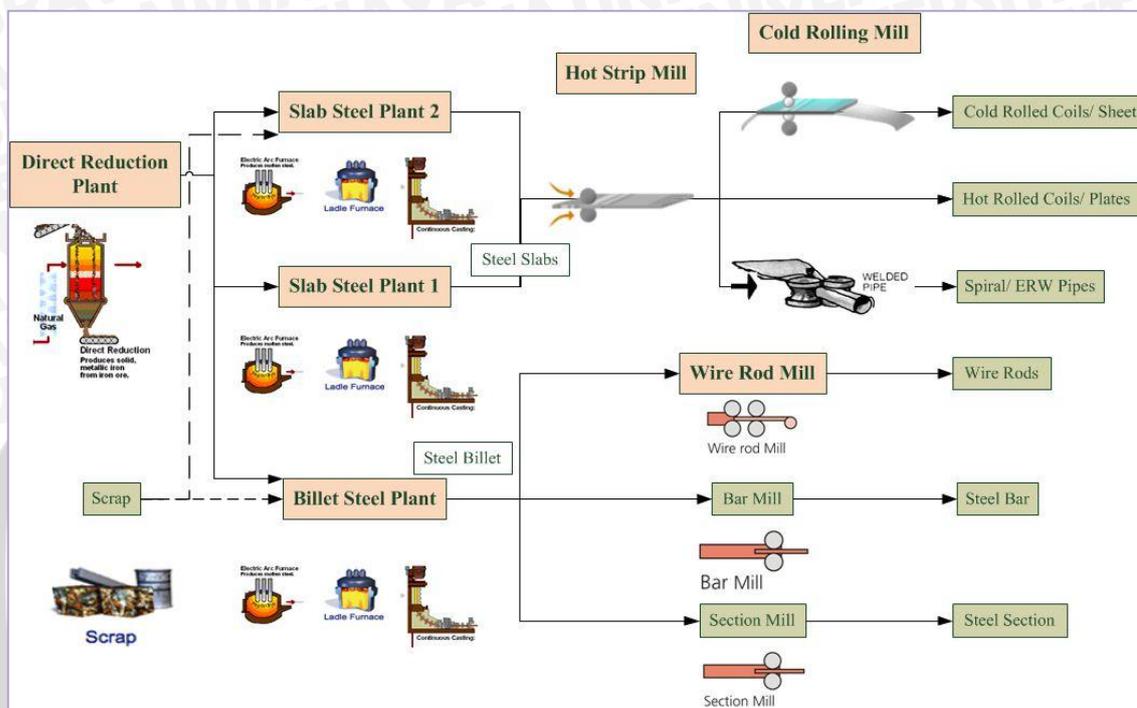
Gambar 4.3 Struktur Organisasi Perusahaan
Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk

Penelitian ini dilakukan pada divisi produksi (*Production Director*) pada bagian *PPC and Supply chain* yang bertepatan pada pabrik *Slab Steel Plant (SSP)*, SSP sendiri berada pada bagian yang dibawah GM *Steel Mill Production*.

4.1.4 Process Flow Diagram

PT. Krakatau Steel memiliki 6 (enam) buah fasilitas produksi yang membuat perusahaan ini menjadi satu-satunya industri baja terpadu di Indonesia. Unit produksi

PT. Krakatau Steel mencakup 6 pabrik utama, yaitu Pabrik Besi Spons (*Direct Reduction Plant*), Pabrik Slab Baja (*Slab Steel Plant*), Pabrik Billet Baja (*Billet Steel Plant*), Pabrik Baja Lembaran Panas (*Hot Strip Mill*), Pabrik Baja Lembaran Dingin (*Cold Rolling Mill*), dan Pabrik Baja Batang Kawat (*Wire Rod Mill*). Bagan alir proses produksi PT. Krakatau Steel Tbk. digambarkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bagan Alir Proses Produksi PT. Krakatau Steel
Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero)Tbk

Keenam buah pabrik tersebut menghasilkan berbagai jenis produk baja dari bahan mentah. Proses produksi baja di PT Krakatau Steel dimulai dari Pabrik Besi Spons (*Direct Reduction Plant*). Pabrik ini mengolah bijih besi pellet menjadi besi dengan menggunakan air dan gas alam. Besi yang dihasilkan kemudian diproses lebih lanjut pada *Electric Arc Furnace* (EAF) di Pabrik Slab Baja (*Slab Steel Plant*) dan Pabrik Billet Baja (*Billet Steel Plant*). Di dalam EAF besi dicampur dengan *scrap*, *hot bricket iron* dan material tambahan lainnya untuk menghasilkan dua jenis baja yang disebut baja slab dan baja billet. Baja slab selanjutnya menjalani proses pemanasan ulang dan pengerolan di Pabrik Baja Lembaran Panas (*Hot Strip Mill*) menjadi produk akhir yang dikenal dengan nama baja lembaran panas. Produk ini banyak digunakan untuk aplikasi konstruksi kapal, pipa, bangunan, konstruksi umum, dan lain-lain. Baja lembaran panas dapat diolah lebih lanjut melalui proses pengerolan ulang dan proses kimiawi di Pabrik Baja Lembaran Dingin (*Cold Rolling Mill*) menjadi produk akhir yang disebut baja lembaran dingin. Produk ini umumnya digunakan untuk aplikasi bagian dalam dan luar

kendaraan bermotor, kaleng, peralatan rumah tangga, dan sebagainya. Baja billet selanjutnya menjalani proses pengerolan menjadi *wire rods*, *steel bar* dan *steel section* pada pabrik *Wire Rod Mill*.

4.1.5 Slab Steel Plant (SSP)

Pabrik Slab Baja (*Slab Steel Plant*) terdiri dari dua buah pabrik. Yang pertama adalah SSP-1 yang menerapkan teknologi MAN GHH dari Jerman dan memiliki kapasitas produksi sebesar 1.000.000 ton per tahun, sedangkan yang kedua adalah SSP-2 yang dilengkapi dengan teknologi Voest Alpine dari Australia dan memiliki kapasitas produksi sebesar 800.000 ton per tahun. Tabel 4.1 akan menjelaskan fasilitas utama apa saja yang ada pada pabrik *slab* baja.

Tabel 4.1 Fasilitas Utama Pabrik *Slab* Baja

Nama Perusahaan		Fasilitas Pabrik
SSP 1		EAF (4x130) - 80 MVA UHP
Kapasitas	1.000.000 mtpy	<i>Ladle Furnace</i>
Teknologi		<i>Tundish</i>
Concast (Germany)		<i>Mould</i>
		<i>Continuous Casting Machine (2)</i>
		<i>Scarfer</i>
SSP 2		EAF (2x130) - 90 MVA UHP
Kapasitas desain	800.000 mtpy	<i>Ladle Furnace</i>
Teknologi	VAI (Austria)	<i>Tundish</i>
		<i>Mould</i>
		<i>Continuous Casting Machine (1)</i>
		<i>Vacuum degassing</i>

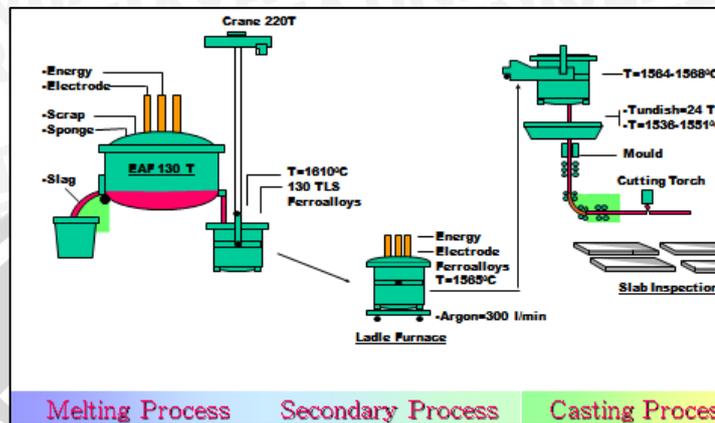
Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk

Pabrik Slab Baja PT. Krakatau Steel mulai berproduksi tahun 1983. Pabrik ini juga menggunakan besi spons sebagai bahan bakunya untuk dijadikan slab. Selain itu juga memanfaatkan baja *reject* hasil proses dari pabrik pengerolan baja lembaran panas (HSM), pabrik pengerolan baja lembaran dingin (CRM), dan pabrik pengerolan kawat baja (WRM).

Pabrik Slab Baja menghasilkan slab baja dengan ukuran :

1. Tebal 100 - 200 mm,
2. Lebar 800 – 2.080 mm,
3. Panjang :
 - a. Length group I : 5.200 – 6.000 mm
 - b. Length group II : 7.450 – 9.200 mm
 - c. Length group III : 9.300 – 10.800 mm
 - d. Length group IV : 11.100 – 12.000 mm
4. Berat maksimum 30 ton.

Tahapan proses produksi yang terjadi pada *Slab Steel Plant* antara lain adalah Proses Peleburan (*Melting Process*), Proses Sekunder (*Secondary Process*), Proses Cetak (*Casting Process*) dan terakhir *Finishing Process*. Gambar 4.5 merupakan gambaran proses yang terjadi pada *Slab Steel Plant* dengan pengelompokan berdasar pada tahapan proses.



Gambar 4.5 Proses Detail Pembuatan Slab Baja
 Sumber: PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk

4.1.5.1 Proses Peleburan (*Melting Process*)

Proses peleburan yang dilakukan di dalam dapur busur listrik (*Electric Arc Furnace*) merupakan tahapan awal proses produksi di Pabrik Slab Baja. *Electric Arc Furnace* disuplai oleh transformator yang dilengkapi dengan *tapping* sebagai pengatur tegangan listrik. Tujuannya adalah:

1. Kualitas baja sesuai dengan standar yang diharapkan
2. Panas yang dihasilkan lebih tinggi dan konstan.
3. Mengurangi pemborosan sumber daya alam.
4. Faktor keamanan baik manusia maupun peralatan.

Sedangkan tahapan-tahapan proses peleburan baja di *Electric Arc Furnace* ini adalah sebagai berikut :

1. Tahap persiapan (*Preparation*)

Tahapan persiapan merupakan tahapan awal yang dilakukan setiap satu proses produksi (*heat*). Pada tahap ini pekerjaan yang dilakukan terdiri dari penggantian elektroda yang sudah pendek, pemeriksaan dan perawatan kondisi batu tahan api (*refractory*), pengecekan peralatan utama dan peralatan pendukung dapur busur listrik serta perbaikan-perbaikan lain yang mungkin diperlukan sehingga diharapkan tidak terdapat gangguan proses selama proses peleburan.

2. Tahap Pemuatan (*Charging*)

Tahap ini merupakan proses pemuatan bahan baku utama yang terdiri dari *scrap*, besi *sponge* dan batu kapur. Pemuatan tersebut dinamakan pengisian awal. Selanjutnya dilakukan pengisian besi spons sebanyak 100 ton dan batu kapur 5 ton secara kontinyu (*Continuous Feeding Process*).

3. Tahap Peleburan (*Melting*)

Proses peleburan ini menggunakan radiasi dari elektroda dengan frekuensi yang tinggi. Proses peleburan bahan baku yang terdiri atas spon dan *scrap* dimasukkan pada saat pelelehan (*melting*) yang melewati *Continuous Feeding*. Saat bahan baku masuk dan *roof* ditutup, maka proses *melting* dimulai dari periode pertama yang disebut penetrasi (tiga buah elektroda mulai menembus muatan). Pada awal peleburan tersebut digunakan tap yang paling rendah, yaitu tap 1 dengan tegangan 490 Volt. Hal ini dilakukan untuk menghindari radiasi terhadap *Arc* yang rendah. Bila kondisi sudah mulai stabil maka tap dinaikan dari tap 1 sampai dengan tap 10. Proses *Melting* terdiri dari dua tahap:

a. Tahap Penetrasi

Tahap penetrasi adalah proses penembusan elektroda pada bahan baku dengan potensial *Arc* pendek. Hal ini dilakukan sebab bila dimulai dari tap rendah maka radiasi elektroda akan rendah sehingga tidak dapat menembus muatan.

Bila dimulai dari tap tinggi, radiasi elektroda akan tinggi. Radiasi yang tinggi dapat mempercepat peleburan di sekitar elektroda sehingga material di sekitarnya akan jatuh ke daerah yang telah melebur. Namun hal ini sangat riskan mengingat material yang jatuh dapat mematahkan elektroda (terbentur muatan yang jatuh tersebut). Untuk mempercepat proses penetrasi, maka tap dinaikan secara bertahap. Bila telah menembus sampai dasar dapur maka tap akan dinaikan kembali sehingga akan diperoleh peleburan dari bawah ke atas. Apabila peleburan dari atas ke bawah akan mengakibatkan adanya reaksi hebat dari muatan yang belum lebur di bagian bawah dapur busur listrik saat temperature mencapai 1.600°C .

b. Tahap *Melting Down*

Pada tahap *melting down* ini dipakai *Arc* yang panjang dan prosesnya terjadi pada temperatur kurang lebih 1.530°C – 1.550°C . Pada tahap ini

pemasukan bahan baku spons dan batu kapur dilakukan secara terus menerus (*continuous*) dengan memakai *conveyor* saat muatan telah melebur 40%.

4. Tahap Pemurnian (*Refining*)

Tahap ini merupakan proses pengaturan komposisi cairan baja sesuai dengan komposisi baja yang diinginkan. *Refining* dilakukan pada saat muatan telah melebur kurang lebih 90%. Pada saat ini dilakukan penghilangan bagi elemen-elemen yang tidak diperlukan dan penambahan material yang diperlukan. Contoh aktivitasnya adalah: pembuangan *slag*, penambahan grafit, injeksi oksigen dan lain sebagainya.

5. Proses Penuangan (*Tapping Process*)

Proses *Tapping* merupakan proses penuangan baja cair hasil dari Dapur Busur Listrik ke dalam *ladle*. Saat proses ini berlangsung proses *slagging* (pembuangan *slag*) berlangsung pula. Pengendalian proses seperti deoksidasi dan *slag treatment* juga dilakukan saat *tapping*.

4.1.5.2 Proses Sekunder (*Secondary Metallurgy*)

Proses *Secondary Metallurgy* merupakan pengaturan komposisi kimia pada baja cair sesuai dengan *grade* yang diinginkan di pasaran. Unit *Secondary Metallurgy* di *Slab Steel Plant* terdiri dari:

1. *Ladle Furnace*

Baja cair dari *Electric Arc Furnace* dituang ke dalam *Ladle Furnace*. Kemudian di *Ladle Furnace* ini temperature dijaga sekitar 1565°C - 1580°C dan ditambahkan bahan-bahan campuran seperti Aluminium, Mangan, Silikon, Vanadium sesuai dengan *grade* yang dibuat.

2. *R. H. Vacuum Degassing*

Fungsi sistem ini adalah untuk mendapatkan baja dengan kandungan gas oksigen (O₂), Hidrogen (H₂) dan nitrogen (N) yang rendah.

Proses yang terjadi di *R.H. Vacuum Degassing* diantaranya:

- a. Decarburasi, yaitu proses penurunan kandungan carbon (C) dalam baja cair.
- b. Deoksidasi, yaitu proses pengurangan kandungan oksigen dalam baja cair.
- c. Denitrogenisasi, yaitu proses pengurangan kandungan nitrogen dalam baja cair.

