

OPTIMASI PROSES MACHINING MESIN CNC MILLING UNTUK FRONT CHANNEL DAN REAR CHANNEL PADA ALAT SURFACE CONDENSOR

Muhammad Diki Ramdan Pratama^{1*}, Gatot Eka Pramono¹⁾, Yogi Sirods Gaoz¹⁾

¹Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

*e-mail: muhamaddikiramdan@gmail.com

ABSTRAK

Pada dunia industri penggunaan mesin *konvensional* semakin ditinggalkan karena semakin dirasakan keterbatasan dalam prosesnya, penggunaan mesin cnc sangat dianjurkan karena lebih efisien dan menghasilkan produk yang lebih presisi. Optimasi pada proses machining mesin CNC Milling sangat dibutuhkan karena sangat mempengaruhi efisiensi dan efektifitas dari proses machining tersebut dan juga mencegah terjadinya error saat proses *machining* mesin berlangsung. Pada pembuatan alat *Surface Condensor* khususnya *Front Channel* dan *Rear channel* dibutuhkan *Soft drawing* dan kepresisian saat *machining* agar alat yang dihasilkan mendapatkan performa yang maksimal. Tahap pertama dalam pembuatan *Front Channel* dan *Rear Channel* yaitu dengan membuat *Soft drawing*, setelah itu penentuan *cutting tools* yang akan digunakan untuk di hitung menggunakan perhitungan teoritis dan di simulasikan menggunakan software mastercam X5. Dari perhitungan teoritis mendapatkan nilai *Spindle speed* dan *Feed Rate*, lalu di simulasikan menggunakan mastercam X5 agar mendapatkan waktu machining mesin dan pemilihan alat yang paling optimal. Proses drilling semakin besar *Feed Rate* maka waktu proses machining akan semakin cepat tapi *Cutting tools* akan cepat tumpul. Pada proses milling menggunakan *Flat Endmill* Ø10 nilai *Cutting Speed* 250 m/min mendekati batas maksimal Rpm pada mesin dan *Cutting Speed* 300 m/min melewati batas maksimal. proses milling menggunakan *Flat Endmill* Ø25 mendapatkan optimasi *Cutting tools* dengan *Cutting speed* 200m/min karena Power maksimal pada mesin cnc tersebut hanya 7.5/11kW.

Kata kunci : *Cutting tools, Mastercam X5, Mesin CNC Milling, Optimal, Surface Condensor*

ABSTRACT

In the industrial world, the use of conventional machines is increasingly being abandoned because of the perceived limitations in the process, the use of CNC machines is highly recommended because it is more efficient and produces more precise products. Optimization of the machining process of the CNC Milling machine is needed because it greatly affects the efficiency and effectiveness of the machining process and also prevents errors from occurring during the machining process. In the manufacture of Surface Condenser tools, especially Front Channel and Rear channel, soft drawing and precision when machining are needed so that the resulting tool gets maximum performance. The first stage in making the Front Channel and Rear Channel is by making Soft drawings, after that the determination of the cutting tools that will be used to be calculated using theoretical calculations and simulated using Mastercam X5 software. From the theoretical calculations get the value of Spindle speed and Feed Rate, then simulated using a X5 mastercam in order to get the machining time of the machine and the selection of the most optimal tool. The higher the drilling process, the higher the feed rate, the faster the machining process will be, but the cutting tools will dull quickly. In the milling process using a Flat Endmill 10 the Cutting Speed value of 250 m/min approaches the maximum limit of Rpm on the machine and the Cutting Speed of 300 m/min exceeds the maximum limit. the milling process using a 25 Flat Endmill gets an optimization of Cutting tools with a Cutting speed of 200m/min because the maximum power on the cnc machine is only 7.5/11kW.

Keywords: *Cutting tools, Mastercam X5, Mesin CNC Milling, Optimal, Surface Condensor*

1. PENDAHULUAN

Pada dunia industri di Indonesia, alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) banyak digunakan pada industri *Thermal Power Plant*, jenis alat penukar kalor yang sering dipakai di dunia industri ini yaitu *Surface Condensor*. Ada banyak tipe alat penukar kalor, salah satunya adalah tipe *Shell and Tube Surface Condensor*, alat penukar kalor tipe *shell and tube* paling sering digunakan karena bentuk *surface condensor* tipe *shell and tube* ini dinilai memiliki banyak keuntungan baik dari segi fabrikasi, biaya hingga untuk kinerja[1].

Di industri manufaktur saat ini menuntut kecepatan proses manufaktur dan peningkatan mutu yang sangat tinggi akibat persaingan global. Selain itu, kepresisian dan akurasi produk juga dituntut sebagai kualitas produk. Oleh karena itu, penggunaan mesin otomatis telah menggantikan mesin konvensional yang semakin dirasakan keterbatasan dalam prosesnya. Penggunaan mesin CNC sangat dianjurkan karena hasil proses yang dilakukan sangat efektif dibandingkan dengan cara yang konvensional. Kualitas barang produksi yang dianggap baik biasanya ditandai dengan kualitas[2].

Penentuan *cutting tools* dan parameter mesin yang tepat untuk proses *machining* sangat mempengaruhi efisiensi dan efektifitas pada proses tersebut, yaitu waktu yang dibutuhkan pada saat proses *machining* semakin cepat dan kualitas barang yang dihasilkan semakin baik. Parameter lain yang harus diperhitungkan adalah *Internal Cooling (coolant)*. *Coolant* berfungsi untuk menurunkan temperatur pada saat proses pemotongan sehingga dapat memperpanjang umur *cutting tools*. Temperatur benda kerja yang terjaga dapat mengurangi *deformasi* sehingga memperbaiki kualitas benda kerja, sedangkan penurunan temperatur *cutting tools* dapat memperlambat tingkat keausan[3].

