

Perancangan *Material Handling Equipment* Untuk Mengangkat *Mold* Menggunakan Metode *Ergonomic Function Deployment*

Material Handling Equipment Design For Lifting Mold Using Ergonomic Function Deployment Method

1st Laras Nurul Fazria
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
larasnurul@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Sri Martini
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
martini@telkomuniversity.ac.
id

3rd Ilma Mufidah
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ilmamufidah@telkomuniver-
sity.ac.id

Abstrak—PT. XYZ Indonesia merupakan perusahaan manufaktur sepatu. Terdapat divisi pendukung yaitu divisi Tooling, dimana tugasnya adalah membuat *mold* (cetakan) yang digunakan oleh divisi Press untuk membuat *outsole*. Selama proses penanganan *mold* divisi Tooling diberikan MHE berupa meja hidrolis untuk membantu operator memindahkan *mold* antar sub-divisi. Namun, penggunaan MHE tersebut memunculkan skenario-skenario dimana postur operator berisiko cedera muskuloskeletal atau MSDs. Selain itu faktor risiko MSDs lainnya yaitu frekuensi/periode dan beban material pada kondisi di lantai kerja memiliki nilai yang tinggi sehingga mempengaruhi tingkat risiko MSDs. Hasil observasi menyimpulkan bahwa faktor risiko MSDs yang sangat tinggi muncul dikarenakan kurang-sesuaiannya MHE eksisting dengan kebutuhan di kondisi aktual. Maka dari itu, perubahan rancangan MHE dilakukan untuk membantu mengurangi risiko MSDs operator. Perubahan rancangan MHE eksisting dilakukan menggunakan metode EFD (*Ergonomic Function Deployment*) untuk perancangan yang memperhatikan kesehatan dan kenyamanan operator. Hasilnya, rancangan akhir MHE usulan menunjukkan bahwa penggunaan MHE usulan membantu

menurunkan tingkat risiko MSDs dari skor 11 (risiko sangat tinggi) menjadi skor 6-4 (risiko sedang). Hasil validasi dari *Lead User* menyatakan bahwa berdasarkan konsep, MHE usulan lebih baik daripada MHE eksisting dalam kesesuaiannya dengan kebutuhan di kondisi aktual.

Kata kunci – *material handling equipment* (MHE), *musculoskeletal disorders* (MSDs), *ergonomic function deployment* (EFD).

Abstract—PT. XYZ Indonesia is a shoe manufacturing company. They have a supporting division which is Tooling Division, which the job is to make molds that are used by Press Division to cast outsole. To handling the mold, Tooling Division was given an MHE. However, the using of the MHE is causing scenarios which operators move in postures that are in high risk of MSDs. In the workplace the other risk factors (frequency/period and workload) are also showing high value that affects MSDs risk levels. According to observation, its concluded that risk factors occurred because of not enough compatibility between existing MHE and the needs in actual condition. Therefore, changing existing MHE is needed to help lower MSDs risks. Ergonomic Function Deployment is

used as the method of designing proposed MHE to support operators' health and comfort. Results were, according to REBA proposed MHE is capable to help lower MSDs risks by decreasing risk score from 11 (very high risk) to 6-4 (medium risk). Validation result by Lead User showed that proposed MHE is better than existing MHE according to its concept with the needs in actual condition.

Keywords – material handling equipment (MHE), musculoskeletal disorders (MSDs), ergonomic function deployment (EFD).

I. PENDAHULUAN

Divisi Tooling merupakan divisi pendukung dalam rantai produksi PT. XYZ Indonesia, yang pekerjaan utamanya adalah membuat *mold* untuk digunakan oleh divisi Press. Selama pembuatannya *mold* dibagi menjadi dua bagian yang kemudian digabungkan dengan cara *di-assembly*. Dalam prosesnya *mold* melalui beberapa area yang berbeda di rantai kerja divisi Tooling dan melalui beberapa proses. Secara gambaran besar, area yang terlibat diantaranya area CNC, area *casting*, area *facing*, dan area *assembly*. Proses transportasi antar proses dan area tersebut dibantu dengan adanya alat bantu angkut atau *material handling equipment* (MHE) berupa meja hidrolik. Sistem hidrolik yang ada dioperasikan melalui tuas yang ada di bagian bawah meja dengan cara diinjak sehingga memungkinkan bagian meja untuk disesuaikan tingginya. Pada MHE tersebut juga terdapat roda dan pegangan untuk mempermudah mobilitas MHE.



