

Rancang Bangun *Floor Crane* dengan Kapasitas Angkat Maksimum 1 Ton

Dandi Dwi Hamukti^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan², Dhika Aditya Purnomo³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia ^{1*,2,3}
E-mail: dandidwihamukti@gmail.com^{1*}

Abstract - PT. Rekaindo Global Jasa is a company engaged in manufacturing and engineering consulting services and railway component support, most of the production is to support the train production process of PT. INKA (Persero). PT. Rekaindo Global Jasa participates in producing electrical components such as Static Inverter (SIV), and Variable Voltage Variable Frequency (VVVF) Inverter. Electrical components such as transformers, batteries, and controllers contained in SIV and VVVF which weigh more than 100 kg, of course require tools for the lifting process to fit into the frame box of the SIV and VVVF. PT. Rekaindo Global Jasa uses forklifts to install these components, because the only lifting equipment available in the workshop is forklifts, hand pallets, and hoist cranes. The process of installing components using the lifting equipment is very inefficient and takes 1 hour to lift and install only 1 component. From these problems, the authors raised these problems as research material for the final project regarding the Design of Floor Crane with a Maximum Lifting Capacity of 1 ton. In this study using the Ulrich method with an output in the form of a floor crane that can lift objects easily and can be adjusted in height and arm length, so as to simplify and speed up component assembly. Based on the results of the tests carried out, the floor crane was able to lift an object weighing 500 kg as high as 50 cm in 1 minute, 1 second, 8 seconds and by moving the object as far as 5 meters in 20 seconds, 40 seconds with 1 operator.

Keyword: Static Inverter (SIV), Floor Crane, Ulrich, Autodesk Fusion 360, Strength Analysis.

Nomenclature

- P** Beban atau gaya yang bekerja (N)
b Lebar profil hollow (mm)
h Tinggi profil hollow (mm)
I Momen Inersia (mm⁴)
sf Safety Factor
M Momen pada sudut (N/mm)
C ½ profil hollow (mm)
l Panjang (mm)
E Modulus elastisitas material (N/m²)
 σ_{max} Tegangan maksimum (N/mm²)
P_{cr} Buckling loads (N)

1. PENDAHULUAN

PT. Rekaindo Global Jasa merupakan perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur dan jasa konsultan *engineering* dan *support* komponen kereta api, sebagian besar hasil produksi adalah untuk mendukung proses produksi kereta api PT. INKA (Persero). PT. Rekaindo Global Jasa ikut serta memproduksi komponen kelistrikan seperti *Static Inverter (SIV)*, maupun *Inverter Variable Voltage Variable Frequency (VVVF)*. Komponen elektrik seperti trafo, *battery*, maupun *controller* yang terdapat dalam SIV maupun VVVF yang beratnya diatas 100 kg, tentunya membutuhkan alat untuk proses pengangkatan agar bisa masuk ke dalam *frame box* dari SIV maupun VVVF.

PT. Rekaindo Global Jasa menggunakan *forklift* untuk memasang komponen tersebut, karena alat pengangkat yang tersedia di *workshop* hanya *forklift*, *hand pallet*, dan *crane* kerek. Proses pemasangan komponen menggunakan alat angkat tersebut sangat tidak efisien dan membutuhkan waktu 1 jam dan membutuh kan pekerja sebanyak 5 orang untuk mengangkat dan memasangi komponen saja.

Proses pemasangan komponen elektrik pada *frame box* bisa dilakukan dengan cepat dan efisien dengan menggunakan *floor crane*, karena alatnya yang praktis dan mudah dipindah-pindah memungkinkan proses pemasangan bisa dilakukan oleh 1 atau 2 orang saja. Akan tetapi *floor crane* yang dijual di pasaran kebanyakan tidak bisa disesuaikan panjang dan lebar lengannya, sehingga *crane* terkadang bisa terguling karena kurang lebar pada bagian kakinya, oleh karena itu dibutuhkan sebuah inovasi dari *floor crane* yang dapat mengangkat benda dengan mudah dan bisa disesuaikan tinggi dan panjang lengannya, sehingga dapat mempermudah dan mempercepat perakitan komponen. Untuk itu, penulis mengangkat permasalahan tersebut sebagai bahan penelitian tugas akhir mengenai Rancang Bangun *Floor Crane* Dengan Kapasitas Angkat Maksimal 1 ton, pada perancangan alat ini diharapkan bisa

mempercepat proses pengangkatan dan perakitan komponen elektrik pada *frame box*.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Ulrich

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode *Ulrich*. Langkah yang dilakukan pada metode ini adalah menyusun daftar kebutuhan dan, kemudian membuat 3 konsep desain, dan memilih 1 konsep desain yang mempunyai nilai paling baik.

