Perancangan Tempat Penyimpanan *Flange* Menggunakan Metode *Reverse Engineering*

1st Hichael Rally Tubagus
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
hichaelrt@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ilma Mufidah
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

3rd Mira Rahayu
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
mirarahayu@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — *Flange* digunakan untuk menggabungkan antara dua pipa dengan *valve* atau dengan *equipment* lainnya. Pengambilan *flange* membutuhkan waktu yang lama karena sistem penyimpanan *flange* masih ditumpuk dari ukuran tekecil (depan) hingga ukuran terbesar (belakang) sehingga proses pengambilan *flange* menjadi kurang efisien. Selain waktu pengambilan yang lama, proses pengambilan *flange* juga dapat memiliki risiko negatif ke operator yaitu *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) karena saat ingin mengambil flange operator akan menerima beban secara berulang dan terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama. Setelah dilakukan perancangan perbaikan tempat penyimpanan *flange* menggunakan metode *reverse engineering*, tempat penyimpanan *flange* usulan terbukti dapat mengurangi waktu instalasi pipa 54 menit lebih cepat dibandingkan waktu eksisting dan perhitungan nilai *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) pada *operator* saat menggunakan tempat penyimpanan *flange* usulan mendapatkan nilai 3 atau memiliki resiko *level* 1 (*low*) sehingga dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan resiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) pada *operator*.**

Kata kunci*— *perancangan produk, reverse engineering, musculoskeletal disorders, REBA, flange, tempat penyimpanan

I. PENDAHULUAN

Sebagai negara berkembang yang memiliki populasi yang besar, Indonesia memiliki konsumen yang cukup besar untuk produk-produk manufaktur. Ini menyebabkan banyak perusahaan asing yang tertarik untuk berinvestasi di Indonesia, terutama di sektor manufaktur. Industri manufaktur di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang cukup stabil selama beberapa tahun terakhir. Pertumbuhan tersebut terutama dipimpin oleh sektor industri pengolahan, seperti industri makanan dan minuman, tekstil dan pakaian jadi, serta industri kimia dan farmasi. Industri manufaktur di Indonesia memerlukan sejumlah peralatan kerja yang efektif dan efisien untuk mengurangi biaya operasional dan sebagai alat bantu untuk memudahkan pekerjaan manusia salah satunya adalah pompa. Pompa banyak digunakan pada industri-industri karena peranannya yang bermacam-macam tergantung dari penggunaan dan instrumentasi pendukung.

Industri perpompaan di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang cukup stabil selama beberapa tahun terakhir. Industri ini sangat penting bagi negara ini karena pompa merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem distribusi air, industri, dan pertambangan. Selain itu, Indonesia juga merupakan negara yang memiliki banyak sumber daya alam, seperti minyak dan gas, yang membutuhkan pompa untuk pemboran dan produksi.

PT Bumi Cahaya Unggul merupakan perusahaan semi manufaktur yang memproduksi paket pompa yang terdiri dari pompa, unit penggerak (motor atau *diesel engine*), *baseplate*, *coupling*, dan *coupling guard* dengan menerapkan manufaktur *make to order* atau produk dibuat sesuai permintaan konsumen dengan waktu yang telah sepakati. Sehingga tidak ada peramalan permintaan pesanan untuk menjadwalkan dalam proses produksi.

BCU memproduksi dua tipe pompa yaitu pompa sentrifugal dan pompa *positive displacement* yang diklasifikasikan berdasarkan kegunaannya di berbagai segmen industri seperti industri minyak dan gas, kelautan, produk hidrokarbon, pembangkit listrik, farmasi dan obat-obatan, pertanian, dan lain-lain.

Aktivitas kegiatan utama di PT BCU antara lain sistem rancang teknik yaitu kegiatan perpaduan antara rancangan sistem, perhitungan teknis, dan analisa output guna menghasilkan produk yang sesuai dengan permintaan pelanggan, lalu ada fabrikasi yang terdiri dari pembuatan *baseplate*, pembuatan panel, produksi suku cadang pompa, fabrikasi sistem pemipaan, dan lain-lain, kegiatan lainnya yaitu perbaikan pompa yang terdiri dari *overhaul, recondition, revamp, retrofit,* dan *refurbish*, selain itu BCU juga melakukan kegiatan seperti pengujian kinerja pompa yang telah selesai dibuat atau diperbaiki, manajemen proyek, pelatihan, dan kegiatan lapangan.

Pesatnya aktivitas bisnis pada BCU menjadikan perusahaan memiliki sistem kerja yang kompleks sehingga tidak jarang terdapat beberapa masalah pada perusahaan seperti pada proses pengujian kinerja pompa. BCU memiliki dua fasilitas pengujian pompa yaitu dengan menggunakan air dan oli. Tahapan melakukan pengujian kinerja pompa yaitu memindahkan pompa ke area testbed, memasang unit penggerak (motor atau *diesel engine*), memasang *coupling*, memasang pemipaan, melakukan *alignment*, memasang kabel, dan yang terakhir menjalankan pompa.

Pengujian kinerja pompa dilakukan oleh Divisi *Quality Control*, berdasarkan observasi kondisi lapangan yang dilakukan penulis, Divisi *Quality Control* seringkali melakukan kerja lembur untuk menyelesaikan pengujian pompa sesuai dengan waktu yang tentukan. Hal ini mengakibatkan perusahaan harus mengeluarkan biaya tambahan untuk pekerjaan lembur tersebut.

Sesuai dengan target yang ditetapkan oleh perusahaan, Divisi *Quality Control* harus melakukan pengujian

setidaknya dua unit pompa dalam sehari agar tidak terjadi keterlambatan pengiriman. Lamanya proses pengujian satu unit pompa dari awal tahap persiapan sampai akhir pengujian rata-rata berlangsung selama kurang lebih 5 jam tergantung dari jenis pompa dan *Factory Acceptance Test* (FAT) procedure sementara jam kerja dari *operator* hanya 8 jam. Berdasarkan observasi yang dilakukan penulis, terdapat enam aktivitas yang dilakukan saat pengujian kinerja pompa dan total waktu dari pengujian kinerja pompa hampir 5 jam.

Salah satu tahapan persiapan sebelum proses pengujian pompa adalah tahap instalasi pipa, dimana setiap jenis dan ukuran pompa membutuhkan instalasi pipa yang berbeda. Tahap ini membutuhkan waktu yang cukup signifikan dan harus dilakukan dengan sebaik-baiknya karena akan menentukan hasil dari pengujian pompa. Untuk meningkatkan efisiensi waktu instalasi pipa, penulis melakukan observasi terhadap sistem pengambilan *flange* yang merupakan salah satu komponen utama dalam instalasi pipa.