4.1.5.3 Proses Pencetakan Kontinyu (*Continuous Casting*)

Continuous Casting adalah proses pengecoran logam ke dalam *mould* dari *ladle* sehingga terbentuk slab baja secara kontinyu. Proses yang dilakukan di *Continuous Casting Machine* merupakan proses pencetakan baja cair menjadi slab baja. Proses ini melalui alat-alat sebagai berikut:

1. *Ladle Turret*, berfungsi untuk menampung *ladle* yang berisi baja cair sebelum menuangkan ke *tundish*.
2. *Tundish*, berfungsi untuk mengatur level aliran baja cair yang masuk ke *mould*.
3. *Mould* dan Mesin Pemotong, *mould* merupakan alat pencetak baja dimana baja cair yang keluar melalui *nozzle tundish* masuk ke dalam *mould* dengan pengaturan ketebalan dan lebar sesuai ukuran. Selama proses ini, terjadi pendinginan baja dengan menyemprotkan air pendingin (*cooling system*) secara bertahap yang bergantung pada kecepatan pembentukan kulit slab baja. Dari *mould* slab baja ke luar melalui *strain guide* dengan cara ditarik oleh motor penarik. Kemudian slab baja tersebut melewati *cutting machine* untuk dipotong sesuai panjang dan ukuran yang dikehendaki. Hasil dari proses *casting* dan tumpukan slab pada *cooling bed* seperti pada Gambar 4.6 produk slab dibawah ini.



Gambar 4.6 Produk Slab Baja

(a) Hasil *casting*

(b) Tumpukan slab pada *cooling bed*

4.1.5.3.1 *Finishing Process*

Pada *Finishing Process* ini slab melalui 3 tahap yaitu tahap *cross transfer* kemudian proses *cooling bed* dan terakhir proses *scarfing*. Setelah proses pemotongan dengan *torch cutting machine* slab melalui proses *cross transfer* dimana slab diletakkan secara sejajar kemudian diambil *sampling* dan dilakukan *marking* sebagai tanda kelahiran slab tersebut. Setelah itu slab diangkat dengan *crane* slab ditumpuk untuk dilakukan proses pendinginan dengan bantuan angin, didinginkan secara manual dan

perlahan pada *cooling bed* sehingga kualitas slab tetap terjaga. Terakhir proses yang dilakukan setelah slab sudah mendingin selama beberapa hari di *cooling bed* adalah proses *scarfing* dimana proses yang dilakukan adalah *testline* untuk mengetahui cacat yang dialami slab, kemudian dilakukan proses penetrant, setelah itu proses magnetic *particle test*, kemudian dilakukan proses *scarfing* itu sendiri untuk menghilangkan cacat yang dialami slab dan disesuaikan hasil *testline* dan terakhir untuk menghaluskan slab proses yang harus dilakukan adalah proses gerinda.

4.2 PENGUMPULAN DATA

Scarfing merupakan salah satu proses dalam pembuatan baja. Setelah slab baja dipotong-potong dengan las gas acetylene dan oksigen, slab diinspeksi dan permukaan dilakukan proses *grinding* atau *scarfing* untuk menghilangkan cacat permukaan. Ketika baja ingot yang keluar dari dapur baja telah memiliki temperatur yang seragam proses berikutnya bisa dilakukan pada slab, dimana permukaan slab akan dikurangi hingga panjangnya menjadi 20 ft. dan ketebalannya menjadi 4 hingga 8 in. Permukaan slab akan dicek secara perlahan dan dilakukan proses *scarfed* dengan api dari mesin *scarfing*. Pada proses ini area cacat akan terkelupas hingga slab memiliki kualitas yang baik (Toussaint, 1962:128).

Scarfing merupakan salah satu dari contoh proses pemotongan dengan menggunakan oksigen. Proses pemotongan dengan oksigen telah banyak digunakan oleh industri *engineering* di Indonesia, seperti industri perkapalan, industri konstruksi, industri pembuat desain, reprasi, dan perawatan, dan lain sebagainya. Industri baja juga banyak yang menggunakan proses potong oksigen misalnya untuk potong slab atau ingot. Sedangkan slab yang akan dirol menjadi bentuk plat dibersihkan permukaannya terlebih dahulu dengan cara *scarfing*. Proses *scarfing* ini sudah dipakai sejak 1930-an, sedangkan sebelumnya orang membersihkan slab atau billet dengan menggerinda atau cara mekanik lainnya (Notonegoro, 2012:20). Pada Gambar 4.7 menunjukkan proses *scarfing* dari beberapa sudut pengambilan gambar yang terjadi pada pabrik Slab Steel Plant.

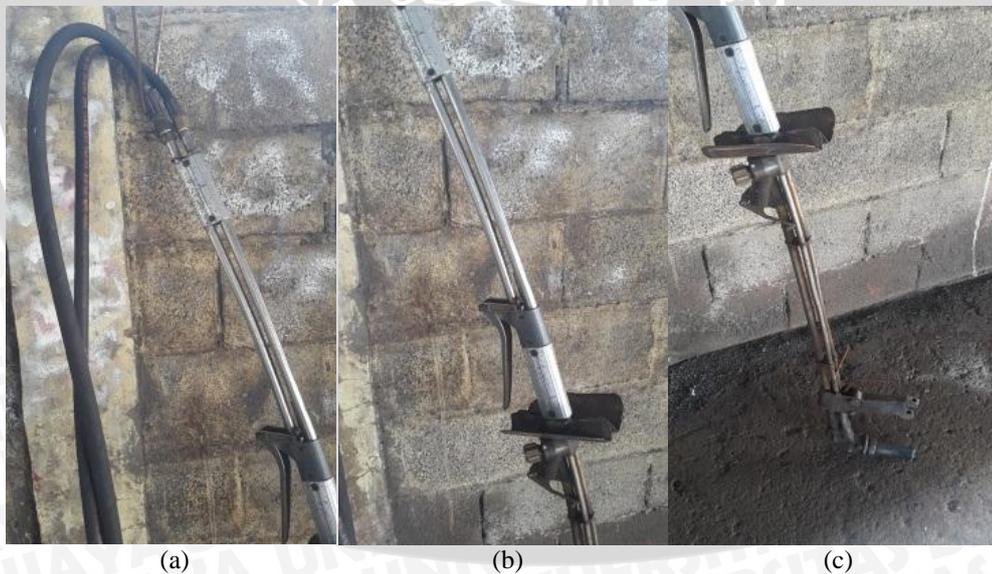


Gambar 4.7 Detail Proses Scarfing

- (a) Tampak kanan
- (b) Tampak kiri
- (c) Tampak serong depan

4.2.1 Alat Scarfing

Pengumpulan data merupakan langkah awal sebelum melakukan pengolahan data. Pengumpulan data awal yang dibutuhkan berupa spesifikasi alat *scarfing*. Data spesifikasi alat *scarfing* digunakan untuk mengetahui dimensi dari alat sehingga dapat dilakukan perbaikan yang sesuai. Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 merupakan gambar dari mesin *scarfing*.



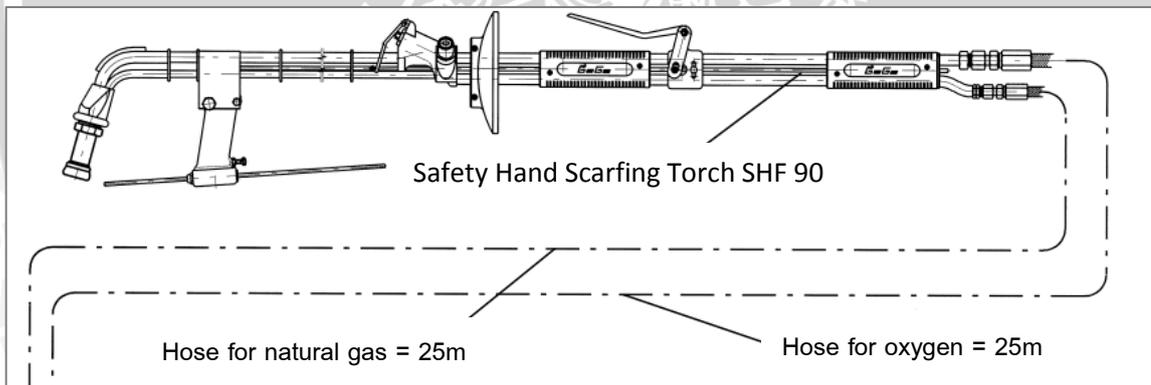
Gambar 4.8 Detail Mesin Scarfing

- (a) Bagian atas dan selang
- (b) Bagian gagang
- (c) Bagian nozzle



Gambar 4.9 Mesin Scarfing

Mesin *scarfing* memiliki 2 selang gas pembakaran yang masing-masing memiliki fungsi menyalurkan oxygen dan natural gas, gagang berfungsi untuk mengatur besarnya gas yang keluar dan terakhir terdapat *nozzle* sebagai corong keluarnya gas yang telah tercampur dengan api berfungsi untuk melakukan proses *scarfing*. Pada ujung *nozzle* gas dan api yang keluar akan bertemu dengan *ignition wire*. Gambar teknik dari mesin *scarfing* bisa dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Gambar Mesin Safety Hand Scarfer / Brander

Gambar 4.10 merupakan gambar mesin dari *hand scarfing equipment* yang digunakan PT. Krakatau Steel. Spesifikasi mesin *scarfing* seperti yang tertera pada Tabel 4.2. Spesifikasi lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1, Lampiran 2, Lampiran 3.

Tabel 4.2 Spesifikasi Alat Scarfing

Bagian	Keterangan
<i>Safety hand scarfer</i>	<i>Scarfing width: 50 – 90 mm</i> <i>Lg: 1500 mm</i> <i>Weight (without hoses): approx.5kg</i>
<i>Hose line for oxygen</i>	<i>DN: 13x25m</i> <i>Supply: 15 – 30 bar</i>
<i>Hose line for natural gas</i>	<i>DN: 10x25m</i> <i>Supply: 12 – 14 bar</i>

4.2.2 Fase Berjalan Proses Scarfing

Data berikutnya yang dibutuhkan yaitu foto proses *scarfing* pada setiap fase berjalan. Karena fase berjalan yang menghabiskan energi paling besar adalah pada fase berdiri atau *stance phase* maka yang digunakan sebagai *sample* adalah *stance phase* atau fase berdiri (Andrian, 2001: 181). Pengumpulan data dilakukan kepada salah satu pekerja *scarfing*. Gambar 4.11 merupakan gambar dari fase berjalan dari operator *scarfing*.



Gambar 4.11 Fase Berjalan dari Proses Scarfing

- (a) Fase *heel strike*
- (b) Fase *foot flat*
- (c) Fase *midstance*
- (d) Fase *heel off*
- (e) Fase *toe off*

Pada Gambar 4.11 dapat diketahui perbedaan pada setiap tahap fase berjalan pada proses *scarfing*. Fase berdiri ini terdiri dari fase *heel strike*, *foot flat*, *midstance*, *heel off* dan *toe off*. Penjelasan dari setiap tahap adalah sebagai berikut:

1. Fase *Heel Strike* adalah fase dimana salah satu tumit kaki yang digunakan sebagai acuan (untuk studi kasus ini kaki kanan pekerja) baru saja menyentuh lantai.
2. Fase *Foot Flat* adalah fase dimana posisi kaki acuan adalah lurus menapak pada alas.
3. Fase *Midstance* adalah fase dimana posisi kaki acuan sama seperti fase *foot flat* yaitu lurus menapak pada alas, namun pada fase ini kaki kiri sejajar posisinya dengan kaki kanan atau kaki acuan.
4. Fase *Heel Off* adalah fase dimana tumit kaki acuan / kaki kanan pekerja menjauhi alas.
5. Fase *Toe Off* adalah fase dimana ujung kaki acuan / kaki kanan yaitu bagian jari-jari menjauhi alas.

4.2.3 Data Jumlah Pekerja

Jumlah pekerja *scarfing* saat ini adalah 23 pekerja dimana seluruhnya berjenis kelamin laki-laki. Pada Tabel 4.3 merupakan data personil pada proses *scarfing*.

Tabel 4.3 Data Pekerja *Scarfing*

GRUP A			GRUP B		
NO	NAMA	JOB	NO	NAMA	JOB
	EKO SP	Foremen		ADE SUPARDI	Foremen
1	Erianto	Scarfer PSB	1	Muizudin	Scarfer PSB
2	Habibi	Scarfer PSB	2	Misje	Scarfer PSB
3	Sayuti	Scarfer PSB	3	M.Dedi	Scarfer PSB
4	Suhaemi	Scarfer PSB	4	Emat Rahmat	Scarfer PSB
5	Tata S	Scarfer PSB	5	M. Eddy Nurdin	Scarfer PSB
6	Udin S	Scarfer PSB			
GRUP C			GRUP D		
NO	NAMA	JOB	NO	NAMA	JOB
	TATA	Foremen		ARA S	Foremen
1	Sardaya	Scarfer PSB	1	Mujid	Scarfer PSB
2	Hidayat	Scarfer PSB	2	Priyanto	Scarfer PSB
3	Erdi S.	Scarfer PSB	3	Samsudin	Scarfer PSB
4	Aliyudin	Scarfer PSB	4	Nana S.	Scarfer PSB
5	Humedi	Scarfer PSB	5	Suharno	Scarfer PSB
6	Supriyono	Scarfer PSB	6	Muhtadi	Scarfer PSB

Dari data Tabel 4.3 diketahui pekerja *scarfing* termasuk pekerja dengan *shift* kerja. Pada satu pabrik terdapat 4 grup kerja, pada setiap grup kerja terdapat *foremen* yang bertugas untuk mengontrol jalannya proses *scarfing*. Dalam satu minggu setiap grup mendapat kesempatan 1 hari libur kerja.

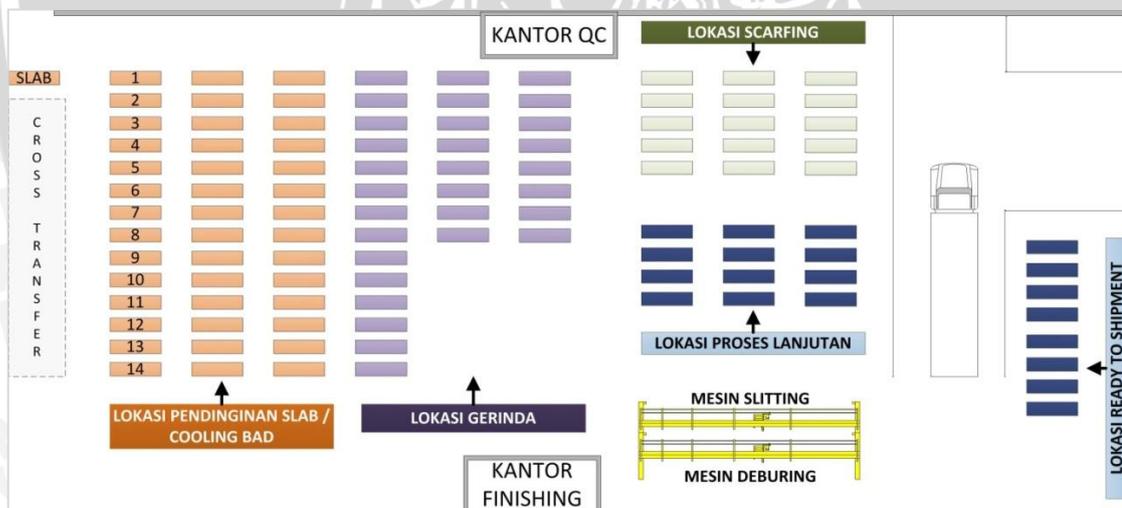
4.2.4 Lokasi Scarfing

Lokasi *scarfing* berada pada area *finishing* pada pabrik Slab Steel Plant. Terdapat beberapa proses yang berlangsung pada area ini seperti proses gerinda, *quality control*, *scarfing*, dan *cooling bed*. Pada Gambar 4.12 menampilkan gambar lokasi *scarfing* pada area *finishing* Slab Steel Plant.



