

Rekayasa Mesin *Drilling Multi Spindle* untuk Proses Pengerjaan *Retainer Control Shift Lever*

Solihin¹, Susanto Sudiro¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: solihin.mtek@gmail.com, sudiro56@gmail.com

ABSTRAK

Retainer Control Shift Lever merupakan komponen otomotif yang penting, fungsinya adalah menghubungkan *Handle Lever* dengan *Ball Joint Lever* di sebuah kendaraan roda empat. Komponen ini awalnya dibentuk dengan cara *Injection casting*, selanjutnya diproses dengan *CNC drilling* untuk menyelesaikan 4 lubang pada komponen tersebut. *Cycle time* yang diperlukan untuk menyelesaikan proses ini adalah 25 detik, menggunakan waktu proses ini target produksi tidak dapat dicapai. Untuk mencapai target produksi maka dirancang mesin *Drilling Multi Spindle* yang mempunyai 4 *tools drills* untuk menyelesaikan lubang tersebut sekaligus dalam satu langkah proses. Untuk merancang mesin ini digunakan metoda pendekatan sistematis. Prototipe mesin tersebut telah dibuat, penggerak mesin menggunakan *Inverter Drive* yang dikendalikan dengan PLC. Mesin telah dioperasikan dan mesin dapat berfungsi dengan baik, lubang yang diproses dapat memenuhi persyaratan mutu, *Cycle Time* dapat dipersingkat hingga 15.7 detik dan target produksi sejumlah 15000 pcs dapat tercapai.

Kata Kunci : komponen otomotive, *Cycle Time*, Mesin *Multi Spindle Drilling*, pendekatan sistematis, *Inverter drive*, PLC

ABSTRACT

The Retainer Control Shift Lever is an important automotive component, its function is to connect the Handle Lever with the Ball Joint Lever in a four-wheeled vehicle. This component is initially formed by injection casting, then processed by CNC drilling to complete 4 holes in the component. Cycle time required to complete this process is 25 seconds, using this process time the production target cannot be achieved. To achieve the production target, the Multi Spindle Drilling machine was designed which has 4 drill tools to complete the hole at once in one process step. To design this machine used a systematic approach method. The prototype of the machine has been made, the engine drive uses an Inverter Drive which is controlled by PLC. The machine has been operated and the machine can function properly, the processed holes can meet the quality requirements, the Cycle Time can be shortened to 15.7 seconds and the production target of 15000 pcs can be achieved.

Keywords: automotive components, *Cycle Time*, *Multi Spindle Drilling Machine*, systematic approach method, *Inverter drive*, PLC

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi dan tuntutan biaya produksi yang semakin tinggi, pilihan inovasi proses maupun produk adalah jalan terbaik untuk dapat menyelamatkan perusahaan keluar dari tekanan kenaikan biaya produksi. Semua cara dilakukan untuk mengoptimalkan proses manufaktur agar efektif dan efisien, pemangkasan proses produksi, *zero defect*, hingga inovasi dalam pembuatan mesin berkapasitas tinggi untuk dapat memenuhi target produksi.

Retainer Control Shift Lever adalah salah satu komponen yang terdapat *gear box* di sebuah kendaraan, yang berfungsi sebagai penghantar atau penghubung antar *Handle Lever* dengan *Ball Joint Lever*. Pada *Retainer Control Shift Lever* terdapat lubang 4 lubang untuk menempatkan baut pengikat, lubang tersebut didesain dengan ketelitian geometric tertentu dengan tujuan untuk dapat menempatkan *Retainer Control Shift Lever* di posisinya secara tepat. Untuk membuat lubang

tersebut sebelumnya telah dilakukan dengan proses pengeboran di *Machining Center (CNC)*, waktu yang dibutuhkan 25 detik. Dengan menggunakan proses ini ditemui permasalahan yaitu target produksi harian adalah 15000 pcs per hari tidak dapat dipenuhi.

Untuk mencapai target produksi tersebut dilakukan penelitian pada perbaikan proses produksi melalui perancangan dan pembuatan mesin *Drilling Multi Spindle* yang dapat melubangi 4 lubang tersebut dalam satu langkah proses pengeboran. Dengan rancangan mesin ini diharapkan proses produksi masal pembuatan *Retainer Control Shift Lever* dapat dilakukan, dengan tetap memperhatikan kualitas dari hasil proses.

Dalam penelitian ini sudah terdapat beberapa mesin *Drilling Multi Spindle* yang dapat dijadikan referensi penelitian. Mesin tersebut menggunakan metode 4 pilar sebagai pelurus dan *Pneumatic* sebagai gerak langkah. Mesin-mesin seperti ini disebut golongan *Special Purpose Machine (SPM)* yaitu mesin-mesin

Spesial yang dibuat berdasarkan permintaan dan kebutuhan.

Berbagai penelitian tentang pembuatan mesin mesin yang bersifat Special telah banyak dilakukan, diantaranya adalah *Automation* dan *Multi Spindle* oleh Asyharudin Wahyu Yudhanto [1], yang membuat desain mesin *Double Drill* untuk mempermudah melubangi *Hinge Strip* pada kelompok produksi *Silent Up (Right)*. Mesin yang dirancang dan dibuat untuk mengubah dua proses pengeboran menjadi satu proses pengeboran untuk menyelesaikan dua lubang sekaligus, menggunakan penggerak *Cylinder Pneumatic*.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Paul Sugiri [2] yang melakukan penelitian tentang desain dan pembuatan mesin Bor Otomatis berbasis komputer. Pada penelitian ini material yang dilubangi adalah pelat PCB, penggerak yang dipakai adalah menggunakan *Motor Stepper* yang dikendalikan menggunakan *software Mach3*.

