

# Pengkajian Mesin *Coil Forming* Potter Rayfield and James dengan Metode *Reverse Engineering*

Chaidir Ilham El Malik<sup>1</sup>, Tria Mariz Arief<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : chaidir.ilham.tpkm16@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : tria@polban.ac.id

## ABSTRAK

Mesin *coil forming* adalah alat bantu produksi pembentuk *coil* untuk motor listrik dan generator. Mesin tersebut berfungsi untuk mengubah bentuk *coil* yang oval menjadi bentuk *diamond*. Mesin yang dikaji pada penelitian ini adalah mesin *coil forming* Potter Rayfield and James dengan model 48/GEAR/IP/RCW/IRJ *Coil Spreader*. Pengkajian ini dimaksudkan sebagai referensi dalam pengembangan produk *existing* yang serupa. Metode yang digunakan dalam pengkajian mesin ini menggunakan metode *reverse engineering*. Metode tersebut terdiri dari enam tahap, yaitu; identifikasi tujuan; pembedahan secara mekanik; pengkajian fungsi; pengkajian material; pengkajian manufaktur; serta evaluasi produk *existing*. Hasil pengkajian produk *existing* ini berupa spesifikasi mesin, serta hasil evaluasi yang berupa *safety factor*. Dengan tekanan sistem yang berjalan pada 7 bar, mesin *coil forming* memiliki *safety factor* yang berbeda-beda disetiap proses pembentukan *coil*. *Safety factor* terkecil terjadi pada proses mendorong *coil* oleh mesin, yaitu sebesar 1.28.

### Kata Kunci

*Coil Forming, Coil Spreader, Diamond Coil, Reverse Engineering, Stator*

## 1. PENDAHULUAN

Motor listrik dan generator merupakan mesin listrik yang memiliki kesamaan secara konstruksi, yaitu terdapatnya rotor dan stator. Stator yang terdapat pada motor listrik berfungsi sebagai penyedia medan magnet agar rotor berputar, sedangkan pada generator, stator berfungsi sebagai pengubah medan magnet yang berputar menjadi arus listrik. Di dalam stator terdapat salah satu komponen yang dinamakan *coil*.

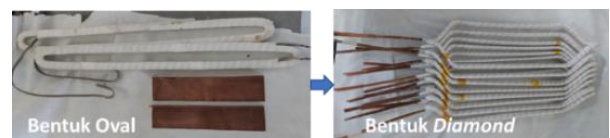
*Coil* adalah struktur geometris yang terdiri dari satu atau beberapa konduktor berinsulasi listrik, yang menghasilkan medan listrik ketika arus mengalir, atau mendeteksi medan magnet dengan mengukur tegangan yang diinduksi [1]. Struktur geometris tersebut salah satunya dihasilkan dari proses *forming* atau *shaping*.

Proses *forming* tersebut bertujuan untuk mengubah bentuk *coil* dari bentuk *oval* (*loop*), menjadi bentuk *diamond*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tentunya proses *forming* tidak seluruhnya diterapkan untuk setiap jenis *coil*. *Coil* yang melalui proses *forming* atau *shaping*, umumnya digunakan pada generator atau motor listrik yang beroperasi pada arus tinggi.

Proses *forming* tersebut, sesuai dengan namanya menggunakan mesin *coil forming*. Salah satu perusahaan yang memproduksi mesin listrik di Jawa

Barat, menggunakan mesin *coil forming* Potter Rayfield & James dengan model 48/GEAR/IP/RCW/IRJ *Coil Spreader*. Pada mesin tersebut, beberapa komponen mengalami kerusakan akibat umur mesin yang cukup lama ( $\pm 40$  tahun), lalu proses pembentukan *coil* pada mesin memerlukan pengaturan manual yang tidak sedikit, serta pengoperasian yang dilakukan harus sistematis, jika tidak, bentuk *diamond coil* tidak akan tercapai.

