

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MESIN 3D BENDING MANUAL

Ismail Bahtiar; Heri Sudarmaji, S.T, M.T

Program Studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Politeknik Manufaktur Astra

Jl. Gaya Motor Raya No.8, Sunter II, Jakarta Utara 14330, Jakarta

### Abstrak

PT. Astra Otoparts Divisi EDC menjadi pusat untuk *product development*, salah satu proyek yang sedang dikembangkan adalah pembuatan *seat* untuk mobil. Sebelum *mass production* ada fase pembuatan *prototype* untuk kebutuhan verifikasi desain, *testing&durability*. Proses yang paling banyak untuk pembuatan *prototype car seat* adalah proses *bending* dan *stamping*. Karena di EDC belum ada mesin *bending*, maka dibutuhkan sebuah mesin *bending*. Berdasarkan tuntutan desain produk, mesin harus bisa menekuk dengan radius 80 mm untuk diameter pipa 22,2 mm dengan sedikit cacat yang dihasilkan. Untuk pembuatan mesin *bending* ini dibutuhkan beberapa tahapan yaitu *study*, *benchmarking*, *design 3D&2D*, *proses fabrikasi*, *sourcing material & standard part*, *assembly mesin*, *inspection*, *trial*. Di samping itu ada permintaan lain dari EDC, yaitu *low cost*, tidak membutuhkan area yg luas dan *maintenance* yang tidak terlalu rumit. Berdasarkan desain produk dan *tuntutan desain yang ada*, maka dibuat mesin *bending* dengan spesifikasi: maksimum diameter pipa adalah  $\phi 32$  mm, maksimum *bending* radius 100 mm, maksimum sudut *bending* 180 °, *Machine dimension* 1070 x 320 x 948 mm. Mesin *bending* ini bisa diaplikasikan untuk *bending* tipe 2D & 3D dengan metode proses yaitu jig bebas benda kerja fix. Mesin ini menghabiskan biaya sebesar Rp. 24.361.537 untuk proses pembuatannya dan menghasilkan keuntungan investasi sebesar Rp. 127.898.063.

Kata Kunci :

*Car Seat, Bending, Frame unit*

### 1. Pendahuluan

Di *Product Development Engineering (PDE)* ada beberapa bagian yaitu *Engine*, *Exterior/Interior*, dan *Electrical System*. *Product Development Engineering* bertugas sebagai pusat pengembangan produk, salah satu proyek yang sedang dikembangkan saat ini adalah pengembangan *car seat*. Mulai dari *study*, *benchmarking*, *design 3D&2D* hingga pembuatan *prototype*. Pada fase pembuatan *prototype car seat* ini biasanya dilakukan sebelum pembuatan *mass pro* untuk kebutuhan verifikasi desain. Dalam proses pembuatan *prototyping car seat* di EDC menggunakan beberapa proses, yaitu *machining*, *3D printing*, *plastic injektion/composit* atau bisa juga hanya menggunakan *hand tool*

*Car seat* adalah komponen *interior* pada mobil yang berguna untuk memberikan kenyamanan pengemudi/penumpang didalam mobil. *Car seat* itu sendiri terdiri dari beberapa *sub assy*, yaitu *FOAM UNIT*, *SLIDER UNIT*, *FRAME UNIT*, dan. Bagian tersebut tersusun dari komponen-komponen yang di satukan sehingga

menjadi suatu *sub assy*. Lalu komponen terususun atas part-part yang di satukan.

Salah satu komponen pada *FRAME UNIT* yaitu *Frame Back Driver*. Proses fabrikasi yang paling banyak pada *FRAME UNIT* adalah Proses *Bending* dan Proses *Stamping*. Pada proses *bending Frame Back Driver*, *steel pipe/material* di tuntut untuk dapat membengkokkan dengan sempurna dan di kerjakan secara internal dengan material utama *steel pipe*. Oleh karena itu, dengan adanya proses pembengkokkan pada *Frame Back Driver* maka dibutuhkanlah sebuah mesin *bending steel pipe*, agar *prototype frame back driver* bisa diproses secara *internal*, maka perlu adanya pengadaan mesin *bending steel pipe* di EDC.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis merancang dan membuat mesin 3D *bending* Manual pipa

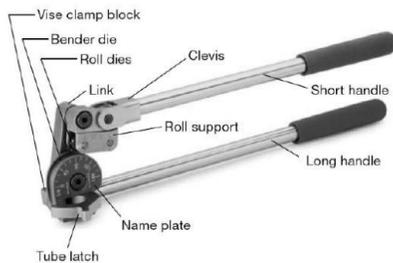
Fokus penelitian ini adalah pada perancangan mesin *manual 3D bending steel pipe* dengan melakukan analisa pada gaya maksimum *bending* yang bekerja pada poros jig serta torsi yang diakibatkan.