Mukhofidhoh & Kholis [3] juga melakukan penelitian tentang desain dan pembuatan mesin pengebor PCB Mini Otomatis berbasis *Arduino UNO*. Pada pada penelitian ini material yang dilubangi adalah pelat PCB, sebagai penggerak digunakan *Motor Servo* yang dikendalikan dengan *Arduino Uno* untuk mengatur gerakan pada tiga sumbu gerak mesinnya.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Patil, S, & Basavaraddi, S. R [4] yang meneliti tentang desain dan analisis dari *Multi Spindle Drilling Head* dengan jarak pusat yang dapat diatur. Pada penelitian ini dilakukan perubahan proses pengeboran dari dua proses pengeboran menjadi satu proses pengeboran untuk melubangi dua lubang sekaligus. Solusi perubahan prosesnya dilakukan dengan menggunakan *Gear Box* yang dikonstruksi untuk dapat mengatur posisi jarak antara sumbu *Spindle*. Material yang diproses adalah Aluminium die Casting .

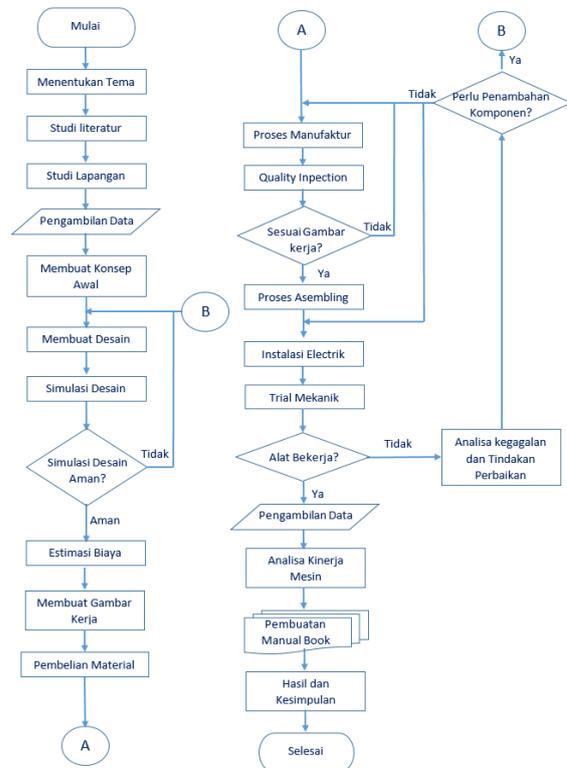
Penelitian lainnya dilakukan oleh Chauhan, P. & Makwana, J. [5] tentang desain konsep dari *Special Purpose Semi-Automatic Multiple Nuts*. Penelitian yang dilakukan dengan merancang dan membuat mesin otomatis untuk merakit beberapa *Nut* menggunakan motor yang diatur oleh rangkaian *Pully* dengan menggunakan *Inverter* .

Penelitian lain juga dilakukan oleh Sathishkumar, S., Swaminathan, R., Mithun Sena, S., & Dinakaran [6] yang meneliti tentang desain dan pengembangan *Special Purpose Machine* untuk membuat 2 atau 4 lubang *piercing* pada *square tube*. Penggerak mesin menggunakan *Pneumatik* yang digabung dengan hidrolik untuk melubangi 2 atau 4 lubang sekaligus secara otomatis, pengendalian gerakan dilakukan melalui PLC.

2. Metodologi Penelitian

Metodologi Penelitian yang di bangun untuk merancang serta membuat mesin *Drilling Multi spindle* berdasarkan literasi teori-teori tentang rancang bangun, jurnal nasional, jurnal internasional, pengalaman dibidang manufaktur, serta komunikasi dengan pihak-

pihak terkait yang mempunyai pengalaman di bidang pembuatan mesin-mesin special. Aliran proses penelitian ditunjukkan pada gambar 1, diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Pengambilan Data dan Studi Lapangan

Data yang dijadikan bahan penelitian adalah *Retainer Control Shift Lever* seperti Gambar 2.

Data Produk:



Gambar 2. Retainer Control Shift Lever

Material produk : *Alluminium Casting*
 Diameter *Pre Hole* setelah *Casting* : 8.5 mm
 Jumlah Mata bor : 4 buah

2.2 Konsep Desain

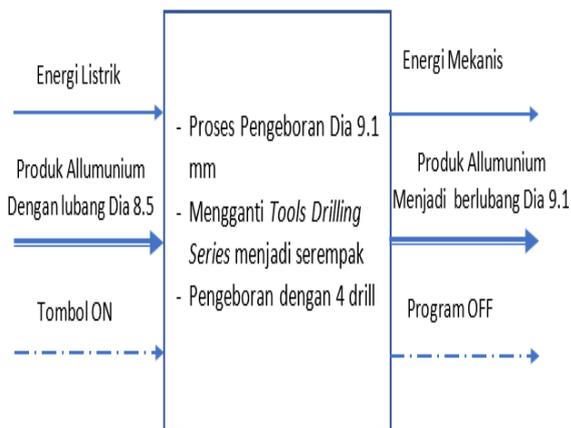
Konsep Proses Pengeboran digambarkan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Konsep Drilling

2.3 Fungsi Keseluruhan dari Mesin Drilling Multi Spindle

Dengan menggunakan metodologi pendekatan sistematis [7] dapat dirumuskan fungsi keseluruhan mesin sebagaimana digambarkan dalam bentuk Black Box Process Gambar 4.



