

PROSES PRODUKSI PRODUK WAJAN BAHAN PLAT BAJA KARBON DENGAN METODE SPINNING

Nur Husodo, Budi Luwar Sanyoto, Eddy Widiyono, Denny ME Soedjono

*Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih-Sukolilo, Surabaya 60111,
Telp. 031.5922942, fax. 031-5932625, e-mail: nurhusodo@me.its.ac.id*

ABSTRACT

The process of metal spinning is the process of forming sheet metal with a combination of rotary motion and compression force to produce the products according shape mandril. This spinning process has the potential to be applied to small industries producing pan. Because it is necessary for application of the spinning process to form a pan products. Pans that will be realized based carbon steel plate with a shape like a teflon pan. Circular steel plate was placed in front of the mandrill and was gripped by the clamping components assisted by clamping the magnet system. Combination of rotary motion and compression force of the roll will cause the deformation of carbon steel to produce a product. Experiments performed with materials of carbon steel with a thickness of 0.8 mm and 1mm. In conclusion, the calculation of forces on the formation of carbon steel plate with a thickness of 0.8 mm is 14.722 kgf or 144, 277 N, with a thickness of 1 mm of 18.402 kgf or 180, 339 N. The existence of magnetic components will greatly assist the process of clamping plate material so the process of formation by the method of spinning operations become easier in operation.

Keywords : *pan, spinning process, mandrill, magnetic.*

ABSTRAK

Proses metal spinning adalah proses pembentukan lembaran logam dengan kombinasi gerak putar dan gaya tekan sehingga menghasilkan produk sesuai bentuk mandril. Proses spinning ini sangat berpotensi untuk dapat diterapkan pada industri kecil yang memproduksi produk wajan. Karena itu perlu dilakukan penerapan proses spinning untuk membentuk produk wajan. Wajan yang akan diwujudkan berbahan plat baja karbon dengan bentuk seperti wajan teflon. Plat baja berbentuk lingkaran ditempatkan di depan mandrill dan dicekam dengan komponen clamping dibantu dengan pencekaman dengan system magnit. Kombinasi gerak putar dan gaya tekan dari roll akan menyebabkan deformasi baja karbon sehingga dihasilkan produk. Percobaan dilakukan dengan bahan baja karbon dengan ketebalan 0,8 mm dan 1mm. Kesimpulannya, perhitungan gaya pembentukan pada plat baja karbon dengan tebal 0,8 mm adalah 14,722 Kgf atau 144, 277 N, dengan tebal 1 mm sebesar 18,402 kgf atau 180, 339 N. Adanya komponen magnet akan sangat membantu proses pencekaman bahan plat sehingga proses operasional pembentukan dengan metode spinning menjadi lebih mudah dalam operasional.

Kata kunci: *wajan, proses spinning, mandill, magnet.*

PENDAHULUAN

Kelebihan yang dimiliki mesin spinning antara lain dapat membentuk lembaran bahan logam menjadi berbagai bentuk produk sesuai dengan bentuk cetakan atau mandrilnya, seperti wajan, kap lampu, bentuk mangkok dll. Investasi

yang dibutuhkan untuk membuat mesin spinning relatif sedikit. Tidak memerlukan keahlian khusus untuk dapat mengoperasikan mesin spinning karena mesin spinning mirip dengan mesin bubut. Waktu yang dibutuhkan

untuk operasional pembentukan juga relatif lebih singkat.

Proses spinning adalah proses yang lama yang melibatkan proses pembentukan plat logam membentuk sesuai dengan bentuk mandrel, dengan penggunaan berbagai tool dan rol. Proses ini agak mirip dengan proses pembentukan tanah liat di roda tembikar. Proses spinning terdiri dari: konvensional (atau manual), shear dan tube spinning. Peralatan yang digunakan dalam proses ini mirip dengan mesin bubut, tetapi memiliki fitur khusus. Shear spinning juga dikenal sebagai *power spinning*, *flow turning*, *hydrospinning*, dan *spin forging*. Shear spinning menghasilkan bentuk kerucut atau curvilinear axisymmetric, sambil mempertahankan diameter maksimum komponen dan mengurangi ketebalannya. Meskipun roller tunggal dapat digunakan, dua rol lebih disukai untuk menyeimbangkan gaya yang bekerja pada mandrel. Contoh produk yang dibuat dengan proses shear spinning adalah *rocket-motor casings* dan kerucut pada ujung rudal. Kalpakjian 2001 [1].

