

**PERANCANGAN ALAT PENCETAK BATA MERAH
ERGONOMIS DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN* DAN
ULRICH & EPPINGER**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Studi
Strata 1 Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMMAD FAHMI RIZKIANDI

D 600 180 100

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERANCANGAN ALAT PENCETAK BATA MERAH ERGONOMIS
DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN* DAN ULRICH & EPPINGER**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

Muhammad Fahmi Rizkiandi

D 600.180.100

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Dr. Indah Pratiwi, S.T., M.T.

NIK. 705

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN ALAT PENCETAK BATA MERAH ERGONOMIS
DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN* DAN ULRICH & EPPINGER

Oleh:

MUHAMMAD FAHMI RIZKIANDI

D 600.180.100

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 21 April 2022
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Dr. Indah Pratiwi, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Etika Muslima, S.T., M.T., M.M.
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Dr. Suranto, S.T., M.M.
(Anggota 2 Dewan Penguji)







Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK. 892

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 April 2022

Penulis



Muhammad Fahmi Rizkiandi

D 600.180.100

PERANCANGAN ALAT PENCETAK BATA MERAH ERGONOMIS DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN* DAN ULRICH & EPPINGER

Abstrak

Industri kecil menengah (IKM) bata merah Pak Wahyono merupakan salah satu dari sekian banyak IKM di sentra pembuatan bata merah Desa Waru, Kec. Baki, Kab. Sukoharjo yang masih melakukan proses produksi menggunakan peralatan tradisional. Operator stasiun kerja pencetakan bekerja dengan postur yang tidak ergonomis dan dapat berpotensi terjadinya keluhan *musculoskeletal disorder* (MSDs), sehingga memerlukan tindakan perbaikan pada stasiun kerja tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pencetak bata merah yang lebih ergonomis dan efisien, sehingga dapat mengurangi risiko postur kerja operator dan mempercepat proses produksi. Penelitian ini menggunakan metode *axiomatic design* dan mengintegrasikannya dengan tahapan perancangan dan pengembangan produk Ulrich & Eppinger. Pada tahap pengembangan konsep produk, diperoleh 5 alternatif solusi desain dan solusi 2 ditetapkan sebagai solusi desain terpilih. Solusi tersebut dirancang dan diuji secara *virtual*. Pengujian menunjukkan skor REBA sebesar 1, artinya pekerjaan pencetakan bata merah menggunakan alat hasil rancangan memiliki tingkat risiko yang dapat diabaikan dan tidak memerlukan tindakan perbaikan. Dari spesifikasi yang dirancang, alat ini dapat mengefisiensi waktu pencetakan hingga 92,5% dari waktu pencetakan menggunakan alat tradisional.

Kata Kunci: *REBA, Axiomatic Design, Perancangan dan Pengembangan Produk*

Abstract

Mr. Wahyono's red brick small-medium industry (SMI) is one of the many SMIs in the red brick manufacturing center of Waru Village, Baki District, Sukoharjo Regency which still carries out the production process using traditional equipment. Molding work station operators work with non-ergonomic postures and have the potential for musculoskeletal disorders (MSDs) to occur, thus requiring corrective action at the work station. This study aims to design a more ergonomic and efficient red brick molder, to reduce the risk of operator work postures and speed up the production process. This research uses the axiomatic design method and integrates it with the design and product development stages of Ulrich & Eppinger. At the product concept development stage, 5 alternative design solutions were obtained and solution 2 was determined as the chosen design solution. The solution is designed and tested virtually. The REBA score test is 1, which means that the red molding job uses a design tool with a risk level that can be ignored and does not require corrective action. From the designed specifications, this tool can save molding time up 92,5% of molding time using traditional tools.

Keywords: *REBA, Axiomatic Design, Product Design and Development*

1. PENDAHULUAN

Bata merah adalah salah satu bahan bangunan yang biasa digunakan dalam membangun dinding bangunan dalam bentuk prisma persegi panjang, padat atau berongga (SNI 15-2094, 2000). Bata merah dipilih karena memiliki daya tahan yang kuat namun terjangkau. Batu bata merah umumnya terbuat dari tanah liat yang dibentuk dan dibakar pada suhu tinggi (As, 2017). Batu bata merah mudah ditemukan di Indonesia, salah satunya adalah IKM Bata Merah milik Bapak Wahyono di sentra pembuatan bata merah Desa Waru, Kecamatan Baki, Kabupaten Sukoharjo. Industri rumahan bata merah ini masih menerapkan proses produksi manual dengan peralatan tradisional.

Di IKM tersebut, seluruh proses produksi masih dilakukan secara manual, seperti pada stasiun kerja pencetakan yang postur kerja operatornya tidak ergonomis. Hal ini dapat menyebabkan keluhan MSDs (Jain, dkk. 2021). MSDs atau *musculoskeletal disorders* adalah penyakit yang memiliki gejala yang menyerang otot, saraf, tendon, ligamen, sendi, tulang rawan, dan sendi tulang belakang. (Roshene, dkk. 2017). MSDs dapat menyebabkan rasa sakit dan ketidaknyamanan pada otot, sehingga mengurangi produktivitas operator di tempat kerja (Revadi, dkk. 2019).