Gambar 4.12 Lokasi Scarfing

Pada *layout* daerah *finishing*, lokasi *scarfing* berada pada ujung proses seperti pada denah Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Denah Bagian *Finishing* Slab Steel Plant

Seperti pada Gambar 4.13 denah area *finishing* di atas, tahapan proses *finishing* pada pabrik Slab Steel Plant adalah pertama slab melalui proses *Cross Transfer*, setelah itu slab baja diletakkan pada lokasi *cooling bed* untuk pendinginan. Pendinginan slab dilakukan secara alami dan perlahan agar kualitas slab tetap terjaga. Slab yang telah mencapai temperatur yang diinginkan kemudian dilakukan proses *scarfing*. Proses *scarfing* dilakukan jika ditemukan cacat pada slab dan jika pemesan slab menginginkan slab dalam keadaan baik tanpa cacat. Slab yang telah selesai melalui proses

scarfing kemudian menuju proses gerinda dan pengecekan akhir dengan penetran. Slab yang telah melalui seluruh proses maka siap untuk dikirim dengan truk.

4.2.5 Data Anthropometri Tinggi Badan Pekerja

Data anthropometri tinggi tubuh pekerja digunakan sebagai input dalam perhitungan biomekanika. *Input* perhitungan biomekanika ini berkaitan dengan panjang setiap segmen tubuh pekerja berdasar pada persen panjang tubuh pekerja. Tabel 4.4 berupa data tinggi tubuh pekerja ini diambil dari populasi pekerja *scarfing* dengan jumlah 23 pekerja.

Tabel 4.4 Data Anthropometri Tinggi Pekerja

No	Nama Pekerja	Tinggi Pekerja	No	Nama Pekerja	Tinggi Pekerja	No	Nama Pekerja	Tinggi Pekerja
1	Erianto	154	9	Erdi S.	154	17	M. Eddy N.	170
2	Habibi	156	10	Aliyudin	154	18	Mujid	165
3	Sayuti	168	11	Humedi	160	19	Priyanto	154
4	Suhaemi	165	12	Supriyono	156	20	Samsudin	170
5	Tata S	167	13	Muizudin	161	21	Nana S.	164
6	Udin S	170	14	Misje	154	22	Suharno	165
7	Sardaya	155	15	M.Dedi	156	23	Muhtadi	154
8	Hidayat	156	16	Emat Rahmat	167			

Perhitungan persentil yang digunakan dalam perhitungan biomekanika pada proses *scarfing* adalah persentil 50. Ini menunjukkan gaya dan momen pada setiap join unit akan mewakili 50% dari populasi pekerja *scarfing*. Maka nilai dari persentil 50 sama dengan nilai rata-rata dari tinggi badan pekerja *scarfing*.

$$\sum \text{tinggi tubuh} = 154+156+168+165+167+170+155+156+154+154+160+156+161+154 \\ +156+167+170+165+154+170+164+165+154 = 3695$$

$$\text{Persentil } 50 = \bar{X} = 3695/23 = 160,6 \text{ cm}$$

Nilai persentil 50 sebesar 160,6 cm digunakan *input* dalam perhitungan biomekanika dengan bantuan *software Mannequin*.

4.3 PENGOLAHAN DATA

Pada proses pengolahan data tahapan yang dilakukan adalah pengolahan data eksisting, pemberian saran perbaikan, dan yang terakhir adalah pengolahan data setelah perbaikan. Proses pengolahan data eksisting bertujuan untuk mengetahui kondisi awal pekerja, kemudian dari kondisi awal pekerja maka dapat diketahui aspek-aspek apa saja yang dapat diberikan solusi perbaikan pada proses selanjutnya, dan terakhir dari adanya saran perbaikan dihitung kondisi pekerja setelah perbaikan dengan perhitungan biomekanika.

4.3.1 Pengolahan Data Eksisting

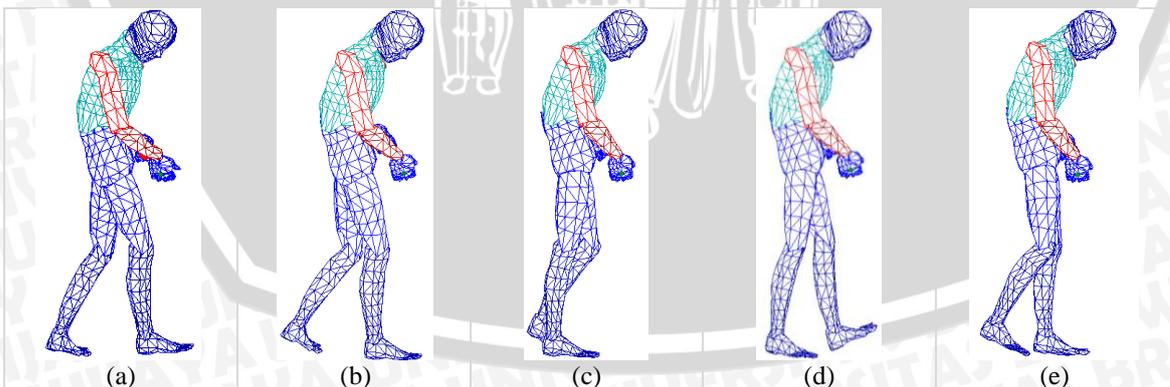
Pengolahan data eksisting adalah proses yang bertujuan untuk mengetahui kondisi awal pekerja. Pada proses pengolahan data eksisting terdapat dua tahap pengolahan yaitu pengolahan data biomekanika dan pengolahan data OWAS. Pengolahan data biomekanika bertujuan untuk mengetahui nilai gaya dan momen yang dirasakan pekerja, sedangkan pengolahan data OWAS bertujuan untuk mengetahui analisis postur tubuh pekerja saat proses *scarfing* berlangsung.

4.3.1.1 Pengolahan Data Biomekanika

Proses pengolahan data biomekanika memiliki tiga proses yaitu proses penentuan postur berbahaya, proses perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada alat, dan terakhir proses perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada pekerja. Perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada pekerja dilakukan dengan cara postur pekerja berbahaya yang terpilih diberi tambahan gaya dan momen pada alat pada bagian tangan.

4.3.1.1.1 Pemilihan Postur Berbahaya

Pada tahap ini kondisi awal pada setiap fase berjalan akan disimulasikan dengan menggunakan *software Mannequin* untuk mengetahui *force* dan *moment* yang dirasakan pekerja di setiap *joint torque*. Pengolahan data biomekanika ini didasari fase berjalan pada *stance phase*. Proses perhitungan diawali dengan mensimulasikan postur pekerja pada setiap fase berjalan dan mencari nilai paling tinggi dari total gaya dan momen dirasakan pekerja. Pada Gambar 4.14 adalah gambar hasil simulasi postur kerja.



Gambar 4.14 Simulasi Postur dengan *Mannequin*

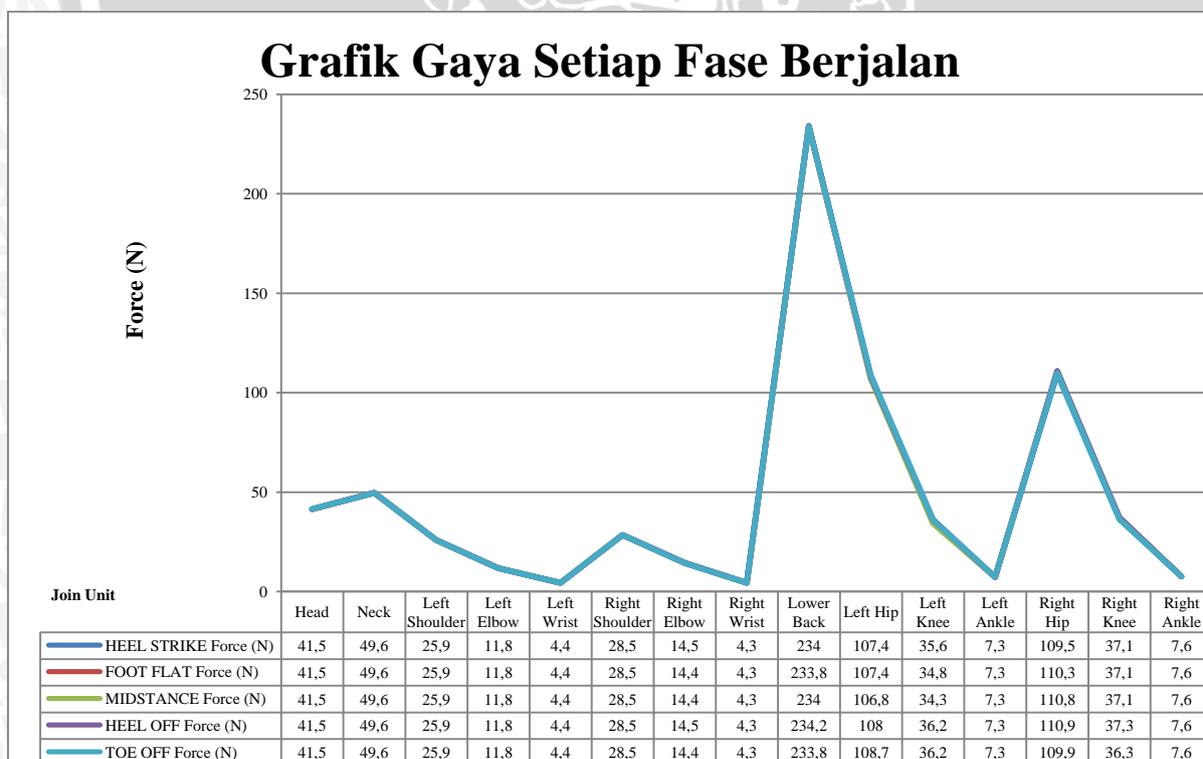
- (a) Fase *heel strike*
- (b) Fase *foot flat*
- (c) Fase *midstance*
- (d) Fase *heel off*
- (e) Fase *toe off*

Hasil dari simulasi postur setiap fase berjalan dengan *software Mannequin* ini dapat dilihat pada Tabel 4.5.

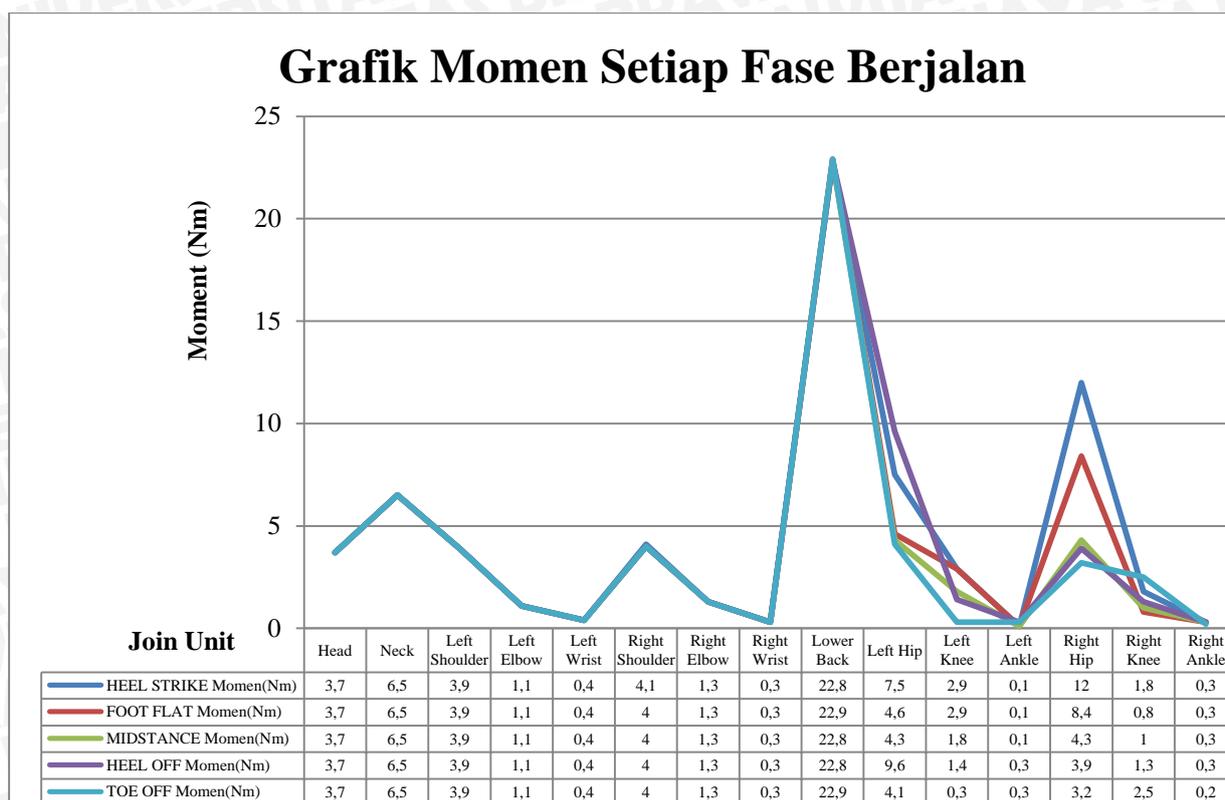
Tabel 4.5 Hasil Biomekanika dari Setiap Fase Berjalan pada Postur Kerja *Scarfig*

Joint Unit	HEEL STRIKE		FOOT FLAT		MIDSTANCE		HEEL OFF		TOE OFF	
	Force (N)	Momen(Nm)	Force (N)	Momen(Nm)	Force (N)	Momen(Nm)	Force (N)	Momen(Nm)	Force (N)	Momen(Nm)
Head	41,5	3,7	41,5	3,7	41,5	3,7	41,5	3,7	41,5	3,7
Neck	49,6	6,5	49,6	6,5	49,6	6,5	49,6	6,5	49,6	6,5
Left Shoulder	25,9	3,9	25,9	3,9	25,9	3,9	25,9	3,9	25,9	3,9
Left Elbow	11,8	1,1	11,8	1,1	11,8	1,1	11,8	1,1	11,8	1,1
Left Wrist	4,4	0,4	4,4	0,4	4,4	0,4	4,4	0,4	4,4	0,4
Right Shoulder	28,5	4,1	28,5	4	28,5	4	28,5	4	28,5	4
Right Elbow	14,5	1,3	14,4	1,3	14,4	1,3	14,5	1,3	14,4	1,3
Right Wrist	4,3	0,3	4,3	0,3	4,3	0,3	4,3	0,3	4,3	0,3
Lower Back	234	22,8	233,8	22,9	234	22,8	234,2	22,8	233,8	22,9
Left Hip	107,4	7,5	107,4	4,6	106,8	4,3	108	9,6	108,7	4,1
Left Knee	35,6	2,9	34,8	2,9	34,3	1,8	36,2	1,4	36,2	0,3
Left Ankle	7,3	0,1	7,3	0,1	7,3	0,1	7,3	0,3	7,3	0,3
Right Hip	109,5	12	110,3	8,4	110,8	4,3	110,9	3,9	109,9	3,2
Right Knee	37,1	1,8	37,1	0,8	37,1	1	37,3	1,3	36,3	2,5
Right Ankle	7,6	0,3	7,6	0,3	7,6	0,3	7,6	0,3	7,6	0,2
TOTAL	719	68,7	718,7	61,2	718,3	55,8	722	60,8	720,2	54,7

Berdasar analisis *software Mannequin* maka postur yang digunakan sebagai acuan adalah postur kerja pada fase *Heel Strike* karena pekerja merasakan total gaya yang cukup tinggi dan total momen yang tertinggi dengan nilai masing masing adalah 719 N dan 68,7 Nm. Gaya yang dirasakan pekerja menggambarkan tingkat kebutuhan energi sedangkan momen yang dihasilkan menggambarkan tingkat risiko cedera pekerja. Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 merupakan grafik dari gaya, momen yang dihasilkan pada setiap fase berjalan proses *scarfig*.