2.2 Penentuan Daftar Kebutuhan

Berikut ini merupakan daftar kebutuhan untuk membuat konsep desain alat *floor crane*. Daftar kebutuhan didapatkan dari wawancara langsung terhadap pekerja di *workshop*.

Tabel 1: Daftar Kebutuhan

Daftar Kebutuhan		
S/H	Aspek	Penanggung Jawab
	Operasional	Tim Desain
S	1. Alat dapat dioperasikan dengan mudah	
H	2. Alat mudah untuk dipindahkan	
	Kenyamanan	Tim Desain
H	1. Posisi pegangan tangan nyaman	
S	2. Perangkat untuk pengangkat mudah dijangkau	
	Fleksibilitas	Tim Desain
S	1. Alat mudah dilipat dengan ringkas	
H	2. Mudah di sesuaikan pada bagian yang bisa di <i>adjustable</i>	
	Perawatan	Tim Desain & Manufaktur
S	1. Komponen yang digunakan mudah untuk dilepas dan diperbaiki	
S	2. Dapat dilakukan perawatan komponen dengan mudah	
	Manufaktur	Tim Desain & Manufaktur
S	1. Alat mudah untuk dimanufaktur	
H	2. Komponen dan material mudah didapat	

Keterangan :

S = syarat

H = harapan

2.3 Pemilihan Konsep Desain

Tabel 2: Penilaian Konsep *Floor Crane*

Matriks Penilaian Konsep									
Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
Perawatan	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	4	0,4
Manufaktur	20%	3	0,6	4	0,8	5	1,0	4	0,8
Operasional	20%	3	0,6	3	0,6	3	0,6	4	0,8
Ergonomi	20%	3	0,6	4	0,8	5	1,0	2	0,4
Fleksibilitas	30%	3	0,9	4	1,2	5	1,5	2	0,6
Nilai Absolut		15	3,0	18	3,7	21	4,2	16	3,0
Nilai Relatif (%)		21,42	21,58	25,71	26,61	30	30,21	22,85	21,58

Note : Nilai rate 1-5 (nilai 1 paling rendah, nilai 5 paling tinggi)

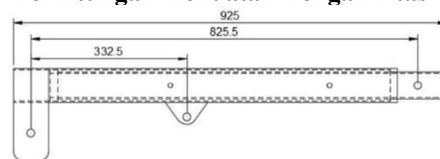


Gambar 1. Konsep Desain Terpilih

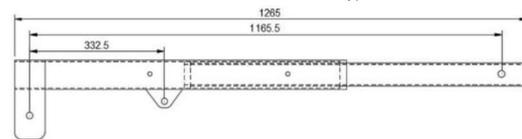
Gambar diatas adalah konsep desain terpilih yang dipilih berdasarkan matrik penilaian konsep dan mendapat nilai relatif tertinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Kekuatan Lengan Atas



Gambar 2. Keluaran lengan 1



Gambar 3. Keluaran lengan 2

Lengan *floor crane* direncanakan teleskopik 2 posisi (925 – 1265) mm, tebal besi *hollow* 3 mm, dengan berat 11,5 kg

- Material = Alloy Steel
- Yield strength = 620.422 N/mm²
- Berat lengan (W) = 11,5 kg = 1127,77 N
- F_{max}=P_{max} = 1000 kg = 9807 N
- Luas penampang (A) = 1548 mm⁴

Inersia Penampang

$$I = \frac{1}{12} (b \times h^3 - b_1 \times h_1^3)$$

$$I = \frac{1}{12} (75 \times 69^3 - 60 \times 54^3)$$

$$I = 1265861,25 \text{ mm}^4$$

Momen pada Posisi Lengan

Setelah diketahui panjang l_1 dan l_2 , selanjutnya panjang tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan momen pada posisi lengan pada sudut yang ditentukan dengan rumus :

$$\sum M = P \cdot (l_2) + W \cdot (l_1)$$

Keterangan :