GAMBAR 1. 1 MHE Eksisting (Meja Hidrolik)

Namun, penggunaan MHE eksisting menimbulkan postur kerja tidak nyaman yang mempengaruhi risiko cedera muskuloskeletal (*Muskuloskeletal Disorders* – selanjutnya akan disebut *MSDs*) yang mencakup cedera otot, tendon, sendi, ligamen, dan tulang [1] dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan kelainan

struktur tulang bahkan kelumpuhan [2]. Gejala *MSDs* diantaranya kesulitan tidur karena nyeri, ketidak-nyamanan, kelalahan, dan kebas/nyeri pada sistem muskuloskeletal. Selain postur, faktor utama yang mempengaruhi risiko *MSDs* diantaranya beban kerja fisik dan durasi/frekuensi [3]. Di kondisi aktualnya, dalam satu minggu, divisi Tooling mencatat ada kurang-lebih 120 pasang *mold* yang diproduksi, dengan berat *mold* ada di kisaran 30 kg-40 kg. Angka-angka tersebut dapat dibilang cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi risiko *MSDs* pada operator secara signifikan. Selama proses observasi terdapat dua skenario dimana operator ada pada postur kerja yang sangat tidak nyaman. Skenario 1 yaitu dimana operator memindahkan *mold* dari lantai *casting* ke meja MHE, dan skenario 2 dimana operator memindahkan *mold* dari meja MHE ke meja *facing*. Tiap skenario kemudian dilakukan pengukuran manual menggunakan lembar penilaian REBA untuk mengukur tingkat risiko *MSDs*-nya. Hasil dari



penilaian menunjukkan bahwa kedua skenario ada pada risiko sangat tinggi (skor 11) dimana perubahan harus dilakukan. Terlebih, terdapat kemungkinan gejala *MSDs* sudah terjadi pada operator. Berdasarkan pernyataan *Lead User* dimana operator mengalami keluhan fisik berupa nyeri dibagian-bagian yang cocok dengan gejala umum *MSDs*. Cornell Muskuloskeletal Disorders Questionnaires (CMDQ) kemudian diberikan kepada operator untuk meninjau sejauh mana rasa nyeri dan interferensi rasa nyeri tersebut terhadap pekerjaan mereka, dan bagian tubuh mana yang paling berisiko mengalami cedera. Hasilnya, bagian punggung bawah, punggung atas, dan pinggul merupakan tiga bagian yang paling berisiko mengalami cedera dengan skor 50%, 21%, dan 9% secara berurutan.

Hasil observasi menyimpulkan bahwa kemungkinan risiko cedera tersebut muncul dikarenakan postur kerja yang tidak nyaman, beban kerja fisik yang berat, dan frekuensi pengulangan yang tinggi setiap harinya (sekitar 20 kali/hari). Hasil observasi juga menyimpulkan bahwa postur dengan risiko tinggi muncul dikarenakan kurang-sesuai kemampuan MHE eksisting dengan kebutuhan di kondisi aktual; contohnya untuk postur skenario 1 dimana operator harus mengangkat material secara manual dari lantai ke MHE eksisting, hal tersebut muncul dikarenakan MHE eksisting minimal ketinggian MHE eksisting yang bisa disesuaikan hanya mencapai 30 cm (menurut *Lead User*); dan postur skenario 2 dimana pengangkatan manual harus dilakukan kembali untuk memindahkan material dari MHE eksisting ke meja *facing* adalah dikarenakan ketinggian maksimal MHE eksisting tidak mampu mencapai ketinggian yang sama dengan meja *facing*, dan MHE eksisting tidak memiliki fitur untuk membantu operator memindahkan material. Meninjau dari spesifikasi MHE eksisting dapat disimpulkan bahwa MHE eksisting tidak dibuat untuk mengangkat *mold* karena muatannya yang mencapai 500 kg. Dengan demikian, penggunaan MHE eksisting sejak awal memang tidak efektif. Hasil penilaian REBA menyatakan bahwa postur dengan risiko sangat tinggi (skor 11) maka harus lah dilakukan perubahan. Maka dari itu, dikarenakan munculnya postur dengan risiko tinggi adalah disebabkan kurang-sesuai MHE eksisting dengan kebutuhan di kondisi aktual, maka perubahan yang akan dilakukan ada pada MHE eksisting. Diperlukan perbaikan rancangan MHE eksisting yang dapat mencegah munculnya postur tidak nyaman dan dapat mengurangi beban kerja fisik operator dalam proses penanganan *mold* untuk menurunkan risiko MSDs.

