

ANALISA KUALITAS HASIL PRODUK PADA Pengerjaan *POCKETING* DENGAN MESIN *CNC FRAIS 3 AXIS*

Muhammad Nur Alif¹, Irfan Santosa,² Siswiyanti³

1,2,3. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik & Ilmu Komputer
Universitas Pancasakti Tegal, Jalan Halmahera Km. 1. Tegal 52121 Telp. (0283) 342519

*Email korepondensi : ci_ulya@yahoo.co.id

Abstrak

Bidang industri manufaktur mengalami perkembangan semakin maju. Terutama mesin berbasis *CNC* serta tuntutan kebutuhan konsumen yang menginginkan kualitas benda kerja yang baik, presisi/ ketepatan hasil dimensi benda kerja serta nilai kekasaran merupakan unsur utama dalam proses pemesinan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu untuk mengetahui kualitas hasil produk (dimensi, waktu, serta kekasaran benda kerja) pada pengerjaan *pocket* menggunakan mesin *CNC Frais 3 axis Microcontroller Match 3* untuk pembuatan produk asbak dari bahan aluminium. Untuk parameter yang digunakan menggunakan kecepatan potong 150 mm/menit, kedalaman pemotongan 0,5 mm dengan kecepatan putaran *Spindle* 10.000 RPM. Hasil dari penelitian ini bisa dilihat pada produk asbak berbahan aluminium diperoleh waktu pengerjaan 1098 menit, sedangkan dimensi benda kerja memiliki toleransi rata-rata yaitu sebesar 0,28 mm dan untuk nilai kekasaran rata-rata $N7 = 2,1 \mu\text{m}$, dan bisa diklasifikasikan bahwa kualitas produk yang dikerjakan mesin *CNC Frais 3 axis Microcontroller Match 3* tersebut kategori standar untuk kategori toleransi dan nilai kekasaran.

Kata Kunci: Kualitas Produk, *Pocketing*, *CNC Frais 3 Axis*

Abstract

The manufacturing industry sector is experiencing increasing development. Especially CNC-based machines and the demands of consumers who want good workpiece quality, precision/accuracy of workpiece dimensions and roughness values are the main elements in the machining process. This study uses an experimental method, namely to determine the quality of the product (dimensions, time, geometry and roughness of the workpiece) in pocket work using a 3 axis CNC Milling Microcontroller Match 3 machine for the manufacture of aluminum ashtray products. For the parameters used, it uses a cutting speed of 150 mm/minute, a cutting depth of 0.5 mm with a Spindle rotation speed of 10,000 RPM. The results of this study can be seen in the aluminum ashtray product, the processing time is 1098 minutes, while the dimensions of the workpiece have an average tolerance of 0.28 mm and for the average roughness value $N7 = 2.1 \mu\text{m}$ and it can be classified that the quality of the products made by the CNC Milling Machine 3 axis Microcontroller Match 3 in standard category for tolerance category and roughness value.

Keywords: Performance Test, *Pocketing*, *CNC Milling 3 Axis*

I. PENDAHULUAN

Proses pemesinan frais merupakan proses mengurangi material dengan alat potong (*cuter*) sehingga tiap giginya melakukan pemakanan dengan

mengerakan benda melalui meja yang dapat bergerak melintang dan memanjang (Yanuar, 2014). Begitu pula dengan frais *CNC* yang prinsip kerjanya sama seperti frais konvensional, sehingga banyak inovasi rekayasa mesin frais *CNC* khususnya dengan