Diharapkan pembuatan mesin ini dapat memenuhi tuntutan desain yang sudah ditetapkan sehingga

dapat mendukung project yang sedang dikembangkan di EDC yaitu pembuatan *Car Seat*, serta dapat mengurangi *cost* pengadaan mesin dalam project pengembangan *Car Seat*

## 2. Bending Pipa

*Tube bending* merupakan salah satu proses *bending* yang digunakan untuk menekuk atau membengkokkan sebuah pipa. Pipa yang ditekuk memiliki nilai radius tertentu pada sudut tekuknya. Proses ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan tenaga manual atau tenaga hidrolik dan pneumatik.



Gambar 2. 1 Alat Manual Bending Pipa

Sumber : *Trade of Pipefitting* hal 3

Pada dasarnya alat atau mesin *tube bending* terdiri dari bagian-bagian seperti yang ada pada gambar 2.7.1 *Bender die*, *tube latch*, *roll die*, *clamp block*, *name plate*, dan *handle*. Bagian-bagian tersebut merupakan penyusun utama dari sebuah alat atau mesin bending pipa.

## 3. Data Perancangan

### 3.1 Car Seat

*Car Seat* secara umum tersusun dari beberapa komponen utama (*sub assy*), yaitu *Foam Unit*, *Slider Unit* dan *Frame Unit*. Unit ini tersusun dari beberapa komponen, dan komponen terbentuk dari part-part yang tersusun. Secara umum part-part tersebut dibuat dengan beberapa proses seperti Proses *Bending*, Proses *Stamping* dan Proses *Machining*. Lebih khususnya, proses yang paling dominan adalah Proses *Bending* dan *Stamping*.

#### 3.1.1 Foam Unit

*Foam Unit* merupakan bagian yang paling berpengaruh dalam faktor kenyamanan pengemudi/penumpang. Dan bagian inilah yang membuat *Car Seat*/jok mobil terlihat lebih bagus,

karena bentuk dan desain *styling* tergantung dari bagian ini. Ada 2 Komponen dari bagian ini, yaitu untuk *Back Driver* dan *Bottom Driver*



Gambar 3.1 Foam Unit

#### 3.1.2 Slider Unit

Bertujuan untuk mengatur posisi kenyamanannya pengemudi/penumpang. Teknologi untuk sekarang ini sudah bersifat *memorable*, yaitu *Car Saet/Jok* Mobil bisa menyimpan posisi kenyamanan pengemudi. Jadi tidak perlu *setting* posisi lagi apabila posisi joknya berubah-ubah. Pada bagian ini memiliki 3 komponen yaitu *Slider Right*, *Slider Left* dan *Locking Up down*.



Gambar 3. 2 Slider Unit

#### 3.1.3 Frame Unit

Bagian ini berfungsi sebagai penguat agar *Car Seat*/Jok Mobil tidak mudah berubah bentuk. *Frame* berbahan dasar pipa yang dibentuk hingga sedemikian rupa. Ada 2 komponen yang menyusun bagian ini agar tetap kuat, yaitu *Frame Back Driver* dan *Frame Bottom Driver*. Pada bagian ini proses bending adalah proses yang paling dominan untuk pengerjaannya, serta sedikit proses *welding* untuk proses *assembly*.