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, penelitian ini akan menggunakan metode Ergonomic Function Deployment agar mendapatkan hasil perbaikan rancangan yang lebih mendukung kenyamanan operator dalam postur kerja, keamanan operator selama menggunakan MHE, dan kesehatan operator untuk mengurangi risiko MSDs.

II. KAJIAN TEORI

A. Pengembangan Produk

Proses pengembangan produk adalah serangkaian langkah atau aktivitas yang

dilakukan perusahaan untuk menghasilkan, merancang, dan memasarkan produk. Secara keseluruhan pengembangan produk terdiri dari beberapa tahapan atau fase diantaranya perencanaan, pengembangan konsep, perancangan tingkat sistem, perancangan rinci, pengujian dan perbaikan, dan produksi [4].

B. Ergonomi

Ergonomi adalah disiplin ilmu tentang pemahaman interaksi antara manusia dengan elemen sistem, dan profesi yang menerapkan teori, prinsip-prinsip, data, dan metode perancangan dengan tujuan untuk mengoptimalkan kesejahteraan manusia serta kinerja sistem secara keseluruhan [5]. Metode terkait ergonomi yang dapat digunakan untuk menilai kondisi dari sisi ergonomi dalam penelitian ini diantaranya REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) yaitu penilaian risiko cedera muskuloskeletal terkait pekerjaan berdasarkan postur tubuh keeluruhan, CMDQ (*Cornell Musculoskeletal Disorders Questionnaires*) yaitu kuesioner untuk meninjau secara spesifik dan secara umum mengenai risiko cedera muskuloskeletal, dan Antropometri yaitu studi pengukuran tubuh manusia, bentuk, dan kapasitas fungsionalnya [6] yang meliputi berbagai pengukuran tubuh manusia seperti berat badan, posisi ketika berdiri, panjang tungkai, dan sebagainya [7].

C. Musculoskeletal Disorders (MSDs)

MSDs merupakan gangguan atau cedera pada otot, syaraf, tendon, sendi, tulang rawan, dan bantalan tulang belakang dengan gejala gangguan yang terjadi ada pada bagian otot, tendon, sistem syaraf, ligamen, kartilago, struktur tulang, dan pembuluh darah. Gangguan ini dapat mengakibatkan kelelahan, ketidak-nyamanan, nyeri, kesemutan, mati rasa, gemetar, bengkak, gangguan tidur, dan rasa kaku di bagian tubuh. Gangguan muskuloskeletal dinyatakan sebagai nomor satu kontributor disabilitas di dunia dengan sakit di bagian bawah punggung sebagai penyebab utama.

D. Ergonomic Function Deployment (EFD)

EFD merupakan metode yang dikembangkan dari QFD (*Quality Function Deployment*) dimana QFD menekankan pada memaksimalkan kualitas produk dengan cara mengubah permintaan konsumen menjadi spesifikasi pada produk sehingga EFD merupakan metode serupa namun dengan

melibatkan aspek-aspek ergonomi pada prosesnya [8]. Langkah-langkah EFD yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya mengumpulkan *user statement*, membuat *need statement*, menentukan *engineering characteristic*, pembuatan House of Ergonomy, pembuatan konsep, pemilihan konsep, penentuan arsitektur produk, dan perencanaan material.