Gambar 4.15 Grafik Gaya yang diperlukan Pekerja pada Setiap Fase Berjalan



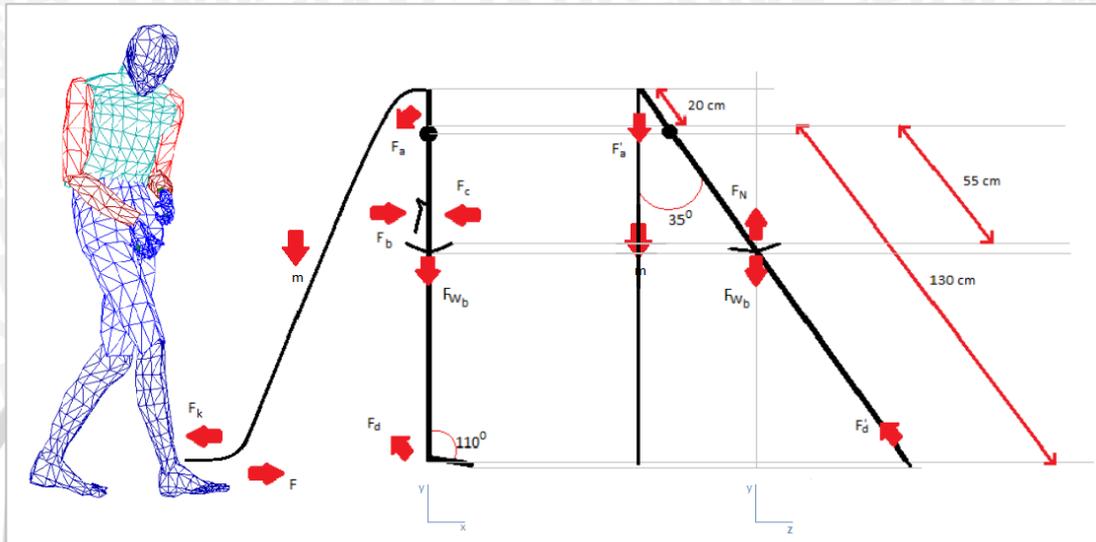
Gambar 4.16 Grafik Momen yang diperlukan Pekerja pada Setiap Fase Berjalan

Dari Gambar 4.15 dapat terlihat grafik cenderung sama antara satu fase dengan fase yang lain itu dikarenakan postur tubuh secara keseluruhan pekerja tidak terjadi perubahan yang signifikan bahkan cenderung tetap. Gambar 4.16 menunjukkan perbedaan yang signifikan dimulai pada bagian *left hip*, *left knee*, *left ankle*, *right hip*, *right knee* dan *right ankle*. Perbedaan yang signifikan ini dikarenakan fase berjalan berfokus pada bagian kaki, sedangkan bagian atas pekerja cenderung tetap atau statis untuk menjaga kondisi karena kebutuhan saat proses *scarfing*. Dari gambar 4.15 dan 4.16 bisa dilihat bahwa fluktuasi perubahan postur dapat direpresentasikan pada grafik momen proses *scarfing*.

Pada fase *Heel Strike* memiliki total momen tertinggi disebabkan oleh posisi kaki pada fase ini pekerja harus menyilangkan kaki atau menyebabkan ketidakseimbangan yang dirasakan pekerja. Pada bagian kaki pekerja yang menyilang tidak bisa dihilangkan dari fase berjalan, karena kaki menyilang ini disebabkan oleh pekerja yang menyesuaikan dengan kondisi slab baja sebagai benda kerja yang diinjak. Jika pada fase *Heel Strike* postur pekerja diperbaiki sehingga tidak menyilangkan kaki itu tidak menyelesaikan masalah karena pada fase berikutnya pekerja akan tetap menyilangkan kaki atau bisa dibalang perbaikan ini hanya memindah kaki menyilang pada fase yang lain selain fase *Heel Strike*.

4.3.1.1.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Alat

Proses awal dalam perhitungan gaya dan momen pada alat adalah mengidentifikasi gaya dan momen yang bekerja pada alat *scarfing* itu sendiri saat proses berjalan. Identifikasi gaya dan momen yang dirasakan pekerja dapat dilihat pada Gambar 4.17:



Gambar 4.17 Gaya pada Alat Scarfing

Diketahui:

F_a = Gaya tegangan selang

F_c = Gaya tekan *handle*

F_N = Gaya normal

F_b = Gaya dorong pekerja

F_d = Gaya pada *nozzle*

W_a = Berat beban

Diameter *nozzle* = $d = 25$ mm

Tinggi alat *scarfing* = 1,5 m

Berat alat *scarfing* = $m_{alat} = 5$ kg

Tekanan gas dari *nozzle* = $p = 5,7$ bar = 570.000 N/m²

Massa alir gas total = $\dot{m}_{\text{oksigen} + \text{LNG}} = 210$ m³/h = $0,0583$ m³/s

Massa alir gas oksigen = $\dot{m}_{\text{oksigen}} = 190$ m²/h = $0,0528$ m²/s

Massa alir gas LNG = $\dot{m}_{\text{LNG}} = 20$ m²/h = $0,0055$ m²/s

Berat Selang = 28 kg/cm

Kecepatan jalan pekerja = 4,2 m/s

Koefisien gesek = 1

Panjang selang yang menggantung = 1,72 m

Sudut $F_a = 50^\circ$

Sudut $F_d = 110^\circ$

Gaya yang bekerja pada alat dipengaruhi oleh gaya pada *nozzle*, gaya pada *handle*, gaya pada selang dan berat brander itu sendiri. Untuk menghitung gaya yang keluar dari *nozzle* maka diperlukan rumus impuls dan momentum. Momentum yang bekerja pada *nozzle* adalah impuls yang menyebabkan perubahan momentum. Gas yang keluar pada *nozzle* menyebabkan gaya yang arahnya bertolak belakang sehingga pekerja harus menahan tekanan *nozzle* agar alat tidak terpelanting kedepan. Sebelum menghitung gaya pada *nozzle* (F_d) perlu diketahui tekanan pada *nozzle*, masa dan kecepatan awal.

Luas permukaan *nozzle* $A: \pi r^2$

$$A = 22/7 \times (1,25 \times 10^{-2})^2$$

$$A = 0,000491 \text{ (m}^2\text{)}$$

Tekanan pada *nozzle* : $F = p \times A$

$$F = 570.000 \times 0,000491$$

$$F = 279,87 \text{ (N)}$$

Massa gas: $m = (\dot{m}_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (\dot{m}_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}})$

$$= (0,0528 \times 1,43 \times 10^{-3}) + (0,0055 \times 415)$$

$$= 7,5504 \times 10^{-5} + 2,2825 = 2,29 \text{ (kg)}$$

Kecepatan awal: $v_{x \text{ awal}} = \dot{m}_{(\text{oksigen} + \text{LNG})} / A$

$$= 0,0583 / 0,000491$$

$$= 118,737 \text{ (m/s)}$$

Tekanan pada *nozzle*, masa dan kecepatan akhir yang telah dicari digunakan untuk menghitung gaya yang bekerja pada *nozzle* seperti pada perhitungan berikut ini.

$$F_{d(t=1 \text{ s})} = (m v_x)_{\text{akhir}} - (m v_x)_{\text{awal}}$$

$$= (2,29 \times 0) - (2,29 \times 118,737)$$

$$= - 271,9137 \text{ (N)}$$

Setelah menghitung gaya pada *nozzle* berikutnya menghitung gaya tegangan selang dengan rumus keseimbangan dan gaya gesek karena selang bergesekan dengan benda kerja. Tahapan perhitungan hingga menemukan gaya tegangan selang (F_a) dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

Massa pada selang: $m = \text{massa selang} + \text{massa gas}$

$$= ((K_O \times p_{\text{selang}} \times t_{\text{selang}}) \times \rho_{\text{karet}}) + ((V_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (V_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}}))$$

$$= ((\pi \times 31 \times 10^{-3} \times 1,72 \times 7 \times 10^{-3}) \times 1522) + (\pi \times 13 \times 10^{-3} \times 1,72 \times$$

$$1,43 \times 10^{-3}) + (\pi \times 10 \times 10^{-3} \times 1,72 \times 415)$$

$$= 1,785356 + 1,005 \times 10^{-4} + 22,4337 = 24,2192 \text{ (kg)}$$

Gaya tarik selang : $\sum F_y = m \cdot a$

$$F - F_k = 24,2192 \times 4,2$$

$$F = 101,7205 + (1 \times 24,2192 \times 9,8) = 339,0684 \text{ (N)}$$

Gaya tegangan selang: $T = F_a = F + T_{\text{gantung}}$

$$F_a = 339,0684 + (24,2192 \times 9,8 \times \cos 50^\circ)$$

$$= 339,0684 + 152,5645$$

$$F_a = 491,6328 \text{ (N)}$$

Perhitungan berikutnya adalah perhitungan gaya tekan *handle* (F_c) dengan mekanisme pegas dimana koefisien gesek sebesar 11 N/cm

$$F_c = k \times x$$

$$= 11 \times 5 = 55 \text{ N}$$

Berikutnya menghitung berat brander / alat *scarfing* dengan memperhitungkan gas yang mengisi brander dan berat brander itu sendiri, berikut merupakan perhitungannya.

Berat brander = (berat brander + berat gas oksigen + berat natural gas) x g

$$W_b = (5 + (V_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (V_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}})) \times 9,8$$

$$= (5 + (\pi \times 13 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 1,43 \times 10^{-3}) + (\pi \times 10 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 415)) \times 9,8$$

$$= (5 + 8,7638 \times 10^{-5} + 19,5643) \times 9,8 = 24,5643 \text{ (kg)} \times 9,8$$

$$= 240,73014 \text{ (N)}$$

Setelah seluruh komponen gaya telah diketahui berikutnya perhitungan keseimbangan gaya dan momen pada setiap sumbu dapat dicari seperti pada perhitungan berikut ini.

Perhitungan Gaya:

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_a + F_b - F_c - (F_d \times \cos 20^\circ) = 0$$

$$-491,6328 + F_b - (11 \times 5) - (271,9137 \times \cos 20^\circ) = 0$$

$$F_b = 491,6328 + 55 + 255,5153 = 802,148 \text{ (N)}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N - W_b - F_a + (F_d \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ) = 0$$

$$F_N - 240,73014 - 491,6328 + (271,9137 \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ) = 0$$

$$F_N = 240,73014 + 491,6328 - 76,1811 = 656,1818 \text{ (N)}$$

Resultan gaya:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{802,148^2 + 656,1818^2} = \sqrt{1.074.016,125} = 1.036,3475 \text{ N}$$

Setelah perhitungan gaya selesai berikutnya adalah perhitungan momen yang bekerja pada alat *scarfing*. Berikut merupakan perhitungan momen alat *scarfing*.

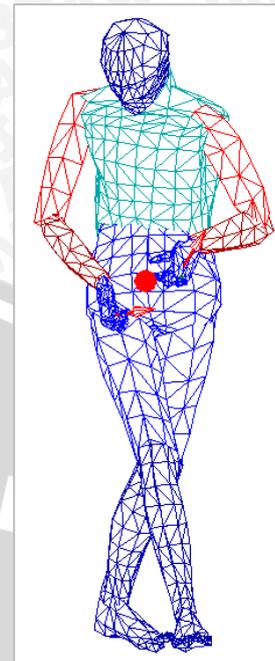
Perhitungan Momen:

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -(F_d \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ \times 1,3) + M_c + (F_w \times 0,55) - (F_a \times 0,2) &= 0 \\ -(271,9137 \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ \times 1,3) + M_c + (240,73014 \times 0,55) - (491,6328 \times 0,2) &= 0 \\ -99,0354 + M_c + 132,4016 - 98,12656 &= 0 \\ M_c &= 64,7604 \text{ (Nm)}\end{aligned}$$

Berdasar pada perhitungan di atas dapat diketahui bahwa besarnya gaya normal dari mengangkat mesin *scarfing* dengan tambahan gas di dalamnya (F_N) adalah 240,7301 N. Besarnya tekanan gas pada *nozzle* yang keluar adalah - 271,9137 N hasil negative (-) menunjukkan bahwa arah gas dan arah tekanan bertolak belakang. Sedangkan gaya tarik dari tegangan selang sebesar 491,6328 N. Gaya *nozzle* dan gaya tarik selang mengakibatkan gaya yang dirasakan pekerja terdiri dari tiga macam gaya yaitu gaya untuk menahan *nozzle* dan selang (F_b), gaya normal untuk mengangkat benda (F_{Na}) dan gaya menekan *handle* (F_c). Masing-masing nilai gaya F_b , F_N , dan F_c adalah 667,0968 (N), 480,565 (N) dan 55 (N). Resultan dari gaya-gaya pada setiap sumbu adalah 822,1684 N. Momen yang dirasakan pekerja dikarenakan gaya yang bekerja (M_c) sebesar 64,7604 (Nm).

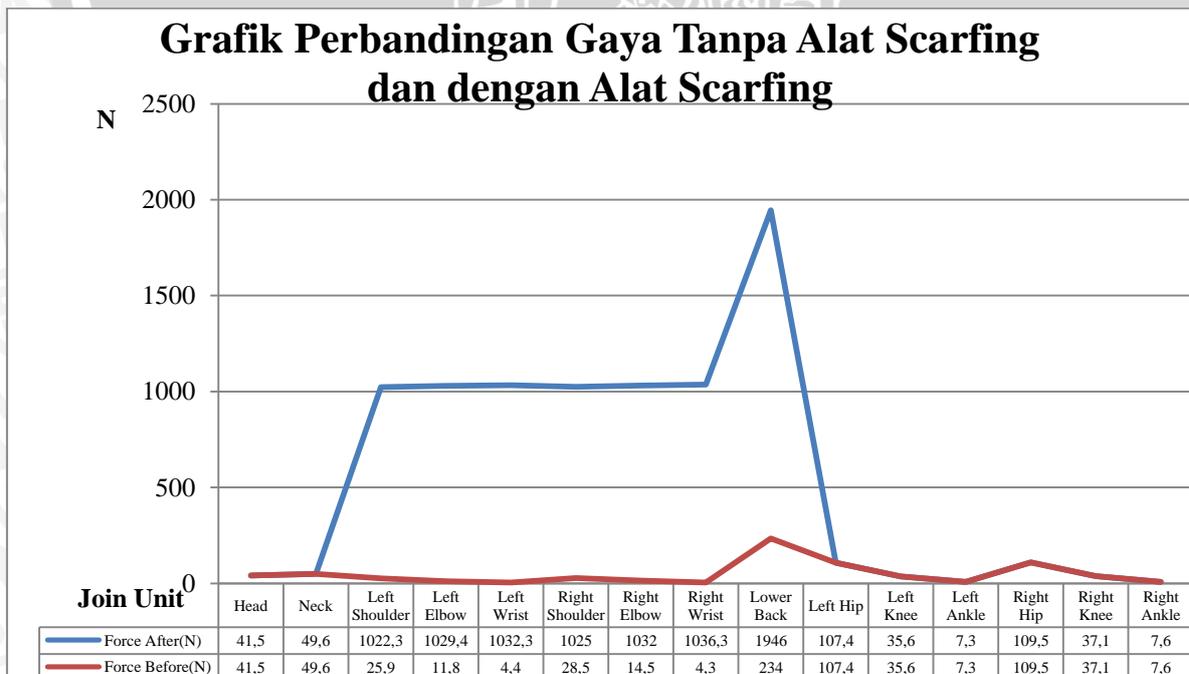
4.3.1.1.3 Perhitungan Gaya dan Momen yang dirasakan Pekerja

Perhitungan gaya dan momen yang dirasakan pekerja dilakukan dengan menggabung dua tahap sebelumnya. Postur kerja *scarfing* pada fase *Heel Strike* yang disimulasikan dengan *software Mannequin* pada subbab 4.3.1.1.1 kemudian diberi tambahan gaya dari luar dan momen pada pergelangan tangan yang mewakili beban dari alat *scarfing*. Gaya dan momen yang telah dihitung sebelumnya pada subbab 4.3.1.1.2 digunakan sebagai input pada *software Mannequin* dan hasil arah gaya seperti pada Gambar 4.18. Input pada *software Mannequin* selain gaya, momen dari alat, terdapat juga tinggi tubuh pekerja, dan juga berat badan pekerja. Tinggi tubuh pekerja yang digunakan adalah tinggi tubuh pekerja dengan persentil 50 senilai 160,6 cm sedangkan untuk berat badan pekerja seberat 60 kg.