Penelitian-penelitian seputar proses spinning untuk pembuatan wajan telah dilakukan beberapa kali diantaranya, yaitu : Perhitungan gaya pembentukan pada proses pembuatan wajan bahan tembaga dengan metode *shear spinning*. Langkah awal dilakukan uji tarik bahan untuk mengetahui besarnya tegangan tarik yang diperlukan dalam proses pembentukan yang secara teoritis juga diketahui perilaku material terhadap pembentukan seperti; tegangan-tegangan yang terjadi, modulus elastisitas dan gaya pembentukan, dari perhitungan gaya pembentukan untuk proses *shear spinning* pembuat wajan bahan tembaga yang berdiameter awal 200 mm, diameter akhir 180 mm, dan tebal awal 1 mm, tebal akhir 0,9 sehingga didapatkan gaya maksimal

sebesar 193,2 N. Muhammad Wahyudi ,2005 [2]. Analisa gaya pembentukan pada proses pembuatan wajan *stainless steel* menggunakan metode *shear spinning*, dengan langkah awal dilakukan uji tarik bahan untuk mengetahui besarnya tegangan tarik yang diperlukan dalam proses pembentukan, yang secara teoritis juga diketahui perilaku material terhadap pembentukan seperti tegangan regangan yang terjadi, modulus elastisitas dan gaya pembentukan, dari perhitungan gaya pembentukan untuk proses shear spinning pembuatan wajan bahan *stainless steel*, yang berdiameter awal 375 mm, diameter akhir 304 mm dan tebal awal 1,5 mm, tebal akhir 1,24 mm sehingga didapatkan gaya maksimal sebesar 1383,44 N. Argo Nugroho,2006 [3]. Pengaruh variasi ketebalan bahan *stainless steel* terhadap kekasaran permukaan pada proses *shear spinning* untuk produk wajan, langkah awal penelitian ini yaitu melakukan uji tarik bahan untuk mengetahui besarnya tegangan tarik dalam proses pembentukan agar dapat dianalisa gaya pembentukannya, kemudian dilakukan proses pembentukan material dengan mesin spinning, selanjutnya mengevaluasi produk dengan melakukan pengujian kekasaran permukaan, dari hasil penelitian didapatkan data bahwa semakin tebal material, gaya pembentukan yang dibutuhkan untuk membuat wajan dan kekasaran permukaannya semakin besar.

Yohannes Ade K ,2007. [4]. Rancang ulang mesin pembuat wajan datar bahan *stainless steel* dengan metode shear spinning menggunakan mandrel berbentuk *tube*, adanya perubahan bentuk *mandrel* ini menyebabkan perubahan beban kinerja dari mesin metal spinning yang sudah ada, sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang dari bagian-bagian mesin agar aman dalam pengoperasiannya, dari