E. Material Handling Equipment (MHE)

MHE merupakan seni dan sains yang terkait dengan pergerakan, penyimpanan, pengendalian, dan perlindungan barang dan material selama proses pembuatan, distribusi, konsumsi, dan pembuangannya. Prinsip MHE diantaranya *containing/protecting, moving, storing*, dan *controlling* [9].

F. Lead User

Lead User merupakan pengguna yang mengalami kebutuhan jauh sebelum mayoritas pasar mengambil kebutuhan tersebut sebagai kesempatan untuk inovasi. Sehingga biasanya mereka memiliki caranya sendiri untuk menangani suatu masalah sebelum produk inovasi muncul.

III. METODE

Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan *user statement* dengan cara mewawancarai *Lead User* menggunakan pertanyaan yang telah dirancang sebelumnya. Pertanyaan dirancang dengan memperhatikan aspek-aspek ergonomi yaitu kesehatan, keamanan, kenyamanan, efektif dan efisien. Hasil dari pertanyaan yang berupa jawaban merupakan *user statement*. *User statement* tersebut kemudian akan diolah menjadi *need statement* yang menjadi dasar utama dalam melakukan perbaikan rancangan MHE eksisting untuk menghasilkan rancangan usulan. Selain *user statement* terdapat data primer lain yang didapatkan dari *Lead User* yaitu OPC untuk proses pembuatan *bottom mold* untuk mengetahui lebih rinci proses tersebut di kondisi aktual. Selain itu, terdapat data sekunder sebagai pendukung dalam merancang MHE usulan yang lebih sesuai dengan kebutuhan di kondisi aktual diantaranya tata letak lantai produksi, spesifikasi MHE eksisting, data set antropometri, spesifikasi *mold*, dan dimensi meja *facing*. Kemudian data tersebut diolah sebagai acuan dalam melakukan perancangan MHE usulan melalui proses

penentuan *engineering characteristic*, pembuatan House of Ergonomy, pembuatan konsep, pemilihan konsep, penentuan arsitektur produk, dan perencanaan material. Proses perancangan secara keseluruhan akan melibatkan *benchmarking* dengan produk serupa di pasaran dan MHE eksisting, dan melibatkan diskusi dan pertimbangan saran juga pengawasan dari *Lead User* dalam pemutusannya. Hasil rancangan akhir MHE usulan akan ditinjau oleh *Lead User* untuk dinilai kesesuaiannya dengan kebutuhan di kondisi aktual. Hasil akhir rancangan usulan juga akan ditinjau menggunakan simulasi untuk menilai risiko MSDs berdasarkan postur penggunaan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengolahan *User Statement*

Dari total 28 pertanyaan yang menghasilkan *user statement*, dihasilkan 14 *need statement* yang akan menjadi dasar utama dalam membuat rancangan MHE usulan. Selama proses pengolahan *need statement* diputuskan adanya 1 *need statement* yang dieliminasi berdasarkan tingkat kepentingannya menurut pengguna (operator). *Need statement* tersebut ditunjukkan pada tabel IV.1 di bawah ini:

TABEL IV. 1. *Need Statements* yang Diolah

No.	<i>Need Statements</i>
1	MHE bisa menghilangkan pengangkutan manual.
2	MHE sesuai dengan meja <i>facing</i> .
3	Material roda elastis.
4	MHE dapat disesuaikan tingginya.
5	MHE memiliki rangka pada meja.
6	MHE dapat mengurangi beban kerja saat mengangkat <i>mld</i> .
7	Proses mengangkat <i>mold</i> ke MHE dapat dilakukan oleh 1 orang saja.
8	MHE dapat mengangkat <i>mold</i> dari lantai.
9	Ada wing sebagai jembatan antara MHE dengan meja <i>facing</i> /lantai <i>casting</i> .

10	Material untuk meja menggunakan material yang cepat dingin.
11	MHE dapat memindahkan lebih dari 1 <i>mold</i> dalam sekali antar.
12	MHE dapat membantu proses pemindahan kurang dari 5 menit.
13	MHE dapat mengurangi beban pada proses penanganan manual.