Gambar 3. 3 Frame Unit

### 3.2 Studi Banding Desain Mesin Bending

Desain mesin dibuat berdasarkan studi yang dilakukan terhadap beberapa desain mesin bending yang ada di pasaran. Berikut ini adalah desain yang dijadikan acuan:

#### 3.2.1 Mesin Bending 2 Dimensi



Gambar 3. 4 Produk I

##### Spesifikasi Produk I :

1. Pengoperasian secara manual
2. *Clamping die* dicekam menggunakan sistem ulir
3. Sudut Bending 180°
4. Untuk material pipa diameter  $\frac{1}{4}$  sampai  $\frac{3}{4}$  inchi

##### Kelebihan :

1. Ukuran pipa yang akan dibending bisa diganti
2. *Portable*, bisa dipakai dimana saja dengan sistem di baut di meja kerja

##### Kelemahan :

1. Produk tidak bisa digunakan untuk material pipa diameter diatas 25,4 mm



Gambar 3. 5 Produk II

##### Spesifikasi Produk II :

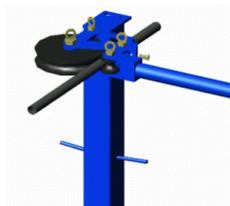
1. Ada busur untuk menunjukkan sudut bending
2. Pengoperasian secara manual
3. Sudut Bending 270°
4. Untuk material pipa diameter  $\frac{3}{8}$  sampai 1 inchi

##### Kelebihan :

Ukuran pipa yang akan dibending bisa diganti

##### Kelemahan :

Produk tidak bisa digunakan untuk material pipa diameter diatas 25,4 mm



Gambar 3. 6 Produk III

##### Spesifikasi Produk III :

1. H-beam material utama sebagai penyangga jig

2. Pengoperasian secara manual
3. Sudut Bending 180°
4. Untuk material pipa diameter  $\frac{1}{4}$  sampai  $\frac{5}{8}$  inchi

##### Kelebihan :

1. Ukuran pipa yang akan dibending bisa diganti

##### Kelemahan :

Produk tidak bisa digunakan untuk material pipa diameter diatas 25,4 mm

#### 3.2.2 Mesin Bending 3 Dimensi



Gambar 3. 1 Produk I

##### Spesifikasi Produk I :

1. Pengoperasian secara otomatis dan menggunakan hidrolik
2. Sudut Bending 270°
3. Sudut diatur menggunakan busur sudut 360°

##### Kelebihan :

1. Ukuran pipa yang akan dibending bisa diameter berapa saja
2. Tidak perlu menggunakan jig bending

##### Kelemahan :

Harga yang sangat mahal



Gambar 3. 2 Produk II

##### Spesifikasi Produk II :

1. Pengoperasian secara otomatis
2. Sudut Bending 270°
3. Tenaga dihasilkan oleh sistem hidrolik

##### Kelebihan :

1. Ukuran pipa yang akan dibending bisa diameter berapa saja
2. Tidak perlu ganti jig bending

##### Kelemahan :

Harga yang sangat mahal

### 3.3 Requirement Mesin Bending

Pembuatan mesin ditujukan untuk *mensupport* projek *development car seat*. Dalam pembuatannya, mesin ini mempunyai tuntutan desain yang di minta

oleh perusahaan. Berikut tuntutan desain yang telah dibuat oleh EDC :

- *Low cost*;
- Bisa membending *steel pipe* maksimal Ø32mm;
- Sudut bending 180° dan bisa bending secara 3D dengan radius max 100 mm
- Bisa dioperasikan oleh operator yang berumur 18 – 40 tahun
- Tidak membutuhkan tempat yang cukup luas
- *Maintenance* yang tidak terlalu rumit
- Dioperasikan secara manual

*Requirement* diatas diminta berdasarkan kebutuhan perusahaan untuk memenuhi fasilitas yang belum ada di EDC.

## 4. Pengolahan Data

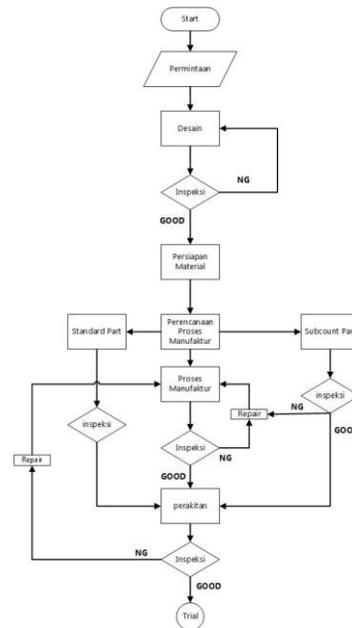
### 4.1 Spesifikasi Mesin Bending

KRITERIA	SPEKIFIKASI
Material	Pipa Besi dan Aluminium
Max. Sudut	180°
Max. Diameter	32 mm
Operasional	Manual
Perawatan	Cukup dilumasi oli
Biaya Pengeluaran	< Rp. 25.000.000
Max. Radius	100 mm
Mekanisme	Chuck assy fix, Jig bending free
Tipe Pembendingan	2 dimensi dan 3 dimensi
Dimensi total	1070 x 320 x 948 mm
Berat Total	±280 kg