Untuk mengkonfirmasi asumsi peneliti, perlu dilakukan penilaian postur kerja operator di stasiun kerja pencetakan. Penilaian dilakukan dengan menggunakan metode REBA. REBA atau *Rapid Upper Limb Assessment* digunakan untuk mengevaluasi postur, penggunaan gaya, jenis gerakan, pengulangan, dan kopling. Metode ini dapat secara cepat menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan dan kaki pekerja (Haekal, dkk. 2020). Hasil skor REBA akan menentukan tindakan korektif yang diperlukan di stasiun kerja. Salah satu tindakan yang bisa dilakukan adalah mendesain alat pencetak bata merah yang lebih ergonomis dan efisien. Dalam merancang alat, peneliti menggunakan metode *axiomatic design* dan mengintegrasikannya dengan tahapan perancangan dan pengembangan produk Ulrich & Eppinger. *Axiomatic design* adalah metode desain yang menggunakan dua aksioma dasar, yaitu Aksioma Independen dan Aksioma Informasi (Suh, 1995). Sedangkan, perancangan dan pengembangan produk adalah siklus perbaikan yang berkelanjutan dari waktu ke waktu dengan umpan balik dan masukan berulang dari

anggota tim pengembangan, eksekutif, departemen penjualan dan pemasaran, dan tim produksi (Patil, 2017). Kegiatan ini harus melalui beberapa fase, yaitu *planning* (fase 0), *concept development* (fase 1), *system-level design* (fase 2), *detail design* (fase 3), *testing and refinement* (fase 4), dan *production ramp-up* (fase 5) (Ulrich, 2015).

Berbagai penelitian tentang *axiomatic design* telah dilakukan oleh Nam P. Suh (1995). Di sisi lain, beberapa penelitian juga telah dilakukan oleh Andriani (2016; 2018) di Indonesia. Selain itu, sebagian besar analisis penelitian yang dilakukan fokus pada desain produk menggunakan metode *axiomatic design* saja. Sejalan dengan informasi ini, penelitian ini meneliti rancangan alat pencetak bata merah dengan mengintegrasikan metode *axiomatic design* ke dalam tahap perancangan dan pengembangan produk Ulrich & Eppinger yang belum pernah dilakukan sebelumnya.

Penelitian ini akan menghasilkan usulan desain alat pencetak bata merah. Rancangan alat pencetak bata merah yang diusulkan tersebut diharapkan dapat mengurangi risiko terjadinya keluhan MSDs dan meningkatkan produktivitas operator.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Lokasi penelitian adalah di IKM bata merah milik Wahyono, yang terletak di Desa Waru, Kecamatan Baki, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, terhitung sejak Oktober 2021 hingga Maret 2022. Subjek penelitian ini adalah operator stasiun kerja pencetakan bata merah, sedangkan objek penelitian adalah keergonomisan proses pencetakan yang dinilai dari postur kerja dan efisiensi operator.

2.2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian evaluatif. Penelitian evaluatif adalah bagian dari penelitian terapan. Makna evaluatif mengacu pada sifat suatu kegiatan. Bagian penting dari evaluasi adalah adanya tujuan yang diharapkan, kemudian dinilai dengan evaluasi. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan tahap perancangan dan pengembangan produk yang dikemukakan oleh Ulrich & Eppinger. Tahapan atau

fasenya adalah *planning*, *concept development*, *system-level design*, *detail design*, *testing and refinement*, dan *production ramp-up*.

Fase *planning* terdiri atas beberapa langkah, yaitu identifikasi masalah, studi literatur, studi lapangan, pengumpulan data dan pengolahan data. Data yang dikumpulkan adalah postur kerja operator pencetakan, waktu siklus proses pencetakan dan kebutuhan pelanggan. Data-data tersebut diperoleh melalui observasi dan wawancara kepada 15 narasumber yang berprofesi sebagai operator stasiun kerja pencetakan di sentra bata merah Desa Waru. Adapun data antropometri orang Indonesia yang dihimpun dari hasil penelitian Perhimpunan Ergonomi Indonesia (PEI). Pengolahan data postur kerja operator menggunakan metode REBA. Metode REBA dapat menilai postur kerja untuk berbagai risiko gangguan otot, sendi, dan saraf karena tugas kerja atau *Work-Related Musculoskeletal Disorders* (WMSD) (Madani, dkk. 2016). Menurut Hignett dan McAtamney (2000), segmen tubuh yang diukur dengan metode REBA dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok A (*trunk*, *neck*, dan *legs*) dan kelompok B (*upper arms*, *lower arms*, dan *wrists*). Sementara itu, waktu siklus pencetakan diolah menjadi waktu normal dan waktu standar proses pencetakan.

Fase *concept development* dimulai dari identifikasi kebutuhan pelanggan yang diperoleh dari hasil wawancara. Kemudian dilanjutkan dengan sintesa metode *axiomatic design*. Menurut Suh (1995), *axiomatic design* memiliki 4 domain yang harus dipetakan, yaitu *customer domain* yang berisi *customer attributes* (CAs), *functional domain* yang berisi *functional requirements* (FRs), *physical domain* yang berisi *design parameters* (DPs), dan *process domain* yang berisi *process variable* (PVs). Pada penelitian ini, sintesa metode *axiomatic design* dimulai dari identifikasi CA dan diakhiri dengan pemetaan CA menjadi FR dan DP. Kemudian, dilakukan penetapan spesifikasi target, *concept generation*, dan *concept selection*.

Tahap *system-level design* akan dibentuk arsitektur produk. Sementara, tahap *detail design* akan dianalisis *bill of material* (BOM) untuk membuat alat tersebut. Tahap *testing and refinement* dilakukan pengujian *virtual* menggunakan *software* CATIA untuk mengetahui seberapa ergonomis dan efisien desain alat pencetak bata merah yang terpilih. Pengujian dilakukan dengan menghitung skor REBA dari simulasi menggunakan alat pencetak bata merah secara virtual dan menganalisis

efisiensi waktu proses pencetakan berdasarkan spesifikasi alat yang dirancang. Hasil akhir dari tahap ini adalah spesifikasi akhir dari molder bata merah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