Bidang manufaktur perangkat komputer telah digunakan untuk mengontrol mesin produksi otomatis dengan kecepatan tinggi, misalnya mesin CNC [4]. Dalam proses pemograman dan pengoperasian mesin CNC dibutuhkan bahasa program dan desain 2 dimensi maupun 3 dimensi alat yang akan di *machining*, software tersebut biasa dikenal dengan CAD/CAM. CAD/CAM berfungsi sebagai tempat menyimpan dan memanggil basis data gambar dan atribut suku cadang, menggunakan komputer grafik untuk berkreasi dan display, memanfaatkan simulasi dan model matematis (elemen hingga)

dan dapat juga dimanfaatkan untuk mengontrol proses produksi dengan kontrol numerik dan pemrograman robot [5].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada proses *machining* Mesin Frais memiliki dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan-perhitungan dalam proses pemotongan mesin Frais, Ada beberapa parameter dari mesin *cnc milling* yang dapat diatur oleh operator sebelum melakukan pekerjaannya, putaran tersebut adalah putaran *Spindle (n)*, *Cutting speed (Vc)* dan *Feed Rate (Vf)*. Untuk putaran *spindle* dapat diatur melalui program yang sudah dibuat oleh programmer, dan operator dapat mengaturnya juga melalui *Control panel* yang ada pada mesin. Sama seperti putaran *spindle*, untuk gerak makan juga dapat diatur oleh programmer dan oleh operator.

1. *Cutting Speed (Vc)*

Yang dimaksud *cutting speed* adalah kemampuan alat potong menyayat spesimen sehingga menghasilkan tatal dalam satuan panjang/waktu.

Rumus perhitungan *Cutting Speed*, yaitu :

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \dots\dots\dots[2.1]$$

Dimana :

- V_c : *Cutting Speed* [m/min]
- d : *Diameter Tools* [mm]
- n : *Spindle speed* [Rpm]

2. *Spindle Speed (n)*

Spindle Speed adalah kemampuan kecepatan putar mesin CNC *Milling* untuk melakukan pemotongan atau melakukan penyayatan dalam satuan putaran/menit.

Rumus perhitungan *Spindle Speed*, yaitu :

$$n = \frac{V_c \times 318}{d} \dots\dots\dots[2.2]$$

Dimana :

- n : *Spindle Speed* [Rpm]
- V_c : *Cutting Speed* [mm/min]
- d : *Diameter tools* [mm]

Selain parameter pada mesin CNC *Milling*, setiap proses *machining* mesin CNC mempunyai parameternya sendiri. Berikut adalah rumus tiap proses *machining* mesin CNC *Milling* :

Rumus perhitungan proses *drilling* yaitu :

1. Feed Rate (V_f)

Feed Rate merupakan suatu proses pemfraisan, ditentukan dengan mempertibangkan beberapa faktor diataranya adalah kekerasan material bahan, kedalaman penyayatan dan sudut-sudut alat potong.

Rumus Feed Rate, yaitu :

$$V_f = F_n \times n \dots\dots\dots [2.3]$$

Dimana :

V_f : Feed Rate [mm/min]

F_n : Feed Per revolution [mm/min]

n : Spindle Speed [Rpm]

2. Material Removal Rate (Q)

Material Removal Rate adalah jumlah material yang terbuang pada saat proses machining.

Rumus MRR, yaitu :

$$Q = \frac{d \times F_n \times V_c}{1000} \dots\dots\dots [2.4]$$

Dimana :

Q : Metal Removal Rate [cm³/min]

d : Diameter cutting tools [mm]

F_n : Feed per revolution [mm/min]

V_c : Cutting Speed [mm/min]

3. Power (P_c)

$$P_c = \frac{F_n \times V_c \times d \times K_c}{240 \times 10^3} \dots\dots\dots [2.5]$$

Dimana :

P_c : Power [kW]

V_c : Cutting speed [mm/min]

d : Diameter cutting tools [mm]

K_c : Nilai material [N/mm²]

Untuk proses contour menggunakan rumus Milling, yaitu :

1. Feed Rate (V_f)

Feed Rate merupakan suatu proses pemfraisan, ditentukan dengan mempertibangkan beberapa faktor diataranya adalah kekerasan material bahan, kedalaman penyayatan dan sudut-sudut alat potong.

Rumus perhitungan Feed Rate, yaitu :

$$V_f = F_z \times z \times n \dots\dots\dots [2.6]$$

Dimana :

V_f : Feed Rate [mm/min]

F_z : Feed Per Tooth [mm]

z : Jumlah gigi pada tools

n : Spindle Speed [Rpm]

1. Feed Per Revolution (F_n)

Feed per Revolution adalah kecepatan pemakanan drilling per-revolusi.

Rumus perhitungan Feed Per Revolution, yaitu :

$$F_n = F_z \times z \dots\dots\dots [2.7]$$

Dimana :

F_n : Feed Per Revolution [mm/min]

F_z : Feed per tooth [mm/min]

z : Jumlah gigi pada tools

2. Material Removal Rate (Q)

Material Removal Rate adalah jumlah material yang terbuang pada saat proses machining.

Rumus perhitungan MRR, yaitu :

$$Q = \frac{A_p \times A_r \times V_f}{1000} \dots\dots\dots [2.8]$$

Dimana :

Q : Metal Removal Rate [cm³/min]

A_p : Axial Depth cut (mm)

A_r : Radial Depth cut (mm)

V_f : Feed Rate (mm/min)

3. Power motor (P_c)

Power motor adalah kekuatan putaran yang ada pada spindle.