Flange merupakan komponen penting pada sistem pemipaan karena berfungsi untuk menggabungkan antara dua pipa dengan *valve* atau dengan equipment lainnya. Selain itu flange juga digunakan untuk menutup lubang yang tidak digunakan pada pompa saat dilakukan pengujian.

Sistem penyimpanan *flange* yang ada di PT BCU disusun secara bertumpuk dan ukurannya tercampur, sistem ini mengakibatkan pemborosan waktu apabila *flange* yang diperlukan untuk instalasi berada disusunan tengah hingga belakang, dimana *operator* harus terlebih dahulu mengeluarkan *flange* yang berada pada susunan depan untuk mengambil *flange* yang diperlukan. Setelah mengambil *flange* yang diperlukan, *operator* harus mengembalikan *flange* yang telah dikeluarkan ke rak penyimpanan dengan posisi semula.

Selain waktu pengambilan yang lama, proses pengambilan *flange* juga dapat memiliki risiko negatif ke *operator* yaitu *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) adalah keluhan pada bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seorang tenaga kerja mulai dari keluhan sangat ringan sampai dengan sangat sakit yang dapat disebabkan atau diperburuk oleh pekerjaan, lingkungan kerja dan performansi kerja

Pada saat operator ingin mengambil *flange* bagian belakang harus mengeluarkan *flange* bagian depan sehingga *operator* harus menunduk untuk meletakkan flange bagian depan di lantai dan harus menunduk lagi untuk meletakannya kembali ke tempat penyimpanan jadi *operator* akan menerima beban secara berulang dan terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama. Berdasarkan indikasi diatas telah dilakukan perhitungan menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA). Hasil perhitungan postur kerja dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) mendapatkan skor 7 yang artinya berbahaya dan harus dilakukan perbaikan pada postur *operator*.

Berdasarkan informasi diatas, dalam penelitian ini penulis akan melakukan *redesign* pada tempat penyimpanan *flange* menggunakan metode *reverse engineering* dan menggunakan antropometri sebagai acuan dalam menentukan dimensi tempat penyimpanan.

II. KAJIAN TEORI

A. Pompa

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan fluida dari tempat dengan tekanan rendah ke tempat dengan tekanan yang lebih tinggi dengan menambahkan energi pada fluida yang dipindahkan melalui selang atau perpipaan[1]. Proses ini terus-menerus dan dilakukan untuk mengatasi perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dan bagian keluar (*discharge*) pada pompa. Pompa juga dapat diartikan sebagai alat yang memindahkan energi dari suatu pemutar atau penggerak ke cairan yang disimpan dalam bejana dengan tekanan yang lebih tinggi. Selain memindahkan cairan, pompa juga berguna untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian cairan.

B. Pengembangan Produk

Pengembangan produk adalah serangkaian tindakan untuk merancang, menyusun, dan memasarkan produk. Tahapan pengembangan produk dimulai dengan persepsi peluang pasar dan diselesaikan dengan suatu proses produksi, penjualan, hingga pengiriman produk kepada pelanggan.[2]

C. Musculoskeletal Disorders

Musculoskeletal Disorders (MSDs) adalah keluhan pada bagian otot rangka yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan hingga sangat sakit, apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam waktu yang lama akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligament, dan tendon.[3]

D. Antropometri

Antropometri digunakan dalam berbagai bidang seperti ergonomi, desain produk, dan kesehatan masyarakat untuk memahami bagaimana tubuh manusia berinteraksi dengan lingkungannya. Dalam ilmu ergonomi, antropometri adalah studi tentang pengukuran dimensi tubuh manusia dari tulang, otot, dan jaringan adiposa.[4]

E. Ergonomi

Ergonomi adalah cabang ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan sistem, produk, atau proses. Ergonomi bertujuan untuk mencapai kualitas kerja yang baik tanpa mengorbankan kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan manusia atau operator pengguna produk.[5]

F. *Rapid Entire Body Assessment* (REBA)

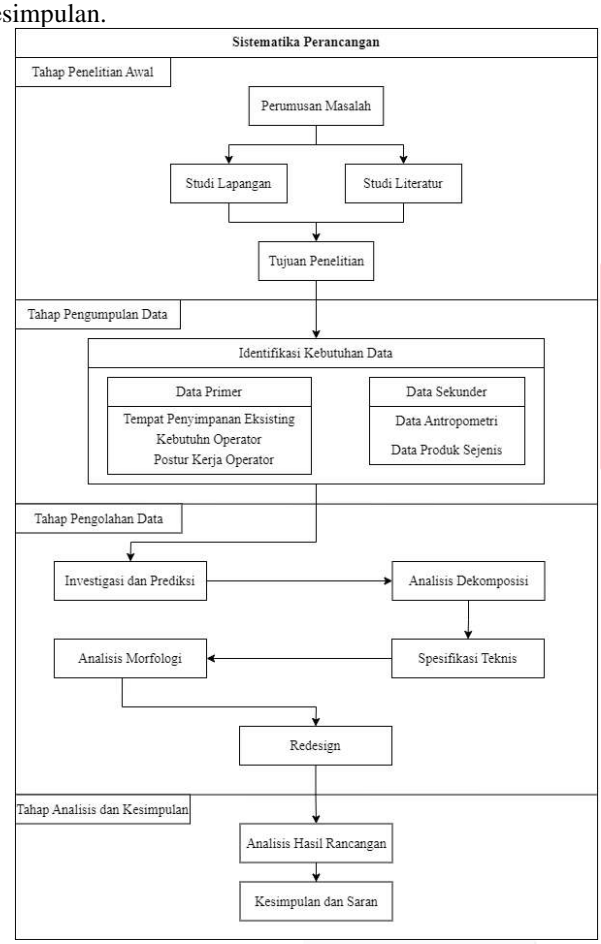
Metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi semua aktivitas kerja yang memiliki risiko cedera dengan cara observasi dan mengevaluasi bagian tubuh pekerja pada bagian atas (lengan, lengan bawah, dan pergelangan tangan), bagian bawah, badan, dan leher yang disebabkan oleh aktivitas kerja. Observasi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu observasi langsung, rekam video, atau mengambil foto.[6]

G. Reverse Engineering

Reverse engineering adalah bentuk kegiatan desain yang terdiri dari merekonstruksi model desain yang terkait dengan produk nyata (eksisting). Tujuan utama dari rekayasa balik adalah untuk kembali ke hasil dari proses desain asli untuk membuat produk serupa.[7]

III. METODE

Proses diawali dengan pemahaman kondisi lapangan untuk mendapatkan gambaran dan alternatif penyelesaian masalah. Tahap yang dilakukan yaitu studi lapangan, studi literatur, menentukan tujuan penelitian, identifikasi kebutuhan data, pengolahan data, analisis hasil, dan kesimpulan.