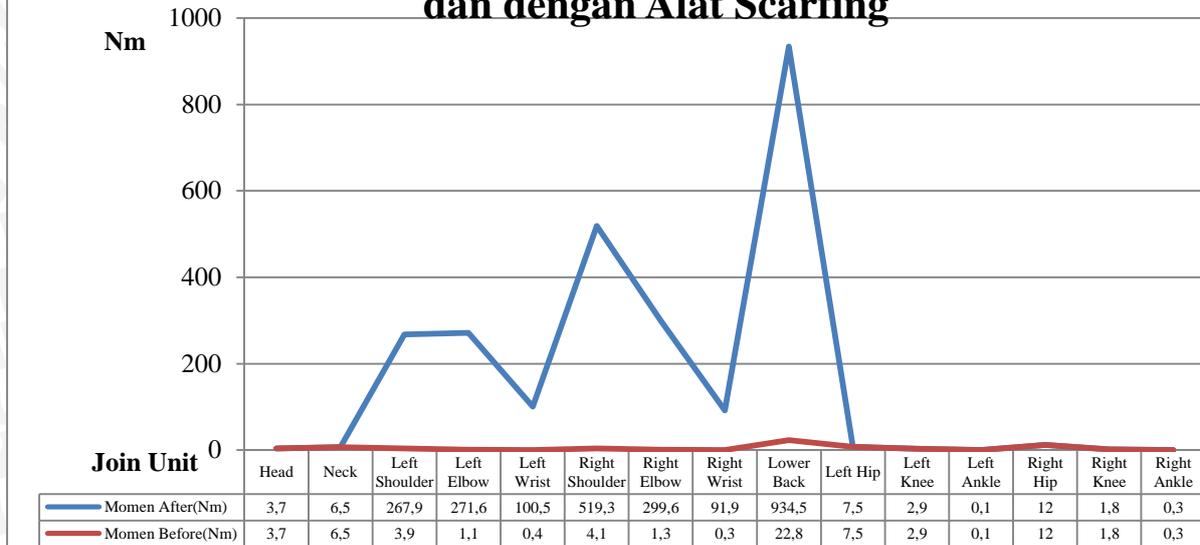
Gambar 4.18 Postur Kerja *Scarfing* pada Fase *Heel Strike* dengan Alat *Scarfing*

Hasil analisis biomekanika dari postur kerja *scarfing* pada fase *Heel Strike* dengan beban tambahan atau dengan membawa alat *scarfing* dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20. Dari hasil simulasi dengan pemberian beban tambahan dari luar terjadi perubahan gaya dan momen cukup signifikan yang dirasakan pekerja. Perubahan gaya ataupun momen ini berfokus pada bagian pundak, siku, pergelangan tangan, dan punggung pekerja.



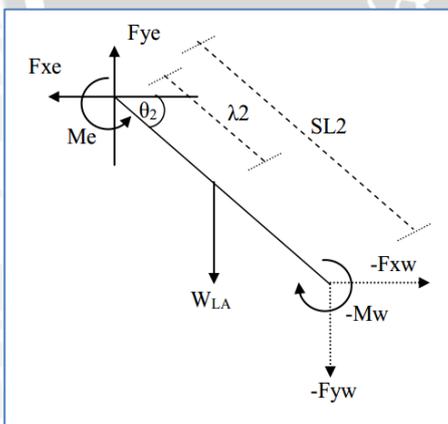
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Gaya Tanpa dan dengan Alat *Scarfing*

Grafik Perbandingan Momen Tanpa Alat Scarfing dan dengan Alat Scarfing



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Momen Tanpa dan dengan Alat Scarfing

Perhitungan biomekanika selain dilakukan dengan *software mannequin* juga dilakukan dengan perhitungan manual. Berikut merupakan contoh perhitungan biomekanika dengan alat *scarfing* pada bagian lengan bawah atau siku kanan sebagai tumpuan. *Free Body Diagram* lengan bawah yang digunakan sama dengan FBD pada Gambar 4.21 dimana titik W merupakan sendi pergelangan tangan dan titik E merupakan sendi siku:



Diketahui:

$$\text{Gaya pada sumbu X} = F_{xw} = 255,5153 \text{ N}$$

$$\text{Gaya pada sumbu Y} = F_{yw} = 233,5455 \text{ N}$$

$$\text{Momen pergelangan tangan} = M_w = -19,56708 \text{ Nm}$$

$$\text{Panjang lengan bawah} = SL2 = 23,32 \text{ cm} = 0,2332 \text{ m}$$

$$\text{Panjang lengan bawah} = \lambda 2 = 43\% = 10 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat lengan bawah} &= W_{LA} = 1,2\% \times W_{\text{badan}} \\ &= 1,2\% \times (60 \text{ kg} \times 9,8) = 7 \text{ N} \end{aligned}$$

Gambar 4.21 FBD Lengan Bawah Pekerja $\theta_2 = 30^0$ $\theta_2' = 120^0$

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 656,1818 - 7 = 649,1818 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{xe} = F_{xw} = 802,148 \text{ N}$$

$$F\Delta = \sqrt{F_{xe}^2 + F_{ye}^2} = \sqrt{802,148^2 + 649,1818^2} = \sqrt{1.064.878} = 1.031,9295 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_e &= M_w + (W_{LA} \times \lambda_2) + (F_{\Delta w} \times SL_2) \\
 &= 64,7604 + (7 \times 0,1) + (1036,3475 \times 0,2332) \\
 &= 64,7604 + 0,7 + 241,6762 = 307,1366 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Dari Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 ini menggambarkan bahwa beban yang dibawa oleh pekerja akan ditumpu oleh pergelangan tangan, siku, pundak, dan punggung pekerja. Pada grafik juga menggambarkan perbandingan gaya dan momen yang dirasakan pekerja tanpa dan dengan alat *scarfing* mengalami perubahan yang signifikan. Perubahan gaya dan momen mencapai lebih dari 1000%, menandakan bahwa postur kerja *heel strike* dan dengan membawa alat *scarfing* dapat menimbulkan risiko cedera pada pekerja. Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 menunjukkan perbedaan fluktuatif grafik ketika terdapat perubahan. Grafik yang lebih fluktuatif adalah grafik moment, sedangkan pada grafik gaya cenderung stabil meskipun mengalami peningkatan, dari penjelasan tersebut dapat dilihat bahwa momen lebih merepresentasikan perubahan yang terjadi pada pekerja.

Berdasar pada perhitungan biomekanika dapat disimpulkan bahwa terdapat empat aspek yang mempengaruhi tingginya gaya dan momen yang dirasakan pekerja dengan membawa alat *scarfing*. Aspek-aspek itu adalah aspek kaki yang menyilang, selang yang menggantung, tekanan pada *nozzle*, dan pegas *handle* yang harus ditekan pekerja selama proses berlangsung. Namun tidak semua aspek dapat diperbaiki seperti pada bagian kaki dan tekanan pada *nozzle* tidak bisa diubah. Bagian kaki tidak bisa diubah karena pekerja harus menyesuaikan dengan benda kerja yang sekaligus sebagai alas, sedangkan bagian tekanan pada *nozzle* tidak bisa diubah karena jika diubah akan mempengaruhi spesifikasi mesin *scarfing* dimana tidak sesuai dengan tujuan penelitian yang tidak mengubah mesin *scarfing* namun memberikan alat bantu sehingga mesin *scarfing* masih bisa digunakan. Aspek-aspek mesin yang bisa diubah adalah selang yang menggantung dan pegas *handle*.

4.3.1.2 Pengolahan Data OWAS

Pengolahan data dengan OWAS merupakan tahap perhitungan postur kerja yang dibutuhkan sebagai dasar membuat skenario perbaikan postur tubuh pekerja. Gambar 4.7 pada subbab 4.2 sebelumnya menunjukkan postur pekerja *scarfing*. Pada gambar ini

terlihat bahwa punggung pekerja membungkuk, dengan kedua tangan berada di bawah level ketinggian bahu, dan pekerja berjalan pada proses ini. Pekerja berjalan dengan membawa beban berupa alat *scarfing*. Gambar 4.22 merupakan gambaran dari perhitungan postur kerja dengan metode OWAS.



BACK	ARMS	1			2			3			4			5			6			7			LEGS USE OF FORCE
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	
	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	4	4	4	3	3	4	2	3	4	4	
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	

Gambar 4.22 Analisis OWAS pada Operator Scarfing

Tabel 4.6 Tabel Kategori Analisis Postur Kerja dengan Metode OWAS

Nilai Total	Keterangan
1	Tidak perlu dilakukan perbaikan
2	Perlu dilakukan perbaikan
3	Perbaikan perlu dilakukan secepat dan / atau sesegera mungkin
4	Perbaikan perlu dilakukan sekarang juga

Alat *scarfing* memiliki berat bersih sebesar 5 kg, namun jika tekanan gas termasuk hal yang dipertimbangkan seperti pada perhitungan berat brander pada subbab 4.3.1.1.2 maka berat benda menjadi 24,5643 kg. Nilai ini didapat dari perhitungan:

$$\begin{aligned} N &= m \cdot g \\ 240,73014 &= m \cdot 9,8 \\ m &= 240,73014 / 9,8 = 24,5643 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

Hasil tiap kategori ini kemudian dimasukkan pada tabel OWAS. Gambar 4.17 adalah hasil perhitungan postur kerja operator saat melakukan proses *scarfing* dengan metode OWAS. Punggung membungkuk memiliki nilai 4, kedua tangan berada di bawah level ketinggian bahu memiliki nilai 1, proses dilakukan dengan berjalan bernilai 7 dan berat beban senilai >20 kg memiliki nilai 3. Setelah nilai masing-masing kategori disesuaikan dengan tabel maka keluar nilai total kategori yang bernilai 4. Nilai 4 memiliki arti bahwa postur kerja memerlukan perbaikan dan perlu dilakukan sekarang juga.

Hasil ini berdasar pada analisis dari metode OWAS berikut ini:

1. Bagian punggung memiliki nilai 4 dari skala 4 yang menunjukkan nilai tertinggi pada kategori punggung. Nilai ini disebabkan karena pekerja harus membungkuk dan berputar ke samping dan kemudian ke depan untuk menyesuaikan dengan posisi *handle* dan posisi benda kerja yang berada di bawah. Nilai 4 dari skala 4 menunjukkan bahwa punggung dalam posisi tidak aman.
2. Bagian tangan memiliki nilai 1 dari skala 3. Pada bagian tangan keduanya berada dibawah level ketinggian bahu meskipun salah satu akan lebih tinggi dari yang lain. Nilai 1 dari skala 3 menunjukkan bahwa tangan dalam posisi aman.
3. Pada bagian kaki, pekerja mendapatkan nilai 7 dari skala 7 yang artinya nilai yang dimiliki adalah nilai tertinggi. Kaki harus bergerak karena pekerjaan dilakukan dengan berjalan di atas benda kerja yaitu slab baja.
4. Berat benda sebelum digunakan adalah 5 kg tidak termasuk selang dan tekanan *nozzle*. Namun bila hal-hal seperti selang, dan tekanan gas pada *nozzle* diperhitungkan maka nilainya akan berubah jauh lebih tinggi yaitu senilai 24,5643 kg. Sehingga pada bagian berat beban tidak lagi masuk kategori di bawah 10 kg namun masuk kedalam kategori > 20 kg.

Dari penyesuaian nilai setiap kategori dengan tabel OWAS skor total yang didapat bernilai 4 dimana nilai 4 adalah total skor tertinggi yang menunjukkan bahwa perlunya perbaikan sekarang juga. Skor total ini dapat dikurangi bila 3 bagian utama dapat diperbaiki yaitu pada bagian punggung, kaki dan berat benda. Terlihat pada tabel OWAS Gambar 4.21 bahwa terdapat pola yang bisa diketahui, perubahan kategori *back* dapat menyebabkan perubahan nilai total skor yang signifikan, jika punggung berubah menjadi tidak membungkuk, meskipun memutar. Perubahan itu dari total skor 4 yang artinya perlunya perbaikan dilakukan sekarang juga menjadi total skor 1 yaitu tidak perlu dilakukan perbaikan. Sedangkan pada kategori *legs* jika ingin mengurangi total skor dari 4 menjadi 3 (perbaikan perlu dilakukan secepat dan / atau sesegera mungkin) saja harus merubah nilai *legs* dari 7 (bergerak atau berpindah) menjadi paling tidak pekerja berdiri dengan beban berada pada salah satu kaki dengan nilai 3. Kemudian untuk perubahan berat beban setiap perubahan 1 tingkat akan terjadi perubahan nilai total skor yang sebanding pula, misalkan beban berat diubah 1 tingkat dari >20 kg menjadi 10-20 kg atau artinya nilainya 2 maka total skor akan berkurang 1 tingkat juga dari 4 (perbaikan perlu dilakukan sekarang juga) menjadi 3 (perbaikan perlu dilakukan secepat dan / atau sesegera mungkin). Dapat disimpulkan terdapat sensitifitas nilai skor terhadap kategori *back* atau punggung untuk mencapai postur yang aman.

4.3.2 Pemberian Saran Perbaikan

Sebelum memberikan saran perbaikan akan dilakukan proses analisis *Nordic Body Map* sesuai Tabel 1.1 untuk mengetahui sebab-sebab pada pekerja yang mengakibatkan tingginya keluhan yang dirasakan pekerja. Hasil dari kuisisioner *Nordic Body Map* dapat menunjukkan keluhan terbesar yang dirasakan oleh pekerja *scarfing* berdasarkan 28 bagian tubuh pada *Nordic Body Map*. Berikut merupakan penjelasan setiap keluhan tertinggi dari kuisisioner *Nordic Body Map* yang didapat dari pengamatan langsung:

1. Punggung, mengalami keluhan karena beban yang diangkat dan tekanan gas yang keluar ditumpu pada punggung dan postur tubuh yang membungkuk juga menyebabkan pekerja sering mengalami keluhan pada bagian ini.
2. Pergelangan tangan kiri, mengalami keluhan karena selama proses berlangsung pekerja tidak hanya mengangkat beban dari berat alat *scarfing* saja namun juga sebagai tumpuan dan menahan dorongan dari gas yang keluar dari *nozzle*.

3. Pergelangan tangan kanan, mengalami keluhan karena pekerja tidak hanya mengangkat beban dari berat alat *scarfing* saja namun juga harus menekan *handle*, sebagai tumpuan, dan menahan dorongan dari gas yang keluar dari *nozzle*.
4. Tangan kanan, mengalami keluhan karena pekerja harus menekan tuas *handle* selama proses berjalan dan menahan tekanan gas yang keluar dari *nozzle*, selain itu pekerja selalu memperbaiki posisi selang dengan tangan kanan.
5. Siku kanan, menjadi tumpuan dari gaya dan momen yang dirasakan pergelangan tangan dan tangan. Bahu kanan, menjadi tumpuan gaya dan momen yang dirasakan pekerja pada seluruh tangan, pergelangan tangan dan siku, selain itu pekerja selalu memperbaiki posisi selang dengan tangan dan bahu kanan yang memutar.

Setelah melakukan perhitungan eksisting dan analisis kuisioner *Nordic Body Map* maka dapat diketahui bahwa terdapat lima aspek yang menyebabkan tingginya keluhan yang dirasakan pekerja saat proses *scarfing* berjalan. Aspek-aspek itu adalah aspek kaki yang menyilang, selang yang menggantung dan harus diperbaiki posisinya setiap akan melakukan proses *scarfing*, tekanan pada *nozzle*, pegas *handle* yang harus ditekan pekerja selama proses berlangsung, dan punggung pekerja yang harus membungkuk karena menyesuaikan posisi *handle*.