Rumus perhitungan Power, yaitu :

$$P_c = \frac{A_p \times A_r \times V_c \times K_c}{60 \times 10^3} \dots\dots\dots [2.9]$$

Dimana :

P_c : Power motor [kW]

A_p : Axial Depth cut (mm)

A_r : Radial Depth cut (mm)

V_c : Feed Rate (mm/min)

K_c : Nilai material (N/mm²)

5. Torsi (M_c)

Torsi merupakan gerakan atau gaya tekan pada saat proses machining.

$$M_c = \frac{P \times 60}{2\pi \times n} \dots\dots\dots [2.10]$$

Dimana :

M_c : Torsi [Nm]

P_c : Power motor [kW]

n : Spindle Speed [Rpm]

2.1 Material

Dalam pembuatan alat Surface condensor, pemilihan material yang tepat sangat diperlukan karena dengan pemilihan material yang tepat dapat mempengaruhi kinerja dari alat tersebut.

2.1.1 Material SB-171 C70600

Spesifikasi ini menetapkan persyaratan untuk tabung dan berbagai panduan tembaga digunakan dalam kondensor permukaan (*tubesheet*), *evaporator*, dan penukaran panas.

Tabel 1. Sifat Mekanis SB 171 C70600

	Grade			
	55 [380]	60 [415]	65 [450]	70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	55-75 [380-515]	60-80 [450-550]	65-85 [450-585]	70-90 [485-620]
Yield strength, min, ksi [Mpa]	30 [205]	32 [220]	35 [240]	38 [260]
Elongation in 8 in. [220 mm], min, % (B)	23	21	19	17
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % (B)	27	25	23	21

2.2 Software Engineer Terkait

2.1.1 CAD (Computer Aided Design)

Terkait perancangan alat *Surface Condensor*, ada beberapa *software* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Solidwork Premium*

Solidwork simulation premium menyediakan fungsi *finite element analysis* (FEA) yang luar biasa kepada designers dan *Engineers* dengan biaya yang terjangkau dan tanpa kerumitan.

2. *Solidwork 3D via Composer*

Solidwork 3D Via Composer adalah perangkat lunak komunikasi teknis 3D yang memungkinkan pengguna menjelaskan produk menggunakan data 3D yang ada. Pengguna dapat membuat ilustrasi 2D resolusi tinggi dan animasi 3D untuk mendukung berbagai hasil produk seperti dokumentasi teknis, instruksi kerja 3D, aplikasi layanan animasi, dan jaminan penjualan dan pemasaran.

2.1.2 CAM (Computer Aided Manufacturing)

Computer Aided Manufacturing (CAM) adalah suatu *software* untuk mengontrol tools mesin maupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses permesinan. Pada mesin CNC, *software* CAM berfungsi untuk membantu kegiatan proses manufaktur menjadi lebih cepat, akurat dan juga efisien. Contoh *software* yang digunakan untuk pembuatan alat *Surface Condensor* yaitu *Mastercam*.

1. *MasterCam X5*

MasterCam merupakan *software* yang digunakan untuk menggambarkan atau merencanakan proses permesinan secara virtual melalui layar komputer. Hasil perencanaan proses permesinan tersebut selanjutnya digunakan sebagai pedoman pada pemrograman mesin CNC (*Computer Numerical Controlled*). Keunggulan *MasterCam* yaitu dapat membaca data dari *software* lain seperti *AutoCAD*, *SolidWorks*.

2.3 Standar Internasional Terkait

Standar desain merancang *Surface Condensor* yaitu :

2.1.3 ASME BVPC Code Section VIII Surface Kondenser

Memberikan persyaratan rinci untuk desain, fabrikasi, pengujian, inspeksi dan sertifikat *Surface Kondensor*

1. **Tinjauan ASME Sec. VIII**

ASME menerbitkan dan mempertahankan Kode Boiler dan Pressure Vessel Internasional (BPVC) yang menetapkan margin keselamatan yang dapat diterima. ASME Sec. VIII dari kode tersebut didedikasikan untuk bejana tekan. Ini memberikan persyaratan rinci untuk desain, fabrikasi, pengujian, inspeksi, dan sertifikasi bejana tekan dan bejana tekan yang tidak dikunci. Ini secara khusus mengacu pada bejana tekan yang beroperasi pada tekanan, baik internal maupun eksternal, yang melebihi 15 psig. Pembaruan terbaru diterbitkan pada 2017.

2. **ASME Code Sec. VIII**

ASME Sec. VIII dibagi menjadi 3 bagian, yang masing-masing mencakup spesifikasi kapal yang berbeda. Divisi 1 membahas persyaratan untuk desain, fabrikasi, inspeksi, pengujian, dan sertifikasi. Divisi 2 memberikan persyaratan tentang bahan, desain, dan standar pemeriksaan non-destruktif. Divisi 3 memberikan pedoman untuk bejana tekan yang beroperasi pada tekanan internal atau eksternal di atas 10.000 psi. Semua 3 Divisi mengacu pada banyak standar lain seperti yang diuraikan di bawah ini:

a). **ASME BPVC Sec. VIII, Div. 1**

Divisi 1 sebagai besar berisi appendiks, beberapa wajib dan beberapa tidak wajib, yang merinci kriteria desain tambahan, teknik pemeriksaan tidak rusak, dan standar penerimaan inspeksi untuk bejana tekan. Lini juga berisi aturan yang berlaku untuk tanda sertifikasi ASME tunggal dengan penanda U, UM, dan UV.