GAMBAR 1
Sistematika Perancangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data

1. Kondisi Produk Eksisting

Berikut merupakan tempat penyimpanan *flange* eksisting yang diperoleh dari observasi langsung pada PT Bumi Cahaya Unggul.

GAMBAR 2
Tempat Penyimpanan *Flange* Eksisting

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa desain dari tempat penyimpanan eksisting *flange* disusun secara bertumpuk sesuai dengan ukuran terbesar hingga terkecil yang akan mempersulit operator saat ingin mengambil *flange* yang paling belakang. Berikut merupakan tabel waktu proses instalasi pipa saat operator menggunakan tempat penyimpanan *flange* eksisting

Tabel 1
Waktu Proses Pengujian Kinerja Pompa

No	Pengujian Kinerja Pompa	Waktu Proses
1	Pemindahan pompa ke area pengetesan	00:30:02
2	Instalasi sistem pemipaan	01:22:00
3	Pemasangan alat ukur, *valve*, dan kabel	00:15:17
4	*Alignment coupling* pompa	00:31:11
5	Pemasangan *coupling guard* dan pengecekan sistem pemompaan	00:15:00
6	Pengujian performa pompa	02:00:00
Total		04:53:30

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa proses pengujian kinerja pompa eksisting memakan waktu selama 4 jam 53 menit 30 detik dan untuk kegiatan pengambilan *flange* berada pada tahap kedua yaitu instalasi sistem pemipaan yang memakan waktu selama 1 jam 22 menit.

2. Kebutuhan *Operator*

Kebutuhan *operator* merupakan salah satu tahapan awal dalam metode pengembangan produk. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan *operator* pada produk yang akan dirancang dan memastikan produk rancangan telah tepat sasaran sesuai dengan kebutuhan pengguna. [2]

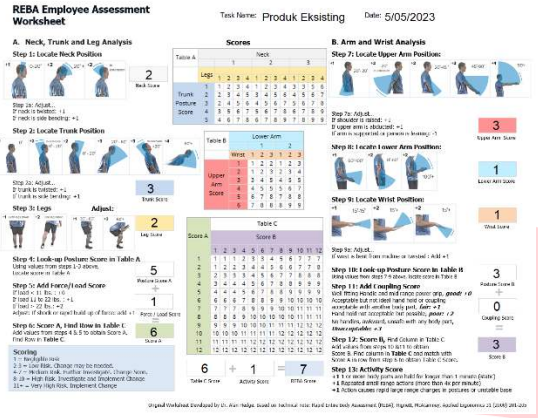
Terdapat tiga cara yang dapat digunakan untuk mengumpulkan informasi produk eksisting, yaitu Wawancara, *Focus Group Discussion*, dan Obervasi. Pada kasus kali ini, peneliti menggunakan metode wawancara untuk mengumpulkan informasi yang dibutuhkan dalam upaya memecahkan masalah yang ada. Terdapat 4 pertanyaan yang bersumber dari buku *Product Design & Development* karya Ulrich & Eppinger. Kemudian pertanyaan tersebut disesuaikan dengan masalah yang ada. Berikut merupakan tabel *need statement* yang didapatkan dari hasil wawancara kepada *operator* yang bertugas mengambil flange.

TABEL 2
Need Statement

No	*Need Statement*
1	Tempat penyimpanan dapat menahan beban *flange* yang lebih besar
2	Jumlah *flange* dalam tempat penyimpanan dapat ditambah
3	Dapat memilih dan mengambil *flange* dengan cepat
4	Tempat penyimpanan mudah diakses
5	Tempat penyimpanan nyaman untuk digunakan

3. Postur Kerja Eksisting

Postur kerja eksisting *operator* bertujuan untuk mengetahui postur kerja dari *operator* saat pengambilan *flange*. Postur kerja eksisting dihitung dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA). Analisis ini dilakukan karena terdapat keluhan dari operator saat mengambiln flange. Berikut merupakan hasil perhitungan nilai REBA *operator*



GAMBAR 3
Perhitungan REBA Eksisting

Berdasarkan hasil perhutingan dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) mendapatkan skor 7 yang artinya postur kerja dari *operator* berbahaya dan harus dilakukan perbaikan.

4. Data Antropometri

Antropometri merupakan pengukuran dimensi tubuh dan komposisi tubuh berbagai tingkat umur. Untuk penelitian ini diperlukan data antropometri yang didapatkan dari tabel data antropometri pekerja Indonesia karena pada batasan penelitian diasumsikan seluruh pekerja pada PT Bumi Cahaya Unggul merupakan pekerja dari Indonesia. Data antropometri ini digunakan sebagai tolak ukur desain rancangan ergonomis. Berikut merupakan data antropometri pekerja Indonesia

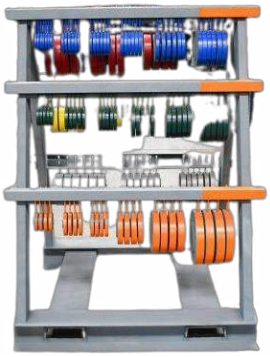
TABEL 3
Data Antopometri Pekerja Indonesia