Tabel 4. 1 Spesifikasi Mesin

Spesifikasi diatas ditentukan berdasarkan permintaan perusahaan, spesifikasi produk serta diskusi dengan *team Prototyping*, maka di dapatlah spesifikasi tersebut. Untuk dimensi total mesin, penulis berpacuan terhadap data Anthropometri Indonesia dan untuk biaya pengeluaran serta berat total mesin, penulis menentukan berdasarkan jenis material dan *volume part*

### 4.2 Alur Proses Pembuatan Mesin Bending



Gambar 4. 1 Flow Proses Mesin Bending

*Flow Process* diatas menjelaskan runtutan pembuatan mesin bending yang dimulai dari pengambilan data-data sampai proses terakhir yaitu *finish good*. Pada proses desain memerlukan referensi data mesin yang pernah ada dan pernah dibuat, dari situ bisa didapatkan sistem/cara pembendingan pipa dan fungsional mesin bending. Oleh karena itu, penulis akan membahas setiap prosesnya tapi tidak secara detail.

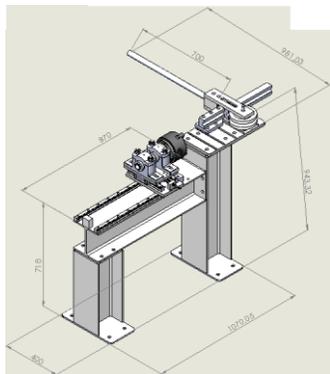
Proses *requirement*, proses ini adalah mengumpulkan data-data spesifikasi produk dan permintaan perusahaan yang sebelumnya sudah dibahas pada *point 3.5.1*. Proses *desain*, mesin ini didesain dengan mengoptimalkan area kerja dan desain ini dibuat berdasarkan data *Anthropometry* sebagai landasan awal. Proses *persiapan meterial* ini dilakukan oleh *team prototyping* dimana setiap part ditentukan untuk pemakaian materialnya. *Perencanaan proses manufaktur*, proses ini terdapat pemilahan untuk part-part mesin bending. Ada 3 kategori dalam pemilahan part, yaitu *standard part*, *part subcount* dan *part manufaktur*.

Lalu proses *perakitan (assembly)*, proses ini adalah proses penyatuan dari semua part mesin. Dalam proses perakitan ini, penulis menggunakan *bolt/nut* dan *mesin welding (las)* untuk menyatukan

part-part mesin. Proses *inspeksi*, proses ini adalah proses pengukuran, apakah ukuran aktual sesuai dengan ukuran yang direncanakan. Hasil dari proses ini berupa data ukuran aktual, yang mana nanti diketahui besar penyimpangannya. Proses *trial* dilakukan secara *internal* dan menggunakan beberapa percobaan. Hasil dari trial berupa data-data fungsional mesin dan kualitas produk

Disini penulis akan lebih fokus pada proses pembuatan dan penghitungan gaya yang diterima oleh *poros jig bending*. Setelah itu lanjut ke trial produk dan lalu membuat SOP mesin.