penelitian didapatkan untuk lembaran stainless steel ketebalan 1,5 mm dapat dilakukan proses spinning dengan hasil memenuhi standar kualitas (tanpa cacat, halus dan bulat) dengan menggunakan motor 1,5 Hp yang ditransmisikan oleh dua pasang *pulley* sehingga menghasilkan putaran *mandrel* 257 rpm dan tool berbentuk *roller*. Mikael Budi Suryanto,2007. [5]. Perencanaan mesin *metal spinning vertikal* untuk mewujudkan produk wajan ini untuk menghemat lebar dan panjang tempat dengan aman, maka dari itu diperlukan perhitungan dan perencanaan yang tepat. Adanya perubahan posisi pengerjaan ini menyebabkan perubahan beban kinerja dari mesin metal spinning *horisontal* yang sudah ada sebelumnya, sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang dari bagian-bagian mesin supaya aman dalam pengoperasiannya, perhitungan dilakukan mulai dari besarnya gaya pembentukan untuk proses spinning dilanjutkan pada elemen-elemen mesin, poros, bantalan, sistem transmisi dan daya motor yang dibutuhkan untuk mencukupi besarnya gaya pembentukan. Dari hasil perencanaan didapatkan untuk lembaran material 1,5mm, dapat dilakukan proses spinning dengan menggunakan motor 2 HP, yang ditransmisikan 2 pasang *pulley* menghasilkan putaran 583,3 rpm, dan *tool* berbentuk *roller* dan bentuk *bar*. Duwi Winarko, 2010. [6]. Pembuatan mesin *metal spinning horisontal* ini lebih ekonomis dibandingkan dengan mesin *deep drawing*, maka dari itu diperlukan perhitungan dan perencanaan yang tepat dan matang. Adapun proses perhitungan dilakukan mulai dari besarnya gaya pembentukan untuk proses spinning dilanjutkan pada elemen-elemen mesin, poros, bantalan, sistem transmisi dan daya motor yang dibutuhkan untuk mencukupi besarnya gaya pembentukan. Dari hasil perencanaan didapatkan untuk lembaran

material 1,5mm, dapat dilakukan proses spinning dengan menggunakan motor 2 HP, yang ditransmisikan 2 pasang *pulley* menghasilkan putaran 466,6 rpm, dan *tool* berbentuk *roller* (bahan ST 70 yang dihardening). Dudus Bakhtiar ,2010. [7]. Perhitungan gaya pembentukan pada proses pembuatan wajan bahan stainless steel dengan variasi ketebalan 1 mm dan 1,5 mm dengan menggunakan metode *shear spinning*. Didapatkan hasil perhitungan gaya pembentukan untuk proses *shear spinning* pembuat wajan bahan stainless steel yang berdiameter awal 350 mm, dan tebal awal 1 mm, tebal akhir 0,9 sehingga didapatkan gaya maksimal sebesar 193,2 N. Imam Shofwan,2010,[8]

Pada makalah ini dilakukan penelitian proses *shear spinning* untuk membentuk wajan bahan plat baja karbon dengan ketebalan 0,8 mm dan 1 mm. Produk wajan berbahan baja karbon dengan diameter awal mm dan dengan bentuk wajan seperti wajan teflon. Pada *mandrel*nya dilengkapi dengan komponen magnet untuk membantu proses pengekleman guna memudahkan proses operasional proses spinning.

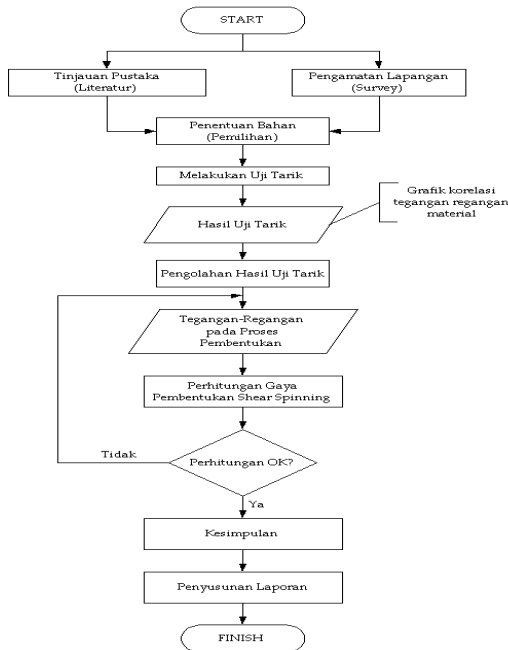
Tujuan penelitian ini adalah

1. Mencari alternative proses pembentukan produk wajan dengan menggunakan proses spinning yang dapat diaplikasikan di industri kecil produk sayangan di Kesambi, Porong, Sidoarjo.
2. Menghitung gaya pembentukan dengan proses spinning untuk menghasilkan produk wajan bahan baja karbon ketebalan 0,8 mm dan 1 mm.
3. Memodifikasi komponen *mandrel* yang dilengkapi dengan komponen magnet untuk membantu proses pengekleman selama pengoperasian.