Dimensi	Keterangan	5th	50th	95th	SD
D1	Tinggi tubuh	154.6	164.97	175.33	6.3
D2	Tinggi mata	147.79	155.85	163.9	4.9
D3	Tinggi bahu	126.89	136.58	146.28	5.89
D4	Tinggi siku	97.26	102.78	108.3	3.36
D5	Tinggi pinggul	92.71	93.81	94.9	0.67
D6	Tinggi tulang ruas	72.45	73.77	75.08	0.8
D7	Tinggi ujung jari	63.11	75.33	87.54	7.43
D8	Tinggi dalam posisi duduk	71.2	78.11	85.02	4.2
D9	Tinggi mata dalam posisi duduk	62.13	68.24	74.35	3.71
D10	Tinggi bahu dalam posisi duduk	56.05	71.95	87.86	9.67
D11	Tinggi siku dalam posisi duduk	28.79	33.85	38.91	3.08
D12	Tebal paha	17.25	19.76	22.27	1.52
D13	Panjang lutut	52.16	52.38	52.59	0.13
D14	Panjang popliteal	31.97	36.06	40.14	2.48
D15	Tinggi lutut	49.42	56.28	63.14	4.17
D16	Tinggi popliteal	40.15	45.34	50.53	3.16
D17	Lebar sisi bahu	41.39	48.21	55.03	4.15
D18	Lebar bahu bagian atas	33.51	34.78	36.05	0.77
D19	Lebar pinggul	34.21	39.59	44.97	3.27
D20	Tebal dada	20.44	22.07	23.71	0.99
D21	Tebal perut	22.16	31.64	41.11	5.76
D22	Panjang lengan atas	36	36	36	0
D23	Panjang lengan bawah	39.23	42.85	46.47	2.2
D24	Panjang rentang tangan ke depan	62.75	66.29	69.83	2.15
D25	Panjang bahu-genggaman tangan ke depan	58.85	63.23	67.61	2.66
D26	Panjang kepala	17.8	17.8	17.8	0
D27	Lebar kepala	18.14	20.05	21.97	1.17
D28	Panjang tangan	18.26	21.16	24.06	1.76
D29	Lebar tangan	11.38	13.55	15.72	1.32
D30	Panjang kaki	25.42	27.62	29.81	1.33
D31	Lebar kaki	8.81	9.82	10.83	0.61
D32	Panjang rentangan tangan ke samping	163.5	169.93	176.37	3.91
D33	Panjang rentangan siku	84	84	84	0
D34	Tinggi genggaman tangan ke atas dalam posisi berdiri	200.99	207.21	213.42	3.78
D35	Tinggi genggaman ke atas dalam posisi duduk	123.01	127.34	131.67	2.63
D36	Panjang genggaman tangan ke depan	69.86	76.78	83.71	4.21

Data antropometri ini akan menjadi referensi bagi peneliti dalam menentukan target perancangan. Dengan merujuk pada data di atas, diharapkan tempat penyimpanan yang dirancang memiliki kenyamanan maksimal.

5. Benchmark

Selain menggunakan data antropometri, peneliti juga melakukan tahapan *benchmark*. Tahapan *benchmark* melibatkan pengumpulan informasi tentang produk-produk serupa yang sudah ada dan kemudian produk-produk tersebut dibandingkan untuk mendapatkan alternatif rancangan produk yang diusulkan. Pada perancangan kali ini, terdapat dua produk eksisting yang digunakan dalam tahapan *benchmark*



GAMBAR 4
Benchmark Tempat Penyimpanan *Flange* 1

Produk diatas merupakan produk pertama yang akan digunakan dalam tahap benchmark. Tempat penimpanan flange diatas dipasarkan pada salah satu e-commerce khusus tempat penyimpanan flange. Produk pada gambar diatas memiliki tiga layer untuk tempat penyimpanan dan mekanisme penyimpanannya digantung menggunakan arm yang adjustable

GAMBAR 5
Benchmark Tempat Penyimpanan *Flange* 2

Gambar diatas merupakan produk kedua untuk benchmark penulis. Produk diatas juga dijual pada *e-commerce* khusus tempat penyimpanan *flange*. Produk diatas memiliki beberapa sekat untuk memisahkan *flange* yang diletakkan, namun kapasitas *flange* yang dapat ditampung oleh produk diatas sangat terbatas karena sekat pada tempat penyimpanan diatas bersifat tetap

B. Proses Perancangan

1. Penggunaan Produk Terdahulu

Tempat penyimpanan *flange* eksisting digunakan sebagai tempat meletakkan *flange* yang akan digunakan untuk kebutuhan pengujian pompa. Tempat penyimpanan ini dibuat agar para *operator* tidak perlu mengambil flange ke gudang karena jauh dan proses mengambilnya lama. Tempat penyimpanan *flange* eksisting dapat menampung sekitar 20 *flange* berukuran 2 – 8 *inch* sementara pada proses pengujian pompa juga dibutuhkan *flange* berukuran 10 – 16 *inch* sehingga untuk *flange* yang berukuran 10 – 16 *inch* hanya disenderkan atau diletakkan di lantai dekat dengan tepat penyimpanan *flange* eksisting. Pada tempat penyimpanan *flange* eksisting dibutuhkan waktu sekitar 10 menit untuk mengambil *flange* dikarenakan pada tempat penyimpanan eksisting *flange* diletakkan secara bertumpuk sehingga untuk mengambil *flange* bagian belakang akan memakan waktu yang cukup lama sementara *operator* harus menyiapkan berbagai macam alat untuk proses pengujian pompa.

2. Identifikasi *Need Statement*

Dalam mengidentifikasi *need statement* dilakukan proses wawancara kepada dua *operator* yang bertugas untuk mengambil *flange*. Berikut merupakan *need statement* yang didapatkan.

TABEL 4
Need Statement

No	*Need Statement*
1	Tempat penyimpanan dapat menahan beban *flange* yang lebih besar
2	Jumlah *flange* dalam tempat penyimpanan dapat ditambah
3	Dapat memilih dan mengambil *flange* dengan cepat
4	Tempat penyimpanan mudah diakses
5	Tempat penyimpanan nyaman untuk digunakan

Setelah *need statement* didapatkan, selanjutnya *need statement* dikonversi menjadi atribut produk yang dikembangkan. Berikut merupakan hasil konversi *need statement* menjadi atribut produk.

TABEL 5
Atribut Produk

No	*Need Statement*	Atribut Produk
1	Tempat penyimpanan dapat menahan beban *flange* yang lebih besar	Tempat penyimpanan menggunakan material yang kuat
2	Jumlah *flange* dalam tempat penyimpanan dapat ditambah	Tempat penyimpanan memiliki kapasitas ruang penyimpanan yang besar
3	Dapat memilih dan mengmbil *flange* dengan cepat	Tempat penyimpanan memiliki sekat dan mekanisme pengambilan *flange* yang mudah
4	Tempat penyimpanan mudah diakses	Produk usulan memiliki jenis tempat penyimpanan yang terbuka
5	Tempat penyimpanan nyaman untuk digunakan	Tempat penyimpanan memiliki ukuran yang ergonomis

3. Analisis Fungsional

Analisis fungsional dilakukan setelah menentukan atribut produk. Tahapan ini bertujuan untuk membuat prediksi fungsional dari karakteristik teknis yang diperlukan. Berikut merupakan prediksi fungsional yang didapatkan dari tahapan sebelumnya