### 4.3 Desain Mesin Bending

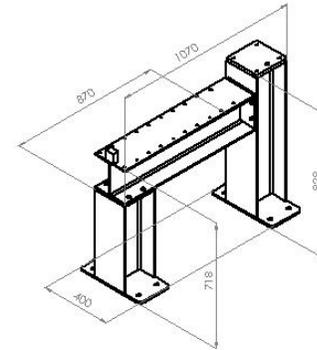


Gambar 4. 2 Desain Mesin 3D Bending Manual

Mesin ini didesain dengan *jig* untuk membending, *chuck* untuk *centering steel pipe* dan *H Beam* sebagai kerangka utama. Dalam desain mesin ini, penulis membagi menjadi 3 bagian, yaitu *Frame Unit*, *Slider Unit*, dan *Jig Unit* untuk mempermudah penulis membahas unit per unitnya

#### 4.3.1 Frame Unit

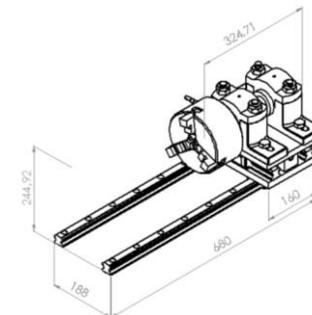
*Frame Unit* didesain dengan 2 kaki yang berguna sebagai penyangga utama mesin. Lalu ada 1 penghubung antar kaki yang nantinya berguna sebagai tempat *slider unit*. Kaki ini cukup dan nantinya akan ditanam didasar menggunakan *dyna bolt*.



Gambar 4. 2. 1 Desain *Frame Unit*

#### 4.3.2 Slider Unit

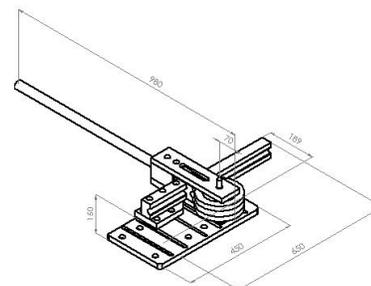
*Slider unit* ini berfungsi sebagai *adjuster*, *centering*, dan juga sebagai *temp chuck* yang nantinya berguna sebagai pemutar sudut 3D. *Slider unit* dilengkapi busur sudut untuk menunjukkan sudut yang akan di bending. Fungsi *slider* sendiri adalah untuk *adjuster material steel pipe* agar tetap *center* dengan *jig unit*.



Gambar 4. 2. 2 Desain *Slider Unit*

#### 4.3.3 Jig Unit

*Jig unit* terpasang pada penyangga utama, dimana *jig* ini bisa berputar hingga 360° jika tidak menggunakan *handle*. *Handle* berguna sebagai pemutar *jig* yang nantinya akan membengkokkan *steel pipe*. Di *jig unit* terdapat *wipper die*.



Gambar 4. 2. 3 Desain *Jig Unit*

#### 4.4 Perencanaan Proses Manufaktur

Proses ini bisa dibilang adalah proses pengelompokan antara *part subcont*, *standard part* dan *part manufaktur*. *Part Subcount* ialah part yang sudah didesain 3D maupun gambar 2D tetapi proses manufakturnya dikerjakan di luar EDC. *Standartd Part* ialah part yang sudah ada dipasaran dan sudah ada standardnya serta tidak perlu di proses manufaktur kembali. *Part Manufaktur* ialah part yang dikerjakan secara internal didalam PTO sendiri.

Material part-part tersebut pada umumnya adalah SKD11 dan SS400 dan dalam proses pengerjaannya dominan menggunakan mesin CNC. Dalam proses pengerjaannya, paling banyak adalah *proses frais* dan *proses turning* sisanya hanya melengkapi proses-proses yang ada. Pengelompokan part ini bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat dalam proses pengerjaannya.

##### 4.4.1 Proses Assembly

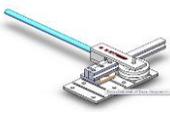
Proses *Assembly* adalah proses perakitan/penyatuan. Proses perakitan dalam pembuatan mesin bending, lebih banyak menggunakan sistem *blot/nut*. Ada pula proses perakitannya menggunakan mesin, yaitu mesin *welding* yang diperlukan dalam proses *assembly Frame Unit*.

Dalam proses *assembly* ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar aktualnya sesuai dengan perencanaannya. Hal yang harus diperhatikan yaitu :

- Kerataan  
Ditujukan agar 2 kaki utama mesin mempunyai ketinggian yang sama, dan tidak timpang.
- *Centering*  
*Centering* berfungsi agar *sub assy slider unit* dengan *sub assy jig unit* satu sumbu.
- Kesejajaran  
Agar 2 kaki penyangga utama mesin tidak saling menyimpang satu sama lain.
- Ketegaklurusan  
Ditujukan untuk setelah jadi sebuah mesin, mesin tidak miring atau mempunyai sudut penyimpangan dengan base.