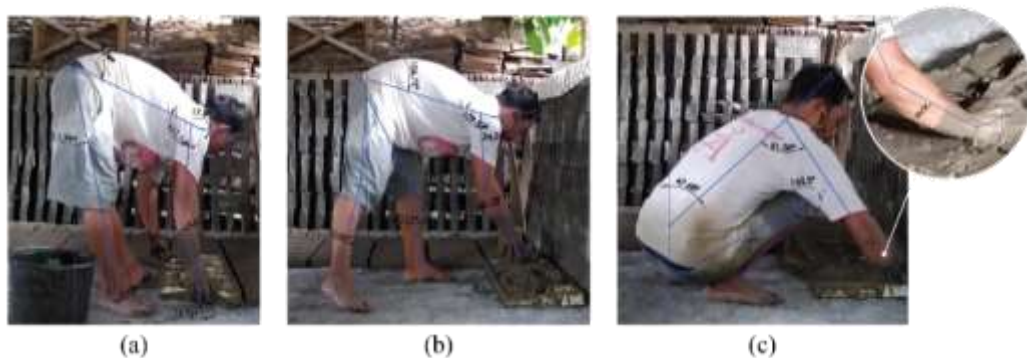
3.1 Fase *Planning*

3.1.1 Kondisi Awal

IKM Bata Merah milik Pak Wahyono memproduksi batu bata merah secara tradisional di sentra pembuatan bata merah Desa Waru, Kecamatan Baki, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. IKM ini hanya memiliki satu pekerja dan dibantu oleh pemilik dalam proses produksi. Proses pencetakan bata merah sendiri dilakukan oleh seorang pekerja berusia 42 tahun. Selama proses pengamatan lapangan, stasiun kerja pencetakan bata merah secara tradisional terdapat beberapa proses, yaitu: 1) memposisikan cetakan di lantai, 2) mengambil dan meletakkan adonan, dan 3) meratakan adonan. Cetakannya memiliki massa 1 kg dan terbuat dari *stainless steel*. Terdapat 5 lubang cetakan dan hanya ada satu pegangan di sisi kanan alat.

3.1.2 Penilaian Postur Kerja Operator

Penilaian postur kerja menggunakan metode REBA dilakukan pada proses pencetakan menggunakan alat tradisional. Terdapat tiga proses yang ada pada stasiun kerja pencetakan bata merah, yaitu (a) merupakan postur kerja proses memposisikan alat cetak, (b) merupakan postur kerja proses mengambil dan meletakkan adonan, dan (c) merupakan postur kerja proses meratakan adonan. Ketiga postur kerja tersebut memperoleh besaran sudut pada bagian-bagian tertentu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.



Gambar 1. Analisis Postur Kerja Stasiun Kerja Pencetakan

Tabel 1. Analisis Besaran Sudut Postur Kerja

Bagian Tubuh	Postur Kerja (°)		
	Proses (a)	Proses (b)	Proses (c)
<i>Trunk</i>	116,84	106,75	47,68
<i>Neck</i>	17,8	24,34	3,78
<i>Legs</i>	3,93	20,71	160,2
<i>Upper Arms</i>	111,14	109,52	81,38
<i>Lower Arms</i>	14,61	28,12	36,93
<i>Wrists</i>	14,76	8,34	50,71

Penilaian postur kerja dengan metod REBA menghasilkan skor postur kerja (a) sebesar 8, postur kerja (b) sebesar 11, dan postur kerja (c) sebesar 7. Ketiga skor REBA tersebut menunjukkan bahwa diperlukan adanya perbaikan yang dapat meminimalkan skor REBA untuk menurunkan masalah *Work-Related Musculoskeletal Disorders* (WMSD's), yaitu dengan melakukan perancangan alat pencetak bata merah yang lebih ergonomis.

3.1.3 Perhitungan Waktu Pencetakan

Pengukuran waktu kerja pada stasiun kerja pencetakan menggunakan alat tradisional dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Data waktu siklus yang dihasilkan adalah seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Waktu Siklus Proses Pencetakan Menggunakan Alat Tradisional

Siklus Ke-	Waktu (menit)		Siklus Ke-	Waktu (menit)	
1	00:01:12	1,20	5	00:01:39	1,65
2	00:01:22	1,37	7	00:01:26	1,43
3	00:01:24	1,40	8	00:01:55	1,92
4	00:01:22	1,37	9	00:01:34	1,57
5	00:01:39	1,65	10	00:01:22	1,37
Waktu Siklus				1,50	

Hasil wawancara pada operator stasiun kerja pencetakan di IKM Pak Wahyono, diketahui operator diberikan kelonggaran untuk istirahat dan kebutuhan personal selama 15 menit. Dalam satu hari kerja dilaksanakan selama 2 jam atau 120 menit waktu kerja pencetakan. Berdasarkan hasil perhitungan waktu normal dan waktu standar diatas diketahui bahwa seorang operator stasiun kerja pencetakan bata merah dapat melakukan satu kali proses pencetakan dengan waktu normal selama 1,5 menit atau 90 detik, dan waktu standar selama 1,6875 menit atau 101,25 detik.

3.1.4 Data Antropometri

Data antropometri sangat berguna dalam dunia perancangan terutama untuk benda yang digunakan oleh manusia, seperti halnya alat cetak bata merah. Dimensi antropometri yang digunakan dalam perancangan alat pencetak bata merah adalah seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Dimensi Antropometri Alat Pencetak Bata Merah

No	Dimensi	Keterangan	Prinsip	Presentil	Ukuran (cm)
1	D4	Tinggi siku	<i>Design for Range</i>	5 th s.d 95 th	92,48 s.d 112,67
2	D2	Tinggi mata	<i>Design for Average</i>	50 th	167,39
3	D17	Lebar sisi bahu	<i>Design for Extreme</i>	95 th	51,12
4	D29	Lebar tangan	<i>Design for Extreme</i>	95 th	15,91