METODE PENELITIAN

Diagram alir Penelitian

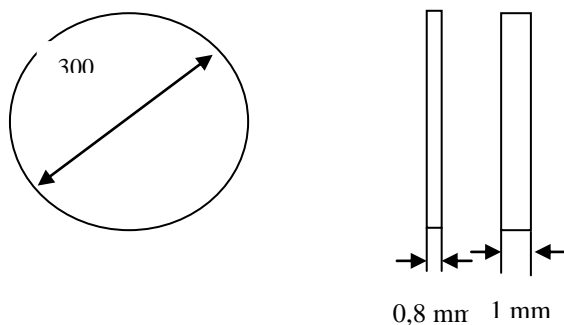
Dalam melakukan perhitungan untuk menemukan besarnya gaya pembentukan yang diperlukan untuk melakukan proses pembentukan wajan bahan *baja karbon* yang dengan diameter 300 mm tebal 0,8 mm dan 1 mm dengan metode *shear spinning* dilakukan langkah-langkah sbb:



Gambar 1. Diagram alir dari penelitian proses pembentukan wajan dengan proses spinning

Dimensi Bahan Baku Baja karbon

Dimensi bahan baku baja karbon berdiameter 300 mm dan ketebalan yang dipakai untuk penelitian adalah 0,8 mm dan 1 mm.



Gambar 2. Baja karbon berdiameter 300 mm dan ketebalan 0,8 mm dan 1 mm

Proses Shear Spinning

Adapun proses shear spinning yang dilakukan pada pembuatan wajan, melalui beberapa tahapan. Tahapan proses operasional Spinning sbb.:

1. Benda kerja dipotong menjadi lingkaran dengan diameter 300 mm.
2. Pasang cetakan (mandreel) di spindel mesin.
3. Benda kerja dijepit oleh penahan ke cetakan dan dibantu pengekaman dengan adanya magnet
4. Jalankan mesin dengan putaran 600Rpm.
5. Gerakkan roll penekan dan menggeser sambil memberikan pelumas sampai material mencapai bentuk yang diinginkan.
6. Dilakukan pengamatan terhadap hasil proses spinning.

Pengolahan Data P - ΔL Hasil Proses Pengujian Tarik

Hasil data uji tarik digunakan untuk membuat grafik tegangan-regangan guna untuk menentukan tegangan regangan sebenarnya yang terjadi pada material benda kerja, yang akan dipakai dalam perhitungan gaya pembentukan. Langkah-langkah merubah grafik P-ΔL menjadi grafik tegangan regangan sebenarnya yang akan dipakai dalam perhitungan gaya pembentukan adalah sebagai berikut:

Dari grafik (P – ΔL), yang didapat dari hasil uji tarik maka dapat dipakai untuk membuat grafik tegangan-regangan sebenarnya. Dengan mengambil sampel 10 titik pada grafik (P-ΔL) seperti langkah mencari tegangan regangan teknik, yang membedakan adalah pada tegangan-regangan sebenarnya luas dan panjang yang digunakan untuk mencari tegangan regangan sebenarnya adalah sebenarnya yaitu pada kenyataannya dengan kata lain tiap titik terjadi perubahan panjang dan luasan.

Dasar Perhitungan Tegangan dan Regangan Sebenarnya.

Dasar perhitungan Tegangan dan regangan sebenarnya untuk menghitung kebutuhan akan gaya pembentukan dapat dilihat melalui perumusan dibawah ini

- Beban tiap saat

$$P = P_{\text{grafik}} \times P_{\text{strip}} \text{ (kgf)}$$
- Pertambahan panjang

$$\Delta L = \Delta L_{\text{grafik}} \times \Delta L_{\text{strip}} \text{ (mm)}$$
- Perubahan panjang tiap saat

$$L_s = \frac{L_o}{\Delta L} \text{ (mm)}$$
- Perubahan luas tiap saat

$$\Delta s = \frac{A_o \cdot L_o}{L_i}$$
- Tegangan tiap saat

$$\sigma_s = \frac{P}{\Delta s} \text{ (mm}^2\text{)}$$
- Regangan tiap saat dapat dicari

$$\epsilon_s = [\ln(1 + \epsilon_t)] \times 100\%$$
- Regangan nominal

$$\epsilon_t = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100(\%)$$
- Tegangan yang terjadi tiap saat