#### 4.5 Part Manufaktur

Proses ini dilakukan di 2 tempat, yaitu di PTO dan di *suplier* dan pengerjaan dibagi menjadi 3 unit yang berupa *sub assy*. Dalam proses pengerjaannya, mesin di kerjakan berdasarkan part-part per unitnya. Berikut data dimensi dan material per unitnya :

Frame Unit		
	1054x400x828	H - beam
Slider Unit		
	681.5x356x245	FH type & SS400
Jig Unit		
	650x340x180	SKD11 & SS400

Tabel 4. 2 Dimensi dan Material *sub assy*

Proses permesinan dilakukan menggunakan CNC Deckel Maho V Linear dan Mesin *Turning* yang sudah dimiliki oleh EDC. Dimensi total dari mesin didapatkan dari data antrhopometri yang sudah dibahas sebelumnya.

#### 4.6 Bill Of Material

Proses penghitungan *bill of material* ini ditinjau dari harga mesin per jam dan harga material . Harga mesin per jam di EDC sudah termasuk harga operator per jam. Dalam pembuatan ini, penulis tidak memasukan biaya *repair*, karna biaya *repair* di lakukan sendiri.

$$\text{Mesin} = \text{frame unit} + \text{slider unit} + \text{jig unit}$$

$$\text{Mesin} = \text{Rp. } 3.771.500 + \text{Rp. } 9.958.000 + 9.654.037$$

$$\text{Mesin} = \text{Rp. } 23. 383. 537$$

Biaya diatas belum termasuk biaya *repair*, yang sudah diketahuui biaya *repair* sebesar Rp. 978.000,00. Semua perincian biaya dapat di lihat di Lampiran 2. Berikut perhitungan total biaya untuk pembuatan mesin bending adalah :

$$Mesin = Rp. 23.383.537 + Rp. 978.000$$

$$Mesin = Rp. 24.361.537$$

#### 4.7 Perhitungan Gaya

##### 4.7.1 Bending Force

$$F = \frac{2 \cdot I \cdot S}{d_0 \cdot a}$$

- Moment inersia penampang pipa :

$$I = \frac{\pi(d_0^4 - d_1^4)}{64}$$

$$I = \frac{3.14((22,2^4) - (19^4))}{64}$$

$$I = 5522,98 \text{ mm}^4$$

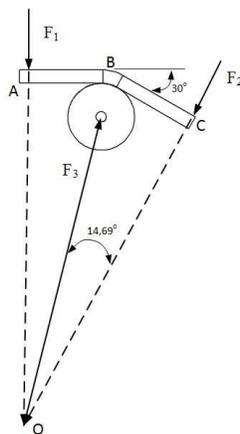
- Jadi gaya bending (*Bending Force*), yaitu :

$$F = \frac{2 \cdot I \cdot S}{d_0 \cdot a}$$

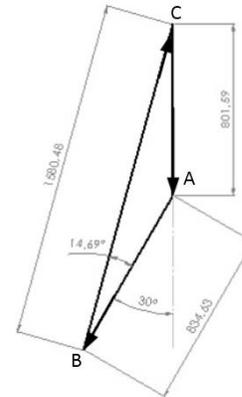
$$F = \frac{2 \cdot (5522,98)(520)}{(22,2)(310)}$$

$$F = 834,6264 \text{ N}$$

##### 4.7.2 Gaya yang diterima Poros



Gambar 4.3 Analisa Gaya



Gambar 4. 28a Langkah ketiga

Jadi, besar gaya yang diterima oleh poros yang di akibatkan oleh pergerakan *handle* untuk proses penekukan sebesar **1580,48 N**.