3.2 Fase *Concept Development*

3.2.1 Identifikasi Kebutuhan Pelanggan

Kebutuhan pelanggan diperoleh dari proses wawancara kepada pemilik IKM bata merah dan operator proses cetak bata merah di sekitar wilayah Desa Waru, Kel. Baki, Kab. Sukoharjo. 15 responden dari 10 IKM menyatakan beberapa pendapat terkait kebutuhan alat cetak bata merah yang kategorikan seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kebutuhan Pelanggan (*Customer Needs*)

No	Kebutuhan Pelanggan	No	Kebutuhan Pelanggan
1	Hasil Cetak Bagus	10	Tidak Buat Kotor
2	Hasil Sekali Cetak Banyak	11	Alat Dapat Menyesuaikan Operator
3	Menggunakan Mesin	12	Mudah Digunakan
4	Mudah Dirakit	13	Mudah Dipindahkan
5	Proses Cetak Cepat	14	Awet
6	Aman Digunakan	15	Irit Energi
7	Ringan	16	Kuat
8	Tidak Buat Badan Pegal	17	Mudah Dirawat
9	Tidak Buat Cepat Lelah		

3.2.2 *Axiomatic Design*

Sintesa metode *axiomatic design* dimulai dari pengelompokkan kebutuhan menjadi *customer attribute* (CA) yang dihimpun dari data kebutuhan pelanggan, hasil evaluasi REBA, dan data antropometri. CA yang diperoleh, yaitu efektivitas (CA1), efisiensi (CA2), ergonomis (CA3), fleksibilitas (CA4), dan reliabilitas (CA5). Kelima CA tersebut kemudian dipetakan menjadi FR dan DP seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Mapping CA menjadi FR dan DP

<i>Customer Attribute</i>	FR		DP	
	Kode	Fungsi	Kode	Keterangan Fisik
Efektivitas (CA1)	FR1	Menghasilkan bentuk bata prisma segi empat	DP1	Cetakan
	FR1.1	Mencegah adonan tertinggal pada cetakan	DP1.1	Material Cetakan Aluminium
	FR1.2	Menambahkan emboss merek logo IKM pada adonan cetak	DP1.2	Stamp
	FR1.3	Mencegah adonan rusak karena tertimpa adonan lain	DP1.3	Proximity Sensor
Efisiensi (CA2)	FR2	Mempercepat waktu baku proses cetak	DP2	Mesin/Mekanis
	FR2.1	Menggunakan mesin dengan pergerakan linier	DP2.1	Linear Actuator
	FR2.2	Mengeliminasi tahapan pemindahan adonan dengan tangan secara berulang yang tidak efisien	DP2.2	Hopper
	FR2.3	Memperlancar adonan memenuhi cetakan secara merata	DP2.3	Spatula
	FR2.4	Membantu adonan jatuh ke lantai cetak	DP2.4	Pendorong Adonan
Ergonomis (CA3)	FR3	Membuat alat sesuai ukuran dan postur tubuh manusia	DP3	Antropometri dan postur kerja
	FR3.1	Bentuk alat support untuk postur kerja berdiri dengan tumpuan dua kaki	DP3.1	Frame
	FR3.2	Bentuk kemudi alat sesuai dengan tinggi siku manusia dengan range persentil menengah keatas, cukup untuk semua persentil manusia dan nyaman digenggam	DP3.2	Handlebar
	FR3.3	Membuat operasi alat tidak menyebabkan leher ekstensi atau fleksi lebih dari 20 derajat	DP3.3	Parameter Posisi Cetakan
	FR3.4	Meminimalkan energi ketika mengoperasikan alat dengan mengurangi gaya geseknya	DP3.4	Ball Bearing
	FR3.5	Meminimalkan massa alat	DP3.5	Rangka Berongga
Fleksibilitas (CA4)	FR4	Meningkatkan mobilitas alat	DP4	Roda
	FR4.1	Menggunakan sumber daya portabel	DP4.1	Baterai
	FR4.2	Mengatur produktivitas alat dengan program sesuai kesanggupan operator	DP4.2	PLC
	FR4.3	Mengoperasikan proses pencetakan dengan tangan	DP4.3	Switch/Button

<i>Customer Attribute</i>	FR		DP	
	Kode	Fungsi	Kode	Keterangan Fisik
Reliabilitas (CA5)	FR4.4	Mempermudah pergerakan alat sesuai arah kendali	DP4.4	Roda Swivel
	FR5	Membuat rangka yang kuat	DP5	Besi Hollow Hitam
	FR5.1	Hopper kuat menahan volume adonan	DP5.1	Plat Besi
	FR5.2	Mencegah air masuk ke bagian kelistrikan	DP5.2	Electrical Box
	FR5.3	Mencegah karat pada komponen besi	DP5.3	Cat Besi
	FR5.4	Mencegah benturan pada pendorong adonan	DP5.4	Tension Spring
	FR5.5	Mempermudah perawatan alat dengan mudah lepas-pasang	DP5.5	Fastener
	FR5.6	Menjaga pergerakan linear actuator tetap stabil	DP5.6	Linear Track