B. Penentuan *Engineering Characteristic*

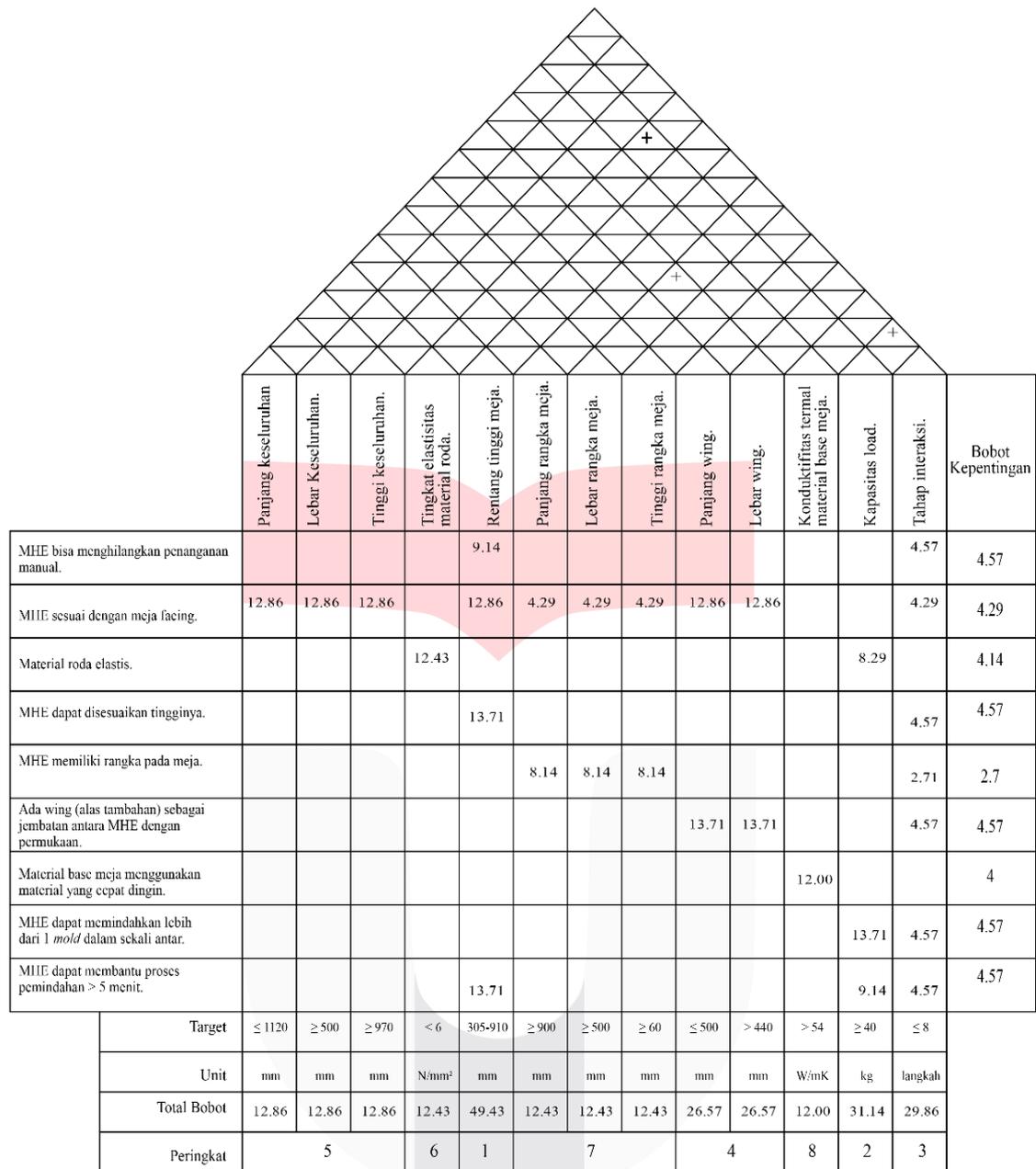
Penentuan *engineering characteristic* secara keseluruhan mencakup penentuan metrik, target nilai, dan unit. Penentuan tersebut dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan tujuan perancangan MHE usulan yaitu agar lebih sesuai dengan kebutuhan di kondisi aktual. Hal-hal yang dipertimbangkan diantaranya kesesuaiannya dengan dimensi meja *facing*, antropometri operator, dan spesifikasi *mold*. Selain itu *benchmarking*

dengan MHE eksisting juga MHE serupa di pasaran dilakukan untuk menentukan standar metrik yang digunakan. Beberapa metrik tambahan juga dihadirkan yaitu elastisitas material roda dan konduktivitas material *base* meja untuk memenuhi *need statement* 3 dan 10. Semua hal tersebut juga dilakukan untuk mempertimbangkan penentuan nilai dari metrik yang akan digunakan untuk merancang MHE usulan. Hasil penentuan *engineering characteristic* kemudian dilanjutkan pada penyusunan House of Ergonomy.