##### 4.7.3 Torsi

$$T = F \cdot a$$

- Torsi yang terjadi

$$T = F \cdot a$$

$$T = \frac{834,6264 \text{ N} \times 310 \text{ mm}}{1000}$$

$$T = 258,7342 \text{ Nm}$$

Selanjutnya, dikarenakan gaya bending yang sangat besar maka penulis mengkategorikan proses bending ini sebagai kerja sangat berat dan dilakukan sesekali. Dalam pengklasifikasiannya, kerja berat dilakukan sesekali mengerahkan kekuatan sebesar 22,2 kg. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut ;

$$\ell = \frac{T}{F_l}$$

- Gaya Lengan Ideal

$$F_l = m \cdot g$$

$$F_l = 22,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_l = 217,782 \text{ N}$$

- Panjang *Handle* Ideal

$$\ell = \frac{T}{F_l}$$

$$\ell = \frac{258,735 \text{ Nm}}{108,891 \text{ N}}$$

$$\ell = 2,38 \text{ m}$$

Jadi, untuk memenuhi *safety* yang diharuskan untuk melakukan proses penekukan material *steelpipe* dengan torsi sebesar **258,735 N** maka, idealnya panjang *handle* yang seharusnya dirancang

adalah 2,38 m dimana dengan standar beban yang dikerahkan oleh operator sebesar 108,891 N. Namun, panjang *handle* dapat diperpendek dengan resiko beban gaya yang dikerahkan oleh operator lebih besar dan masuk dalam kategori kerja sangat berat dilakukan sesekali dimana operator mengerahkan kekuatan sebesar 22,2 kg.

## 4. Pengujian dan Standar Operasional

### 4.1 Pengujian Mesin 3D bending Manual

Dalam pembuatan hal sesuatu tentu tidak lupa akan fungsi dan kegunaannya tanpa melalui pengujian terlebih dahulu. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, pegujian merupakan prosedur/proses untuk mengetahui mutu/kualitas sesuatu. Dalam pengujian ini, bahan yang diuji adalah sebuah Mesin 3D Bending Manual.

Dalam proses pengujian ini penulis hanya menguji dari sisi fungsional dari mesin dan kualitas produk yang dihasilkan mesin. Secara garis besar untuk fungsional mesin ini adalah bisa untuk membengkokkan material pipa secara 2 dimensi dan secara 3 dimensi. Lalu untuk pengujian kualitas produk adalah hasil dari tekukan mesin yang mengkerut, patah dan robek.

Namun ada beberapa titik *point* penting yang dapat dikatakan titik kritis dalam pengujian secara fungsional dan kualitas produk mesin, yaitu :

#### 4.1.1 Fungsional

##### • Sudut Bending

Secara fungsional sudut bending berfungsi sempurna, tetapi proses penekukan operator harus melebihi sudut bending. Misalkan operator membaca *drawing* sudut penekukannya sebesar 90<sup>0</sup> tetapi dalam aktual prosesnya operator harus melakukan proses penekukan dengan sudut lebih dari 90<sup>0</sup>.

##### • Centering Chuck

*Centering chuck* bertujuan agar material, *jig* dan *chuck* benar-benar pada satu garis lurus atau satu sumbu. Posisi ini memang tidak berpengaruh dalam kualitas produk, namun secara fungsional *centering*

*chuck* ini sebagai *adjuster* materil terhadap *jig* dan *chuck*. Pada gambar 5.5 posisi tidak *center* antara *jig*, material dan *chuck*. Ini akan menyebabkan material tidak terkunci oleh *chuck* secara sempurna, bila material tidak terkunci sempurna maka, proses bending tidak bekerja secara maksimal.

### 4.1.2 Kualitas Produk

#### • Penekukan Produk 2 Dimensi

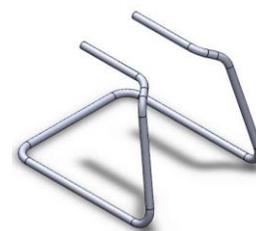
Dalam proses pembendingan 2 dimensi ini ada 2 metode yang digunakan, dimana metode tersebut berhubungan dengan benda kerja dan *wipper jig*. Alasan mengapa diambil 2 metode ini supaya mendapatkan hasil produk yang diinginkan.