TABEL 6
Prediksi Fungsional

No	Atribut Produk	Prediksi Fungsional
1	Tempat penyimpanan menggunakan material yang kuat	Tempat penyimpanan dapat menahan beban *flange*
2	Tempat penyimpanan memiliki kapasitas ruang penyimpanan yang besar	Jumlah *flange* pada tempat penyimpanan dapat ditambah
		Tempat penyimpanan dapat menampung flange ukuran 2 – 16 inch
3	Tempat penyimpanan memiliki sekat dan mekanisme pengambilan *flange* yang mudah	Ukuran flange tidak tercampur
		Menggunakan mekanisme tarik untuk pengambilan flange
4	Produk usulan memiliki jenis tempat penyimpanan yang terbuka	*Flange* mudah dilihat oleh operator
5	Tempat penyimpanan memiliki ukuran yang ergonomis	Nilai REBA kurang dari sama dengan 3

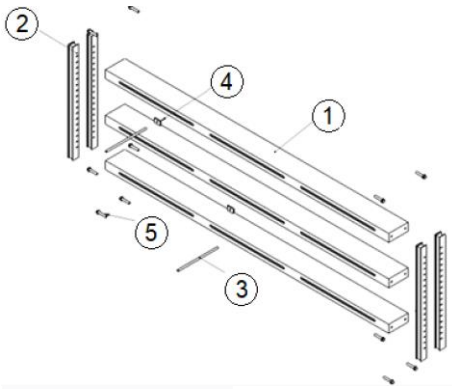
4. Analisis Kelemahan dan Penilaian

Dalam pengembangan produk, dilakukan evaluasi terhadap kekurangan produk dan penilaian terhadap produk yang sudah ada. Tujuan dari analisis kekurangan produk adalah untuk menilai tingkat kepentingan dan kepuasan terhadap produk eksisting. Berikut merupakan beberapa kelemahan dari tempat penyimpanan *flange*:

a. Tempat penyimpanan eksisting tidak dapat menahan beban *flange* yang terlalu berat (*flange* ukuran 10 – 16 *inch*) karena tempat penyimpanan eksisting hanya berupa batangan besi yang jika diletakkan *flange* dengan beban yang melebihi batasnya dapat bengkok atau patah sehingga flange yang berukuran besar (10 – 16 *inch*) diletakkan di lantai.
b. Tempat penyimpanan eksisting memiliki kapasitas berat dan jumlah yang sedikit. Tempat penyimpanan eksisting hanya dapat menampung sekitar 20 *flange*, sementara jumlah *flange* yang ada lebih dari 30 sehingga *flange* yang tidak dapat ditampung pada tempat penyimpanan diletakkan di lantai. Tempat penyimpanan eksisting juga hanya dapat menampung *flange* dengan ukuran maksimal 8 *inch* karena untuk menampung *flange* diatas 8 *inch* membutuhkan kapasitas yang lebih besar.
c. Tempat penyimpanan eksisting tidak memiliki sekat antara *flange* satu dengan yang lainnya sehingga *operator* sulit untuk memilih atau melihat ukuran dari *flange* yang ingin diambil
d. Tempat penyimpanan eksisting memiliki mekanisme pengambilan *flange* yang sulit sehingga *operator* membutuhkan waktu yang lama untuk mengambil *flange* yang diinginkan jika *flange* tersebut berada di bagian belakang. Jika *operator* ingin mengambil *flange* yang ada di bagian belakang maka *operator* harus mengeluarkan *flange* yang ada di bagian depan. Hal ini akan membuat proses pengambilan *flange* lama dan memakan banyak tenaga.
e. Postur tubuh pekerja saat mengambil *flange* pada tempat penyimpanan eksisting kurang baik karena *operator* akan melakukan gerakan berulang dan setelah dilakukan analisis *Rapid Entire Body Assesment* (REBA) mendapatkan nilai akhir 8 yang artinya postur kerja dari *operator* berbahaya dan harus dilakukan perbaikan.

5. Analisis Dekomposisi

Pada tahapan dekomposisi dilakukan perancangan ulang tempat penyimpanan eksisting untuk mengetahui komponen penyusun dari tempat penyimpanan eksisting. Pada tahap ini juga akan dibuat dari tempat penyimpanan eksisting serta akan dilakukan pengamatan untuk mengetahui fungsi-fungsi dari komponen. Berikut merupakan dekomposisi struktur tempat penyimpanan flange eksisting di PT Bumi Cahaya Unggul.



GAMBAR 6
Explode View

Berdasarkan gambar diatas dapat diperoleh bill of material seperti pada tabel berikut:

TABEL 7
Bill of Material

No.	*Part Name*	*QTY*	*Material*
1	*Horizontal Bar*	3	*Steel Q235*
2	*Vertical Bar*	4	*Steel Q235*
3	*Hook*	10	*Steel Q235*
4	*Hook Stopper*	10	*Steel Q235*
5	*Bolt*	12	*Carbon Steel*

6. Spesifikasi Teknis

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan target perancangan produk usulan. Spesifikasi teknis dihasilkan setelah mengetahui karakteristik teknis yang diperlukan. Penetapan karakteristik teknis didasarkan pada atribut produk yang telah dibuat sebelumnya. Atribut produk yang telah ditetapkan sebelumnya akan menghasilkan karakteristik teknis yang akan menjadi dasar dalam menentukan tujuan perancangan produk. Karakteristik yang didapatkan akan

dikonversi menjadi target perancangan produk dan target perancangan yang didapatkan akan menjadi dasar dalam merancang produk usulan. Berikut merupakan hasil konversi dari atribut produk, karakteristik teknis, dan target rancangan.

TABEL 8
Spesifikasi Teknis

Atribut Produk	Karakteristik Teknis	Target Rancangan
Tempat penyimpanan menggunakan material yang kuat	Material tempat penyimpanan	*Steel Q235*
Tempat penyimpanan memiliki kapasitas ruang penyimpanan yang besar	Dimensi tempat penyimpanan	
	Kapasitas maksimum ruang tempat penyimpanan	*Flange* ukuran 2 – 16 inch
	Jumlah *flange* yang dapat ditampung	30+
Tempat penyimpanan memiliki sekat dan mekanisme pengambilan *flange* yang mudah	Mekanisme pengambilan *flange*	Sistem tarik
	Jumlah sekat	10
Produk usulan memiliki jenis tempat penyimpanan yang terbuka	Akses tempat penyimpanan	Desain tempat penyimpanan
Tempat penyimpanan memiliki ukuran yang ergonomis	Nilai REBA	≤ 3

7. Analisis Morfologi

Tahap analisis morfologi produk yaitu proses untuk menghasilkan konsep alternatif dalam perancangan produk. Berikut merupakan *morfologi chart* yang didapatkan

Tabel 9
Morfology Chart

Alternatif / Fungsi	1	2
Jenis material	Aluminium	*Steel Q235*
Bentuk rangka	Horizontal	
Jenis tempat penyimpanan	Terbuka	
Mekanisme sekat	Adjustable	Tetap
Mekanisme Penyimpanan	Susun vertikal	Susun horizontal