Gambar 4. Black Box Process

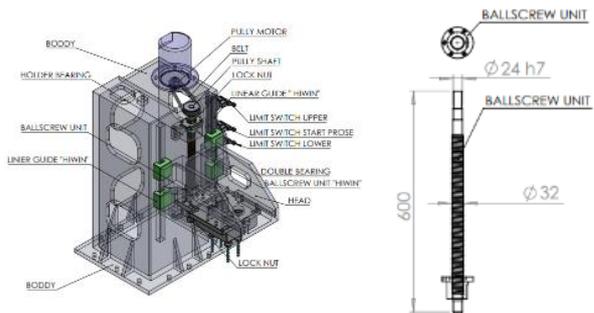
2.4 Konsep Gear Box



Gambar 5. Konsep Gear Box

2.5 Konsep Penggerak Spindle

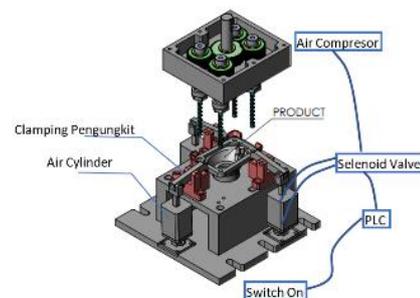
Konsep Penggerak Mesin Drilling Multi Spindle menggunakan Ballscrew yang digerakkan oleh Motor Listrik yang diatur oleh Inverter dan dikontrol oleh PLC seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Konsep Penggerak Spindle

2.6 Konsep Jig Clamping

Konsep pengecaman benda kerja ketika proses pengeboran menggunakan system *pneumatic cylinder* yang digerakkan oleh tenaga angin bersumber dari kompresor yang dikontrol melalui PLC seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsep Jig Clamping

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Perhitungan Kondisi Pengeboran

Seluruh parameter berhubungan erat antara jenis material dengan *Tooling* dan akan menghasilkan perhitungan besarnya Putaran Mata bor, kecepatan pemakanan, waktu pengeboran hingga besarnya daya motor yang akan digunakan.

3.1.1 Menentukan Kecepatan *Spindle*

Tooling yang dipakai dalam proses pengeboran adalah *Drill Bit* (Mata bor) yang biasa dipakai didalam industri manufaktur. Jenis Mata bor dengan spesifikasi pada Gambar 8 :



Gambar 8. *Drill bit*

Besaran putaran *spindle* didasarkan pada Persamaan 1 [8]:

$$N = \frac{v \times 1000}{\pi D} \quad (1)$$

Dimana:

- N = Putaran *Spindle* (Rpm)
- v = *Cutting Speed* (m/min)
- D = *Diameter Tools* (mm)

Material *Alluminium Alloy* yang sudah mengalami *Treatment Panas* mempunyai nilai *Cutting Speed* 75 – 105 m/min [8]

Pada Mesin *Multi Spindle* ini nilai *cutting speed* tidak disamakan dengan mesin mesin CNC dikarenakan *rigid* tidaknya mesin yang akan digunakan, disini nilai *cutting speed* dipengaruhi oleh nilai keamanan (*safety factor*) yaitu 0,5. jadi Nilai *Cutting Speed* yang digunakan dengan persamaan 2 yaitu [8]:

$$v = CS \times Sf \text{ (safety factor)} \quad (2)$$

$$v = 75 \times 0.5$$

$$v = 37.5 \text{ mm/min}$$

$$v = 40 \text{ mm/min}$$

$$N = \frac{v \times 1000}{\pi D}$$

$$N = \frac{40 \text{ m/min} \times 1000}{3.14 \times 9.1 \text{ mm}}$$

$$N = 1399 \text{ (Rotasi per minute)}$$

$$N = 1400 \text{ Rpm}$$

3.1.2 Menentukan Kecepatan Pemotongan dengan persamaan 3 [8]

$$f_{r1} = Nf \quad (3)$$

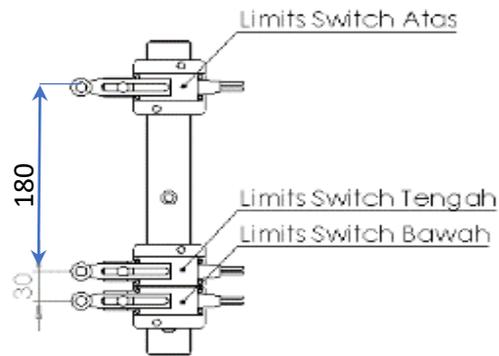
Dimana :