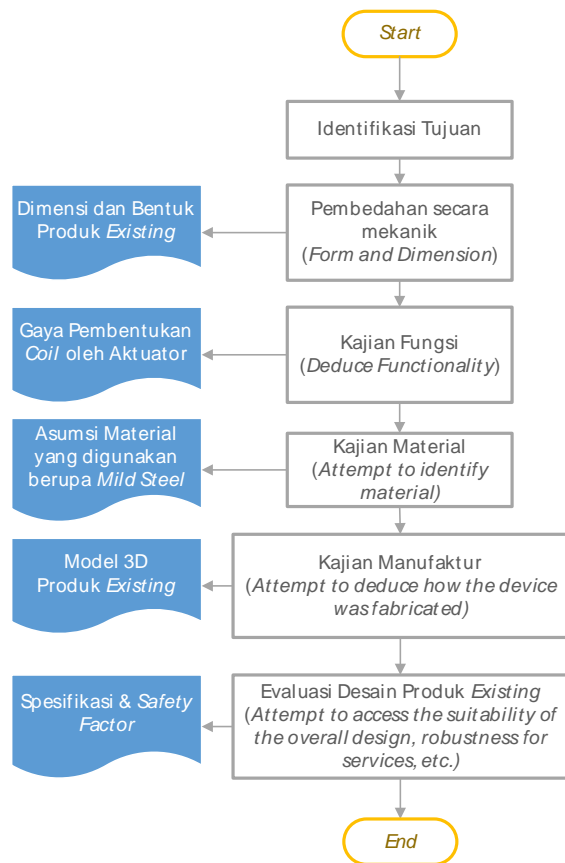
Berangkat dari kendala yang terdapat pada mesin tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menelaah lebih dalam beberapa informasi penting yang tidak tersedia di lapangan [2], seperti: komponen utama; spesifikasi; serta *safety factor* pada mesin tersebut. Dengan demikian, hasil penelitian yang diperoleh dapat digunakan sebagai referensi dalam proses rekayasa ulang atau pengembangan mesin tersebut, sehingga kendala yang terdapat pada mesin dapat diatasi dengan proses atau usaha yang dilakukan.



Gambar 1. *Coil* bentuk oval (kiri) dan *coil* bentuk *diamond* (kanan)

## 2. METODOLOGI

Proses pengkajian produk *existing* dengan metode rekayasa ulang, merujuk pada teknik *reverse engineering* Robert W. Messler. Teknik tersebut meliputi: identifikasi tujuan; pembedahan secara mekanik (bongkar), observasi, pengukuran, analisa data; menyimpulkan fungsi dari produk; berupaya mengidentifikasi material; berupaya menyimpulkan keterbuatan serta keterakitan produk; serta mencoba menilai produk, salah satunya dari aspek ketangguhan penggunaan [3]. Alur dari proses pengkajian produk *existing* dengan metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur penerapan metode *reverse engineering* pada pengkajian produk *existing* [3]

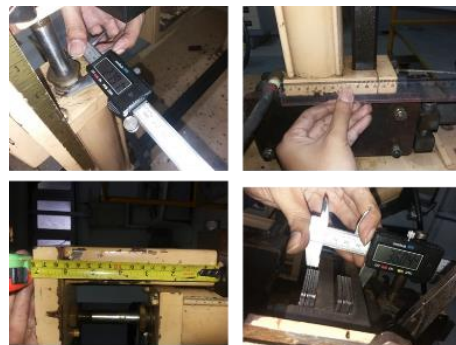
Namun, tentu saja beberapa langkah yang ada pada metode tersebut tidak dilakukan sepenuhnya, dikarenakan proses pengkajian produk *existing* di lapangan sangat dibatasi. Pembedahan secara mekanik dan identifikasi materialpun dilakukan dalam keterbatasan, hal ini mengikuti protokol penelitian berdasarkan kebijakan perusahaan. Walaupun kedua hal tersebut tidak dilakukan sepenuhnya, teknik observasi serta pengukuran, sangat efektif dalam mendapatkan data dari produk *existing*, sehingga produk *existing* dapat dimodelkan.

### 2.1 Identifikasi Tujuan

Identifikasi tujuan pada penelitian berfungsi untuk menegaskan serta menjadi pedoman agar penelitian dapat fokuskan. Tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mendapatkan informasi terkait komponen, spesifikasi, dan *safety factor* produk *existing*.

### 2.2 Pembedahan Secara Mekanik

Pembedahan secara mekanik yang dilakukan pada penelitian ini, meliputi observasi bentuk serta pengukuran. Khusus untuk observasi bentuk, tidak sepenuhnya dilakukan pembongkaran secara fisik. Melalui observasi visual secara mendalam terkait bentuk yang dimiliki mesin, bukan hanya data bentuk luar saja yang dapat diambil, tetapi bentuk bagian dalam dari suatu komponen pada produk *existing* dapat diperkirakan. Begitu pula dengan proses pengukuran, pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini, dilakukan pada bagian-bagian yang memungkinkan untuk diukur tanpa membongkar mesin tersebut. Meskipun demikian, terdapat beberapa ukuran-ukuran dalam yang tak terukur, ukuran tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan ukuran luar yang dapat dijangkau. Gambar 3, menunjukkan beberapa proses pengukuran yang dilakukan pada produk *existing*.