Namun tidak semua aspek dapat diperbaiki seperti pada bagian kaki dan tekanan pada *nozzle* tidak bisa diubah. Bagian kaki tidak bisa diubah karena pekerja harus menyesuaikan dengan benda kerja yang sekaligus sebagai alas, sedangkan bagian tekanan pada *nozzle* tidak bisa diubah karena jika diubah akan mempengaruhi spesifikasi mesin *scarfing* dimana tidak sesuai dengan tujuan penelitian yang tidak mengubah mesin *scarfing* namun memberikan alat bantu sehingga mesin *scarfing* masih bisa digunakan. Aspek-aspek mesin yang bisa diubah dan dapat diberikan saran perbaikan berupa 3 poin utama yaitu alat bantu 1 untuk mengurangi gaya yang bekerja pada *handle* pekerja, alat bantu 2 untuk mengurangi gaya pada selang, dan postur kerja yang tercipta akibat adanya alat bantu 1, alat bantu 2 dan analisis OWAS.

4.3.2.1 Alat Bantu 1

Alat bantu 1 yang berfungsi mengurangi gaya yang bekerja pada *handle* pekerja berdasar pada analisis biomekanika, OWAS, dan *Nordic Body Map*. Dasar analisis

biomekanika untuk alat bantu 1 adalah besarnya gaya pegas pada *handle* sebesar 55 N dari perhitungan F_c atau gaya tekan *handle* dengan rumus $(-k \times x)$. Gaya pegas ini cukup mempengaruhi besarnya gaya dorong pekerja atau F_b yang dihasilkan dari perhitungan gaya pada sumbu x dengan rumus:

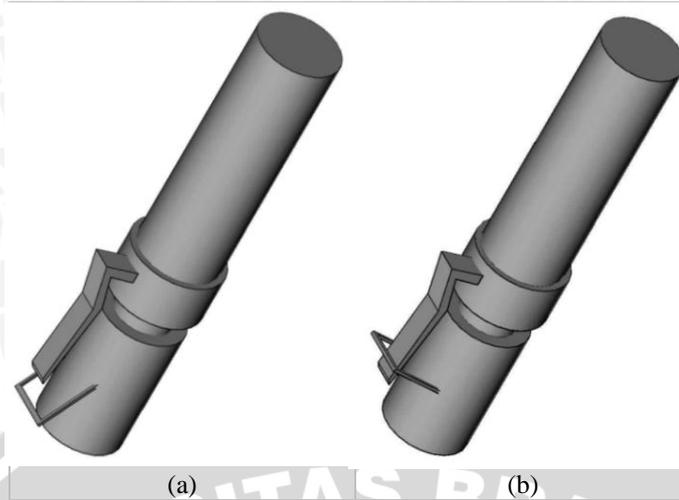
$$F_b = F_a + F_c + (F_d \times \cos 20^\circ)$$

Dasar analisis *Nordic Body Map* untuk alat bantu 1 ini adalah keluhan yang dirasakan pekerja pada pergelangan tangan kanan yang disebabkan oleh pekerja harus menekan *handle* selama proses berlangsung. Akibat dari besarnya gaya pegas pada *handle* selain tampil pada keluhan kuisioner *Nordic Body Map* juga muncul pada perhitungan OWAS yang menyebabkan pekerja membungkuk. Pada perhitungan OWAS pekerja membungkuk disebabkan oleh posisi tangan yang tidak fleksibel, benda kerja yang ada dibawah, dan merupakan salah satu bentuk usaha pekerja untuk menekan *handle*.

Pemberian alat bantu untuk mengurangi gaya yang bekerja pada tangan dilakukan dengan memberikan kunci *handle* sehingga pekerja tidak perlu menekan *handle* ketika pekerjaan berlangsung dan membuat pekerja tidak membungkuk saat bekerja. Dengan adanya kunci *handle* maka dalam rumus F_c dan F_b diatas jumlahnya akan berkurang. Gaya tekan *handle* untuk menekan pegas atau F_c akan hilang karena selama pekerja tidak perlu menekan *handle* lagi. Proses menekan *handle* akan dilakukan pada awal dan akhir proses saja.

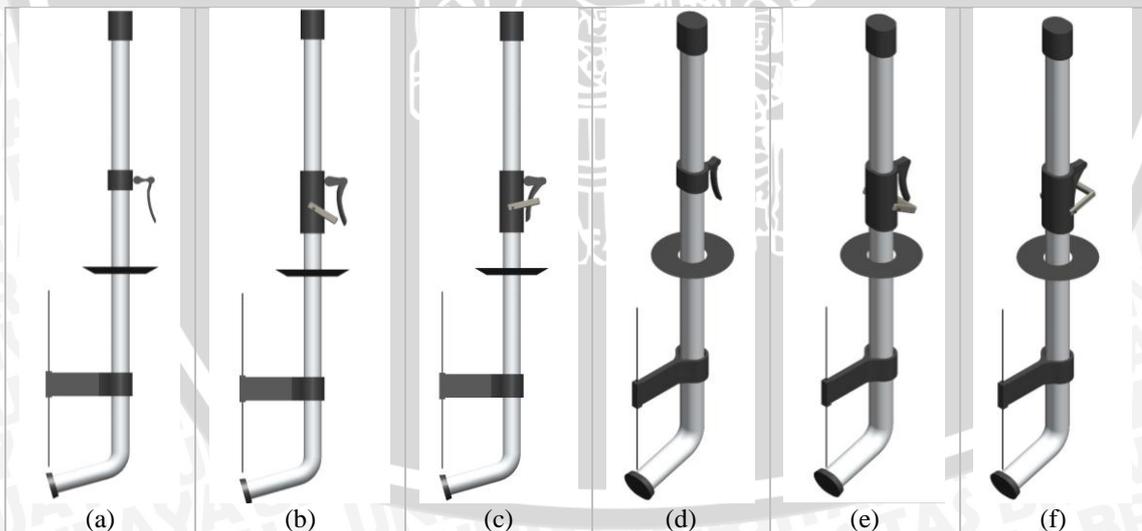
Pada mesin *scarfing* awalnya tidak terdapat alat untuk mengunci *handle* sehingga bila akan memberikan saran perbaikan berupa kunci *handle* diperlukan sarung tambahan. Dimana sarung tambahan ini akan menyelubungi *handle* dan terdapat sistem kunci *handle*. Gambaran sarung kunci *handle* dapat dilihat pada Gambar 4.23.

Alat bantu ini cara penggunaannya adalah dengan memasang sarung tambahan yang memiliki kunci *handle* ini pada alat *scarfing* sehingga saat proses berlangsung pekerja tidak lagi perlu menekan *handle*. Dengan adanya sarung kunci *handle* ini pekerja tidak perlu membungkuk lagi karena tangan pekerja dapat fleksibel keatas ataupun kebawah menyesuaikan dengan tinggi tubuh pekerja. Sistem penggunaan kunci *handle* hanya dengan menekan *handle* dan menguncinya, sedangkan untuk melepaskan kunci *handle* hanya perlu menekan kembali *handle* sehingga kunci dapat terlepas dari *handle*. Sarung kunci *handle* ini sangat mudah untuk digunakan sehingga keamanan masih bisa terjaga jika suatu saat kondisi memaksa pekerja mematikan mesin.



Gambar 4.23 Sistem Alat Tambahan pada *Handle*
 (a) Kunci *handle* sebelum dipasang
 (b) Kunci *handle* saat dipasang

Selain mengurangi gaya yang dirasakan pekerja, sarung kunci *handle* ini juga mengurangi nilai kategori punggung pada metode OWAS dari nilai 4 (berputar dan membungkuk) menjadi 3 (berputar dan bergerak kesamping) dan juga harapannya dapat mengurangi keluhan pada *Nordic Body Map* pada bagian punggung, pergelangan tangan kanan, tangan kanan, dan siku kanan. Dengan adanya alat bantu berupa sarung kunci *handle* akan mengubah tampilan mesin *scarfing* menjadi seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Perubahan Alat Setelah Perbaikan
 (a) Tampak samping sebelum perbaikan
 (b) Tampak samping sesudah perbaikan *handle* tidak terkunci
 (c) Tampak samping sesudah perbaikan *handle* terkunci
 (d) Tampak 3D sebelum perbaikan
 (e) Tampak 3D sesudah perbaikan *handle* tidak terkunci
 (f) Tampak 3D sesudah perbaikan *handle* terkunci

4.3.2.2 Alat Bantu 2

Alat bantu 2 ini berfungsi untuk mengurangi gaya yang bekerja pada selang. Analisis yang mendukung adanya alat bantu 2 ini adalah analisis *Nordic Body Map* dan analisis biomekanika. Menurut analisis *Nordic Body Map* pekerja merasakan keluhan pada bagian bahu kanan dan tangan kanan disebabkan oleh pekerja harus memperbaiki posisi selang. Posisi selang pada saat proses *scarfing* berlangsung harus berada pada posisi yang tidak mengganggu pekerja, tidak mengganggu jalur *scarfing* dan tidak tertekuk agar aliran gas tidak terhambat. Selain itu pada perhitungan biomekanika juga muncul dampak dari selang yaitu berupa gesekan antara selang dengan alas dan panjangnya selang yang menggantung sehingga menambah beban angkat pekerja (F_N) berdasar pada rumus berikut ini:

Rumus tentang gesekan selang dengan alas: $\sum F_y = m \cdot a$

$$F - F_k = m \cdot a$$

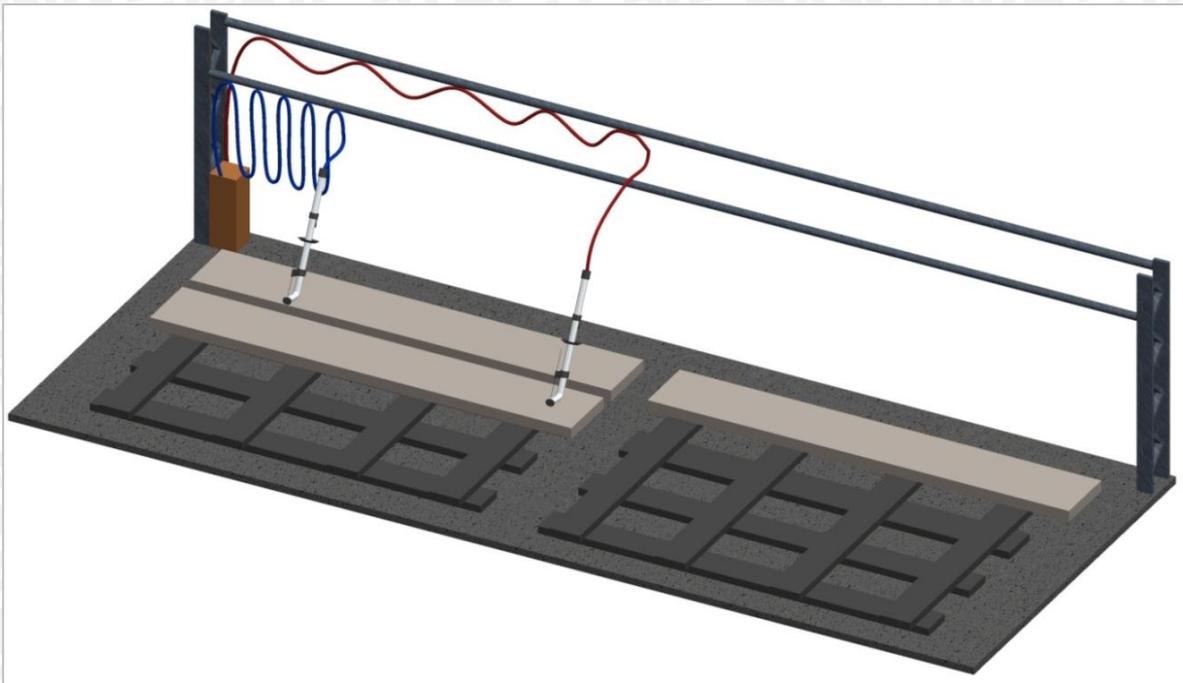
Rumus tentang panjangnya selang yang menggantung: $F_a = F + T_{\text{gantung}}$

Desain alat bantu yang diusulkan berikutnya adalah alat bantu yang dapat membuat selang dapat mengikuti kemana saja pekerja berjalan dan tidak berserakan dibawah. Sistem kerja alat bantu 2 ini mengadopsi sistem kerja pada selambu dimana selang akan menggantung pada sebuah rel. Sehingga akan menghilangkan perhitungan gaya tarik selang pada perhitungan $F - F_k = m \cdot a$ atau bisa disebut menghilangkan gesekan antara selang dengan alas dan mengurangi panjang selang yang menggantung pada perhitungan T_{gantung} yang awalnya senilai 1,75 m yang menggantung.

Alat bantu tambahan yang kedua adalah *scroll roll*. Alat bantu tambahan berupa *scroll rool* ini berfungsi untuk mengangkat lilitan selang sehingga pekerja hanya perlu memegang alat tanpa tekanan dan beban dari selang itu sendiri. Jika dilihat berdasar perhitungan biomekanika maka akan mempengaruhi perhitungan beban selang pada rumus berikut ini:

$$m = ((K_O \times p_{\text{selang}} \times t_{\text{selang}}) \times \rho_{\text{karet}}) + ((V_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (V_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}}))$$

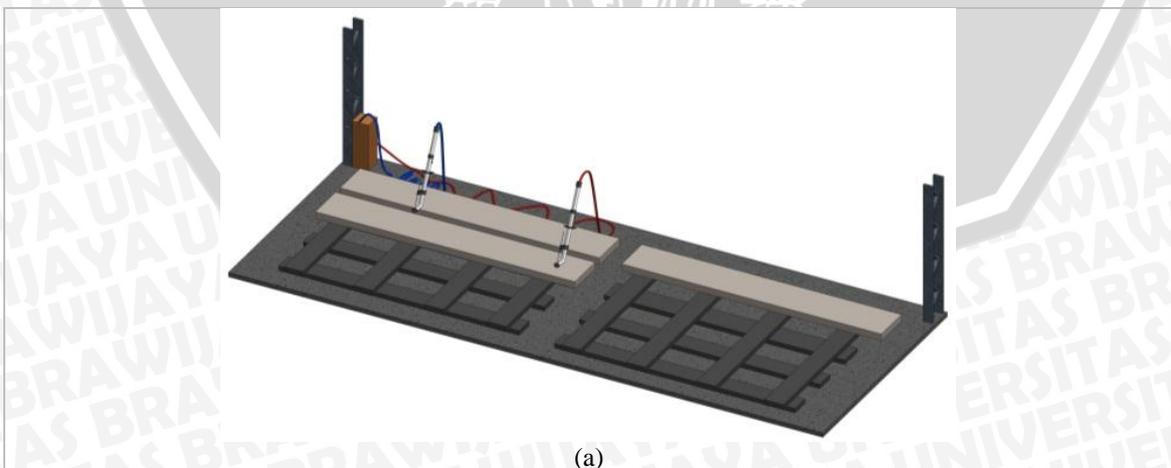
V selang oksigen dan LNG didapat dari perhitungan keliling lingkaran dari selang dikali dengan panjang selang yang menggantung. Panjang selang yang menggantung awalnya sepanjang 1,75 m dan dapat dikurangi jika menggunakan alat bantu *scroll roll*. Saran perbaikan berupa *scroll rool* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.25.