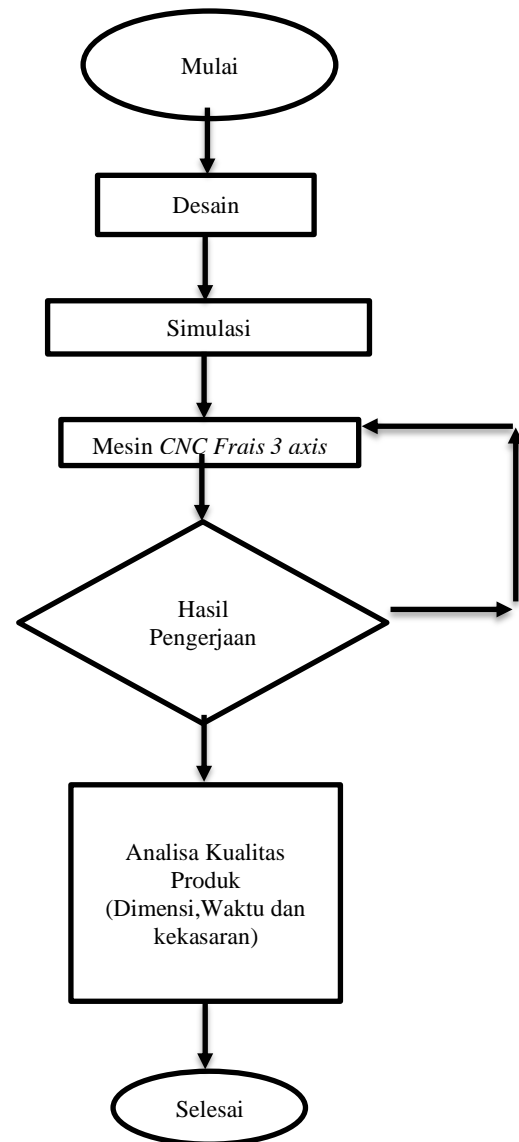
microcontroller U Shield dan *Match 3 Breakout* (Ghoni, 2018; Riyadi, 2020). Proses pengefraisan banyak digunakan dalam pembuatan komponen dengan fitur berupa profil serta *trajectory* yang kompleks. (Suteja, 2008; Apriana, 2015; Yetri, 2018). Pada proses pengefraisan nilai kualitas (kekasaran permukaan) akan berbeda-beda, tergantung dari parameter permesinan yang digunakan (Munandar, 2020). Kualitas produk yang dikerjakan dengan mesin frais (Kharisma, 2015) ditentukan oleh nilai kekasaran. Jika kekasaran sesuai dengan yang diinginkan maka kualitas semakin baik begitu pula sebaliknya, sehingga perlu mendapat perhatian khusus di dalam proses pengefraisan untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan agar sesuai dengan yang diinginkan (Atedi, 2005; Widhiantoro, 2017). Beberapa faktor/parameter yang berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan antara lain kecepatan putaran *spindel*, kedalaman pemakanan, kecepatan potong, kondisi mesin, bahan benda kerja (Mutaqqin 2018), bentuk pahat potong dan operator (Yanuar, 2014; Widharto, 2008; Abbas, 2013; Wijianto, 2016).

Karakteristik kualitas produk ini biasanya di peroleh melalui pengujian kekasaran permukaan pada produk yang akan dibuat di mesin *frais CNC 3 axis* (Rahmadianto, 2015; Azhar, 2014). Kualitas produk hasil CNC Milling dapat juga dilihat dari waktu proses pengerjaannya yaitu dengan membandingkan simulasi software CAM dengan kondisi permesinan (Yudhyadi, 2016). Dari beberapa tinjauan diatas bahwa kualitas bukan hanya pada ketepatan dimensi, kekasaran permukaan pada produk yang dikerjakan di mesin CNC tetapi waktu juga menjadi bagian dari sebuah kualitas. Maka tujuan penelitian ini adalah melengkapi penelitian terdahulu yaitu dengan menganalisa kualitas produk dengan 3 parameter yaitu ketepatan dimensi, waktu, dan kekasaran visual benda kerja pada pengerjaan *pocket* produk asbak dengan mesin *CNC Frais 3 axis* berbasis *Processor Mach 3*.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu untuk mengetahui kualitas hasil produk (dimensi, waktu, serta kekasaran benda kerja) pada pengerjaan *pocket* menggunakan mesin *CNC Frais 3 axis Microcontroller Match 3* untuk pembuatan produk asbak dari bahan aluminium. Peneliti menggunakan *Microcontroller Mach 3* sebagai sistem kendali mesin *CNC frais 3 Axis* dengan penggerak *Motor Driver TB6600* serta peralatan penunjang mesin *Frais 3 Axis* berbasis CNC lainnya. *Software Inventor Profesional 2017* untuk melakukan desain pembentukan asbak, dan

simulasi program. Adapun *flow chart* penelitian seperti gambar dibawah ini :