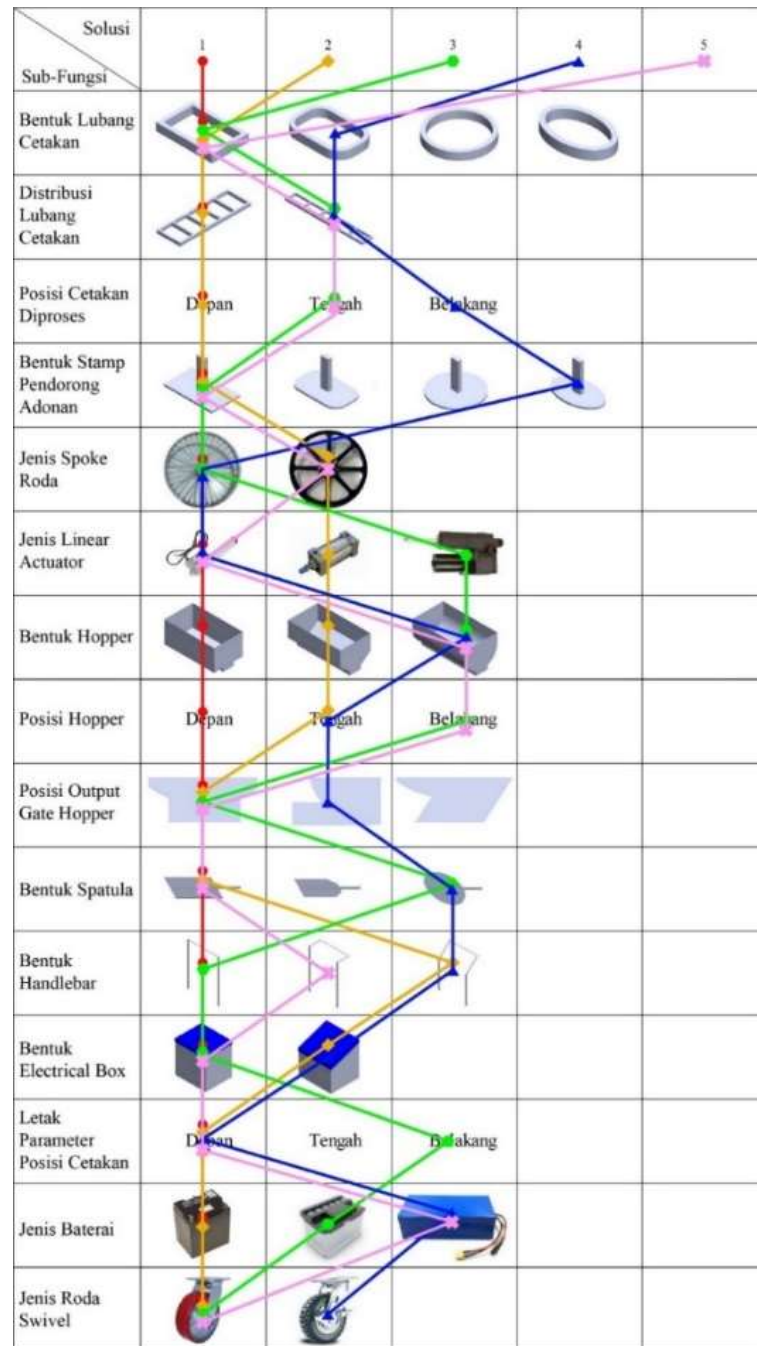
3.2.3 Penetapan Spesifikasi Target

Spesifikasi target ditetapkan berdasarkan desain parameter yang didapatkan pada proses sintesa FR menjadi DP. Setiap desain parameter akan diterjemahkan kedalam *metrics* dan *units*-nya dengan mempertimbangkan *marginal value* dan *ideal value*. Spesifikasi target yang dihasilkan seperti pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Spesifikasi Target

No.	Metric	Units	Marginal Value	Ideal Value
1	Ketebalan Aluminium	mm	>1,5	≤1,5
2	Range Minimum Proximity Sensor	cm	>10	≤10
3	Waktu Baku Proses Cetak	menit	>1,635	<1,635
4	Stroke Linear Actuator	mm	<50	≥50
5	Kecepatan Gerak Shaft	mm/s	≤100	>100
6	Volume Hopper	liter	>200	≤200
7	Jumlah Lubang Cetak	Unit	>5	5
8	Ukuran Lubang Cetak	cm	>25x13 x5	25x12,5x4
9	Ketinggian Minimal Handlebar	cm	>92,48	92
10	Ketinggian Maksimal Handlebar	cm	<112,67	113
11	Lebar Minimal Handlebar	cm	<51,12	52
12	Lebar Minimal Handgrip	cm	<15,91	16
13	Diameter Handgrip	mm	>40	22
14	Tinggi Parameter Posisi Cetakan	cm	>167	≤167
15	Maksimal Massa Alat	Kg	>50	≤50
16	Ketebalan Besi Hollow Rangka	mm	>2	1,6
17	Jumlah Digital Input/Output PLC	Unit	<10	20
18	Tegangan Input PLC	Volt	>24	24
19	Suplai Tegangan Baterai	Volt	>24	24
20	Ukuran Besi Hollow Hitam	mm	<20x20	40x20
21	Ketebalan Plat Besi Hopper	mm	<1	1
22	Tekanan Udara Kompresor	Psi	<40	50-100

3.2.4 Concept Generation



Gambar 2. Morphological Chart

Berdasarkan *morphological chart* di atas, diketahui terdapat 5 solusi desain alternatif yang berhasil dibangkitkan.

3.2.5 Concept Selection

Pemilihan konsep atau solusi desain dilakukan melalui dua tahap, yaitu *concept screening* dan *concept scoring*. Hasil dari *concept screening* seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Concept Secreening

Selection Criteria	Solution				
	1 (Reference)	2	3	4	5
Efektivitas	0	+	+	-	+
Efisiensi	0	+	-	-	-
Ergonomis	0	+	-	+	0
Fleksibilitas	0	0	-	+	+
Reliabilitas	0	+	-	+	-
Sum (+)	0	4	1	3	2
Sum (0)	5	1	0	0	1
Sum (-)	0	0	4	2	2
Net Score	0	4	-3	1	0
Rank	4	1	5	2	3
Continue?	Comb.	Yes	No	Yes	Comb.