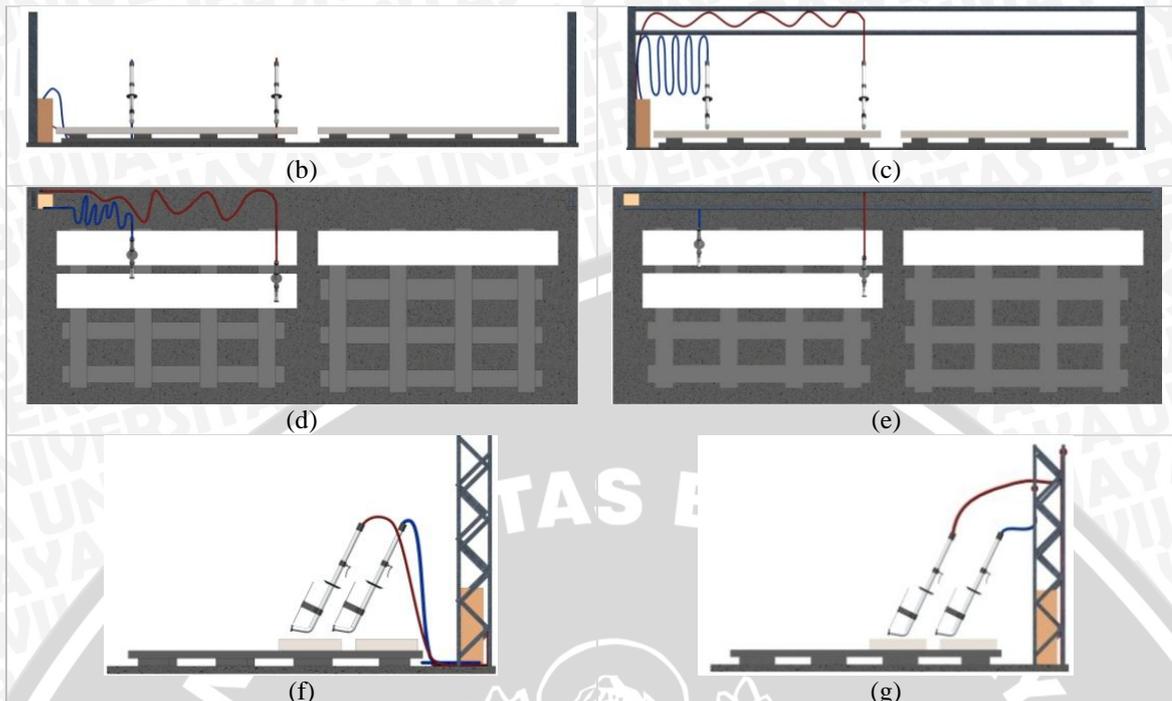
Gambar 4.25 Scroll Roll

Scroll roll ini mengadopsi sistem pada selambu yang dapat bergerak kanan dan kiri sesuai dengan alat itu digerakan. Sistem yang diadopsi adalah sistem selambu karena kebutuhan dari selang itu sendiri yang tidak boleh adanya sumbatan saat proses terjadi, dan jika sistem yang digunakan adalah lilitan maka harus dengan diameter yang cukup besar agar dalam perhitungannya lilitan akan dianggap tidak ada atau bisa disebut selang dianggap lurus.

Dengan adanya perbaikan *scroll roll* maka *layout* gambar alat dan gambar gaya pada alat juga berubah sesuai dengan alat bantu usulan. Gambar 4.26 merupakan perubahan *layout scarfing* setelah diberikan perbaikan.



(a)



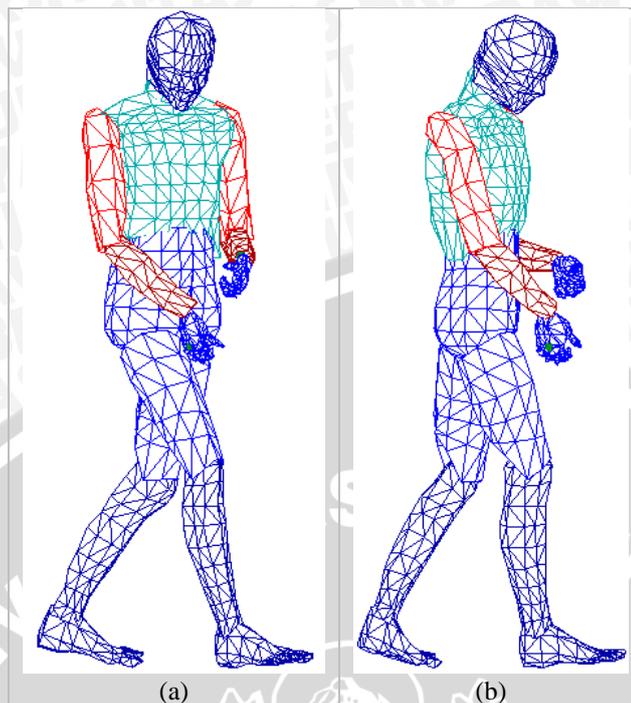
Gambar 4.26 Layout Sebelum dan Sesudah Perbaikan

- (a) *Layout 3D* sebelum perbaikan
- (b) *Layout* tampak depan sebelum perbaikan
- (c) *Layout* tampak depan sesudah perbaikan
- (d) *Layout* tampak atas sebelum perbaikan
- (e) *Layout* tampak atas sesudah perbaikan
- (f) *Layout* tampak samping sebelum perbaikan
- (g) *Layout* tampak samping sesudah perbaikan

4.3.2.3 Saran Postur Perbaikan Pekerja

Dengan adanya saran perbaikan berupa alat bantu 1 dan alat bantu 2 maka juga akan mempengaruhi postur dari pekerja *scarfing*. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.3.2.1 bahwa dengan adanya alat bantu berupa sarung kunci *handle* akan mempengaruhi posisi punggung dan posisi tangan pekerja. Posisi tangan pekerja akan fleksibel dan posisi punggung dapat diperbaiki menjadi tegak atau tidak membungkuk karena pekerja tidak perlu lagi menyesuaikan posisi punggung dan posisi tangan dengan posisi *handle*.

Selain itu berdasar pada analisis OWAS menunjukkan bahwa kategori yang memberikan kontribusi atas tingginya nilai total skor dan kategori yang terdapat sensitivitas perubahan total skor adalah bagian punggung yang membungkuk. Karena itu saran postur kerja yang diajukan adalah perubahan pada bagian punggung dan bagian tangan pekerja. Perubahan postur kerja itu dapat dilihat dari simulasi *software Mannequin* pada Gambar 4.27.

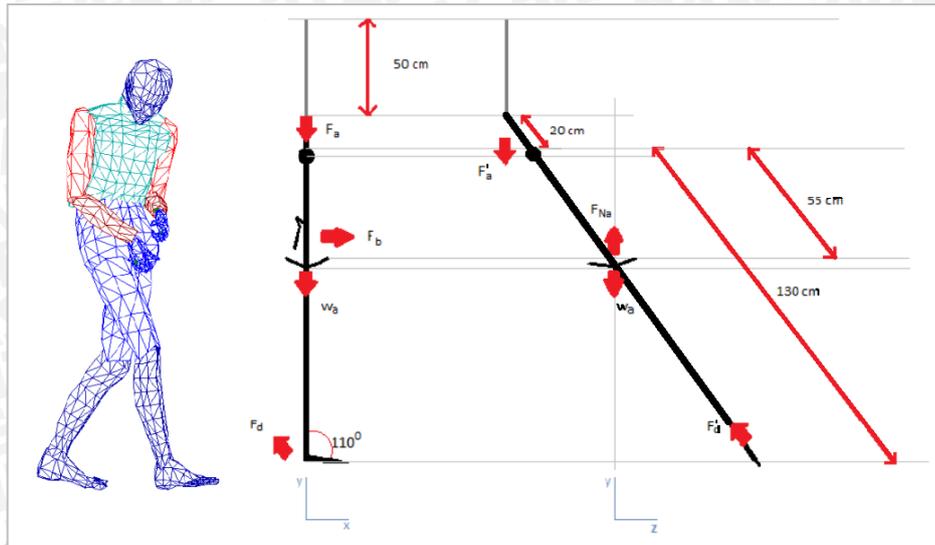


Gambar 4.27 Saran Postur Kerja *Scarfig* Setelah Perbaikan
(a) Postur tampak depan
(b) Postur tampak samping

Jika dibandingkan antara gambar 4.27 (a) dengan gambar 4.14 (a) dapat terlihat perbedaan pada bagian punggung dan tangan pekerja. Punggung pekerja tidak lagi membungkuk sedangkan sudut yang dibentuk pada tangan pekerja dapat dikurangi.

4.3.3 Pengolahan Data Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan proses perhitungan eksisting dan pemberian saran perbaikan proses berikutnya adalah pengolahan data setelah diberikan perbaikan. Pengolahan data setelah perbaikan dilakukan dengan perhitungan biomekanika dengan menggunakan *software Mannequin* untuk mengetahui momen dan gaya yang dirasakan pekerja pada setiap joint unit. Simulasi dengan menggunakan *software Mannequin* ini menggabungkan saran perbaikan alat dan postur kerja. Saran perbaikan berupa alat bantu akan mengubah nilai gaya dan momen yang bekerja pada alat atau mengubah nilai gaya dan momen yang dijadikan input pada *software Mannequin*. Sedangkan perubahan postur akan mengubah sudut-sudut yang terbentuk pada setiap joint unit pekerja. Saran perbaikan akan mengubah gaya-gaya yang bekerja pada alat seperti pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Gaya pada Alat Scarfing Setelah Perbaikan

Diketahui:

F_a = Gaya tegangan selang F_c = Gaya tekan *handle* F_N = Gaya normal

F_b = Gaya dorong pekerja F_d = Gaya pada *nozzle* W_a = Berat beban

Diameter *nozzle* = $d = 25 \text{ mm}$

Tinggi alat *scarfing* = $1,5 \text{ m}$

Berat alat *scarfing* = $m_{\text{alat}} = 5 \text{ kg}$

Tekanan gas dari *nozzle* = $p = 5,7 \text{ bar} = 570.000 \text{ N/m}^2$

Massa alir gas total = $\dot{m}_{\text{oksigen} + \text{LNG}} = 210 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0583 \text{ m}^3/\text{s}$

Massa alir gas oksigen = $\dot{m}_{\text{oksigen}} = 190 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0528 \text{ m}^3/\text{s}$

Massa alir gas LNG = $\dot{m}_{\text{LNG}} = 20 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$

Berat Selang = 28 kg/cm

Kecepatan jalan pekerja = $4,2 \text{ m/s}$

Panjang selang yang menggantung = $0,5 \text{ m}$

Sudut $F_d = 110^\circ$

Gaya yang bekerja pada alat dipengaruhi oleh gaya pada *nozzle*, gaya pada *handle*, gaya pada selang dan berat brander itu sendiri. Untuk menghitung gaya yang keluar dari *nozzle* maka diperlukan rumus impuls dan momentum. Momentum yang bekerja pada *nozzle* adalah impuls yang menyebabkan perubahan momentum. Gas yang keluar pada *nozzle* menyebabkan gaya yang arahnya bertolak belakang sehingga pekerja harus menahan tekanan *nozzle* agar alat tidak terpelanting kedepan. Sebelum

menghitung gaya pada *nozzle* perlu diketahui tekanan pada *nozzle*, masa dan kecepatan awal.

Luas permukaan *nozzle* A: πr^2

$$A = 22/7 \times (1,25 \times 10^{-2})^2$$

$$A = 0,000491 \text{ (m}^2\text{)}$$

Tekanan pada *nozzle* : $F = p \times A$

$$F = 570.000 \times 0,000491$$

$$F = 279,87 \text{ (N)}$$

Massa gas: $m = (\dot{m}_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (\dot{m}_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}})$

$$= (0,0528 \times 1,43 \times 10^{-3}) + (0,0055 \times 415)$$

$$= 7,5504 \times 10^{-5} + 2,2825 = 2,29 \text{ (kg)}$$

Kecepatan awal: $v_{x \text{ awal}} = \dot{m}_{(\text{oksigen} + \text{LNG})} / A$

$$= 0,0583 / 0,000491$$

$$= 118,737 \text{ (m/s)}$$

Tekanan pada *nozzle*, massa dan kecepatan akhir yang telah dicari digunakan untuk menghitung gaya yang bekerja pada *nozzle* seperti pada perhitungan berikut ini.

$$F_{d(t=1 \text{ s})} = (m v_x)_{\text{akhir}} - (m v_x)_{\text{awal}}$$

$$= (2,2900504 \times 0) - (2,2900504 \times 118,737)$$

$$= - 271,9137 \text{ (N)}$$

Setelah menghitung gaya pada *nozzle* berikutnya menghitung gaya tegangan selang. Terdapat perbedaan antara perhitungan eksisting dan perhitungan setelah perbaikan. Perbedaan terdapat pada perhitungan gaya tarik selang yang sudah tidak ada dan panjangnya selang yang menggantung berubah dari 1,72 m menjadi 0,5 m. Tahapan perhitungan hingga menemukan gaya tegangan selang dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

Massa pada selang: $m = \text{massa selang} + \text{massa gas}$

$$= ((K_O \times p_{\text{selang}} \times t_{\text{selang}}) \times \rho_{\text{karet}}) + ((V_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (V_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}}))$$

$$= ((\pi \times 31 \times 10^{-3} \times 0,5 \times 7 \times 10^{-3}) \times 1522) + (\pi \times 13 \times 10^{-3} \times 0,5 \times$$

$$1,43 \times 10^{-3}) + (\pi \times 10 \times 10^{-3} \times 0,5 \times 415)$$

$$= 0,519002 + 2,92128 \times 10^{-5} + 6,51243 = 7,04045 \text{ (kg)}$$

Gaya tegangan selang: $T = F_a = T_{\text{gantung}}$

$$F_a = 7,04045 \times 9,8$$

$$= 68,9965 \text{ (N)}$$

Berikutnya menghitung berat brander / alat *scarfing* dengan memperhitungkan gas yang mengisi brander dan berat brander itu sendiri, berikut merupakan perhitungannya.

Berat brander = (berat brander + berat gas oksigen + berat natural gas) x g

$$\begin{aligned} W_b &= (5 + (V_{\text{oksigen}} \times \rho_{\text{oksigen}}) + (V_{\text{LNG}} \times \rho_{\text{LNG}})) \times 9,8 \\ &= (5 + (\pi \times 13 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 1,43 \times 10^{-3}) + (\pi \times 10 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 415)) \times 9,8 \\ &= (5 + 8,7638 \times 10^{-5} + 19,5643) \times 9,8 = 24,5643 \text{ (kg)} \times 9,8 \\ &= 240,73014 \text{ (N)} \end{aligned}$$

Setelah seluruh komponen gaya telah diketahui berikutnya perhitungan keseimbangan gaya dan momen pada setiap sumbu dapat dicari seperti pada perhitungan berikut ini.

Perhitungan Gaya:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F_b - (F_d \times \cos 20^\circ) &= 0 \\ F_b &= 271,9137 \times \cos 20^\circ \\ F_b &= 255,5153 \text{ (N)} \\ \sum F_y &= 0 \\ F_N - W_b - F_a + (F_d \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ) &= 0 \\ F_N - 240,73014 - 68,9965 + (271,9137 \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ) &= 0 \\ F_N &= 240,73014 + 68,9965 - 76,1811 = 233,5455 \text{ (N)} \end{aligned}$$

Resultan gaya:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{255,5153^2 + 233,5455^2} = \sqrt{119.831,5878} = 346,16699 \text{ N}$$

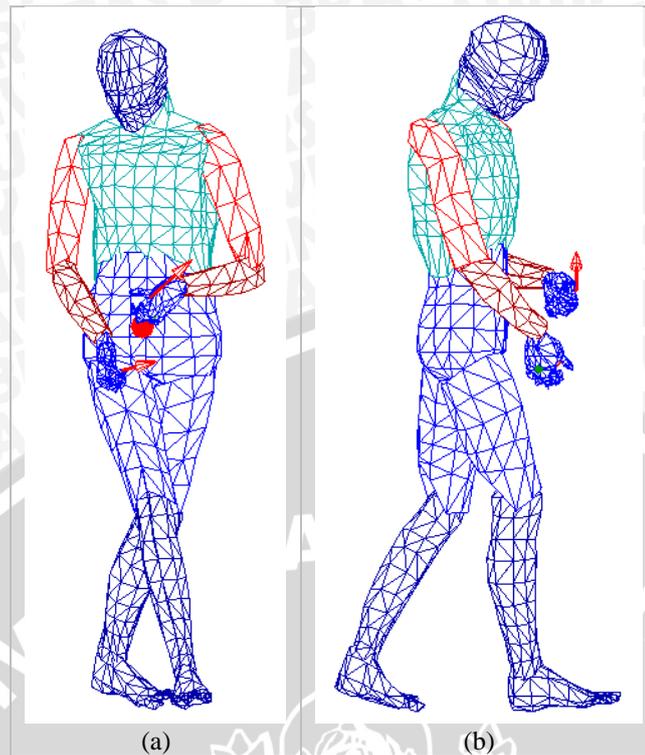
Dapat dilihat dari perhitungan gaya eksisting pada subbab 4.3.1.1.2 dan perhitungan gaya setelah perbaikan terdapat perbedaan pada tidak munculnya F_a pada perhitungan gaya sumbu x, hilangnya nilai F_c , dan berubahnya nilai F_a karena. Tidak munculnya F_a pada perhitungan gaya sumbu x disebabkan karena selang tidak lagi menggantung dan bergesekan dengan alas namun menggantung dari *scroll roll*. Hilangnya F_c disebabkan adanya alat bantu sarung kunci *handle* sehingga proses berlangsung pekerja tidak perlu menekan alat. Sedangkan perubahan nilai F_a disebabkan oleh panjangnya selang yang menggantung berubah dari 1,72 m menjadi 0,5 m. Setelah perhitungan gaya selesai berikutnya adalah perhitungan momen yang bekerja pada alat *scarfing*. Berikut merupakan perhitungan momen alat *scarfing*.