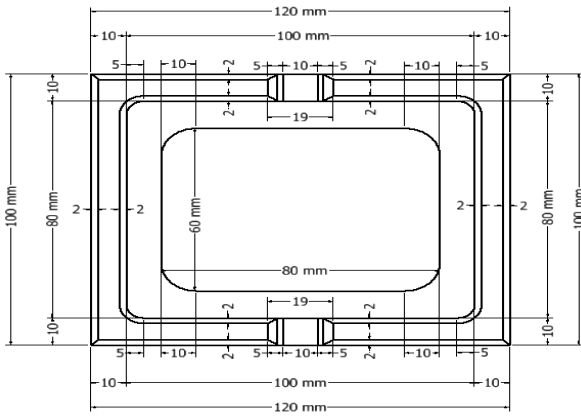


Gambar 1. *Flow chart* penelitian

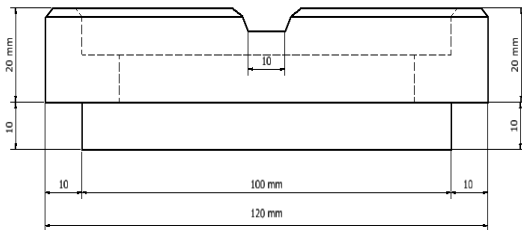
Dari diagram alir diatas bahwa untuk menganalisa kualitas yaitu dengan mengukur dimensi benda kerja (kurang lebih 62 bagian) setelah dilakukan proses permesinan. Setelah itu waktu permesinan dihitung dengan parameter setiap kegiatan dari mulai *seting* benda kerja sampai *contour*. Kemudian terakhir adalah menganalisa kekasaran permukaan menggunakan *surface roughness*.

Desain Benda Kerja

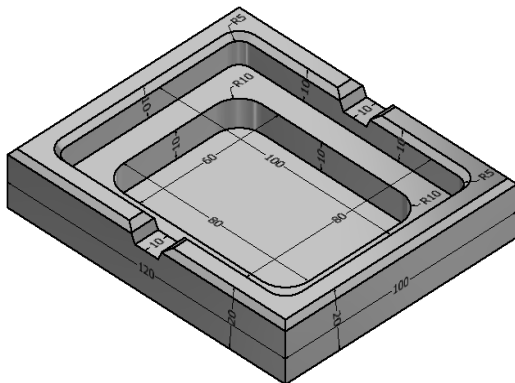
Desain gambar produk asbak dengan bahan aluminium, sebagai berikut :



Gambar 2. Benda kerja Pandangan Atas



Gambar 3. Benda kerja Pandangan depan



Gambar 4. Benda kerja dalam bentuk 3D

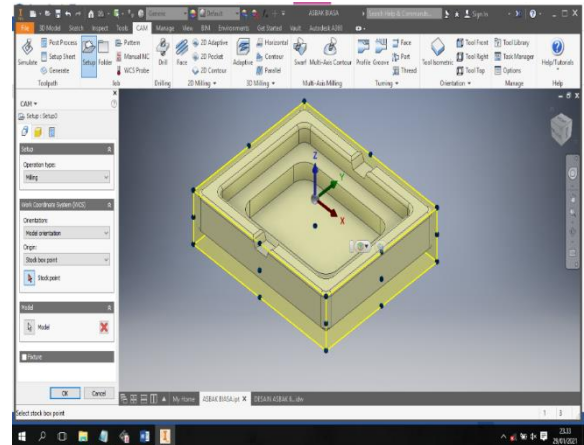
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses CAM

Proses CAM merupakan proses simulasi pengerjaan produk menggunakan *HSM Inventor* yang mempunyai fungsi sebagai fitur tambahan pada *Inventor* sebagai simulasi benda kerja sebelum dibuat pada mesin serta mengubahnya menjadi *NC Code*. Sebelum proses simulasi terlebih dahulu desain benda kerja dibuat. Adapun prosedur simulasi serta pembuatan *NC Code* adalah sebagai berikut :