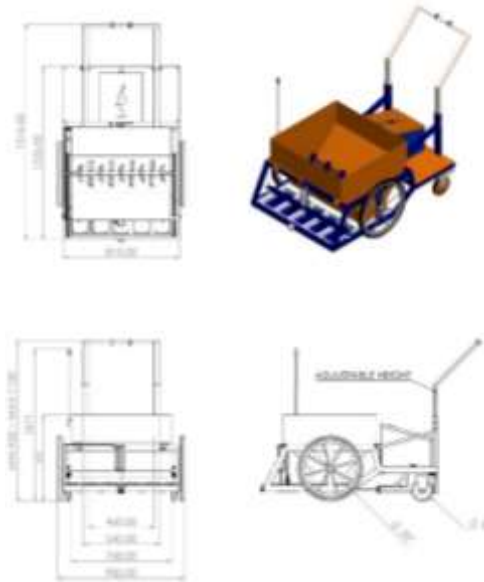
Berdasarkan hasil *concept selection* pada Tabel 7 diketahui bahwa solusi yang dapat dilanjutkan untuk proses *concept scoring* adalah solusi 2, 4, dan solusi kombinasi 1 dengan 5. Kombinasi solusi dilakukan dengan cara mensubstitusikan kriteria solusi 1 dan 5 dengan memilih yang lebih baik. Hasilnya kombinasi solusi 1 dan 5 diperoleh *Net Score* sebesar 2 dengan masing-masing kriteria, yaitu: Efektivitas (+), Efisiensi (0), Ergonomis (0), Fleksibilitas (+) dan Reliabilitas (0).

Selanjutnya adalah proses *concept scoring* dimana telah ditetapkan bobot dari setiap kriteria pemilihan, yaitu: Efektivitas 10%, Efisiensi 30%, Ergonomis 30%, Fleksibilitas 20% dan Reliabilitas 10%. Adapun proses *concept scoring* ditunjukkan seperti pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Concept Scoring

Selection Criteria	Weight	Solution					
		2		4		Comb. 1,5	
		Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
Efektivitas	10%	5	0,5	1	0,1	4	0,4
Efisiensi	30%	5	1,5	1	0,3	4	1,2
Ergonomis	30%	4	1,2	5	1,5	3	0,9
Fleksibilitas	20%	3	0,6	5	1	4	0,8
Reliabilitas	10%	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Total Score			4,3		3,3		3,6
Rank			1		3		2
Continue?			Develop		No		No

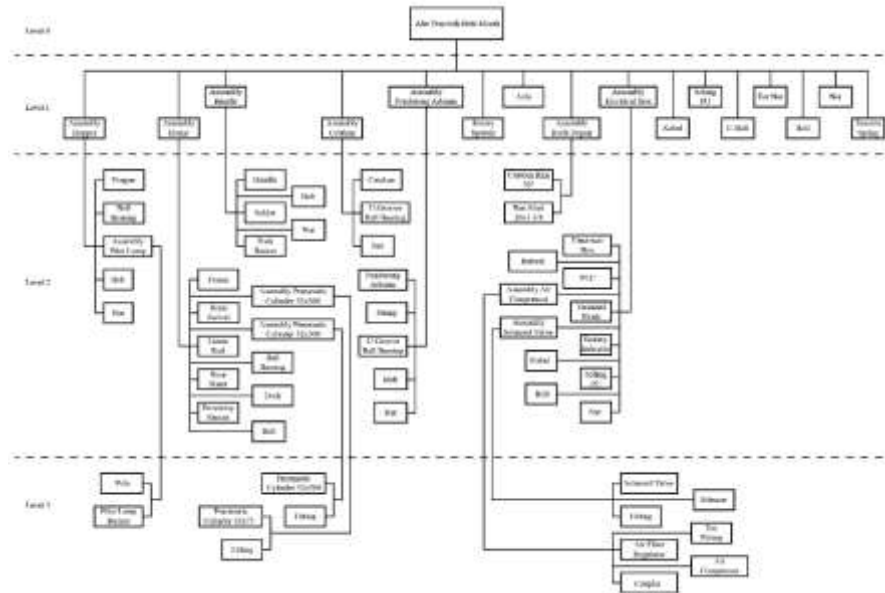
Berdasarkan hasil *concept scoring* pada Tabel 10 diketahui bahwa solusi 2 memperoleh total skor terbesar, yaitu 4.3. Sehingga, solusi konsep desain terpilih untuk dikembangkan adalah solusi 2. *Virtual design* dari solusi desain 2 adalah seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Virtual Desain Konsep Terpilih

3.3 Fase *System-Level Design*

Alat pencetak bata merah hasil rancangan menggunakan prinsip semi-otomatis dengan memanfaatkan sistem kontrol bernama *programmable logic control* (PLC). Sedangkan, untuk sistem penggerak alat cetak memanfaatkan aktuator linier dengan prinsip pneumatik bernama *pneumatic cylinder*. Arsitektur dari keseluruhan sub-sistem rancangan alat pencetak bata merah seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Arsitektur Alat Pencetak Bata Merah

3.4 Fase *Detail Design*

Rancangan alat pencetak bata merah tersusun dari beberapa komponen. Mengacu pada arsitektur produk di fase perancangan tingkat sistem, komponen alat pencetak bata merah yaitu seperti pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. *Bill of Material*