$$f = \text{Feeding in rotation (mm/rev)}$$

$$f_{r1} = 1400 \text{ Rpm} \times 0.3 \text{ mm/rev}$$

$$f_{r1} = 420 \text{ mm/min}$$

3.1.3 Menentukan waktu Proses dengan persamaan 4 [8]



Gambar 9. *Limits Switch*

$$T_m = \frac{t + A}{f_r} \quad (4)$$

Dimana :

$$T_m = \text{Waktu Machining (min)}$$

$$t_1 = \text{Ketebalan Material (mm)}$$

$$t_2 = \text{jarak Lim Atas ke bawah (mm)}$$

$$f_r = \text{Feed Rate (mm/min)}$$

$$A = 0.5 D \tan(90 - \frac{\theta}{2})$$

$$T_{m1} = \frac{30 \text{ mm}}{420 \text{ mm/min}}$$

$$T_{m1} = 0.071 \text{ min}$$

$$T_{m1} = 4.28 \text{ second}$$

3.1.4 Menentukan R_{MR} (*Rate Material Removal*)

R_{MR} (*Rate Material Removal*) adalah nilai pelepasan material yang setelah proses pengeboran dalam satuan milimeter kubik per menit, proses pengeboran ini hanya memperbesar diameter lubang dari $\varnothing 8.5$ menjadi $\varnothing 9.1$ maka *Rate Material Removal* ditentukan dengan persamaan 5 [8]

$$R_{MR} = \frac{\pi D^2 f_{r1}}{4} \quad (5)$$

Dimana :

$$R_{MR} = \text{material terbuang (mm}^3/\text{min)}$$

$$f_{r1} = \text{Feed Rate (mm/min)}$$

$$R_{MR} = \frac{3.14 (9.1^2 - 8.5^2 \text{ mm}) \times 420 \text{ mm/min}}{4}$$

$$R_{MR} = 3.481 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Dengan detail data mata bor Diameter 9.1 mm maka ukuran dari sudutnya sebagai berikut:

$$\text{Sudut potong utama (} k_f \text{)} = 59^\circ$$

$$\begin{aligned}\text{Sudut geser } (\phi) &= 40^\circ \\ \text{Sudut gesek } (\eta) &= 30^\circ \\ \text{Sudut geram } (\gamma_0) &= 20^\circ\end{aligned}$$

$$a = \frac{d}{2}$$

$$a = \frac{9.1 \text{ mm}}{2}$$

$$a = 4.55 \text{ mm}$$

Luas penampang G yang belum terpotong (A) didapat dengan persamaan 6 [8]:

$$A = b \times h \quad (6)$$

$$\begin{aligned}&= \frac{a}{\sin k_r} \times \frac{f}{2} \times \sin k_r \\ &= \frac{4.55 \text{ mm}}{\sin 59^\circ} \times \frac{0.3 \text{ mm}}{2} \times \sin 59^\circ \\ &= 0.682 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sedangkan tegangan tarik material Aluminium (σ_{ts}) adalah 69 N/mm² [9]

3.1.5 Menentukan Tegangan Geser

Tegangan geser dapat dicari melalui persamaan 7 [9]

$$\begin{aligned}2 \tau_{shi} &= 1,155 \sigma_{ts} \quad (7) \\ \tau_{shi} &= 0,5775 \sigma_{ts} \\ \tau_{shi} &= 0,5775 \times 69 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{shi} &= 39.84 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Gaya geser (F_s) didapat dengan persamaan 8 [9]

$$\begin{aligned}F_s &= \tau_{shi} \times A_{shi} \quad (8) \\ F_s &= \tau_{shi} \times \frac{A}{\sin \phi} \\ F_s &= 39.84 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0.682 \text{ mm}^2}{\sin 40^\circ} \\ &= 42.32 \text{ N}\end{aligned}$$

3.1.6 Menentukan Gaya Potong

Sehingga gaya potong (F_v) pada proses *drilling* dengan persamaan 9 [9]:

$$\begin{aligned}F_v &= \frac{F_s \cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma_0)} \quad (9) \\ F_v &= \frac{42.32 \text{ N} \times \cos(30^\circ - 20^\circ)}{\sin 40^\circ \times \cos(40^\circ + 30^\circ - 20^\circ)} \\ &= 101.03 \text{ N}\end{aligned}$$

3.1.7 Menentukan Gaya Makan

Gaya makan (F_f) pada proses *drilling* dengan persamaan 10 [9]:

$$\begin{aligned}F_f &= F_v \tan(\eta - \gamma_0) \quad (10) \\ F_f &= 101.03 \text{ N} \times \tan(30^\circ - 20^\circ) \\ F_f &= 17.81 \text{ N}\end{aligned}$$

3.1.8 Menentukan Gaya Total

Gaya total pada proses *drilling* ditentukan dengan persamaan 11 [9] yaitu:

$$\begin{aligned}F_t &= (F_v + F_f) \times 4 \quad (11) \\ F_t &= (101.03 \text{ N} + 17.81 \text{ N}) \times 4 \\ F_t &= 475.81 \text{ N}\end{aligned}$$