Gambar 3. Pengukuran pada beberapa komponen pada produk *existing*

### 2.3 Kajian Fungsi

Kajian fungsi yang dilakukan pada penelitian ini, meliputi kajian fungsi utama pada mesin hingga fungsi bagian pada mesin.

### 2.4 Kajian Material

Kajian material yang dilakukan pada penelitian ini hanya dilakukan secara sentuhan dan visual, sehingga material tidak dapat dipastikan benar data teknisnya. Meskipun begitu, kajian material pada metode ini bersifat *attempt* atau mencoba, sehingga material yang dikaji dapat diperkirakan dengan upaya lain seperti perhitungan mekanika kekuatan material.

## 2.5 Kajian Manufaktur

Kajian manufaktur pada metode ini, menitik beratkan pada histori proses manufaktur, serta proses keterakitan dari produk *existing* yang dikaji. Dengan kajian-kajian yang sebelumnya dilakukan, ditambah dengan kajian manufaktur, model 3D dari produk *existing* dapat dibuat dengan informasi yang didapat.

## 2.6 Evaluasi Produk Existing

Evaluasi atau penilaian yang dilakukan terhadap suatu produk dapat bermacam-macam. Pada penelitian kali ini, evaluasi yang dilakukan ditinjau dari *robustness for services* yang berupa *safety factor* atau *factor of safety* produk *existing*.

*Safety factor* atau *factor of safety* adalah rasio dari beban yang diizinkan dengan beban yang mengakibatkan kegagalan [4].

*Safety factor* yang terdapat pada mesin *coil* Potter Rayfield & James, bergantung pada mekanisme yang dijalankannya. Mekanisme yang terdapat pada mesin sama halnya dengan fungsi bagian yang dimiliki mesin, yaitu terdapat mekanisme pencekaman, pembentangan, pemuntiran, dan pendorongan ekor atau kepala *coil*. Sehingga penilaian *safety factor* didasarkan pada masing-masing keadaan tersebut.

### 2.6.1 Perhitungan Gaya dan Torsi Pembentukan Diamond Coil

Perhitungan gaya dan torsi pembentukan *coil* hanya dihitung dari proses yang mengubah bentuk *coil* menjadi bentuk *diamond*. Proses tersebut di antaranya adalah proses pembentangan, pemuntiran dan pendorongan. Pada proses tersebut, *coil* dipaksa untuk berubah bentuk secara plastis. Hasil dari perhitungan gaya dan torsi tersebut, digunakan untuk menghitung tegangan secara statik, sehingga didapatkan *safety factor* yang terjadi pada setiap proses pembentukan *coil*.

Untuk proses pembentangan, gaya yang dibutuhkan mesin dapat dihitung dengan persamaan 1 [5].

$$F_{PB} = b \cdot h_2 \cdot Y \cdot (L_{PM})^{-1} \#(1)$$

Dengan notasi:

$F_{PB}$  = Gaya pembentangan *coil* (N)

$b$  = lebar penampang *coil* maksimal (mm)

$h$  = tinggi penampang *coil* maksimal (mm)

$Y$  = *Yield strength coil* (MPa)

$L_{PM}$  = Panjang *coil max.* untuk pembentangan (mm)

Untuk proses pemuntiran, torsi yang dibutuhkan mesin dapat dihitung dengan persamaan 2 [6].

$$T_{PM} = \tau_y \cdot c_1 \cdot b_T \cdot a_T^{-2} \#(2)$$

Dengan notasi:

$T_{PM}$  = Torsi pemutiran *coil* (N.mm)

$\tau_y$  = *Shear strength* (MPa)

$c_1$  = Koefisien torsi batang persegi

$b_T$  = Tinggi penampang *coil* maksimal (mm)

$a_T$ : Lebar penampang *coil* maksimal (mm)

Untuk proses pendorongan, gaya yang dibutuhkan mesin dapat dihitung dengan persamaan 3 [5].

$$F_{PD} = b \cdot h_2 \cdot Y \cdot (L_{PD})^{-1} \#(3)$$

Dengan notasi:

$F_{PD}$  = Gaya pembentangan *coil* (N)

$B$  = lebar penampang *coil* maksimal (mm)

$H$  = tinggi penampang *coil* maksimal (mm)

$Y$  = *Yield strength coil* (MPa)

$L_{PD}$  = Panjang *coil max.* untuk pendorongan (mm)

### 2.6.2 Analisa Safety Factor Setiap Proses Pembentukan Coil

Perhitungan *safety factor* keseluruhan proses pembentukan *diamond coil*, dilakukan dengan metode elemen berhingga menggunakan *software*.