No	Description	Qty	Dec.	No	Description	Qty	Dec.
1	Alat Pencetak Bata Merah	1	Dirakit	25	Assembly Pneumatic Cylinder 32x75	1	Dirakit
2	Rakitan Hopper	1	Dirakit	26	Roda Swivel	2	Dibeli
3	Rakitan Frame	1	Dirakit	27	Linear Rail	2	Dibuat
4	Rakitan Handel	1	Dirakit	28	Ball Bearing	2	Dibeli
5	Rakitan Cetakan	1	Dirakit	29	Base Sheet	1	Dibuat
6	Rakitan Pendorong Adonan	1	Dirakit	30	Deck	1	Dibuat
7	Rotary Spatula	1	Dibuat	31	Proximity Sensor	1	Dibeli
8	Axle	1	Dibuat	32	Bolt	48	Dibeli
9	Assembly Roda Depan	2	Dirakit	33	Handle	1	Dibuat
10	Assembly Electrical Box	1	Dirakit	34	Saklar	1	Dibeli
11	Kabel	1	Dibeli	35	Push Button	1	Dibeli
12	Selang PU	4	Dibeli	36	Bolt	2	Dibeli
13	C-Bolt	2	Dibeli	37	Nut	2	Dibeli
14	Ear Nut	4	Dibeli	38	Cetakan	1	Dibuat
15	Bolt	16	Dibeli	39	U-Groove Ball Bearing	8	Dibeli
16	Nut	9	Dibeli	40	Nut	8	Dibeli
17	Tension Spring	1	Dibeli	41	Pendorong Adonan	1	Dibuat
18	Hopper	1	Dibuat	42	Stamp	5	Dibuat
19	Ball Bearing	2	Dibeli	43	U-Groove Ball Bearing	2	Dibeli
20	Assembly Pilot Lamp Buzzer	1	Dirakit	44	Bolt	2	Dibeli
21	Bolt	1	Dibeli	45	Nut	2	Dibeli
22	Nut	1	Dibeli	46	Custom Rim 20"	2	Dibuat
23	Frame	1	Dibuat	47	Ban Mati 20 x 1 3/8	2	Dibeli
24	Assembly Pneumatic Cylinder 32x300	1	Dirakit	48	Electrical Box	1	Dibuat
				49	Battery	2	Dibeli

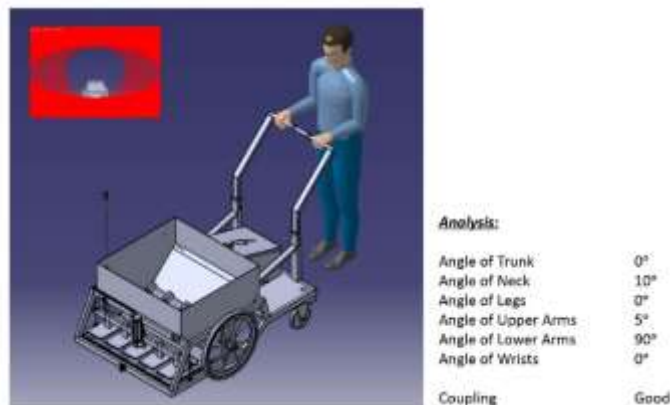
No	Description	Qty	Dec.
50	PLC	1	Dibeli
51	Assembly Air Compressor	1	Dirakit
52	Assembly Solenoid Valve	2	Dirakit
53	Terminal Block	2	Dibeli
54	Battery Indicator	1	Dibeli
55	Kabel	1	Dibeli
56	Selang PU	3	Dibeli
57	Screw	2	Dibeli
58	Bolt	8	Dibeli
59	Nut	8	Dibeli
60	Pole	1	Dibeli
61	Pilot Lamp Buzzer	1	Dibeli

No	Description	Qty	Dec.
62	Pneumatic Cylinder 32x300	1	Dibeli
63	Fitting 1/8	2	Dibeli
64	Pneumatic Cylinder 32x75	1	Dibeli
65	Fitting 1/8	2	Dibeli
66	Air Compressor	1	Dibeli
67	Air Filter Regulator	1	Dibeli
68	Coupler	1	Dibeli
69	Tee Fitting	1	Dibeli
70	Solenoid Valve 5/2	2	Dibeli
71	Fitting	6	Dibeli
72	Silencer	2	Dibeli

3.5 Fase Testing and Refinement

3.5.1 Testing

Pengujian dilakukan secara *virtual* menggunakan *software* CATIA yang bertujuan untuk mensimulasikan postur kerja penggunaan alat hasil rancangan. Sehingga dapat diketahui apakah desain yang dibuat telah dapat memperbaiki postur kerja proses pencetakan bata merah secara manual. Hasil pengujian menggunakan CATIA ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pengujian Rancangan Secara *Virtual*

Penilaian postur kerja dengan metode REBA menggunakan data hasil pengujian, menghasilkan skor sebesar 1. Artinya, pekerjaan pencetakan bata merah menggunakan alat hasil rancangan memiliki level risiko yang dapat diabaikan dan tidak membutuhkan tindakan perbaikan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa desain alat pencetak bata merah sudah dapat menurunkan level risiko WMSD's dan desain tidak memerlukan perbaikan atau *refinement*.

Rancangan alat pencetak bata merah yang menggunakan penggerak *linear actuator* dengan prinsip *pneumatic* dapat menghasilkan rata kecepatan gerak *shaft*

433mm/s dengan rata-rata tekanan udara kompresor sebesar 65psi. Untuk sekali proses pencetakan, *linear actuator* melakukan *double acting stroke* (*stroke* bolak balik) dimana dibutuhkan total *stroke* sebesar 750mm. Dan untuk pencetakan berikutnya, alat perlu dipindahkan sejauh minimal 270mm dalam waktu 5 detik. Berdasarkan perhitungan, diperoleh waktu baku sebesar 7,57 detik. Sehingga, alat pencetak bata hasil rancangan dapat mengefisiensi waktu pencetakan sebesar 92.5% dari waktu baku pencetakan menggunakan alat yang saat ini ada.