$\sum M$: Momen pada posisi sudut

P : Beban yang bekerja

W : Berat lengan

l_2 : Jarak antara pusat momen dan titik berat

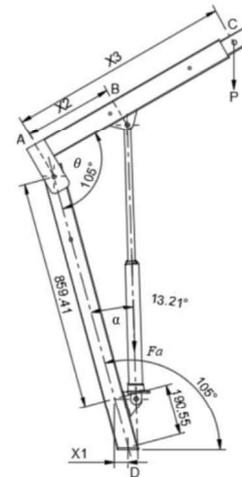
l_1 : Jarak antara pusat momen dan beban

Momen pada lengan keluaran 1

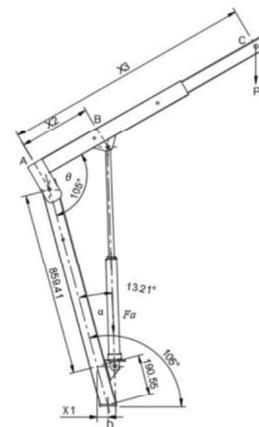
Pada posisi 90° Pada posisi 105°
 $l_1 = 412,75 \text{ mm}$ $l_1 = 398,686 \text{ mm}$
 $l_2 = 825,5 \text{ mm}$ $l_2 = 797,372 \text{ mm}$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = P \cdot (l_2) + W \cdot (l_1)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = (9807 \times 825,5) + (1127,77 \times 412,75)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = 8561165,568 \text{ Nmm}$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = P \cdot (l_2) + W \cdot (l_1)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = (9807 \times 797,372) + (1127,77 \times 398,686)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = 8269453 \text{ Nmm}$

Momen pada lengan keluaran 2

Pada posisi 90° Pada posisi 105°
 $l_1 = 632,5 \text{ mm}$ $l_1 = 610,948 \text{ mm}$
 $l_2 = 1265 \text{ mm}$ $l_2 = 1221,896 \text{ mm}$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = P \cdot (l_2) + W \cdot (l_1)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = (9807 \times 1265) + (1127,77 \times 632,5)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{90^\circ} = 13119169,53 \text{ Nmm}$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = P \cdot (l_2) + W \cdot (l_1)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = (9807 \times 1221,896) + (1127,77 \times 610,948)$
 $+\circlearrowleft \sum M_{105^\circ} = 7369584,688 \text{ Nmm}$



Gambar 4. Rangka Penopang Keluaran 1



Gambar 5. Rangka Penopang Keluaran 2

Tegangan Izin Maksimal Lengan 1

- Tegangan normal
 $\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{9807 \text{ N}}{1548 \text{ mm}^2} = 6,34 \text{ N/mm}^2$
 $sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}} = \frac{620,422 \text{ N/mm}^2}{6,34 \text{ N/mm}^2} = 97,86$
 $sf \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$
- Tegangan lentur
 $\sigma_{max} = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{8269453 \times 37,5}{1265861,25} = 244,98$
 $\sigma_{max} < \frac{\sigma_{yield}}{sf}$
 $244,98 < \frac{620 \text{ N/mm}^2}{1,5}$
 $244,98 < 413,3 \text{ (aman)}$

Tegangan Izin Maksimal Lengan 2

- Tegangan normal
 $\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{9807 \text{ N}}{1548 \text{ mm}^2} = 6,34 \text{ N/mm}^2$
 $sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}} = \frac{620,422 \text{ N/mm}^2}{6,34 \text{ N/mm}^2} = 97,86$
 $sf \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$
- Tegangan lentur
 $\sigma_{max} = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{7369584,688 \times 37,5}{1265861,25} = 218,3$
 $\sigma_{max} < \frac{\sigma_{yield}}{sf}$
 $218,3 < \frac{620 \text{ N/mm}^2}{1,5}$
 $218,3 < 413,3 \text{ (aman)}$

3.2 Perhitungan Kekuatan Penopang

Dimensi struktur penopang floor crane dengan posisi boom keluaran 1 dan posisi boom keluaran 2.

Dengan keterangan material seperti berikut.