3.1.9 Menentukan Momen Torsi

Momen Torsi pada proses Pengeboran ini ditentukan dengan persamaan 12 [9] yaitu:

$$M_t = F_t \frac{d+d_1}{2} \quad (12)$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\text{Gaya total (Ft)} &= 475.81 \text{ N} \\ \text{Diameter mata bor (d)} &= 9.1 \text{ mm} \\ \text{Diameter ujung mata bor (d1)} &= 2 \text{ mm} \\ M_t &= 475.81 \text{ N} \frac{9.1 \text{ mm} + 2 \text{ mm}}{2}\end{aligned}$$

$$= 2640.7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.1.10 Menentukan R_MR (*Rate Material Removal*)

Menghitung daya motor dengan persamaan 13 [9]:

$$\begin{aligned}N1 &= \frac{M_t \cdot 2\pi \cdot n_2}{60.000.000} \quad (13) \\ N1 &= \frac{2640.7 \times 2 \times 3.14 \times 1400}{60.000.000} \\ &= 0,386 \text{ kW} \\ &= 386 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Pemilihan Jenis dan kekuatan motor didasari oleh besarnya kekuatan yang dibutuhkan untuk proses Pengeboran, dari perhitungan didapati kekuatan untuk proses pengeboran dengan empat lubang sekali proses dibutuhkan 386 Watt, Maka motor yang dipilih adalah motor yang mempunyai kekuatan minimal 386 watt yaitu 500 Watt atau $\frac{3}{4}$ Hp (*Horse Power*).

3.2 Menentukan Ukuran Roda Gigi

Putaran Motor 1400 Rpm
Diameter Puly 1 : Ø65 mm
Diameter Puly 2 : Ø90 mm
Rasio *Pully Primer* digunakan pada Persamaan 14 [8]:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{d2}{d1} \quad (14)$$

$$N2 = \frac{N1 \times d1}{d2}$$

$$\begin{aligned}N2 &= \frac{1400 \text{ Rpm} \times 65 \text{ mm}}{90} \\ N2 &= 1011 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

Maka putaran Pully 2 adalah 1011 Rpm

- Gear Primer $z = 33$
- Gear Sekunder $z = 24$
- Rasio Perbandingan gear $33 : 24$

Rasio Pully Sekunder digunakan pada Persamaan 15 [9]:

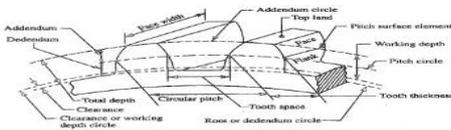
$$N_2 = \frac{N_1 \times z_1}{z_2} \quad (15)$$

$$N_2 = \frac{1011 \text{ Rpm} \times 33}{24}$$

$$N_2 = 1390 \text{ Rpm}$$

$$N_2 = 1400 \text{ Rpm}$$

Dalam menentukan Ukuran dari roda gigi, harus ditentukan fungsi dari roda gigi yang akan digunakan, dan harus didesain sesuai perhitungan serta susunan dari roda gigi seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Susunan Roda Gigi

3.3 Menghitung Nilai Frekuensi Inverter

Menghitung putaran motor dan nilai frekuensi pada inverter dengan persamaan 16 [9]:

$$N_1 = 120 \frac{F}{P} \quad (16)$$

$$N_1 = \frac{120F}{P \times f_r}$$

$$F = \frac{N_1 P f_r}{120}$$

$$N_1 = \frac{N_2 \times Z_2}{Z_1}$$

$$N_2 = \frac{1 \text{ rev}}{5 \text{ mm}}$$

$$F = \left(\frac{Z_2 \times P \times f_r}{120 \times 5 \times Z_1} \right)$$

Dimana:

N_1 = Putaran Motor (Rpm)

F = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah Kutub (Phole)

f_r = Feed rate (mm/min)

Z_1 = Jumlah alur pada Timing Pully 1

Z_2 = Jumlah alur pada Timing Pully 2

Cara yang paling sering digunakan adalah dengan modulasi lebar pulsa, sinyal control di dapat dengan cara membandingkan sinyal referensi (*sinusoidal*) dengan sinyal *carrier* (isinya segitiga). Dengan ini frekuensi dan tegangan fundamental mempunyai frekuensi yang sama dengan sinyal *sinusoidal*.

Secara umum industry menggunakan *inpuatan Inverter* dari arus bolak balik (AC), maka *inverter* di

ubah proses konverternya dari arus bolak –balik (AC) menjadi arus searah (DC) lalu di konversikan lagi menjadi arus bolak balik (AC) dengan frekuensi yang berbeda beda, tetapi Tegangan yang diterima tetap.



Gambar 11. Cara Kerja Inverter

3.4 Hasil Pabrikasi

Dalam perakitan untuk pembuatan mesin ini harus dilakukan tahapan tahapan yang sudah menjadi standar perakitan dimulai dari perakitan *Base Table, Frame, Head, Gear Box*, motor listrik, *Jig Machining* sampai Instalasi PLC dan *Inverter*.

3.4.1 Assy Gear Box

Gear Box adalah komponen rakitan yang sangat penting dalam mesin *Multi Spindle* karena berfungsi sebagai pembagi satu Putaran dari *Spindle motor* menjadi 4 putaran *spindle tools*, Material yang digunakan dalam pembuatan gear box ini menggunakan Baja S45C, yang diproses dengan CNC hingga ukuran yang presisi, *Spindle* ini terdiri dari berbagai komponen yang di rakit menjadi satu kesatuan seperti pada Gambar 12 antara lain:

1. Perakitan *Bearing*
2. Perakitan *Tooling*
3. Perakitan *Spindle*
4. Perakitan *Primer Gear*
5. Perakitan *sekunder Gear*



Gambar 12. Assy Gear Box

3.4.2 Perakitan Seluruh Komponen

Hasil dari perakitan dari seluruh komponen dalam unit mesin *Drilling Multi Spindle* dapat dilihat dari gambar 13.