Standar ASME yang dirujuk – Divisi 1 :

- a) 5 standar dari B1 tentang ulir Sekrup
- b) 13 standar dari seri B16 tentang flensa dan fitting pipa
- c) 9 standar dari seri B18 pada baut hex
- d) B36.10M Pipa Baja Tempa Dilas dan Seamless
- e) B36.19M: Pipa baja tahan karat
- f) NQA-1: Persyaratan Program Jaminan kualitas untuk fasilitas Nuklir
- g) PCC-1: Panduan Untuk Rakitan Sambungan Flensa Berbaut Batas Tekanan
- h) PCC-2: Perbaikan Peralatan Tekanan dan Perpipa
- i) PTC 25: Perangkat Relief Tekanan
- j) QAC-1: Kualifikasi untuk pemeriksaan Resmi
- k) ASME BPVC Sec. VIII, Div. 2

b). ASME BPVC Sec. VIII, Div. 2

Divisi 2 berisi persyaratan untuk material, desain dan teknik pemeriksaan tak rusak untuk bejana tekan. Dibandingkan dengan divisi 1, standar divisi 2 jauh lebih ketat, tetapi memungkinkan nilai intensitas stress yang lebih tinggi. Aturan yang ditetapkan divisi 2 dapat juga berlaku untuk kapal tekanan hunian manusia, terutama industri selam. Seperti Divisi 1, Divisi 2 berisi pedoman yang berlaku untuk penggunaan tanda sertifikasi ASME tunggal yang berlaku untuk penanda U2 dan UV.

Standar ASME yang dirujuk- Divisi 2:

- a) ASME FFS-: Fitnees-For-Service
- b) Standar dari seri B1 tentang ulir Sekrup
- c) 9 standar dari seri B16 Tentang Flensa dan fitting pipa
- d) Standar dari seri B18 pada baut hex
- e) B36.10M: pipa baja tempa dilas dan seamless
- f) B36. 19M: pipa baja tahan karat
- g) NQA-1: persyaratan program jaminan kualitas untuk fasilitas nuklir
- h) PCC-1: panduan untuk rakitan sambungan flensa berbaut batas tekanan
- i) PTC 25: Perangkat Relief Tekanan
- j) QAI-1: kualifikasi untuk pemeriksaan resmi

2.1.4 ASME BPVC Code Section II Material

Section II dibagi menjadi 4 bagian, yang masing-masing mencakup spesifikasi material yang berbeda, antara lain :

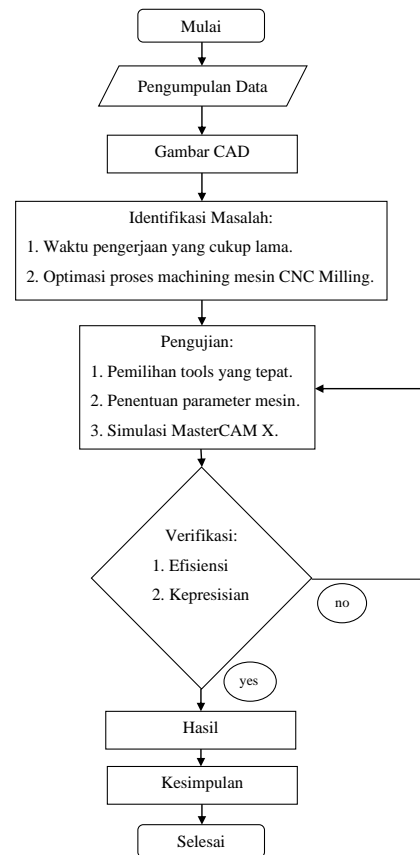
- 1. ASME Part A Ferrous Materials Specification.

- 2. ASME Part B Nonferrous Materials Specification.
- 3. ASME Part C Specification for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals.
- 4. ASME Part D Properties (Metric)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir dijelaskan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Persyaratan Produk

Persyaratan produk *Front Channel* dan *Rear Channel Surface Condensor* dengan penjelasan pada tabel.

Tabel 2. Persyaratan Produk

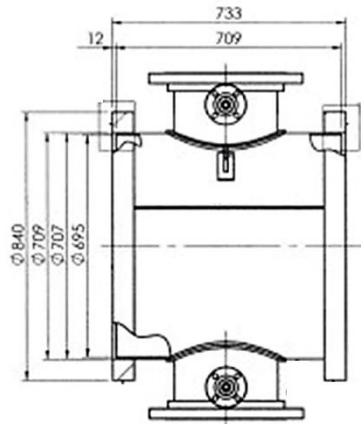
No	Produk	Material	Qty	Ukuran
1	Channel Shell	B-171 C70600	1	2202 × 709 Thk 6mm
2	Channel Cover	B-171 C70600	1	Ø840 × Thk 68mm
3	Channel Flange	B-171 C70600	2	OD 840 × ID 709 Thk 6mm

4	Rear Channel	B-171 C70600	1	493 x ID 695 x Thk 7mm
---	--------------	-----------------	---	---------------------------

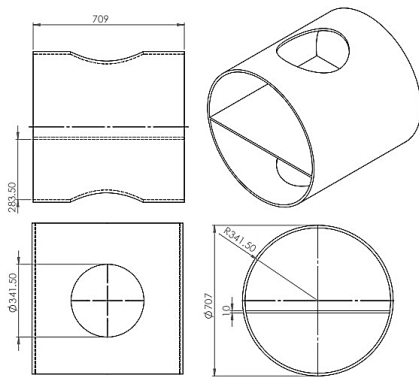
3.3 Detail Desain dan spesifikasi alat yang digunakan