## 3. HASIL

Hasil yang menjadi target utama pada penelitian ini adalah spesifikasi dan *safety factor* dari produk *existing*.

### 3.1 Diameter Bore Aktuator dan Gaya yang Dihasilkan

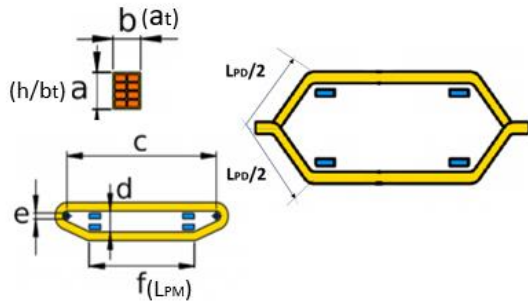
Proses pengukuran di lapangan yang terbatas, membuat proses pengukuran aktuator perlu ditentukan dengan cara lain. Salah satu cara untuk mendapatkan ukuran penting seperti diameter *bore*, diperoleh dengan mencocokkan data hasil pengukuran pada bagian yang diukur, dengan standar yang ada. Tabel 1 menunjukkan hasil pencocokan pengukuran dengan ukuran standar, kemudian didapatkan data gaya yang dihasilkan pada setiap aktuator.

Tabel 1. Ukuran diameter *bore* pencocokan dan gaya yang dihasilkan setiap aktuator pada tekanan 7 bar.

Mekanisme	OD (mm)	ID (mm)[7]	Gaya (N)
Pencekaman	57	50	1374.45
Pembentangan	120	105	6061.31
Pemuntiran	80	70	2693.92
Pendorongan	70	60	1979.21

### 3.2 Gaya dan Torsi Pembentukan *Diamond Coil*

Data variabel yang peroleh yaitu:  $b = 20$  mm;  $h = 40$  mm;  $Y = 33.30$  Mpa [8];  $L_{PM} = 725.4$  mm;  $L_{PD} = 657.11$  mm;  $\tau_y = 16.65$  Mpa;  $c_1 = 0.18$ ;  $b_t = 40$  mm; dan  $a_t = 20$  mm. Gambar 4 menunjukkan variabel geometris yang dimiliki *coil*.



Gambar 4. Variabel geometris *coil* [9].

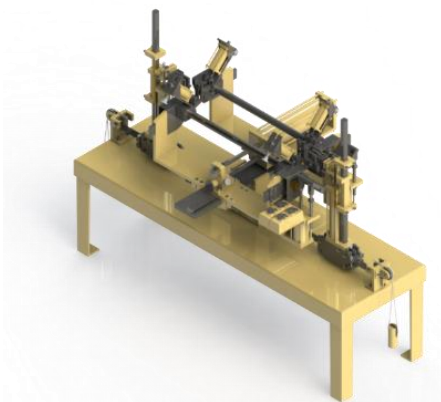
Dengan data tersebut, gaya dan torsi yang dibutuhkan untuk pembentukan *diamond coil* dapat dikalkulasikan. Hasil kalkulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Gaya dan torsi pembentukan *diamond coil*.

Mekanisme	Gaya (N)	Torsi (N.mm)
Pembentangan (setengah <i>coil's loop</i> )	1,468.98	-
Pemunitiran	-	96,170.4
Pendorongan	1,621.65	-