Gambar 13. Assembling Total

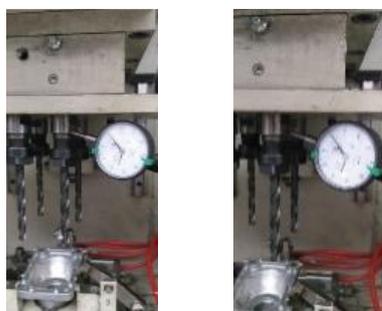
3.5 Hasil Uji Coba Mekanis

Uji coba mekanis dilakukan setelah seluruh bagian mesin sudah terpasang, uji coba mekanis ini meliputi:

3.5.1. Putaran Spindle

Concentrical adalah factor yang sangat penting untuk mendapatkan hasil diameter pengeboran yang baik, semakin kecil nilai *Run Out Concentrical* maka semakin *Rigid* hasil yang didapatkan.

Cara mengukur *concentrical* dari *Shaft Spindle* ini adalah dengan Menyentuhkan dan menekan di bidang tertinggi dan bidang terendah dari *Spindle shaft* atau pun bidang dari mata bor, alat yang digunakan untuk mengukur menggunakan Dial Indikator “*Mituyoyo*” 0.005 mm buatan Japan, cara pengukurannya seperti Gambar 4.7.



Gambar 14. Pengecekan Spindle

3.5.2 Gerakkan Pencekaman Benda Kerja

Gerakkan Pencekaman benda kerja dilakukan dengan menggunakan Tuas Pengungkit yang gerakkan oleh *air cylinder* dengan sumber energy dari udara, yang diatur oleh *Seleniod pneumatic* yang sudah terprogram. Dari uji coba pengeckaman sudah sesuai dengan mekanisme dari unit mesin ini. Cara Pengukuran kestabilan Benda Kerja ketika proses pengeckaman ditunjukkan pada Gambar 15.

Pengukuran Pencekaman benda kerja juga dilakukan agar dapat mengetahui apakah ada perbedaan posisi dari pengeckaman benda kerja satu dengan yang lainnya, pengeckkan ini menggunakan Dial Indikator “*Mitutoyo*” 0.005 mm buatan Japan.



Gambar 15. Pengecekan Kestabilan Jig

3.6 Hasil Produk Pengeboran

Hasil produk dari *lever Retainer control shift* didapat setelah dilakukan pengeboran dengan

menggunakan unit mesin *drilling Multi spindle* ini dengan ruang lingkup kualitas dari beberapa spesifikasi teknis antara lain;

3.6.1 Nilai Diameter dan Koordinat Lubang

Jumlah populasi dari sampel adalah hasil proses pengeboran dan posisi koordinat lubang diperiksa dengan mengambil sample 30 Unit, dimana satu unit produk mempunyai 4 buah lubang yang akan diukur, jumlah populasinya yang ditentukan menurut persamaan 17 [11];

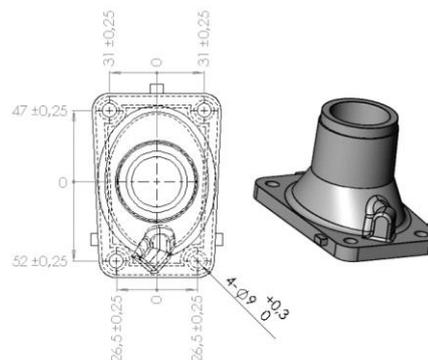
$$N = 30 \text{ Unit} \times 4 \text{ lubang}$$

$$N = 120 \text{ Lubang}$$

Dimana:

$$N = \text{Jumlah Populasi}$$

Alat yang digunakan dalam pengukuran adalah CMM (*Coordinat Measure Machine*).



Gambar 16. Posisi lubang produk

Tabel 1. Pengecekan Diamater dan Jarak Lubang

NO	Sample	Elemen	Dim.		Act Dim.	Dev.	Judgement
			Std.	Tol.			
1	N1	Dia. Hole 1	Ø9	+0.30 -0.00	9,1632	0,1632	OK
		X-Coord.	26,5	+0.25	26,5346	0,0346	OK
		Y-Coord.	-52	+0.25	-52,0846	-0,0846	
		Dia. Hole 2	Ø9	+0.30 -0.00	9,1863	0,1863	OK
2		X-Coord.	-26,5	+0.25	-26,4754	0,0246	OK
		Y-Coord.	-52	+0.25	-52,0846	-0,0846	
		Dia. Hole 3	Ø9	+0.30 -0.00	9,1563	0,1563	
3		X-Coord.	31	+0.25	31,0321	0,0321	OK
		Y-Coord.	47	+0.25	46,9154	-0,0846	
		Dia. Hole 4	Ø9	+0.30 -0.00	9,1260	0,1260	
4		X-Coord.	-31	+0.25	-30,8877	0,1123	OK
		Y-Coord.	47	+0.25	47,0246	0,0246	
		Dia. Hole 1	Ø9	+0.30 -0.00	9,1863	0,1863	
5	N2	X-Coord.	26,5	+0.25	26,4444	-0,0556	OK
		Y-Coord.	-52	+0.25	-52,0311	-0,0311	
		Dia. Hole 2	Ø9	+0.30 -0.00	9,1756	0,1756	
6		X-Coord.	-26,5	+0.25	-26,5356	-0,0356	OK
		Y-Coord.	-52	+0.25	-52,0311	-0,0311	
		Dia. Hole 3	Ø9	+0.30 -0.00	9,1789	0,1789	
7		X-Coord.	31	+0.25	31,0165	0,0165	OK
		Y-Coord.	47	+0.25	46,9689	-0,0311	
		Dia. Hole 4	Ø9	+0.30 -0.00	9,1560	0,1560	
8		X-Coord.	-31	+0.25	-31,0915	-0,0915	OK
		Y-Coord.	47	+0.25	46,9644	-0,0356	