- Material = Alloy Steel
- Yield strength = 620,422 N/mm²
- Berat penopang (W) = 8,4 kg = 823.7586 N
- Fmax = Fa = 41220,97 N
- Luas penampang (A) = A1

Inersia Penampang

$$I = \frac{1}{12} (b x h^3 - b_1 x h_1^3)$$

$$I = \frac{1}{12} (75 x 75^3 - 69 x 69^3)$$

$$I = 747792 \text{ mm}^4$$

Tegangan Izin Maksimal Lengan 1

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{41220,97 \text{ N}}{864 \text{ mm}^2} = 47,70 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan Izin Maksimal Lengan 2

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{29099,27 \text{ N}}{864 \text{ mm}^2} = 33,67 \text{ N/mm}^2$$

Check Buckling Lengan 1

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0,7l)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{3,14^2 \times 210000000 \times 747792}{(0,7 \times 1100)^2}$$

$$P_{cr} = 2611427392 \text{ N}$$

$$P_{cr} > P \text{ (aman)}$$

Check Buckling Lengan 2

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0,7l)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{3,14^2 \times 210000000 \times 747792}{(0,7 \times 1100)^2}$$

$$P_{cr} = 2611427392 \text{ N}$$

$$P_{cr} > P \text{ (aman)}$$

Safety Factor

Untuk mengetahui tingkat keamanan, maka dilakukan perhitungan *safety factor*, dengan nilai minimal 1.5, karena pembebanan yang terjadi adalah pembebanan statis

$$sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$$

$$sf = \frac{620,422 \text{ N/mm}^2}{47,70 \text{ N/mm}^2} = 13$$

$$sf \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$$

Safety Factor

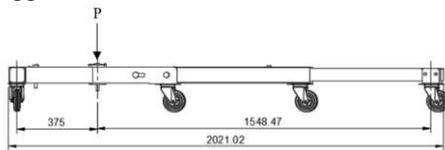
$$sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$$

$$sf = \frac{620,422 \text{ N/mm}^2}{33,67 \text{ N/mm}^2} = 18,42$$

$$sf \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$$

3.4 Perhitungan Rangka Kaki

Untuk mengetahui desain kaki *floor crane* sudah aman dan dapat menumpu beban yang dibutuhkan, maka harus dihitung kekuatan struktur kaki *floor crane*. Pada perhitungan rangka kaki, Perhitungan yang dilakukan menggunakan F_{max} dari beban maksimal *crane*.



Gambar 6. Rangka Kaki Floor Crane

Inersia Penampang

$$I = \frac{1}{12}(b \times h^3 - b_1 \times h_1^3)$$

$$I = \frac{1}{12}(75 \times 69^3 - 60 \times 54^3)$$

$$I = 1265861,25 \text{ mm}^4$$

Tegangan Izin Maksimal

$$\sigma_{max} F = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\sigma_{max} F = \frac{9807 \text{ N}}{1584 \text{ mm}^2} = 6,19 \text{ N/mm}^2$$

Safety Factor

$$sf = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$$

$$sf = \frac{620,422 \text{ N/mm}^2}{6,19 \text{ N/mm}^2} = 100,2$$

$$sf \geq 1,5 \rightarrow \text{aman}$$

3.5 Pemilihan Roda

Berdasarkan beban maksimal yang diterima roda, yaitu 263.53 kg, maka dipilih roda dengan kapasitas beban 300 kg.

3.6 Perhitungan Hook

Berdasarkan perencanaan *floor crane*, beban maksimal yang akan diangkat adalah 1 ton, maka dipilih kait dari katalog di atas yang mendekati nilai maksimal daya angkat. Kait yang dipilih adalah kait dari BLT-*Catalogue*.

Spesifikasi Kait:

Material dari baja dengan kekuatan tarik tinggi (*Alloy steel*) B.S.2903, yang dikeraskan (*hardened*) dan ditemper (*tempered*).

- Batas beban kerja = 1250 kg (1.25 ton)
- Panjang (a) = 177 mm
- Panjang busur (b) = 27 mm
- Lebar bukaan kait (c) = 37 mm
- Lebar busur (d) = 43 mm
- Diameter kait (e) = 21 mm
- Tebal kait (f) = 36 mm
- Diameter busur (g) = 15 mm
- *Admittance* (h) = 22 mm
- Berat = 1.8 kg

3.7 Pemilihan Hidrolik

Untuk menentukan beban maksimal dari silinder hidrolik, dapat diketahui dari gaya yang diterima oleh penopang dengan lengan boom ketika pada posisi maksimal.

$$F_a = F_{hidrolik} = 4203,37 \text{ Kg}$$

Dari hasil $F_{hidrolik}$ dapat diketahui bahwa kapasitas beban maksimal pada silinder hidrolik adalah 4203,37 Kg.