### 3.3 Model 3 Dimensi Produk *Existing*

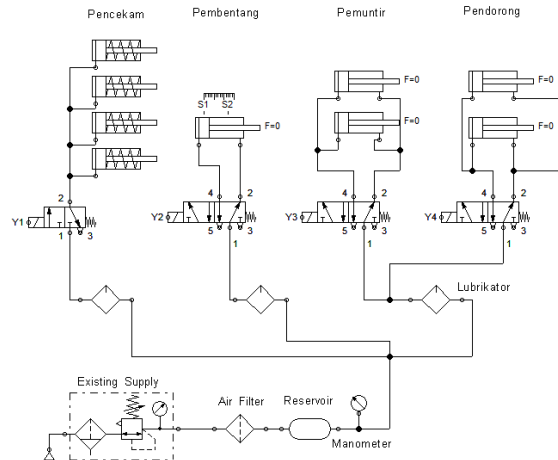
Informasi serta data-data yang diperoleh dari berbagai kajian yang dilalui, dapat diwujudkan kedalam bentuk model 3D. Model 3D, berguna untuk mendapatkan data spesifikasi yang kompleks, serta digunakan pula untuk analisa metode berhingga dengan menggunakan *software CAE*.



Gambar 5. Hasil *rendering* model 3D mesin *coil forming* Potter Rayfield & James.

### 3.4 Rangkaian Sistem Pneumatik Mesin

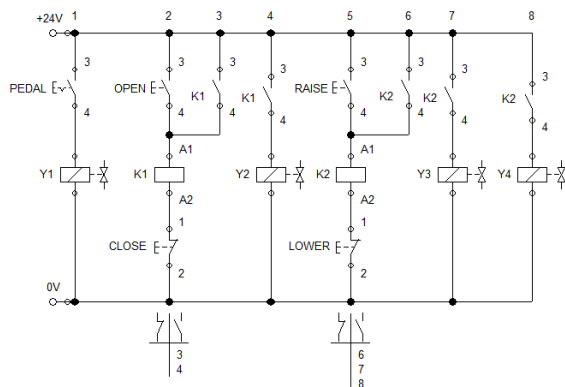
Sistem atau komponen-komponen pneumatik yang tidak direpresentasikan kedalam model 3D, dibuat kedalam bentuk rangkaian. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian sistem pneumatik mesin.

### 3.5 Rangkaian Sistem Elektrik Mesin

Sama halnya dengan sistem pneumatik mesin, sistem elektrik mesin direpresentasikan kedalam bentuk rangkaian-rangkaian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



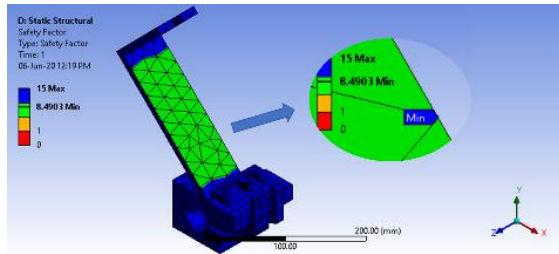
Gambar 7. Rangkaian elektrik mesin.

### 3.6 Safety Factor

*Safety factor* yang didapatkan berdasarkan proses pembentukan *diamond coil*, dimulai dari proses pengecaman *coil*, hingga proses pendorongan *coil*.

#### 3.7.1 *Safety Factor* Pada Proses Pengecaman

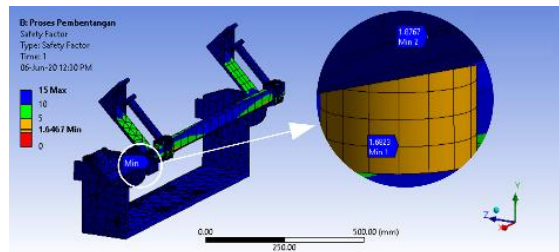
Analisa *safety factor* yang dilakukan pada satu komponen pengecam, dapat mewakili komponen pengecam lainnya. Gambar 8 menunjukkan *safety factor* yang terjadi pada pengecam.



Gambar 8. *Safety factor* yang terjadi pada pencekam pada proses pencekaman.

### 3.7.2 *Safety Factor* Pada Proses Pembentangan

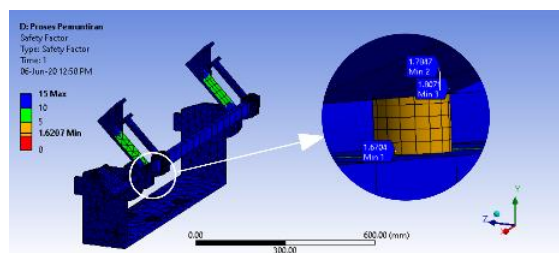
Untuk proses pembentangan, analisa *safety factor* difokuskan pada komponen-komponen yang terlibat langsung, termasuk komponen pencekam. Gambar 9, menunjukkan *safety factor* yang terdapat pada proses pembentangan.