C. Penyusunan House of Ergonomy (HOE)

Berdasarkan hasil penyusunan HOE disimpulkan bahwa metrik yang paling berpengaruh pada kepentingan menurut pengguna adalah diantaranya rentang tinggi meja, kapasitas *load* (muatan), tahap interaksi, dimensi wing, dimensi MHE keseluruhan, tingkat elastisitas material roda, dimensi rangka pelindung, dan konduktivitas termal dari material *base* meja. Secara keseluruhan HOE dapat dilihat pada gambar IV.3.





GAMBAR IV. 3 House of Ergonomy

D. Pemilihan Konsep

Konsep yang dihasilkan terbagi menjadi dua yaitu konsep A dan konsep B dengan masing-masing jumlah konsep 4 dan 6 sehingga dihasilkan total 10 konsep. Konsep dibuat dengan cara membuat tabel kombinasi dari alternatif yang ada, yang disusun berdasarkan dekomposisi masalah yang didasarkan pada *need statement*. Konsep-konsep tersebut kemudian dilakukan *screening* untuk menurunkan jumlah konsep secara cepat dengan hasil dimana konsep A1-A4 (Konsep A), konsep B2-B3 (Konsep B2), dan konsep B4-B6 (Konsep B3) dilakukan

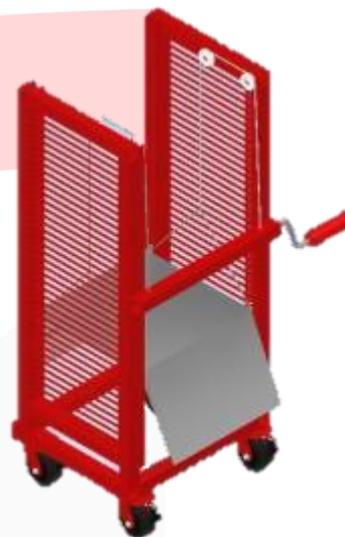
penggabungan; dan konsep B1 dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu *concept scoring*. Hasil dari *concept scoring* adalah konsep B3 menjadi konsep dengan skor tertinggi berdasarkan kriteria pemilihan yang nilainya ditentukan dari tingkat kepentingan *need statement* menurut pengguna. Konsep B3 MHE usulan adalah konsep yang mengadaptasi bentuk *vertical conveyor* dengan sistem takal untuk menggerakkan sistem *vertical lifting* yang ada untuk memudahkan operator dalam mengangkat material sesuai dengan ketinggian yang dibutuhkan untuk mencapai meja *facing*.

Terdapat juga wing sebagai jembatan antara material dengan MHE usulan sebagai media operator untuk meluncurkan material.

E. Rancangan Akhir dan Evaluasi

Gambar IV.5.1 menunjukkan gambar rancangan akhir dari MHE usulan. Material yang dipilih ada di bawah saran dan persetujuan *Lead User* dengan rata-rata komponen menggunakan *steel*. Berdasarkan hasil validasi dengan *Lead User* MHE usulan sudah mampu untuk memenuhi target kinerja dasar, kebutuhan pengguna berdasarkan *need statement*, dan standar antropometri. Evaluasi menggunakan CATIA kemudian dilakukan untuk meninjau postur penggunaan operator selama menggunakan MHE usulan untuk dinilai risiko MSDs-nya menggunakan REBA. Hasilnya, untuk scenario 1 didapatkan skor REBA sebesar 6 dan untuk skenario 2 didapatkan skor REBA sebesar 4. Kedua skor tersebut ada dalam rentang risiko sedang (lihat tabel IV.5.1). MHE usulan juga mampu menurunkan beban angkat operator jika dibandingkan dengan pengangkatan manual; yaitu dengan memicu perubahan pada proses 1 yaitu proses pemindahan material yang semula dengan cara diangkat, menjadi dengan cara didorong dengan adanya bantuan wing, dan proses 2 yaitu yang semula proses pengangkatan material ke meja *facing* menjadi proses menarik sistem takal untuk menggerakkan *vertical lifting*. Selama menggunakan MHE eksisting untuk proses 1 material harus