Berikut merupakan kombinasi konsep yang didapatkan

TABEL 10
Kombinasi Konsep

Kombinasi	Jenis Material	Bentuk Rangka	Jenis Tempat Penyimpanan	Mekanisme Sekat	Mekanisme Penyimpanan
A	Aluminium	Horizontal	Terbuka	Adjustable	Susun Vertikal
B	Aluminium	Horizontal	Terbuka	Adjustable	Susun Horizontal
C	Aluminium	Horizontal	Terbuka	Tetap	Susun Vertikal
D	Aluminium	Horizontal	Terbuka	Tetap	Susun Horizontal
E	*Steel*	Horizontal	Terbuka	Adjustable	Susun Vertikal
F	*Steel*	Horizontal	Terbuka	Adjustable	Susun Horizontal
G	*Steel*	Horizontal	Terbuka	Tetap	Susun Vertikal
H	*Steel*	Horizontal	Terbuka	Tetap	Susun Horizontal

8. *Concept Selection*

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan konsep alternatif terbaik dari 8 konsep yang muncul dalam morfologi chart. Terdapat 2 proses yang dilakukan, yaitu *concept screening* dan *concept scoring*. Dalam proses penilaian setiap konsep, peneliti melibatkan responden sebagai calon pengguna tempat penyimpanan *flange* yang diusulkan. Tujuannya adalah agar tempat penyimpanan *flange* yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan calon pengguna.

Pada tahap ini dilakukan penilaian tingkat kepentingan menggunakan kuesioner yang mengacu pada need statement. Kuesioner ini diberikan pada dua orang *operator* yang bertugas untuk mengambil *flange* pada tempat penyimpanan eksisitng. Tahapan ini dilakukan untuk melihat prioritas tiap *need statement*. Tingkat kepentingan ini terdiri dari empat penilaian untuk nilai terendah (1) sampai nilai tertinggi (4). Setelah hasil dari kuesioner tingkat kepentingan ini didapatkan, dilakukan pengolahan untuk mendapatkan rata-rata tingkat kepentingan tiap *need statement*.

Sebelum memasuki tahap *concept scoring*, dilakukan penentuan persentase bobot dari tingkat kepentingan yang sudah ditentukan sebelumnya. Penentuan persentase bobot dilakukan dengan menjumlahkan tingkat kepentingan dari setiap aspek dengan total keseluruhan, lalu dikalikan dengan 100%. Berikut adalah persentase bobot untuk setiap tingkat kepentingan yang telah ditetapkan sebelumnya.

TABEL 11
Bobot Tingkat Kepentingan

Need Statement	**Tingkat Kepentingan**	**Persentase**
Tempat penyimpanan dapat menahan beban flange yang lebih besar	4	25.81%
Jumlah flange dalam tempat penyimpanan dapat ditambah	3.5	22.58%
Dapat memilih dan mengambil flange dengan cepat	4	25.81%
Tempat penyimpanan mudah diakses	2.5	16.13%

Tempat penyimpanan nyaman untuk digunakan	1.5	9.68%

Langkah berikutnya adalah *concept screening* yang bertujuan untuk secara cepat mempersempit jumlah konsep dan memperbaiki konsep.

Pada tahap ini, semua konsep alternatif dinilai menggunakan nilai relatif dan *ranking*. Berikut adalah daftar *ranking* yang digunakan.

TABEL 12
Nilai Relatif

Nilai Relatif	*Ranking*
Lebih baik dari referensi	+
Sama dengan referensi	0
Lebih buruk dari referensi	-

Dalam proses penyaringan konsep, penilaian memerlukan referensi yang menjadi acuan. Dalam perancangan ini, peneliti menggunakan produk eksisting sebagai referensi untuk menilai konsep. Hasil dari proses penyaringan konsep dapat dilihat dalam tabel berikut:

TABEL 13
Concept Screening

Kriteria Seleksi	Konsep								
	Eksisting (Referensi)	A	B	C	D	E	F	G	H
Dapat menahan beban flange besar	0	-	-	-	-	0	0	0	0
Kapasitas flange dapat ditambah	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Dapat memilih dan mengambil flange dengan cepat	0	0	+	0	+	0	+	0	+
Tempat penyimpanan mudah diakses	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempat penyimpanan nyaman digunakan	0	0	+	0	+	0	+	0	+
Jumlah (+)	0	1	3	1	3	1	3	1	3
Jumlah (0)	5	3	1	3	1	4	2	4	2
Jumlah (-)	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Nilai Akhir	0	0	2	0	2	1	3	1	3
Ranking	0								
Lanjutkan?		No	Yes	No	No	No	Yes	No	Yes

Dari hasil proses penyaringan konsep yang tertera dalam tabel di atas, terdapat 3 konsep yang dipilih untuk dilanjutkan ke tahap *concept scoring*, yaitu konsep B, F, dan H. Setelah itu, langkah selanjutnya adalah tahap *concept scoring* yang bertujuan untuk mengevaluasi konsep-konsep yang tersisa dengan lebih terperinci. Dalam proses *concept scoring*, terdapat 5 tingkatan penilaian yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

TABEL 14
Kinerja Relatif

Kinerja Relatif	Rating
Jauh lebih buruk dari referensi	1
Lebih buruk dari referensi	2
Sama dengan referensi	3
Lebih baik dari referensi	4
Jauh lebih baik dari referensi	5

Concept Scoring dilakukan untuk menentukan konsep terbaik setelah tahap penyaringan sebelumnya. Dalam proses ini, dilakukan penilaian bobot untuk setiap konsep yang dipilih. Berikut adalah hasil penilaian bobot untuk setiap konsep beserta peringkatnya

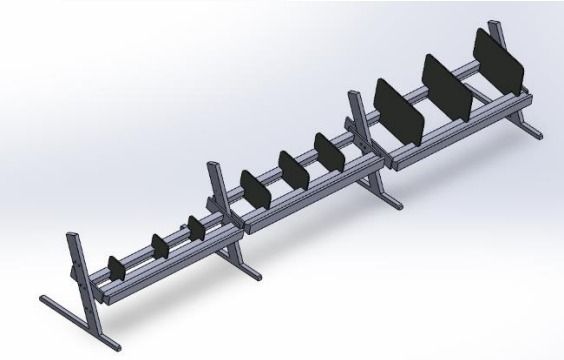
TABEL 15
Concept Scoring

Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep					
		B		F		H	
		Penilaian	Nilai Bobot	Penilaian	Nilai Bobot	Penilaian	Nilai Bobot
Dapat menahan beban flange besar	25.81%	2	0.516	3	0.774	3	0.774
Kapasitas flange dapat ditambah	22.58%	4	0.903	4	0.903	3	0.677
Dapat memilih dan mengambil flange dengan cepat	25.81%	4	1.032	4	1.032	4	1.032
Tempat penyimpanan mudah diakses	16.13%	4	0.645	4	0.645	4	0.645
Tempat penyimpanan nyaman digunakan	9.68%	4	0.387	4	0.387	4	0.387
Nilai Akhir		3.483		3.741		3.515	
Peringkat		3		1		2	
Lanjutkan?		No		Yes		No	

Pada tahapan *concept scoring* diatas menunjukkan dari ketiga konsep terpilih konsep F. Konsep tersebut akan dilanjutkan ke tahap pengembangan tempat penyimpanan *flange* usulan di PT Bumi Cahaya Unggul.