Gambar 9. *Safety factor* komponen pembentang pada proses pembentangan.

### 3.7.3 *Safety Factor* Pada Proses Pemuntiran

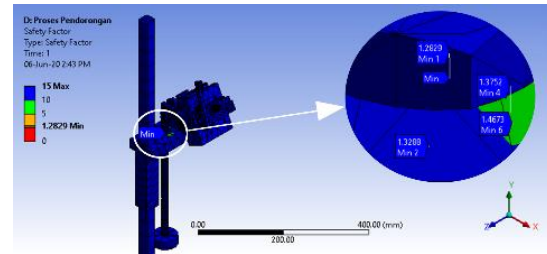
Sama halnya dengan proses pembentangan, analisa *safety factor* difokuskan pada komponen yang terlibat langsung. Momen (torsi) reaksi hasil perhitungan pada proses pembentangan *coil* sebesar 96,170.4 N.mm diterapkan pada geometri yang terlibat. Untuk *safety factor* pada proses pemuntiran ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. *Safety factor* komponen pemuntir pada proses pemuntiran.

### 3.7.4 *Safety Factor* Pada Proses Pendorongan

Gaya perhitungan pada proses pendorongan *coil* diterapkan pada geometri yang terlibat sehingga *safety factor* dapat dihitung. Gambar 11, menunjukkan *safety factor* yang terjadi pada proses pendorongan.



Gambar 11. *Safety factor* komponen pendorong pada proses pendorongan.

### 3.7.5 *Safety Factor* Minimal Keseluruhan Proses

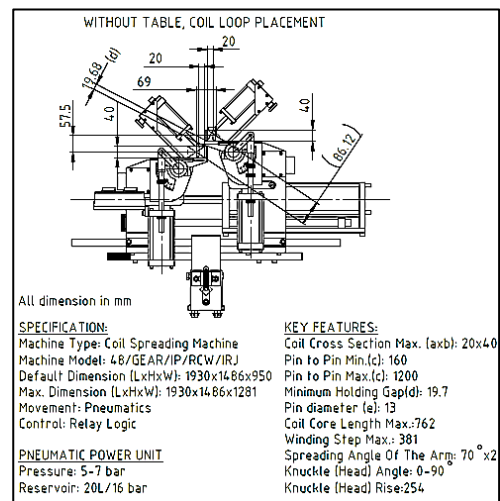
Tabel 3 menunjukkan *safety factor* minimal yang terjadi untuk setiap proses pembentukan *diamond coil* pada mesin.

Tabel 3. *Safety factor* minimal keseluruhan proses.

Mekanisme	<i>Safety Factor</i>
Pencekaman	8.49
Pembentangan	1.65
Pemuntiran	1.62
Pendorongan	1.28

## 3.7 Spesifikasi Mesin

Setelah keseluruhan kajian dilalui, spesifikasi serta beberapa data teknis mesin dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Spesifikasi mesin *coil forming* Potter Rayfield & James.

## 4. PEMBAHASAN

Dengan spesifikasi yang didapatkan, mesin dapat memproses *coil* dengan penampang maksimal 20 mm x 40 mm (lebar x tinggi), sedangkan untuk panjang *loop* maksimal yang dapat dimuat adalah 1200 mm. Dengan catatan tekanan yang digunakan adalah 7 bar.

*Coil* dapat dibentangkan oleh mesin hingga 381 mm (*winding step max*). Untuk sudut puntir yang dapat diproses mesin (*spreading angle of the arms*) adalah  $70^\circ \times 2$ . Dan maksimal pendorongan ekor atau kepala *coil* (*knuckle head rise*) yang dapat diproses oleh mesin adalah 254 mm dengan sudut maksimal  $90^\circ$  (*knuckle head angle*).

Tekanan kerja yang dapat diproses oleh sistem pneumatik mesin adalah 5 sampai dengan 7 bar, namun karena berbagai kendala yang terjadi pada mesin tersebut, tekanan kerja mesin tersebut dibatasi hanya untuk *coil* yang dapat diproses dengan tekanan 5 bar pada saat penelitian berlangsung.

Aktuator yang digunakan pada sistem pneumatik tersebut terdiri dari dua jenis, yaitu *single acting* dan *double acting*. Untuk aktuator *single acting* hanya digunakan pada komponen pencekam, sedangkan komponen lainnya menggunakan jenis *double acting*.