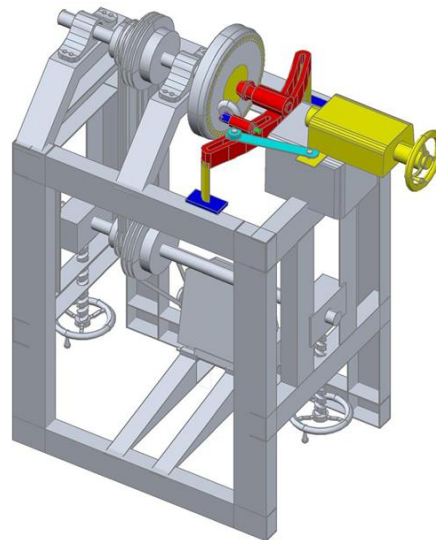
$$\sigma_t = \frac{P}{A_s} \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

Tabel Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Sebenarnya

Tabel perhitungan untuk menentukan besarnya tegangan dan regangan sebenarnya dapat dilihat pada tabel 1.

Mesin Spinning Yang Digunakan

Mesin spinning yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Mesin Spinning yang digunakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Hasil Uji Tarik Baja Karbon Yang Dipakai Untuk Produk Wajan

Pengolahan hasil pengujian tarik material baja karbon yang dipakai untuk proses pembentukan wajan dengan proses spinning dapat dilihat pada tabel 2 dan table 3.

Dari hasil pengolahan data proses uji tarik dari material benda kerja didapatkan Tegangan maksimum 30,22 kgf/mm² dan 32,92 kgf/mm²

Data Hasil Proses Pembentukan Wajan Bahan Carbon Steels Dengan Metode Shear Spinning

Berdasarkan pada proses pembentukan wajan carbon steels didapatkan data hasil proses pembentukan pada table 4.

Perhitungan Gaya Pembentukan Shear Spinning

Sebelum merencanakan mesin pembuat wajan tembaga ini, maka terlebih dahulu ditentukan besarnya gaya pembentukan yang diperlukan. Besarnya gaya pembentukan yang diperlukan pada proses metode shear spinning ini dapat dihitung dengan salah satu persamaan sebagai berikut:

Pada material carbon steel tebal 1 mm

a. Gaya Spinning.

$$Ft = u.t_o.f.\sin \alpha \dots\dots 1. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 415)}$$

Dimana :

Ft = gaya spinning.

u = energi spesifik.

f = feeding

t₀ = tebal awal.

$$\alpha = 35^{\circ}$$

Tegangan Geser Maksimum (Maximum Shear Stress).

$$Y = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \dots\dots 2. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 82)}$$

$$= 32,92 \text{ kgf/mm}^2 - 7,68 \text{ kgf/mm}^2$$

$$= 25,24 \text{ kgf/mm}^2$$

Shear Yield Stress.

$$K = \frac{Y}{\sqrt{3}} \dots\dots 3. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 82)}$$

$$= \frac{25,24}{1,7}$$

$$= 14,84$$

Regangan Shear Spinning.

$$\bar{\epsilon} = \frac{\cot \alpha}{\sqrt{3}} \dots\dots 4. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 415)}$$

$$= \frac{\cos \alpha}{\sqrt{3} \cdot \sin \alpha}$$

$$= \frac{\cos 35^{\circ}}{\sqrt{3} \cdot \sin 35^{\circ}}$$

$$= \frac{0,819}{0,9}$$

$$= 0,91 \%$$

Regangan Sebenarnya.