1. Front Channel Surface Condensor

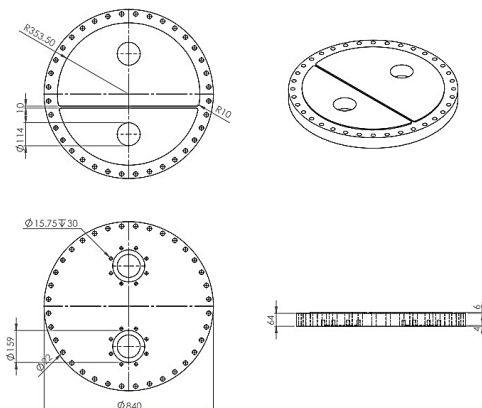
Berikut adalah detail desain *Front Channel Surface Condensor* dan *part-part* yang ada pada *Front Channel*, berupa *Shell Cover*, *Channel Cover* dan *Flange*.



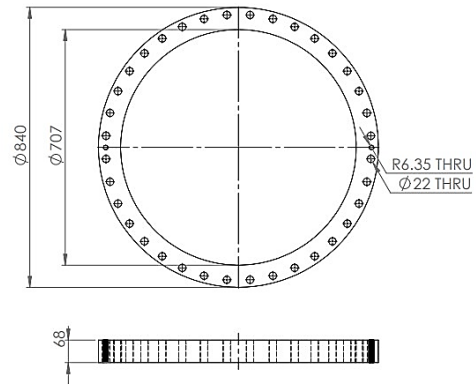
Gambar 2. Detail design Front Channel Surface Condensor



Gambar 3. Detail design Shell Front Channel

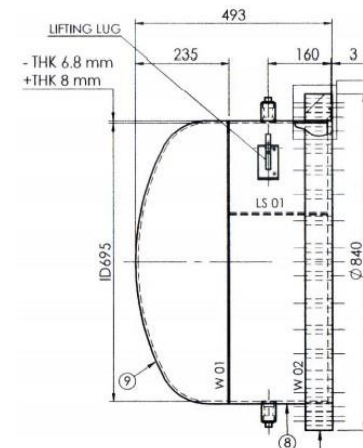


Gambar 4. Detail design Channel Cover



Gambar 5. Detail Design Flange

2. Rear Channel Surface Condensor

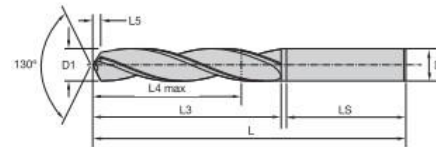


Gambar 6. Detail Design Rear Channel

Berikut ini adalah *cutting tools* yang digunakan dalam penelitian.

1. Drill

Drill digunakan untuk proses pelubangan pada material.



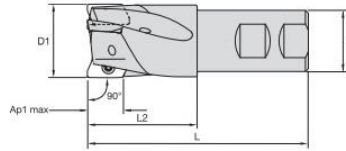
Gambar 7. Drill

Tabel 3. Spesifikasi Tool Drill

Cutting Speed (Non ferrous)			Spesification						
min	Starti ng value	m ax	D 1	L	L3	L4 ma x	L5	LS	D
100	180	400	18.5	153	101	77	4.6	50	20
			22	167	112	85	5.2	50	20

2. Endmill

Endmill digunakan untuk proses contour pada mesin CNC



Gambar 8. Endmill

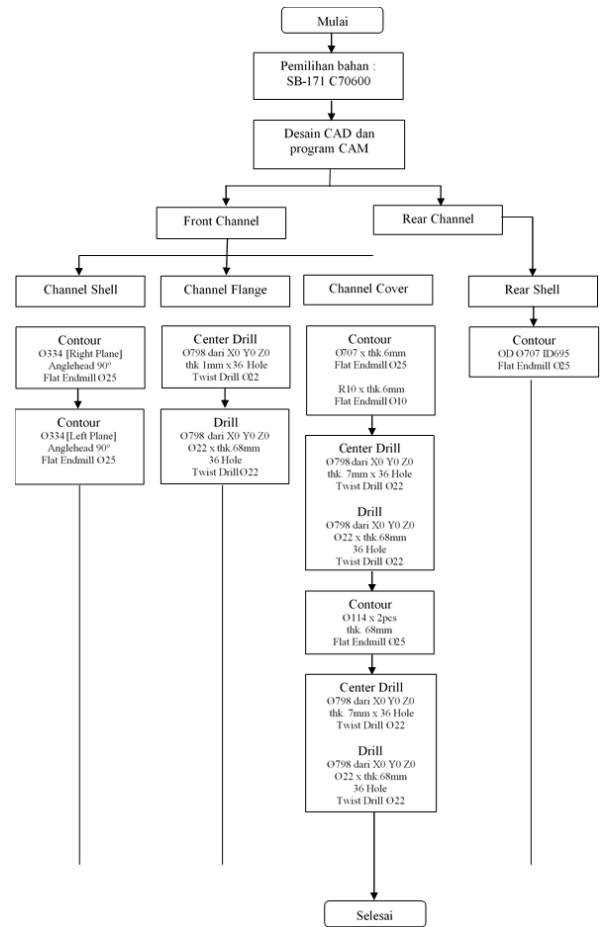
Tabel 4. Spesifikasi Tool Endmill

D1	D1 max	L	L	Ap max
10				
25.00	26.00	133.0	44	0.6
Max Ramp Angle	kg		Max RPM	
17.3°	0.29		37380	

3.6 Parameter Pengujian

Berdasarkan desain dan material yang akan dibuat maka pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui optimalnya proses machining mesin dari segi waktu dan pemilihan cutting tools yang tepat untuk material SB-171 C70600 adalah dengan mencari nilai material *Chopper* (V_c) untuk menentukan *Revolution Per Minute* (RPM) yang akan diaplikasikan, menentukan nilai *Cutting Speed*, *Feed Rate*, *Depth Cut* dengan melihat spesifikasi dari *cutting tools* yang digunakan.