		Benda Kerja	
		Fix	Bebas
Jig	Fix		produk cacat dan proses bending kurang sempurna
	Bebas	produk tanpa cacat dan terjadi sedikit deformasi	

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Bending 2 Dimensi

#### • Penekukan Produk 3 Dimensi

Setelah didapatkan metode penekukan 2 dimensi, selanjutnya melakukan pengujian terhadap penekukan produk 3 dimensi. Dalam proses penekukan 3 dimensi, dibuatkan produk untuk simulasi penekukan 3 dimensi yaitu *chair* (kursi). Di percobaan ini, penulis menjabarkan dari mulai desain produk percobaan, arah tekukan, sudut dan putaran bending, serta posisi *jig*. Berikut ini adalah desain produk untuk melakukan simulasi penekukan 3 dimensi :



Gambar 5. 1 Desain produk percobaan penekukan 3 dimensi

## 4.2 Evaluasi Desain Mesin 3D Bending Manual

### 4.2.1 Kelebihan

- Biaya produksi yang sangat murah ;
- bisa penekukan model 2 dimensi dan 3 dimensi
- kualitas produk yang minim akan cacat ;
- sudut bending maksimal  $270^0$  ;
- ukuran produk minimal  $770\text{ mm} \times 306\text{ mm}$  untuk model 2 dimensi dan  $770\text{ mm} \times 306\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  untuk model 3 dimensi

### 4.2.2 Kekurangan

- Gaya pembendingan terlalu besar untuk manual
- Penyimpangan sudut sudut  $6^0$
- Cycle time* terlalu lama, butuh 5-10 menit untuk 1 kali penekukan model 2 dimensi
- Terlalu banyak step untuk 1 kali penekukan

## 4.3 NQI (*Net Quality Income*)

- Harga Mesin 3D Bending = Rp. 24.001.537
- Masa Kerja Mesin 3D Bending = 5 tahun
- Rata-rata/jam Mesin 3D Bending = 5 jam/hari
- Pengembalian Modal = 6 bulan (960 jam)

### 1. Harga Mesin per Jam

$$\text{Harga Mesin}/\text{Jam} = \frac{\text{Harga Mesin}}{\text{Pengembalian Modal}}$$

$$\text{Harga Mesin}/\text{Jam} = \text{Rp. } 25.001,60$$

### 2. Biaya Produksi Mesin

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Harga Mesin} \times \text{Masa Mesin}$$

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Rp. } 150.009.606,25$$

### 3. Keuntungan

$$\text{Keuntungan} = \text{Biaya Produksi} - \text{Harga Mesin}$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Rp. } 126.008.069,25$$

Jadi, total asumsi keuntungan EDC dalam pengadaan Mesin 3D Bending Manual yaitu sebesar **Rp. 126.008.069,25**. Dimana dengan harga operasi untuk Mesin 3D Bending Manual ini adalah sebesar **Rp. 25.001,60** per jam dan biaya produksi untuk Mesin 3D Bending Manual sebesar **Rp.2.500.160,10** per bulan selama 5 tahun.

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

- Secara fungsional Mesin 3D Bending Manual berfungsi dengan baik sesuai tuntutan desain.
- Penyimpangan sudut yang terjadi akibat *springback* sebesar  $6^0$ .
- Dalam proses penekukan benda kerja harus dalam keadaan *fix* dan *wipper jig* harus dalam keadaan bebas.
- Besar gaya yang diterima oleh poros sebesar **834,63 N**
- Keuntungan dalam pengadaan Mesin 3D Bending Manual sebesar **Rp. 126.008.069,25**.

### 5.2 Saran

- Dengan gaya sebesar **263,75 N** dan panjang *handle* **0,981 m** maka idealnya *handle* diperpanjang menjadi **2,38 m** agar beban yang di kerahkan oleh operator sebesar **108,891 N** atau dengan melakukan *improvement* penambahan hidrolis/roda gigi sebagai pemberi gaya bending.
- Pengoptimalan *cycle time* dengan mengurangi step pembendingan.
- Penambahan alat untuk membantu *centering* benda kerja dan kesejajaran benda kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sularso, Kiyokatsu, 2008. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Kresna Prima Persada
- Ulrich, Eppinger, 2001. *Product Design and Development*. Austin: The University of Texas
- Dieter, Linda C. Schmidt. 2009. *Engineering Design*. Fourth Edition: Singapore.
- Budynass, Nisbett Shigley's, 2008:6 *Mechanical Engineering Design*. Eight Edition
- J.L. Meriam, L.G Kraige, 2002. *Engineering Mechanics Statics*. Fifth Edition. United States of America: Virginia Polytechnic Institute and State University.