1. Setup

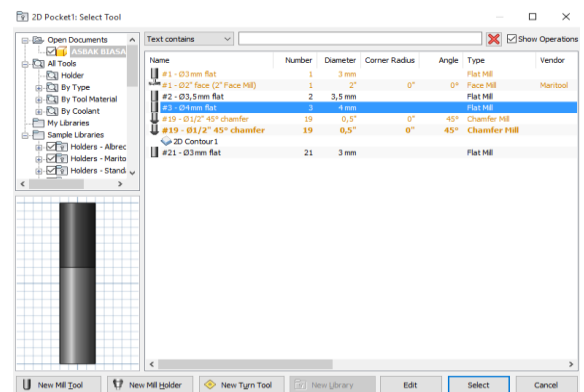
Setup yaitu penentuan *Zero Reference Point* (koordinat awal) pemakanan pada benda kerja.



Gambar 5. Setup Zero Point

2. Setting tool

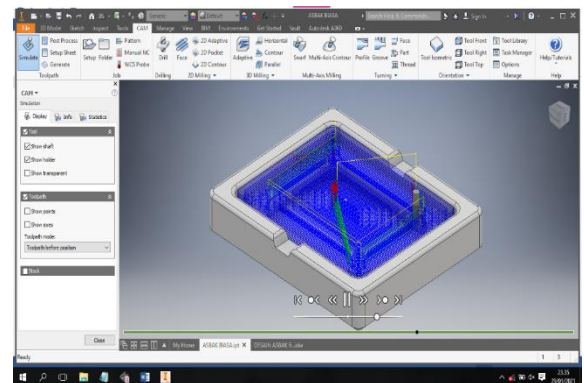
Penentuan pisau yang digunakan adalah tipe *Endmill* atau *Flat Mill* diameter 4.



Gambar 6. Setting Tool Endmill

3. Simulasi

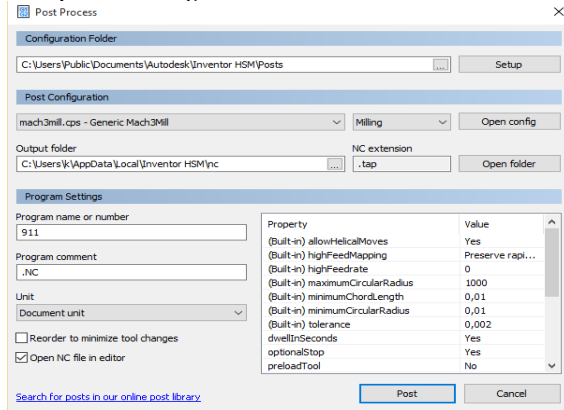
Proses simulasi adalah pengaturan kecepatan potong, kecepatan rata-rata, serta kedalaman pemotongan. Waktu pemesinan (*time machining*) akan ditampilkan pada fitur ini.



Gambar 7. Proses simulasi.

4. Post Proses

Untuk membuat *NC Code* sesuai dengan *controller* pada mesin *CNC* yaitu dengan merubah program name *file* dengan *setting* pada *job set up*. Pastikan pilih nama *file* pada *Post Configuration* dengan memilih *Mach3mill.cps* lalu pilih *milling*.



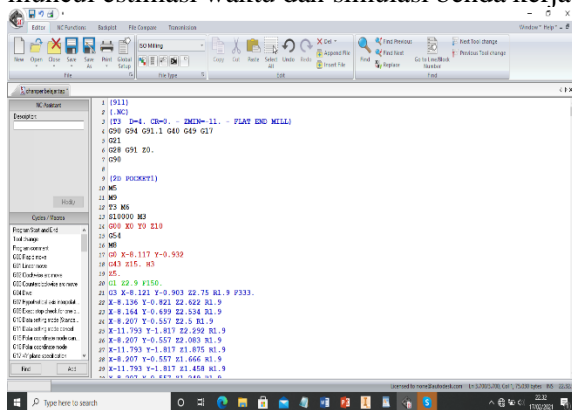
Gambar 8. Post Proses

Penggunaan Software Drufel

Software Druffel merupakan software gratisan dan mudah dalam pengaplikasiannya, digunakan untuk merubah *G-Code* sender dari *Mach3*, yaitu dengan cara buka *file NC*, tentukan koordinat awal benda kerja kemudian *Send*.