diangkat secara manual dengan tenaga yang harus dikeluarkan operator adalah sebesar 392 N (beban material 40 kg). Setelah menggunakan MHE usulan dengan adanya bantuan wing tenaga yang harus dikeluarkan operator berkurang menjadi 257.6 N (setara mengangkat beban 26.3 kg). Sementara untuk proses 2 dimana operator harus mengangkat material sebab MHE eksisting tidak dapat mencapai ketinggian yang sama dengan meja *facing*, operator yang sebelumnya harus mengeluarkan tenaga sebesar 392 N, dengan adanya bantuan *vertical lifting* tenaga yang harus dikeluarkan operator menjadi hanya 81 N (setara dengan mengangkat beban 8.26 kg).



GAMBAR IV.5. 1 Rancangan Akhir MHE Usulan

TABEL IV.5. 1 Perbandingan Postur Skenario 1 dan 2 pada Kondisi Eksisting dan Usulan

Skenario	Skenario 1		Skenario 2	
	Eksisting	Usulan	Eksisting	Usulan
Kondisi				
Skor REBA	11 (Risiko Sangat Tinggi)	6 (Risiko Sedang)	11 (Risiko Sangat Tinggi)	4 (Risiko Sedang)

V. KESIMPULAN

Hasil validasi dengan *Lead User* menyatakan bahwa berdasarkan konsep, rancangan MHE usulan lebih sesuai dengan kebutuhan dalam kondisi aktual daripada MHE eksisting dengan tingkat pemenuhan *need statement* hingga 78%. Hasil evaluasi postur penggunaan MHE usulan menunjukkan bahwa tingkat risiko MSDs berkurang berdasarkan faktor risikonya yaitu postur dan beban kerja fisik dimana untuk kedua skenario risiko MSDs berkurang hingga 45%-64% (dari skor 11 menjadi skor 6 untuk skenario 1, dan dari skor 11 menjadi 4 untuk skenario 2), dan tenaga yang harus dikeluarkan untuk proses 1 berkurang hingga 34% (dari 392 N menjadi 257.6 N) dan untuk proses 2 berkurang hingga 83% (dari 392 N menjadi 81 N).

REFERENSI

- [1] World Health Organization, "Preventing Musculoskeletal Disorders in the Workplace," in *WHO Library Cataloguing-In-Publication Data*, Berlin, 2003.
- [2] World Health Organization, "Musculoskeletal Condition," 8 February 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int>.
- [3] Workplace Safety North, "Musculoskeletal Disorders (MSDs)," dalam *Take TEN for SAFETY*, 2019.
- [4] S. D. E. Karl T. Ulrich, *Product Design and Development - Sixth Edition*, McGraw-Hill Education, 2016.
- [5] Cornell University Ergonomics Web, "Ergonomics: Origin and Overview," [Online]. Available: <https://ergo.human.cornell.edu/>.
- [6] National Institute for Occupational Safety and Health, "Anthropometry," [Online]. Available: <https://www.cdc.gov>.
- [7] Antropometri Indonesia, "Pengantar Antropometri," [Online]. Available: <https://www.antropometriindonesia.org>.
- [8] Damayanti (2000) dalam F. R. E. Ahmady, "Penerapan Metode Ergonomic Function Deployment dalam Perancangan Alat Bantu untuk Menurunkan Balok Kayu," 2020.
- [9] James A. Tompkins & Tanchoco (2010) dalam M. Kurniawan, "Agroindustrial Technology Department," 05 2017. [Online]. Available: <http://miftakhurrisal.lecture.ub.ac.id/files/2017/05/peralatan-material-handling.pdf>.