3.6 Diagram Alir Proses Machining



Gambar 9. Diagram Alir proses Machining

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan proses Milling

1. Perhitungan Spindle Speed (n) proses Milling

Perhitungan *Spindle Speed* (n) proses *milling* menggunakan *Flat Endmill* Ø10 dengan V_c 175 m/min, *Spindle Speed* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.2]

$$n = \frac{V_c \times 1000}{d \times \pi}$$

Rumus *Spindle Speed* dapat di sederhanakan menjadi,

$$n = V_c \times 318 \div d$$

$$n = 100 \text{ m/min} \times 318 \div 10 \text{ mm}$$

$$n = 3180 \text{ Rpm}$$

Dimana :

- n : *Spindle Speed* [Rpm]
- V_c : *Cutting Speed* [m/menit]
- d : *Diameter tools* [mm]
- π : 3.14

2. Perhitungan Cutting Speed (V_c) proses Milling

Nilai V_c diketahui dengan melihat *cutting data* pada *Master Catalogue Cutting Tools* yang sudah direkomendasikan, perhitungan *Cutting Speed (V_c)* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2.1]

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

$$V_c = \frac{3.14 \times 10 \text{ mm} \times 3180 \text{ Rpm}}{1000}$$

$$V_c = \frac{99.852 \text{ mm/min}}{1000}$$

$$V_c = 99,8 \text{ m/min} \approx 100 \text{ m/min}$$

Dimana :

- V_c : *Cutting Speed* [m/min]
- π : Pi (3.14)
- d : *Diameter Tools* [mm]
- n : *Spindle Speed* [Rpm]

3. Perhitungan Feed Rate (V_f) proses Milling

Feed Rate pada proses *milling* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2.6]

$$V_f = z \times F_z \times n$$

$$V_f = 3 \text{ gigi} \times 0,1 \text{ mm/min} \times 3180 \text{ Rpm}$$

$$V_f = 954 \text{ mm/min}$$

Dimana :

- V_f : *Feed Rate* [mm/min]
- z : *Jumlah gigi pada tools*
- F_z : *Pemakanan per gigi* [mm/min]
- n : *Spindle speed* [Rpm]

4. Perhitungan Metal Removal Rate (Q) proses Milling

menghitung *Metal Removal Rate* dihitung menggunakan persamaan [2.8]

$$Q = \frac{A_p \times A_e \times V_f}{1000}$$

$$Q = \frac{12,5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 954 \text{ mm}}{1000}$$

$$Q = \frac{11.952}{1000}$$

$$Q = 11,9 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Dimana :

- Q : *Metal Removal Rate* (cm^3/min)
- A_p : *Axial Depth cut* (mm)
- A_e : *Radial Depth cut* (mm)
- V_f : *Feed Rate* (mm/min)

5. Perhitungan Power (P_c) proses Milling

Menghitung *Power* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.9]

$$P_c = \frac{A_p \times A_e \times V_f \times K_c}{60 \times 10^6}$$

$$P_c = \frac{12,5 \times 1 \times 954 \times 650}{60 \times 10^6}$$

$$P_c = \frac{7.751.250}{60 \times 10^6}$$

$$P_c = 0,12 \text{ kW}$$

Dimana :

- P_c : *Power* [kW]
- A_p : *Axial Depth cut* (mm)
- A_e : *Radial Depth cut* (mm)
- V_f : *Feed Rate* (mm/min)
- K_c : *Nilai material* (N/mm^2)

6. Perhitungan Torsi (M_c) proses Milling

Menghitung *Torsi* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.10]

$$\text{Torsi } (M_c)$$

$$M_c = \frac{P_c \times 60}{2\pi \times n}$$

$$M_c = \frac{0,19 \text{ kW} \times 60}{2\pi \times 4770 \text{ Rpm}}$$

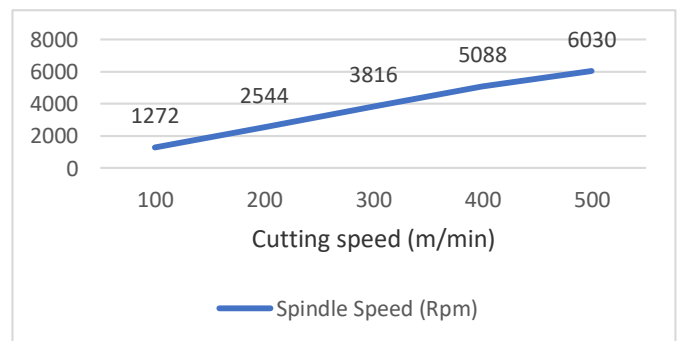
$$M_c = 0,38 \text{ Nm}$$

Dimana :

- M_c : *Torsi* [Nm]
- P_c : *Power motor* [kW]
- n : *Spindle Speed* [Rpm]