C. Model Rancangan

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir yang dilakukan, pada tahap ini konsep akhir yang terpilih pada tahapan *concept selection* yaitu konsep F. Konsep F menggunakan jenis *material Steel Q235* dengan bentuk rangka horizontal yang memiliki tempat penyimpanan terbuka, memiliki sekat yang *adjustable* sehingga dapat digeser dan mekanisme penyimpanannya bersusun horizontal. Perancangan akhir dilakukan dengan menggunakan *software Solid Work*. Konsep F dapat dilihat pada gambar berikut.



GAMBAR 7
Konsep F

Tempat penyimpanan flange usulan yang dibuat memiliki dimensi 450 x 60 x 150 cm menggunakan *material Steel Q235*. Tempat penyimpanan *flange* usulan ini memiliki 3 tempat *flange* yang ukurannya telah disesuaikan dengan *flange* yang ada di PT Bumi Cahaya Unggul. Ukuran kecil untuk *flange* ukuran 2 – 5 *inch*, ukuran sedang untuk *flange* 6 – 10 *inch*, dan ukuran besar untuk *flange* ukuran 12 – 16 *inch*.

TABEL 16
Spesifikasi Tempat Penyimpanan

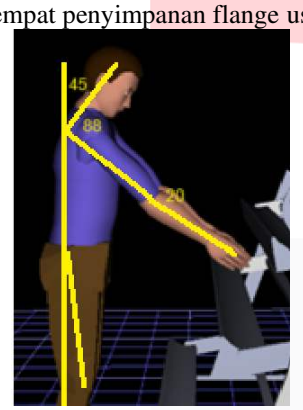
Spesifikasi Tempat Penyimpanan	
Material tempat penyimpanan	Steel Q235
Dimensi tempat penyimpanan	450 x 60 x 150

Dimensi rak kecil	150 x 22
Dimensi rak sedang	150 x 35
Dimensi rak besar	150 x 52
Total jumlah sekat	12
Mekanisme pengambilan flange	Tarik

D. Verifikasi Hasil Rancangan

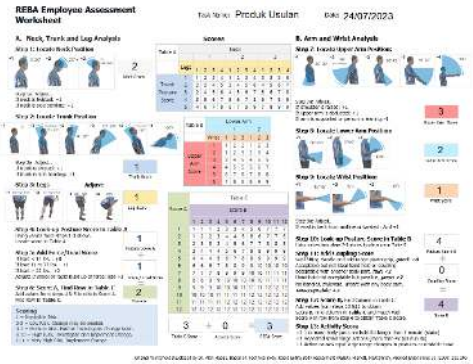
1. Analisis *Rapid Entire Body Assessment* (REBA)

Perhitungan nilai *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) pada produk usulan dilakukan untuk memastikan postur tubuh dari operator saat menggunakan produk usulan memiliki resiko *musculoskeletal disorders* (MSDs) yang lebih rendah dibandingkan saat menggunakan produk eksisting. Penulis menggunakan bantuan *software Tecknomatix Jack* untuk mensimulasikan postur tubuh *operator* saat menggunakan produk usulan. Berikut merupakan gambaran postur tubuh operator saat menggunakan tempat penyimpanan flange usulan.



GAMBAR 8
Postur Tubuh Usulan

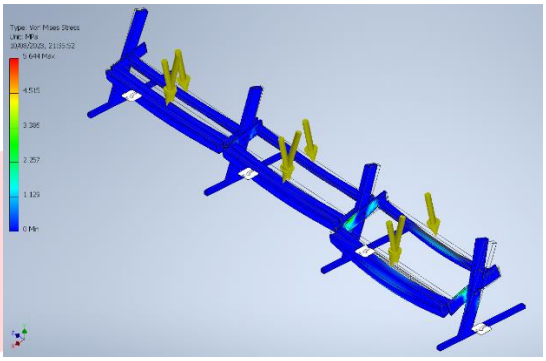
Pada tempat penyimpanan usulan dilakukan perhitungan *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) dan mendapat nilai 3 atau *level* 1 (*low*). Nilai tersebut menandakan bahwa resiko yang akan diterima oleh *operator* rendah. Perhitungan menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) pada kondisi eksisting dan usulan menunjukkan terjadi penurunan dari *level* 2 (*medium*) menjadi *level* 1 (*low*) sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan tempat penyimpanan usulan, resiko terjadinya *musculoskeletal disorders* (MSDs) pada *operator* lebih kecil atau menurun. Berikut merupakan perhitungan REBA usulan



GAMBAR 9
Perhitungan Nilai REBA

2. Analisis Kekuatan Material

Proses analisis *Von Mises Stress* tempat penyimpanan *flange* usulan dilakukan untuk menentukan penggunaan material yang sesuai dengan penggunaan dan kebutuhan tempat penyimpanan usulan. Analisis *Von Mises Stress* dilakukan penekanan sebesar 2000N atau 200kg pada permukaan dari tempat penyimpanan usulan karena bagian tersebut harus menahan beban flange yang diletakkan pada tempat penyimpanan tersebut. Berikut merupakan hasil dari uji kekuatan material dalam variabel *von mises stress*.



GAMBAR 10
Von Mises Stress

Berdasarkan gambar diatas, tegangan *von mises stress* terbesar terjadi pada bagian tengah dari tempat penyimpanan usulan, tegangan maksimal yang diterima tempat penyimpanan yang menggunakan *material Steel Q235* memiliki nilai maksimum 5.644 MPa masih lebih kecil dari tegangan *yield strength* material yaitu 250 MPa sehingga tidak terjadi kegagalan pada material yang digunakan.