Data spesifikasi hidrolik yang dipilih :

- Kapasitas : 8 ton
- Nomor Model : 2018621HR
- Deskripsi : *Utility Jack Single Release*
- Jarak Angkat : 1120 mm
- Diameter As : 28 mm
- Diameter Tabung : 52 mm
- Panjang Langkah : 540 mm
- Panjang Total : 660 mm

3.8 Perhitungan Pin

Pin yang digunakan untuk penghubung lengan dengan penopang adalah :

Pemilihan bahan:

- *Alloy steel* (37C15): $\sigma_y = 620,422 \text{ N/mm}^2$
- Diameter = 16

Pin yang digunakan untuk penghubung kait dengan lengan atas adalah :

Pemilihan bahan:

- *Alloy steel* (37C15): $\sigma_y = 620,422 \text{ N/mm}^2$
- Diameter = 16

3.9 Perhitungan Biaya

Pada perancangan alat ini, biaya pembuatan juga perlu diperhitungkan. Perhitungan biaya

pembuatan *floor crane* kapasitas 1 ton dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 3: Rincian biaya bahan baku

No.	Komponen	Qty	Satuan	Harga @	Total
1	Hollow 60x60x3 mm	1	batang	Rp650.000	Rp650.000
2	Hollow 75x75x3 mm	1	batang	Rp820.000	Rp820.000
3	Plat 75x1000x4 mm	10	kg	Rp24.000	Rp240.000
4	Plat 75x1000x8 mm	7	kg	Rp10.000	Rp70.000
5	Plat 75x1000x6 mm	5	kg	Rp10.000	Rp50.000
6	Plat strip 40x1500x5 mm	4	kg	Rp10.000	Rp40.000
7	Kait / Hook 1 ton	1	buah	Rp50.000	Rp50.000
8	Hidrolik 8 ton	1	buah	Rp1.700.000	Rp1.700.000
9	Baut dan mur M16x100mm	10	buah	Rp10.000	Rp100.000
10	Roda Depan	8	buah	Rp30.000	Rp240.000
11	Baut dan mur M8x25mm	22	buah	Rp800	Rp17.600
12	Baut dan Mur M12x120 mm	2	buah	Rp5000	Rp10.000
13	Baut dan mur M10x100 mm	6	buah	Rp3000	Rp18.000
14	Baut dan mur M8x70 mm	4	buah	Rp1.000	Rp4.000
15	Baut dan mur M10x25	4	buah	Rp3.000	Rp12.000
16	Pipa Ø50x150mm	2	kg	Rp10.000	Rp20.000
17	Pipa Ø26x800mm	2	kg	Rp10.000	Rp20.000
18	Hand Grip	2	buah	Rp15.000	Rp30.000
19	Cat Merah Emco	1	kg	Rp70.000	Rp70.000
20	Cat Semprot Hitam	1	kalenz	Rp25.000	Rp25.000
Total					Rp 4.186.600

Biaya Pembuatan :

Tabel 4: Rincian biaya manufaktur

No.	Proses	Harga
1.	Pengelasan	Rp 1.000.000
2.	Pengeboran	Rp 200.000
3.	Gerinda	Rp 150.000
4.	Bubut	Rp 140.000
5.	Pengecatan	Rp 200.000
Total		Rp 1.690.000

Biaya Total

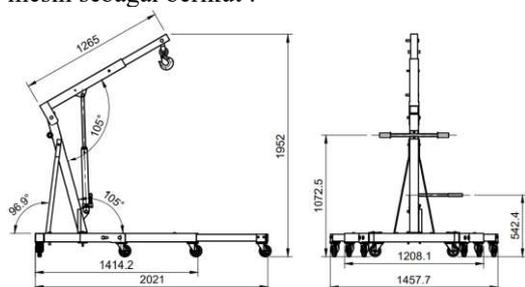
Biaya total adalah jumlah biaya yang dikeluarkan pada proses perancangan dan pembuatan *floor crane*, yang diakumulasi dari biaya bahan baku dan biaya pembuatan.