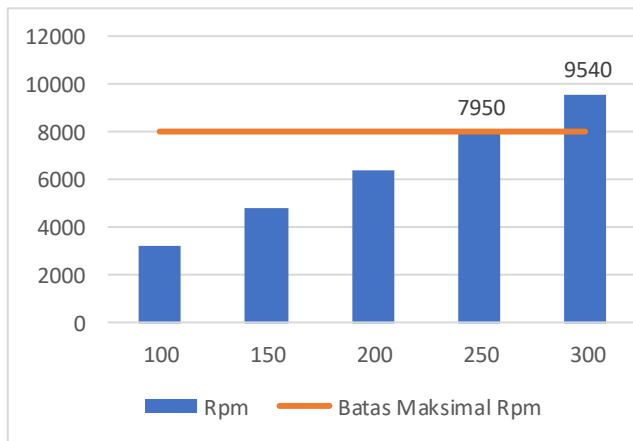
Pada proses *machining milling Channel Cover* dengan V_c menggunakan *Flat Endmill Ø25* mendapatkan hasil 1 jam 40 menit 10,58 detik, semakin besar *Cutting speed* yang digunakan maka *Spindle Speed* (n) akan semakin besar.

Pengaruh *Cutting Speed* terhadap *Spindle Speed* dapat dilihat dari grafik berikut :



Gambar 10. Pengaruh *Cutting Speed* terhadap Rpm

Pada proses *milling Ø10* nilai *Cutting Speed* 250 m/min mendekati batas maksimal Rpm pada mesin dan *Cutting Speed* 300 m/min melewati batas maksimal.



Gambar 11. Grafik batas max Rpm Flat Endmill Ø10

4.2 Perhitungan proses Drilling

1. Perhitungan Spindle Speed (n)

Perhitungan *Spindle Speed* (n) proses *drilling* menggunakan *drilling* Ø22 dengan V_c 175 m/min dapat dihitung menggunakan persamaan [2.2]

$$n = \frac{V_c \times 1000}{d \times \pi}$$

Rumus *Spindle Speed* dapat di sederhanakan menjadi,
 $n = V_c \times 318 \div d$
 $n = 175 \text{ m/min} \times 318 \div 22 \text{ mm}$
 $n = 2529,5 \text{ Rpm}$

Dimana :

n : *Spindle Speed* [Rpm]
 V_c : *Cutting Speed* [m/menit]
d : *Diameter tools* [mm]

2. Perhitungan Cutting Speed (V_c)

Nilai V_c diketahui dengan melihat *cutting data* pada *Master Catalogue Cutting Tools* yang sudah direkomendasikan, *Cutting Speed* (V_c) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2.1].

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

$$V_c = \frac{3.14 \times 22 \text{ mm} \times 2529,5 \text{ Rpm}}{1000}$$

$$V_c = \frac{174.738 \text{ mm/min}}{1000}$$

$V_c = 174,7 \text{ m/min} \approx 175 \text{ m/min}$

Dimana :

V_c : *Cutting Speed* [m/min]
 π : Pi (3.14)
d : *Diameter Tools* [mm]
n : *Spindle Speed* [Rpm]

3. Perhitungan Feed Rate (V_f)

Setelah nilai *Spindle speed* dan *Cutting speed* sudah ditentukan, selanjutnya yaitu *Feed Rate*. *Feed Rate* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.3].

$$V_f = F_n \times n$$

$$V_f = 0,52 \text{ mm} \times 2529,5 \text{ m/min}$$

$$V_f = 1315,3 \approx 1315 \text{ mm/min}$$

Dimana :

V_f : *Feed Rate* [mm/menit]

n : *Spindle speed* [Rpm]

F_n : *Pemakanan per Putaran* [mm/min]

4. Perhitungan Metal Removal Rate (Q)

Untuk mengetahui nilai *MRR* atau *beram* yang terbuang pada saat proses *machining* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.4]

$$Q = \frac{d \times F_n \times V_c}{4}$$

$$Q = \frac{22\text{mm} \times 0,52\text{mm} \times 175\text{m/min}}{4}$$

$$Q = 500,5 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Dimana :

Q : *Metal Removal Rate* (cm³/min)

d : *Diameter cutting tools* [mm]

F_n : *Feed per revolution* [mm/min]

V_c : *Cutting Speed* [mm/min]

5. Perhitungan Power motor (P_c)

Untuk mengetahui *Power* yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan [2.5].

$$P_c = \frac{F_n \times V_c \times d \times K_c}{240 \times 10^3}$$

$$P_c = \frac{0,52 \text{ mm} \times 175 \text{ m/min} \times 22 \text{ mm} \times 650 \text{ N/mm}^2}{240 \times 10^3}$$

$$P_c = \frac{1.301.000}{240.000}$$

$$P_c = 5,4 \text{ kW}$$

Dimana :

P_c : *Power* [kW]

V_c : *Cutting speed* [mm/min]

d : *Diameter cutting tools* [mm]

K_c : *Nilai material* [N/mm²]

6. Perhitungan Torsi motor (M_c)

Menghitung *torsi motor* dapat dihitung menggunakan persamaan [2.11]

$$M_c = \frac{P_c \times 60}{2\pi \times n}$$

$$M_c = \frac{5,4 \text{ kW} \times 60}{2\pi \times 2529,5 \text{ Rpm}}$$

$$M_c = 0,38 \text{ Nm}$$

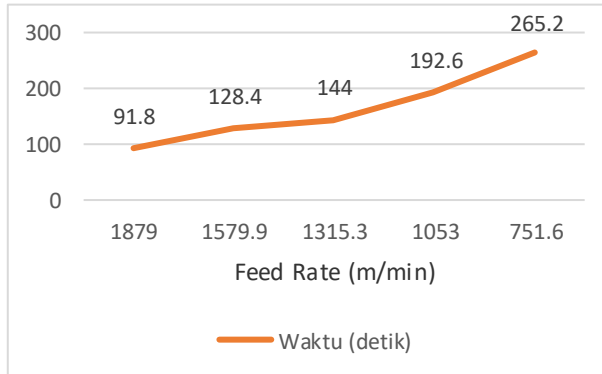
Dimana :