Sistem rangkaian pneumatik dan elektrik yang dimiliki mesin membuat mekanisme pembentukan *coil* tidak terhubung satu sama lain (tidak membentuk siklus). Sehingga proses pengontrolan dilakukan secara terpisah untuk setiap proses (penekanan tombol berulang). Pengontrolan pada mesin tersebut harus dilakukan secara berurutan, jika tidak *coil* tidak dapat digunakan pada stator.

Letak *safety factor* terkecil yang terjadi pada proses pencekaman, terdapat pada permukaan bagian atas pelat miring dudukan aktuator pencekam. Untuk *safety factor* yang terjadi selama proses pembentangan dan pemuntiran, letak *safety factor* terkecilnya terjadi pada komponen baut yang menghubungkan bagian atas dan bawah pencekam. Sedangkan untuk proses pendorongan, nilai *safety factor* terkecilnya terletak pada penghubung antara pengait *coil* dengan *base* yang didorong aktuator pendorong.

Semua hasil analisa yang berkaitan dengan perhitungan *safety factor* yang terjadi pada mesin, menggunakan material *mild steel* sebagai ekspektasi dari material penyusunnya. Ekspektasi ini digunakan karena observasi lapangan yang dilakukan secara terbatas.

## 5. KESIMPULAN

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa spesifikasi yang dimiliki mesin, dapat memproses *coil* dengan ukuran penampang maksimal 20 mm x 40 mm, dan panjang *loop* maksimal 1200 mm.

*Coil* dengan ukuran maksimal tersebut, dapat dibentangkan hingga 381 mm, untuk sudut

pemuntirannya dapat dipuntirkan hingga  $70^\circ$  (untuk setiap batang *coil* yang dicekam), dan untuk panjang pendorongan bagian ekor atau kepala mencapai 254 mm.

Dengan geometri *coil* tersebut (geometri *coil* maksimal sesuai kapasitas mesin), mesin memerlukan tekanan yang maksimal sebesar 7 bar, agar keseluruhan proses berjalan.

Dengan tekanan tersebut, *safety factor* minimal yang terjadi terdapat pada proses pendorongan, dengan nilai *safety factor* sebesar 1.28.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Mohammad Hamsin dan Ibu Lia Nurul Mulyani yang telah memberikan data-data penelitian, serta arahnya selama proses penelitian di lapangan berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hagedorn, F. S. L. Blanc, J. Fleischer. "Introduction to Coil Technology," in *Handbook of Coil Winding*, Berlin, Springer Nature, 2018, ch. 1, pp. 19.
- [2] G. D. Barai, S. S. Shete, L. P. Raut, "Design and Development of a Component by Reverse Engineering," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 04, no. 05, pp. 539–546, 2015.
- [3] R. W. Messler. "Methods of Product Teardown," in *Reverse Engineering Mechanisms, Structures, Systems, and Materials*, 1<sup>st</sup> ed. New York, McGraw-Hill Education., 2014, ch. 5, pp. 134.
- [4] R. C. Hibbeler. "Stress," in *Mechanics of Materials*, 9<sup>th</sup> ed. New York, Pearson Prentice Hall., 2014, ch. 1, pp. 46.
- [5] Class Lecture, Topic: "Sheet Metal Forming". 2.810 Manufacturing Processes and Systems, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Sept., 2019.
- [6] F. P. Beer, E. R. Johnston, Jr., J. T. DeWolf, D. F. Mazurek. "Torsion," in *Mechanics of Materials*, 8<sup>th</sup> ed. New York, McGraw-Hill Education., 2020, ch. 3, pp. 211.
- [7] "Hydraulic Cylinder Parts – Tubes," Takken Comprehensive Industrial Co., Ltd, Accessed on: Mar. 19, 2020. [Online]. Available: <http://www.hydraulic-pneumatic-cylinder.com/en/product-345472/Honing-Cylinder-Tubes-Standard-and-special-size.html>
- [8] "Copper, Cu; Annealed," MatWeb Material Property Data, Accessed on: May. 27, 2020. [Online]. Available: [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=9aebe83845c04c1db5126fada6f76f7e](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=9aebe83845c04c1db5126fada6f76f7e)
- [9] "CF1000," Fenixta Machinery, Accessed on: Mar. 29, 2020. [Online]. Available: [https://fenixta-machinery.com/?page\\_id=32](https://fenixta-machinery.com/?page_id=32)