$$\epsilon = \ln \frac{t_0}{t_1} \dots\dots 5. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 36)}$$

$$= \ln \frac{1}{0,86}$$

$$= 0,1508 \%$$

$$= 15,08\%$$

Mencari tegangan shear spinning (Shear Strain)

$$\sigma_s = k.\epsilon^n \text{ dengan } (n = \bar{\epsilon}) \dots\dots 6. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 76)}$$

$$= 14,84 \cdot (15,08)^{0,91}$$

$$= 14,84 \cdot 11,812$$

$$= 175,296 \text{ Kgf/mm}^2$$

Mencari Energi Spesifik.

$$u = \int_0^{\epsilon_1} \sigma d\epsilon \dots\dots 7. \text{ (Kalpakjian 3}^{\text{th}} \text{ Ed. Hal 76)}$$

$$= \sigma \cdot \epsilon \Big|_0^1$$

$$u = [175,296 \cdot (15,08) \cdot (1)] - [180,487 \cdot (15,08) \cdot (0)]$$

$$= 2643,463 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Mencari Feeding.

$$f = \frac{s}{n_{\text{total}}}$$

Dimana :

s = jarak shear spinning(mm).

n_{total} = banyaknya putaran (rpm).

f = feeding. (mm/put)

$$f = \frac{s}{n_{\text{total}}}$$

$$n = 600 \text{ rpm}$$

$$t = 12 \text{ min}$$

$$s = 95 \text{ mm}$$

$$n_{\text{total}} = 600 \frac{\text{put}}{\text{min}} \cdot 12 \text{ min}$$

$$= 7200 \text{ put}$$

$$f = \frac{85\text{mm}}{7200\text{put}}$$

$$= 0,0118 \frac{\text{mm}}{\text{put}}$$

Gaya Spinning.

$$F_t = u \cdot t_o \cdot f \cdot \sin \alpha$$

$$= 2643,463 \cdot 1 \cdot 0,0118 \cdot \sin 35^\circ$$

$$= 2643,463 \cdot 1 \cdot 0,0118 \cdot 0,573$$

$$= 17,873 \text{ kgf.}$$

$$= 175,155 \text{ N}$$

Jadi besarnya gaya pembentukan untuk proses pembuatan wajan *carbon steels* tebal 1 mm dengan proses *shear spinning* adalah $F = 17,873 \text{ kgf}$ atau $175,155 \text{ N}$

Dengan Energi Spesifik dan nilai feeding yang sama, maka dapat dicari gaya spinning pada material carbon steel tebal 0,8 mm

Dimana :

$$u = 2643,463 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$f = 0,0118 \text{ mm/put}$$

Sehingga Gaya Spinning untuk tebal 0,8 mm;

$$F_t = u \cdot t_o \cdot f \cdot \sin \alpha$$

$$= 2643,463 \cdot 0,8 \cdot 0,0118 \cdot \sin 35^\circ$$

$$= 2643,463 \cdot 0,8 \cdot 0,0118 \cdot 0,573$$

$$= 14,298 \text{ kgf.}$$

$$= 140,121 \text{ N}$$

Jadi besarnya gaya pembentukan untuk proses pembuatan wajan *carbon steels* tebal 0,8 mm dengan proses *shear spinning* adalah $F_t = 14,298 \text{ kgf}$ atau $140,121 \text{ N}$.

Gaya spinning berdasarkan realita lapangan.

Pada saat dilakukan pengerjaan mesin spinning dengan menggunakan alat bantu berupa neraca pegas didapatkan

gaya yang nilainya sedikit berbeda. Nilai yang ditemukan pada benda kerja dengan ketebalan 0,8mm adalah 90 N. Sedangkan pada ketebalan 1mm ditemukan nilai sebesar 128 N.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tersebut antara lain:

1. Pada saat pengerjaan, gaya yang diberikan menggunakan roll sebagai alat bantu, sehingga gaya yang diberikan oleh tangan tidak sebesar jika pengerjaan dilakukan dengan menggunakan tuas, tanpa alat bantu roll.
2. Penempatan neraca pegas yang kurang maximal sehingga nilainya kurang akurat.
3. Grafik hasil uji tarik, karena nilainya tidak seakurat realita dilapangan.