3.6.2 Nilai Kekasaran Permukaan Pengeboran

Uji tingkat kekasaran produk setelah proses pengeboran dipotong beberapa bagian dengan ukuran

15 x 15 x 10 mm agar benda kerja sample dapat di cekam dengan mudah di alat *Roughness tester*. Sampel hasil pengeboran yang akan di Uji seperti Gambar 17.



Gambar 17. Sampel Uji Tingkat Kekasaran (*Roughness*)

Mesin yang digunakan untuk mengukur besaran nilai kekasaran adalah *Surface Test* atau yang sering disebut *roughness tester* yang ditunjukkan pada gambar 18, cara kerja dari mesin ini adalah dengan menarik jarum (*probe*) dari sisi depan ke sisi belakang, dari hasil tarikan ini akan terbentuk grafik besaran kekasaran dengan di skala hingga 10.000 kali sehingga dapat diketahui besaran gunung dan lembah dari profile yang di uji.

Hasil dari uji ini akan menampilkan beberapa ukuran antara lain:

- Ra adalah tingkat kekasaran permukaan rata rata semua nilai ini memakai ukuran dengan satuan μm (micrometer)

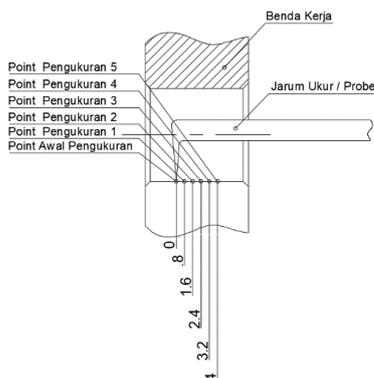


Gambar 18. Mesin *Surface Test* (*Roughness Tester*)

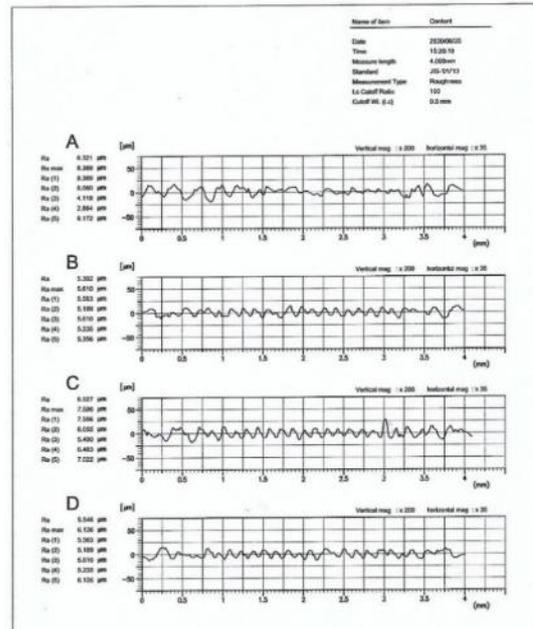
Alat pengukuran ini yang ada mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Nama mesin : SURFCOM 1400G
- Negara Pembuat : Japan

Area pengecekan permukaan meliputi kekasaran lubang yang berada di tengah dengan jarak 4mm



Gambar 19. Area Pengecekan Permukaan



Gambar 20. Hasil Pengukuran Kekasaran Lubang

3.7 Analisa Dan Pembahasan Hasil Produk

Analisa hasil produk dilakukan setelah uji coba pengeboran pertama didapatkan sebagai hasil nilai diameter dan koordinat lubang sudah memenuhi standar toleransi yang ditetapkan sedangkan, nilai kekasaran permukaan masih dibawah standar umum kekasaran machining yaitu $5.964 \mu\text{m}$. Perlu dilakukan uji coba selanjutnya dan perbaikan diantaranya ;

Uji coba kedua dilakukan dengan adanya penambahan *Cutting Oil*, dan didapati nilai kekasaran lubang menjadi $4.581 \mu\text{m}$.

Uji coba ketiga dilakukan dengan mengurangi nilai kecepatan pemakanan menjadi 280 mm/min , dan didapati nilai kekasaran lubang menjadi $3.651 \mu\text{m}$.