3.5.2 Final Specification

Berdasarkan alternatif desain alat pencetak bata merah terpilih, didapatkan spesifikasi akhir desain, yaitu seperti pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Final Specification

No.	Metric	Units	Value
1	Ketebalan Aluminium	mm	1,2
2	Range Minimum Proximity Sensor	cm	7
3	Waktu Baku Proses Cetak	menit	0,016 s/d 0,31
4	Stroke Linear Actuator	mm	75 dan 300
5	Kecepatan Gerak Shaft	mm/s	40 s/d 800
6	Volume Hopper	liter	140
7	Jumlah Lubang Cetak	Unit	5
8	Ukuran Lubang Cetak	cm	25x12,5x4
9	Ketinggian Minimal Handlebar	cm	92
10	Ketinggian Maksimal Handlebar	cm	113
11	Lebar Minimal Handlebar	cm	52
12	Lebar Minimal Handgrip	cm	16
13	Diameter Handgrip	mm	22
14	Tinggi Parameter Posisi Cetakan	cm	107,5
15	Maksimal Massa Alat	Kg	50
16	Ketebalan Besi Hollow Rangka	mm	1,6
17	Jumlah Digital Input/Output PLC	Unit	20
18	Tegangan Input PLC	Volt	24
19	Suplai Tegangan Baterai	Volt	24
20	Ukuran Besi Hollow Hitam	mm	40x20
21	Ketebalan Plat Besi Hopper	mm	1
22	Tekanan Udara Kompresor	Psi	50-80

3.6 Analisis

Penelitian ini memiliki peran penting karena dapat meningkatkan produktivitas operator dalam bekerja melalui perbaikan postur kerja dan mempersingkat waktu kerja. Perbandingan spesifikasi alat yang ada dan usulan desain, ditemukan bahwa desain alat pencetak bata merah yang diusulkan memiliki beberapa keunggulan yang tidak dimiliki alat yang saat ini ada. Perbedaan spesifikasi tersebut

diantaranya penggunaan prinsip semi-otomatis pada desain usulan, dimana memanfaatkan PLC dan *linear actuator* berdaya pneumatik. Sedangkan, alat yang saat ini ada masih menggunakan prinsip konvensional. Usulan desain juga dibuat dengan mempertimbangkan kebutuhan pekerja serta kondisi ergonomis pekerja. Skor REBA antara alat yang saat ini ada dengan yang diusulkan sangat signifikan berbeda, dimana skor alat yang saat ini ada rata-rata sebesar 8.67, sedangkan skor usulan sebesar 1. Selain itu, perbandingan waktu kerja antara alat yang saat ini ada dengan desain usulan juga memiliki perbedaan yang sangat signifikan, dimana desain usulan menghasilkan waktu standar pencetakan selama 7,57 detik atau 0,126 menit. Sehingga, dapat mengefisiensi waktu pencetakan sebesar 92,5% dari waktu pencetakan menggunakan alat yang sudah ada, yaitu selama 101,25 detik atau 1,6875 menit. Artinya, desain alat pencetak bata merah yang diusulkan dapat lebih baik dari alat yang sudah ada, karena tidak diperlukannya tindakan perbaikan atas postur kerja dan dapat mengefisiensi waktu pencetakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu penelitian ini telah berhasil mendesain dan menguji alat pencetak bata merah yang lebih ergonomis dan efisien dengan metode *axiomatic design* yang diintegrasikan dengan langkah-langkah perancangan dan pengembangan produk Ulrich & Eppinger. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan alat dapat memperbaiki postur kerja operator stasiun kerja pencetakan dengan skor penilaian REBA sebesar 1. Selain itu, rancangan alat juga dapat mengefisiensi waktu pencetakan sebesar 92,5% dari waktu pencetakan menggunakan alat tradisional. Hasil temuan ini dapat meningkatkan pemahaman mengenai perancangan dan pengembangan produk secara sistematis menggunakan metode *axiomatic design* serta pemahaman dalam membangun produk dengan postur kerja yang ergonomis.

DAFTAR PUSTAKA

Andriani, D. P., Choiri, M., & Desrianto, F. B. (2018). Redesain produk berfokus pada customer requirements dengan integrasi axiomatic design dan house of quality. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 17(1), 71-82.

- Antropometri Indonesia. (2013). Rekap Data Antropometri Indonesia. Diakses pada 05 Desember 2021, dari https://antropometriindonesia.org/index.php/detail/artikel/4/10/data_antropometri.
- As, F.K., Novareza, O dan Santoso P.B. (2017). Peningkatan Kualitas Produk Batu Bata Merah dengan Memanfaatkan Limbah Abu Serat Sabut Kelapa dan Abu Serbuk Gergaji. *Prosiding Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu & Call For Papers UNISBANK ke-3*. Hh. 175-181
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2094-2000 Tentang Bata Merah Pejal Untuk Pasangan Dinding. Jakarta Pusat: Badan Standarisasi Nasional.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Jain, R., Rana, K. B., & Meena, M. L. (2021). An integrated multi-criteria decision-making approach for identifying the risk level of musculoskeletal disorders among handheld device users. *Soft Computing*, 1-11.
- Patil, H, Sirisikar, S dan Gholap, N. (2017). Product Design and Development: Phases and Approach. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 6 (7): 180-187.
- Revadi, C. E., Gunawan, C. S., & Rakasiwi, G. J. (2019). Prevalensi Dan Faktor-Faktor Penyebab Musculoskeletal Disorders Pada Operator Gudang Industri Ban PT. X Tangerang Indonesia. *Jurnal Ergonomi Indonesia* Vol, 5(01).
- Roshene, R., & Loganathan, S. (2017). Ergonomics and musculoskeletal disorder as an occupational hazard in dentistry-A pilot study. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(5), 712.
- Suh, N. P. (1995). Designing-in of quality through axiomatic design. *IEEE Transactions on reliability*, 44(2), 256-264.
- Haekal, J., Hanum, B., & Adi Prasetyo, D. E. (2020). Analysis of operator body posture packaging using Rapid entire body assessment (REBA) method: a case study of pharmaceutical company in Bogor, Indonesia. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology-IJERAT (ISSN: 2454-6135)*, 6(7), 27-36.
- Ulrich, K dan Eppinger, S. (2015). Product Design and Development. 6th Edition. McGraw-Hill Education. New York.