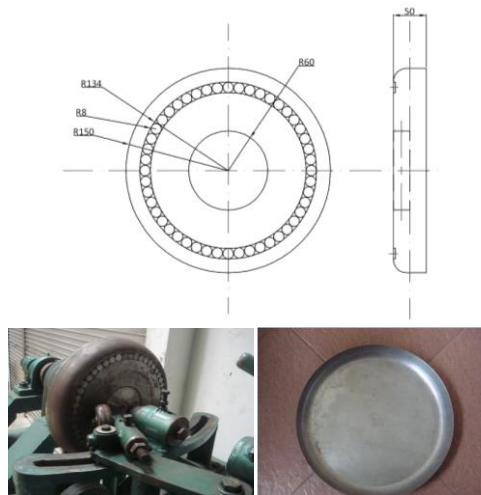
Evaluasi Kerja Pada Mesin Spinning Dengan Tambahan Magnet Pada Mandril.

Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (north/N) dan kutub selatan (south/ S). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub.

Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Oleh sebab itu magnet dibubuhkan pada mandril untuk dapat menarik benda kerja sehingga benda kerja dapat dicekam dengan kuat berkat adanya magnet pada mandril sehingga ada saat proses berlangsung posisi benda kerja pada mandril tidak berubah.

Produk Wajan Yang Dihasilkan Pada Proses Spinning

Dibawah ini gambar yang memperlihatkan mandrel, mesin spinning dan produk yang dihasilkan



Gambar 4. a. Sket mandril yang disisipkan magnet b. Mandril yang sudah dibubuhi magnet c. wajan yang dihasilkan

Adanya komponen magnet yang disisipkan pada bagian tengah dan sejumlah magnet kecil sisipkan pada mandrell akan sangat membantu dalam proses pencekaman. Selain membantu dalam proses pencekaman, adanya magnet akan mempermudah dalam proses pengoprasian mesin spinning dan juga membantu pengarah perubahan bentuk pada produk wajan. Adanya perlengkapan equaliser akan sangat membantu proses pembentukan tetapi harus dengan syarat bahwa alur yang berfungsi sebagai pengarah harus betul-betul semetri. Pada penelitian ini masih menggunakan satu tool.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan gaya pembentukan pembuatan wajan pada proses shear spinning dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Besarnya gaya pembentukan untuk proses pembuatan wajan *carbon steels* tebal 0.8 mm dengan proses

shear spinning adalah $F = 14,298$ kgf atau 140,121 N.

2. Besarnya gaya pembentukan untuk proses pembuatan wajan *carbon steels* tebal 1 mm dengan proses *shear spinning* adalah $F = 17,873$ kgf atau 175,155 N.
3. Semakin tebal plat yang digunakan maka gaya yang dibutuhkan akan semakin besar pula.
4. Adanya magnet yang disisipkan pada mandrel akan sangat membantu dalam proses pencekaman

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kalpakjian, Serope. (2001). *Manufacturing Engineering and Tecnology*, 4th edition. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] Muhamad Wahyudi, 2005, Perhitungan gaya pembentukan pada proses pembuatan wajan bahan tembaga dengan metode *shear spinning*, Tugas Akhir D3 Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya
- [3] Argo Nugroho, [2006] Tugas Akhir D3 Teknik Mesin ITS : Analisa gaya pembentukan pada proses pembuatan wajan stainless steels menggunakan metode shear spinning, ITS, Surabaya.
- [4] Johanes Ade Kristiawan, [2007] Tugas Akhir D3 Teknik Mesin ITS : Pengaruh variasi ketebalan bahan stainless Steel terhadap kekasaran Permukaan pada Proses shear spinning untuk produk wajan, ITS, Surabaya
- [5] Mikail Budi Suryanto, [2007] Tugas Akhir D3 Teknik Mesin ITS : Rancang ulang mesin pembuat wajan datar bahan stainless steel dengan metode shear spinning menggunakan mandrel berbentuk tube, ITS, Surabaya.
- [6] Winarko Dwi. (2010) Perencanaan mesin *metal spinning vertikal* untuk

mewujudkan produk wajan Tugas Akhir D3 Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya

- [7] Bachtiar Dudus. (2010) Pembuatan mesin *metal spinning horisontal* ini lebih ekonomis dibandingkan dengan mesin *deep drawing*, maka dari itu diperlukan perhitungan dan perencanaan yang tepat dan matang.
- [8] Shofwan Imam. (2010) Pengaruh variasi ketebalan terhadap gaya pembentukan wajan stainless steel pada proses mesin spining.
- [9] Kalpakjian, Serope. 1995. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 3th edition. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Tabel 1. Tabel pengolahan data hasil uji tarik material baja karbon

X	Y	Ao (mm)	Lo (mm)	P (Kg)	ΔL (mm)	σ_t (Kg/mm ²)	ϵ_t (%)	ϵ_s (%)	σ_s (Kg/mm ²)	Δs	Ls
X1	Y1	32	225								
X2	Y2	32	225								
X3	Y3	32	225								
X4	Y4	32	225								
X5	Y5	32	225								
X6	Y6	32	225								
X7	Y7	32	225								
X8	Y8	32	225								
X8	Y9	32	225								
X9	Y10	32	225								

Table 2. Hasil pengolahan dari data uji tarik material baja karbon dengan tebal 0,8 mm

X	Y	Ao (mm)	Lo (mm)	P (Kg)	ΔL (mm)	σ_t (Kg/mm ²)	ϵ_t (%)	ϵ_s (%)	σ_s (Kg/mm ²)	Δs	Ls
0	3	32	225	48,97	0	1,53	0	0	0	0	0
0,25	17	32	225	277,55	0,35	8,66	0,15	0,14	8,68	31,95	642,85
1	30	32	225	489,79	1,4	15,3	0,62	0,61	15,4	31,8	160,71
2	32	32	225	522,44	2,8	16,32	1,24	1,23	16,5	31,6	80,35
7	39	32	225	636,73	9,8	19,89	4,35	4,25	20,94	30,4	22,95
13	45	32	225	734,69	18,2	22,95	8,08	7,77	24,82	29,6	12,36
19	47	32	225	767,34	26,6	23,97	11,82	11,17	26,82	28,61	8,45
39	47,75	32	225	778,42	54,6	24,32	24,26	21,72	30,22	25,75	4,12
47	45	32	225	734,34	65,8	22,94	29,24	25,65	29,6	24,75	3,41
49	37	32	225	604,08	68,6	18,87	30,48	26,6	24,63	24,52	3,27

Table 3. Hasil pengolahan dari data uji tarik material baja karbon dengan tebal 1 mm

X	Y	Ao (mm)	Lo (mm)	P (Kg)	ΔL (mm)	σ_t (Kg/mm ²)	ϵ_t (%)	ϵ_s (%)	σ_s (Kg/mm ²)	Δs	Ls
0	0	40	225	0	0	0	0	0	0	0	0
0,75	10	40	225	306,12	0,975	7,65	0,43	0,42	7,68	39,82	230,76
1	17	40	225	520,4	1,3	13,01	0,57	0,56	13,08	39,77	173,07
1,5	28	40	225	857,14	1,95	21,42	0,86	0,85	21,61	39,65	115,38
2,5	34	40	225	1040,81	3,25	26,02	1,44	1,42	26,39	39,43	69,23
4,75	35	40	225	1071,42	6,175	26,78	2,74	2,66	27,52	38,93	36,43
11	37	40	225	1132,65	14,3	28,31	6,35	6,15	30,12	37,60	15,73
20,75	38,4	40	225	1175,6	26,975	29,39	11,98	11,31	32,92	35,71	8,34
30	37,5	40	225	1147,95	39	28,69	17,33	15,98	33,67	34,09	5,76
44	37	40	225	1132,65	57,2	28,31	25,42	22,64	36,47	31,89	3,93

Tabel 4. Hasil proses pembentukan wajan bahan baja karbon dengan metode shear spinning

Spesimen	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	n (Rpm)	Jarak Shear (mm)	Waktu proses Shear spinning (min)
I	0,8	0,77	600	85	12
II	1	0,86	600	75	12