$$\text{Biaya total} = \text{Biaya bahan baku} + \text{Biaya pembuatan}$$

$$= \text{Rp}4.186.600 + \text{Rp}1.690.000$$

3.10 Hasil Uji Coba

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, hasil perancangan dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data spesifikasi mesin sebagai berikut :



Gambar 7. Rancangan Floor Crane

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, pengujian alat *floor crane* mampu mengangkat benda seberat 500 kg setinggi 50 cm dengan waktu 1 menit, 1 detik, 8 detik

dan dengan memindahkan benda tersebut sejauh 5 meter dengan waktu 20 detik, 40 sekon dengan operator sebanyak 1 orang. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemindahan dan pengangkatan dengan *floor crane* untuk proses perakitan *static inverter (SIV)* di PT Rekaindo bisa lebih singkat dan mudah daripada sebelumnya yang memakan waktu 1 jam, dan membutuhkan pekerja sebanyak 5 orang untuk proses pengangkatan 1 komponen



Gambar 8. Hasil Akhir Mesin

4. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, fabrikasi, dan *assembly* yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Alat *floor crane* dibuat dengan profil *hollow* ukuran 75 x 75 x 3, dan ukuran 60 x 60 x 3, dengan kaki yang bisa disesuaikan panjangnya hingga 2005.78 mm, dan lebarnya hingga 14151.95 mm, Pada bagian *boom* lengan keluaran 1 dengan panjang 925 mm adalah 1 ton, dan keluaran 2 dengan panjang 1250 mm adalah 500 kg.
2. Proses manufaktur alat meliputi proses *cutting*, bubut, *welding*, *drilling*, dan *grinding*. Seluruh komponen dilas dengan las SMAW, dibor dengan bor tangan dan bor duduk, dipotong dan dihaluskan dengan gerinda, dan pada komponen berbentuk silinder dengan cara dibubut.
3. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, pengujian alat *floor crane* mampu mengangkat benda seberat 500 kg setinggi 50 cm dengan waktu 1 menit, 1 detik, 8 sekon dan dengan memindahkan benda tersebut sejauh 5 meter dengan waktu 20 detik, 40 sekon dengan operator sebanyak 1 orang. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemindahan dan pengangkatan dengan *floor crane* untuk proses perakitan *static inverter (SIV)* di PT Rekaindo bisa lebih singkat dan mudah daripada sebelumnya yang memakan waktu 1 jam, dan membutuhkan pekerja sebanyak 5 orang untuk proses pengangkatan 1 komponen.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Orang tua penulis, yaitu Bapak Mujahid Hendro, Ibu Nur Faizah, dan Kakak penulis yaitu Mauliyah Intifail Insie, S.Farm., Apt.
2. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
4. Bapak Pranowo Sidi, ST., MT. selaku Koordinator Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
5. Bapak Farizi Rachman, S.Si., M.Si. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
6. Bapak Bayu Wiro Karuniawan, ST., MT.. dan Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang memberikan bimbingan dan nasihat.
7. Segenap staff dan karyawan PT. Rekaindo Global Jasa.
8. Hery Supriyono selaku pemilik bengkel Hery Jaya Teknik.

6. PUSTAKA

- [1] Batan, I. M. L. (2012). *Desain Produk*, Edisi pertama. Inti Karya Guna, Surabaya.
- [2] Gere, J.M. & Timoshenko, S.P. (1972). *Mekanika Bahan*, Edisi keempat. Erlangga, Jakarta.
- [3] Khurmi, R., & Gupta, J. (1977). *A Textbook Machine Design*. Eurasia Publishing House, New Delhi.
- [4] Linafri., Nuryati S. Z., & Andayani R. D. (2013). "Perencanaan *Portable Crane* Kapasitas 450 Kg". Tugas Akhir, Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
- [5] Popov, E. P. (1989). *Mekanika Teknik*, Edisi kedua, Terjemahan Tanisan, Z. A. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [6] Ulrich, K., & Epingner, S. (2001). *Product Design and Development*. Mc Grawhill , New York.
- [7] V. Dobrovolsky, K. Z. (1978). *Dobrovolsky Machine Element*. Peace Publisher , Moscow.
- [8] Vidosic, J. P. (1964). *Metal Machining and Forming Technology*. Ronald Press Co, New York.