M_c : *Torsi* [Nm]

P_c : *Power motor* [kW]

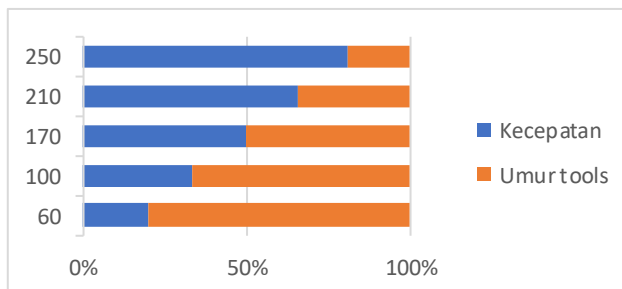
π : 3,14
 n : Spindle speed [Rpm]

Semakin besar *Feed rate* (V_f) maka semakin cepat proses *machining*. Berikut adalah grafik pengaruh *Feed rate* terhadap waktu pada proses *drilling* Ø22 pada *Channel cover*.



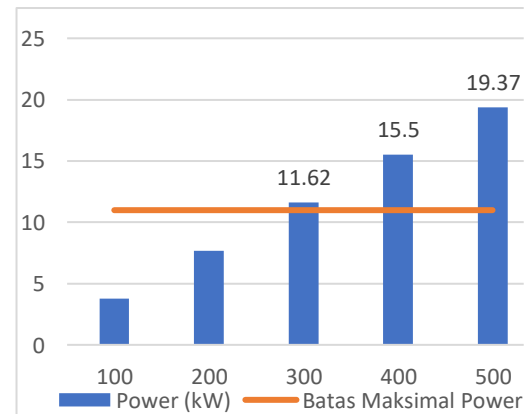
Gambar 12. Pengaruh *Feed rate* terhadap waktu

Untuk pemilihan *Cutting Speed* (V_c) sesuai kondisi, karena semakin besar *Feed Rate* semakin cepat proses *machining* pada mesin cnc, tetapi *tools* akan mengalami *deformasi* dan membuat *cutting tools* mudah tumpul. Berikut adalah grafik pengaruh *Cutting speed* (V_c) terhadap *Cutting tools* yang digunakan :



Gambar 13. Grafik umur *tools*

Pada proses *machining Milling* selain pemilihan *cutting tools*, melihat spesifikasi *Power* mesin agar diketahui batas kapasitas pada mesin tersebut. Pada proses *Milling* menggunakan *Flat Endmill* Ø25 pengaruh *Cutting speed* terhadap *power* bisa dilihat pada grafik berikut :



Gambar 14. Grafik Pengaruh *Cutting Speed* terhadap *Power*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil analisa untuk proses *machining* mesin cnc *Front Channel* dan *Rear Channel* mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Machining* menggunakan *Solid Endmill* Ø10 menggunakan V_c 250m/min dengan Rpm mendekati maksimal yaitu 7950 Rpm, *Machining* menggunakan *Solid Endmill* Ø25 menggunakan V_c 200m/min, *Machining* menggunakan *Drill* Ø22 menggunakan V_c 250m/min, *Machining* menggunakan *Drill* Ø18.7 menggunakan V_c 250m/min, dan *Machining* menggunakan *Drill* Ø12.7 menggunakan V_c 250m/min.
2. Semakin besar *Cutting Speed* maka semakin besar kecepatan *Spindle* yang diperlukan, Semakin besar *Feed Rate* maka semakin cepat waktu proses *machining* dan Besar nilai *Cutting Speed* (V_c) berpengaruh terhadap umur *Cutting tools*.

Saran

Berikut adalah saran untuk penelitian *optimasi* proses *machining* mesin CNC *Milling* untuk *Front Channel* dan *Rear Channel* pada alat *Surface Condensor* :

Dilakukan penelitian secara langsung dengan perbandingan perhitungan waktu secara teoritis dengan perhitungan waktu secara aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- J. Shell and D. A. N. Tube, “DESAIN DAN RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR KALOR (HEAT EXCHANGER),” vol. 03, no. 1, pp. 53–60, 2021
- P. Dan, S. Kerusakan, and M. Simulink, “Tugas sarjana,” 2010.
- S. Pendidikan, P. Studi, P. Teknik, and S. L. Irtjayanti, “Pengaruh Media Pendingin Dan Kecepatan Spindel Terhadap Tingkat Kekasaran Proses Cnc Turning Pada Aluminium Daur Ulang,” *J. Kompetensi Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 34–39, 2019, doi: 10.15294/jkomtek.v11i2.17829
- M. Soori, B. Arezoo, and M. Habibi, “Dimensional and geometrical errors of three-axis CNC milling machines in a virtual machining system,” *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 45, no. 11, pp. 1306–1313, 2013, doi: 10.1016/j.cad.2013.06.002.
- G. E. Pramono, E. Supriatma, and S. P. Sutisna, “Retrofit Motor Stepper Mesin CNC 3 Axis UIKA Prototype 3,” pp. 60–66.
- Widarto, *Teknik Pemesinan*. 2008
- S. Ii, “Section ii 2015,” 2015
- P. Vessels, “2013 ASME Boiler and Pressure Vessel Code A N I N T E R N A T I O N A L C O D E VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 3 Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels,” 2013