Uji coba keempat dilakukan dengan mengurangi nilai kecepatan pemakanan menjadi 200 mm/min , sedangkan kecepatan pemakanan bebas ditambah dari 2500 mm/min menjadi 3500 mm/min dan didapati nilai kekasaran lubang menjadi $3.076 \mu\text{m}$ dengan total waktu pengeboran menjadi 15.69 detik.

Uji Coba dilakukan dengan 4 kali percobaan untuk mendapatkan parameter yang optimal untuk Tingkat kekasaran dan waktu proses pengeboran dengan hasil parameter seperti Tabel 2. :

Tabel 2. Parameter Hasil Pengukuran

NO	Description	Kode	Satuan	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
1	Frekuensi Gerak Bebas	F1	Hz	33,3	33,3	46,7	46,7
2	Frekuensi Gerak Pengeboran	F2	Hz	5,6	5,6	3,7	2,7
3	Jumlah Gigi Timing Pulley 1	Z1		16	16	16	16
4	Jumlah Gigi Timing Pulley 2	Z2		32	32	32	32
5	Kecepatan Gerak Bebas	fr1	mm/min	2500	2500	3500	3500
6	Kecepatan Pengeboran	fr2	mm/min	420	420	280	200
7	Kecepatan Potong	f	mm/rev	0,3	0,3	0,2	0,14
8	Jumlah Phole Motor	P		4	4	4	4
9	Lead Ballscrew	l	mm	5	5	5	5
10	Putaran Motor	N1	Rpm	168	168	112	80
11	Waktu Gerak bebas	t1	second	4,3	4,3	3,1	3,3
12	Waktu Pengeboran	t2	second	4,3	4,3	6,4	4,5
13	Total Waktu Pengeboran	Tm	Second	17,2	17,2	19,0	15,7
14	Jarak Gerak bebas	La	mm	180	180	180	195
15	Jarak Gerak Pengeboran	Lb	mm	30	30	30	15
16	Pelumasan			Tanpa Oli	Dengan Oli	Dengan Oli	Dengan Oli
17	Nilai Rata - rata Kekasaran	Ra	μm	5,964	4,581	3,651	3,076

4 Kesimpulan

Dari penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut;

1. Untuk mempercepat waktu proses produksi dapat digunakan inovasi pembuatan mesin special proses, dengan merubah *drilling single* proses menjadi *drilling multi* proses dengan menghasilkan penghematan waktu proses dari sebelumnya 25 detik menjadi 15.69 detik dengan penghematan 9.31 detik atau *efisiensi* 37.2 % dari total waktu sebelum dilakukan perubahan proses.
2. Dalam mendesain sebuah Mesin special (*special purpose machine*) harus mengetahui karakteristik dari Benda kerja yang diproses dan *Tooling* yang dipakai, sehingga ketika proses tidak mengalami kesulitan yang berarti. Desain Mesin *Multi Spindle* ini menggunakan 4 Mata Bor didalam satu *Gear box*, dengan penggerak utama memakai *Ballscrew* yang digerakkan oleh Motor listrik yang dapat diatur kecepatannya oleh Inverter dengan kontrol PLC (*Programing Logic Control*).
3. Proses pabrikasi dilakukan dengan mengacu pada desain dan gambar kerja dengan melakukan kontrol kualitas yang ketat sesuai dengan standar toleransi yang ada pada gambar kerja sehingga kualitas dan kehandalan mesin dapat tercapai. Hasil uji coba mesin *multi spindle* ini menunjukkan kestabilan Mesin dan kestabilan hasil pengeboran antara lain:
 - *Spec Run Out Spindle* maksimal 42 μm
 - Variasi *Jig Clamping* maksimal 50 μm
 - Nilai penyimpangan diameter lubang maksimal 0.2 mm.
 - Nilai kekasaran permukaan lubang mencapai 3.076 μm

- Automatic Multiple Nuts,” pp. 1841–1847, 2016, doi: 10.15680/IJIRSET.2016.0502126.
- [6] S. Sathishkumar, R. Swaminathan, S. Mithun Sena, and P. T. Dinakaran, “Design and development of special purpose machine using hydropneumatic cylinders to do 4 holes and 2 holes piercing in a square tube,” *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 209–218, 2017.
- [7] G. (Gerhard) Pahl, Ken. Wallace, and L. Blessing, *Engineering design : a systematic approach*. Springer, 2007.
- [8] M. P. Groover, “Fundamentals of modern manufacturing,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, p. 1028, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [9] T. Rochim, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. 1993.

Daftar Pustaka

- [1] A. W. Yudhanto, “Desain Mesin Double Drill Untuk Mempermudah Melubangi Hingge Strip Pada Kelompok Produksi Silent UP (Up Right) (Studi,” *Mathematics Education Journal*, vol. 1, no. 1, p. 75, 2018, doi: 10.29333/aje.2019.423a.
- [2] P. Sugiri, “Final Project Design of Computer Based Automatic,” -, 2015.
- [3] Mukhofidhoh and N. Kholis, “Rancang Bangun Mesin Pengebor PCB Mini Otomatis Berbasis Arduino UNO,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [4] S. Patil and S. R. Basavaraddi, “Design and Analysis of Multi Spindle Drilling Head with Adjustable Centre Distance,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 9, pp. 554–559, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i9/IRJET-V4I994.pdf>
- [5] P. Chauhan and J. Makwana, “Proposed Conceptual Design of Special Purpose Semi-