Perhitungan Momen:

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 0 \\ - (F_d \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ \times 1,3) + M_c + (F_w \times 0,55) - (F_a \times 0,2) &= 0 \\ -(271,9137 \times \cos 70^\circ \times \cos 35^\circ \times 1,3) + M_c + (240,73014 \times 0,55) - (68,9965 \times 0,2) &= 0 \\ -99,0354 + M_c + 132,4016 - 13,79912 &= 0 \\ M_c &= -19,56708 \text{ (Nm)}\end{aligned}$$

Berdasar pada perhitungan di atas dapat diketahui bahwa besarnya gaya normal dari mengangkat mesin *scarfing* dengan tambahan gas di dalamnya (F_N) adalah 240,7301 N. Besarnya tekanan gas pada *nozzle* yang keluar adalah - 271,9137 N hasil negative (-) menunjukkan bahwa arah gas dan arah tekanan bertolak belakang. Sedangkan gaya tarik dari tegangan selang sebesar 68,9965 N. Gaya *nozzle* dan gaya tarik selang mengakibatkan gaya yang dirasakan pekerja terdiri dari tiga macam gaya yaitu gaya untuk menahan *nozzle* dan selang (F_b), gaya normal untuk mengangkat benda (F_{Na}) dan gaya menekan *handle* (F_c). Masing-masing nilai gaya F_b , dan F_N , adalah 255,5153 (N), 233,5455 (N) dan 0 (N). Resultan dari gaya-gaya pada setiap sumbu adalah 346,16699 N. Momen yang dirasakan pekerja dikarenakan gaya yang bekerja (M_c) sebesar - 19.56708 (Nm).

Setelah dilakukan perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada alat setelah perbaikan langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan biomekanika yang dirasakan pekerja dengan bantuan *software mannequin*. Perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada alat digunakan sebagai *input* pada saran postur perbaikan pada subbab 4.3.2.3 seperti pada Gambar 4.29. Terlihat pada Gambar 4.29 bahwa dengan adanya alat *scarfing* akan memberikan tambahan beban pada kedua tangan pekerja seperti pada arah gaya yang berwarna merah. Perhitungan biomekanika yang dirasakan pekerja ini gabungan antara saran perbaikan postur kerja dan penambahan alat bantu. Postur kerja yang diaplikasikan adalah dimana pekerja tidak lagi membungkuk dan sudut lengan bawah lebih kecil. Perbaikan alat bantu mengubah gaya dan momen yang bekerja pada alat seperti pada perhitungan sebelumnya. Tabel 4.7 menggambarkan nilai momen ataupun gaya yang dirasakan pekerja pada setiap join unit setelah dilakukan perbaikan berupa alat bantu dan postur kerja.



Gambar 4.29 Postur Kerja Setelah Perbaikan dengan Alat *Scarfing*
 (a) Postur tampak depan
 (b) Postur tampak samping

Tabel 4.7 Nilai Gaya dan Momen Setelah Perbaikan

Join Unit	Force (N)	Momen (Nm)
Head	41,5	3,7
Neck	49,6	6,5
Left Shoulder	26,5	2,5
Left Elbow	12,1	1
Left Wrist	4,4	0,4
Right Shoulder	331,6	146,5
Right Elbow	340,8	78,4
Right Wrist	345,6	28,5
Lower Back	259	49,6
Left Hip	107,4	7,5
Left Knee	35,6	2,9
Left Ankle	7,3	0,1
Right Hip	109,5	12
Right Knee	37,1	1,8
Right Ankle	7,6	0,3
TOTAL	1.715,6	341,7

Perhitungan biomekanika selain dilakukan dengan *software mannequin* juga dilakukan dengan perhitungan manual. Berikut merupakan contoh perhitungan biomekanika setelah perbaikan dengan alat *scarfing* pada bagian lengan bawah atau siku kanan sebagai tumpuan. *Free Body Diagram* lengan bawah yang digunakan sama dengan FBD pada Gambar 4.21 dimana titik W merupakan sendi pergelangan tangan dan titik E merupakan sendi siku:

Diketahui:

$$\text{Gaya pada sumbu X} = F_{xw} = 255,5153 \text{ N}$$

$$\text{Gaya pada sumbu Y} = F_{yw} = 233,5455 \text{ N}$$

$$\text{Momen pergelangan tangan} = M_w = -19,56708 \text{ Nm}$$

$$\text{Panjang lengan bawah} = SL2 = 23,32 \text{ cm} = 0,2332 \text{ m}$$

$$\text{Jarak pusat masa lengan bawah dengan siku} = \lambda 2 = 43\% = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Berat lengan bawah} = W_{LA} = 1,2\% \times W_{\text{badan}} = 1,2\% \times (60 \text{ kg} \times 9,8) = 7 \text{ N}$$

$$\theta_2 = 30^\circ \quad \theta_2'' = 120^\circ$$

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA}$$

$$= 233,5455 - 7 = 226,5455 \text{ N}$$

$$F_{xe} = F_{xw} = 233,5455 \text{ N}$$

$$F_{\Delta} = \sqrt{F_{xe}^2 + F_{ye}^2} = \sqrt{226,5455^2 + 233,5455^2} = \sqrt{105.866.3641} = 325,3711 \text{ N}$$

$$M_c = M_w + (W_{LA} \times \lambda 2) + (F_{\Delta w} \times SL2)$$

$$= -19,56708 + (7 \times 0,1) + (346,167 \times 0,2332)$$

$$= -19,56708 + 0,7 + 80,7261 = 61,85902 \text{ Nm}$$

Dengan adanya saran perbaikan mengubah hasil momen ataupun hasil gaya. Pada nilai gaya dan momen setelah perbaikan seperti Tabel 4.7 dapat dilihat dengan adanya perbaikan postur dan berkurangnya beban yang harus diangkut mengakibatkan punggung tidak lagi menjadi tumpuan utama namun menyebar merata pada tangan bagian kanan. Penyebaran gaya pada tangan bagian kanan nilainya hampir sama dari pergelangan tangan, siku, hingga pundak. Sedangkan pada momen setelah perbaikan dapat diketahui bahwa tumpuan momen berubah dari bertumpu pada punggung menjadi pada pundak. Nilai dari momen pada bagian pundak menjadi nilai paling tinggi kemudian tertinggi kedua terdapat nilai momen pada bagian siku, lalu nilai momen pada bagian punggung, dan terakhir pada bagian pergelangan tangan kanan.

4.4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis hasil dan pembahasan berisi tentang perbandingan dari hasil perhitungan biomekanika eksisting dan sesudah perbaikan. Perhitungan biomekanika eksisting dilakukan dengan tiga tahapan yaitu pemilihan postur kerja berbahaya, perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada alat, dan yang terakhir perhitungan gaya dan momen

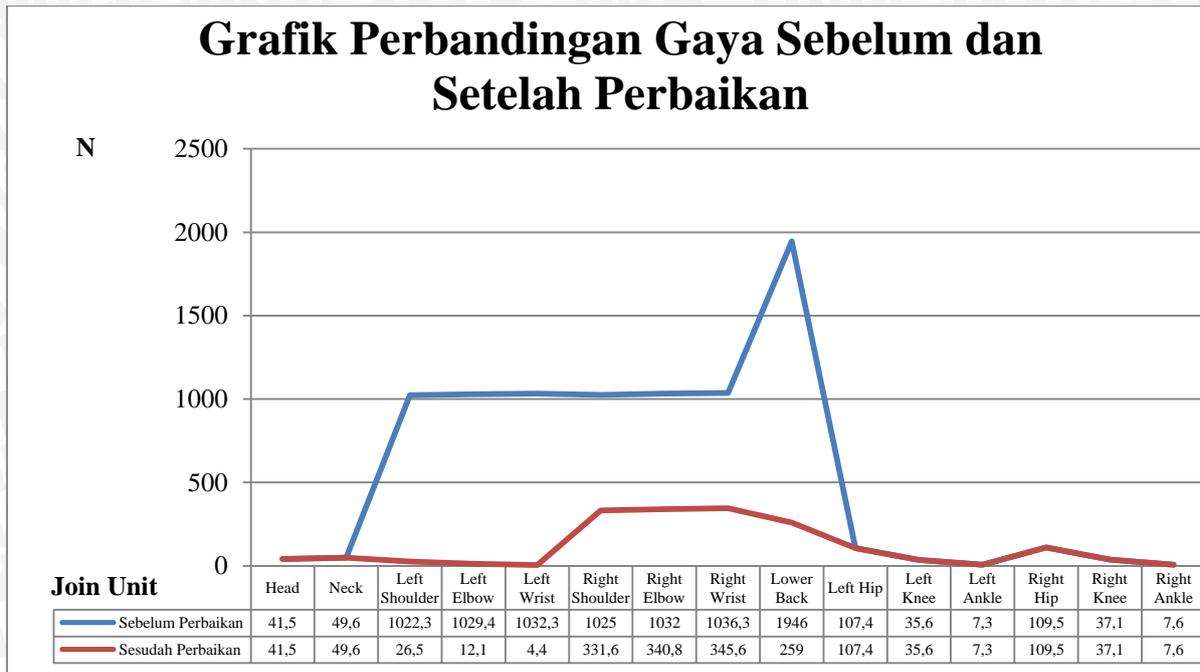
yang dirasakan pekerja pada setiap joint unit. Pemilihan postur kerja berbahaya dipilih dari 5 fase berjalan berdasar pada total momen tertinggi sebesar 68,7 Nm pada fase *Heel Strike*. Perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada alat dipengaruhi oleh empat aspek yaitu aspek selang, pegas pada *handle*, gaya dorong pada *nozzle*, dan berat mesin *scarfing* itu sendiri ditambah dengan massa gas oksigen maupun LNG. Setelah diketahui gaya dan momen yang bekerja pada alat kemudian nilai tersebut digunakan *input* tambahan beban sebagai gambaran dari pekerja yang membawa mesin *scarfing* pada fase *Heel Strike*. Kombinasi ini menghasilkan nilai gaya dan momen yang dirasakan pekerja pada setiap joint unit pekerja. Perhitungan biomekanika ini menggunakan bantuan *software Mannequin*. Sedangkan perhitungan postur kerja menggunakan metode OWAS yang disesuaikan dengan gambar pekerja *scarfing*.

Setelah melakukan perhitungan eksisting maka diketahui saran perbaikan yang sesuai untuk mengurangi gaya dan momen yang bekerja pada aspek *handle*, selang dan perbaikan postur punggung pekerja. Langkah berikutnya adalah perhitungan setelah perbaikan dimana yang diperbaiki tidak hanya mengurangi nilai gaya dan momen yang bekerja pada alat namun juga perbaikan postur kerja. Perbandingan hasil dari adanya saran perbaikan berupa sarung kunci *handle*, *scroll roll*, dan posisi punggung yang tegap dapat dilihat pada Tabel 4.8, Gambar 4.30, dan Gambar 4.31.

Tabel 4.8 Perbandingan Gaya dan Momen Sebelum dan Setelah Perbaikan

Joint Unit	Force (N)		Moment (Nm)	
	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan
Head	41,5	41,5	3,7	3,7
Neck	49,6	49,6	6,5	6,5
Left Shoulder	1.022,3	26,5	267,9	2,5
Left Elbow	1.029,4	12,1	271,6	1
Left Wrist	1.032,3	4,4	100,5	0,4
Right Shoulder	1.025	331,6	519,3	146,5
Right Elbow	1.032	340,8	299,6	78,4
Right Wrist	1.036,3	345,6	91,9	28,5
Lower Back	1.946	259	934,5	49,6
Left Hip	107,4	107,4	7,5	7,5
Left Knee	35,6	35,6	2,9	2,9
Left Ankle	7,3	7,3	0,1	0,1
Right Hip	109,5	109,5	12	12
Right Knee	37,1	37,1	1,8	1,8
Right Ankle	7,6	7,6	0,3	0,3
TOTAL	8.518,9	1.715,6	2.520,1	341,7

Grafik Perbandingan Gaya Sebelum dan Setelah Perbaikan



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Gaya Sebelum dan Setelah Perbaikan

Grafik Perbandingan Momen Sebelum dan Setelah Perbaikan



Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Momen Sebelum dan Setelah Perbaikan

Dari Gambar 4.30 dan 4.31 dapat dilihat perubahan gaya maupun momen yang cukup signifikan hingga mencapai lebih 80% penurunan. Hasil perhitungan biomekanika dari postur kerja *scarfing* sebelum dan setelah perbaikan pada fase *Heel Strike* dapat dilihat pada Tabel 4.8. Perubahan gaya ataupun momen ini berfokus pada bagian pundak, siku, pergelangan tangan, dan punggung pekerja. Gaya dan momen pada alat yang telah berkurang kemudian ditambah dengan perbaikan postur mengakibatkan

turunnya momen dan gaya yang dirasakan pekerja secara drastis. Perubahan yang terjadi pada pekerja telah direkap pada tabel 4.9:

Tabel 4.9 Rekap Perubahan Biomekanika dengan Berdasar pada Saran Perbaikan

Aspek yang diperhitungkan	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan
Gaya tegangan selang (F)	491,6328 (N)	68,9965 (N)
Gaya tekan <i>handle</i> (F_c)	55 (N)	0 (N)
Gaya dorong pekerja (F_b)	802,148 (N)	255,5153 (N)
Gaya normal (F_N)	656,1818 (N)	233,54554 (N)
Momen (M_c)	64,76036 (Nm)	- 19,56708 (Nm)
Total Gaya yang dirasakan pekerja	8518,9 (N)	1715,6 (N)
Total Momen yang dirasakan pekerja	2385 (Nm)	341,7 (Nm)

Perbandingan yang terlihat pada Tabel 4.8 mengenai penurunan gaya yang dirasakan pekerja berada pada rentang antara 691.2 N hingga 1687 N. Penurunan gaya terkecil terjadi pada bagian siku kanan sedangkan penurunan gaya terbesar terjadi pada bagian punggung pekerja. Penurunan momen yang dirasakan pekerja berada pada rentang antara 63,4 Nm hingga 884,9 Nm. Penurunan momen terkecil terjadi pada pergelangan tangan pekerja sedangkan penurunan momen terbesar terjadi pada bagian punggung pekerja. Dengan adanya perbaikan postur kerja dan alat bantu ini mengakibatkan perubahan pada beberapa aspek seperti pada yang terlihat pada Tabel 4.9. Perubahan total gaya yang mencapai 6.800 N dan perubahan total yang mencapai 2000 Nm ini menunjukkan bahwa perbaikan yang diajukan berdampak besar kepada gaya dan momen yang dirasakan pekerja.