3. Analisis Waktu Proses

Analisis waktu proses ini dilakukan untuk membandingkan waktu proses pengujian kinerja pompa menggunakan tempat penyimpanan eksisting dengan pengujian kinerja pompa menggunakan tempat penyimpanan usulan yang diobservasi langsung oleh penulis. Berikut merupakan waktu proses pengujian kinerja pompa eksisting.

TABEL 17
Waktu Pengujian Pompa Eksisting

No	Pengujian Kinerja Pompa	Waktu Proses
1	Pemindahan pompa ke area pengetesan	00:30:02
2	Instalasi sistem pemipaan	01:22:00
3	Pemasangan alat ukur, *valve*, dan kabel	00:15:17
4	*Alignment coupling* pompa	00:31:11
5	Pemasangan *coupling guard* dan pengecekan sistem pemompaan	00:15:00
6	Pengujian performa pompa	02:00:00
Total		04:53:30

Proses pengujian kinerja pompa eksisting memakan waktu selama 4 jam 53 menit 30 detik dan untuk kegiatan pengambilan *flange* berada pada tahap instalasi sistem pemipaan yang memakan waktu selama 1 jam 22 menit.

Setelah mendapatkan waktu proses pengujian kinerja pompa eksisting, penulis melakukan observasi pada pengujian kinerja pompa dengan menggunakan *prototype* yang dibuat sebagai tempat penyimpanan usulan. Berikut merupakan waktu proses pengujian kinerja pompa usulan.

TABEL 18
Pengujian Kinerja Pompa Usulan

No	Pengujian Kinerja Pompa	Waktu Proses
1	Pemindahan pompa ke area pengetesan	00:26:07
2	Instalasi sistem pemipaan	00:28:19
3	Pemasangan alat ukur, valve, dan kabel	00:16:04
4	Alignment coupling pompa	00:30:26
5	Pemasangan coupling guard dan pengecekan sistem pemompaan	00:14:14
6	Pengujian performa pompa	02:00:00
Total		03:54:10

Tabel diatas merupakan data waktu pengujian kinerja pompa saat *operator* menggunakan *prototype* tempat penyimpanan usulan. Perhitungan waktu proses pengujian kinerja pompa usulan dilakukan menggunakan jenis pompa yang sama pada saat perhitungan waktu proses eksisting sehingga jumlah *flange* dan komponen lain yang dibutuhkan sama seperti data eksisting. Berikut merupakan tabel selisih waktu instalasi pemipaan.

TABEL 19
Selisih Waktu Instalasi Pemipaan

	Eksisting	Usulan
Waktu Proses	82 menit	28 menit
Selisih Waktu	54 menit	

Waktu proses instalasi pemipaan menggunakan *prototype* tempat penyimpanan usulan membutuhkan waktu selama 28 menit 19 detik yang dapat mempersingkat waktu instalasi pemipaan selama 54 menit lebih cepat dibandingkan menggunakan tempat penyimpanan flange eksisting. Pada tempat penyimpanan *flange* usulan, *flange* tidak lagi diletakkan secara bertumpuk dan memiliki sekat antara ukuran *flange* lainnya sehingga dapat mengurangi waktu pengambilan *flange*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan tempat penyimpanan *flange* usulan tersebut didapatkan kesimpulan yaitu waktu proses instalasi pemipaan saat *operator* menggunakan tempat penyimpanan *flange* usulan berkurang selama 54 menit lebih cepat dibandingkan dengan kondisi eksisting. Selain itu, produk usulan yang dibuat memiliki jenis tempat penyimpanan yang terbuka dan terdapat sekat antara ukuran-ukuran *flange* sehingga *operator* dapat lebih mudah dan cepat mengambil *flange* yang diinginkan. Mekanisme penyimpanan *flange* pada tempat penyimpanan usulan disusun secara horizontal dan tidak bertumpuk yang memudahkan *operator* untuk mengambil *flange* yang diperlukan.

Tempat penyimpanan *flange* usulan dirancang agar dapat mengurangi atau menghilangkan resiko *musculoskeletal disorders* (MSDs) pada *operator* yang berutgas untuk mengambil *flange*. Pada tempat penyimpanan eksisting, *flange* disusun secara bertumpuk dari ukuran tekecil (depan) hingga ukuran terbesar (belakang) yang dapat ditampung oleh tempat penyimpanan eksisting dan untuk ukuran *flange* yang tidak dapat ditampung akan diletakkan di lantai. Untuk mengambil *flange* pada tempat penyimpanan eksisting, jika posisi *flange* berada di urutan tengah atau belakang, *operator* harus mengeluarkan *flange* urutan depan terlebih dahulu sehingga *operator* akan melakukan gerakan berulang yang menyebabkan kelelahan dan terdapat keluhan sakit pada bagian punggung.

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), saat *operator* menggunakan tempat penyimpanan eksisting mendapatkan nilai 7 atau memiliki resiko *level* 2 (*medium*) yang berarti harus segera dilakukan perbaikan. Pada tempat penyimpanan *flange* usulan mendapatkan nilai 3 atau berada pada resiko *level* 1 (*low*). Nilai tersebut menandakan bahwa resiko yang akan diterima oleh *operator* rendah. Perhitungan menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) pada kondisi eksisting dan usulan menunjukkan terjadi penurunan dari *level* 2 (*medium*) menjadi *level* 1 (*low*) sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan tempat penyimpanan usulan, resiko terjadinya *musculoskeletal disorders* (MSDs) pada *operator* lebih kecil atau menurun

REFERENSI

[1] Sularso and Haruo Tahara, *Pompa dan Kompresor*, 9th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2006.

[2] Karl Ulrich, Steven Eppinger, and Maria C. Yang, *Product Design and Development*, 7th ed. McGraw-Hill Education, 2020.

[3] Solichul HA. Bakri, Lilik Sudiajeng, and Tarwaka, *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. Surakarta: UNIBA PRESS, 2004.

[4] Sritomo Wignjosoebroto, *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu: Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*, 1st ed. Surabaya: Guna Widya, 2008.

[5] Hardianto Iridiastadi and Yassierli, *Ergonomi : Suatu Pengantar*. Remaja Rosdakarya, 2017.

[6] M. Hita-Gutiérrez, R. Gomez-Galan, M. Díaz-Pérez, and Á. J. Callejon-Ferre, "An Overview of REBA Method Applications in the World," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, p. 2635, Apr. 2020, doi: 10.3390/ijerph17082635.

[7] Madan Mohan Joshi, Rajendra Kumar Bhatt, and Anand Baghel, "Review on Reverse Engineering Practices," *Int J Eng Res Appl*, vol. 11, Sep. 2021.