1. Setting G-Code

Masukkan *G code* dari *File code* yang telah kita buat, maka *Software drufel* akan secara otomatis membaca *file* yang telah kita masukan dan akan muncul estimasi waktu dan simulasi benda kerja.



Gambar 9. Proses G-Code

2. Setting Zero Return/ZeroPoint Workpiece

Setting *Zero Return/Zero Point* adalah *seting* koordinat benda kerja. Cara mengukur titik nol dengan mengkalibrasi secara manual dengan jangka sorong dengan ketelitian 0,05mm untuk menentukan titik nol.



Gambar 10. Proses Zero point

3. Pengerjaan Facing

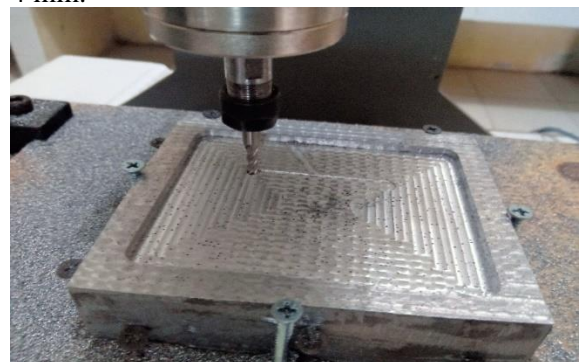
Proses *Facing* Mesin *CNC 3 axis* dilakukan untuk meratakan bagian benda kerja di posisi bagian atas dan bawah. Dengan ukuran benda kerja 120x100mm, diameter pisau *endmill* 4mm, kecepatan *spindle* `10.000 rpm, kedalaman pemotongan 0,5 mm dan kecepatan potong 150mm/menit.



Gambar 11. Proses Facing CNC 3 axis

4. Pengerjaan Pocket

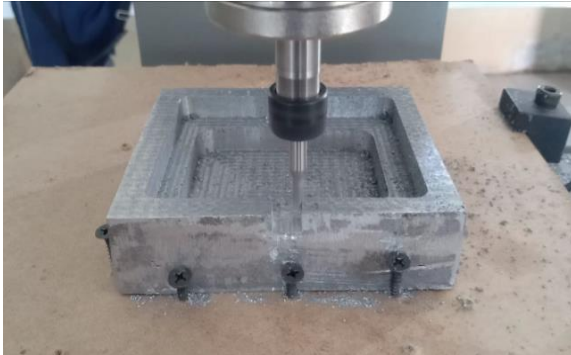
Pengerjaan *Pocket* adalah proses pembuangan material aluminium sesuai bentuk yang diinginkan. Proses *Pocket* adalah untuk mendapatkan kontur lubang kotak asbak. Pengerjaan *Pocket* menggunakan pahat *Endmill* 4 mm.



Gambar 12. Pengerjaan Pocket benda kerja.

5. Pengerjaan Paralel

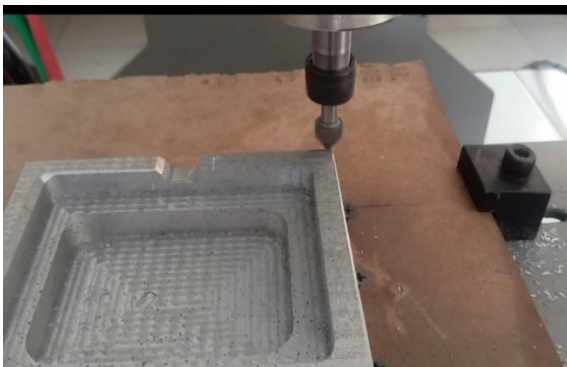
Pada proses *Paralel* yaitu untuk memakan benda kerja dalam bentuk miring ke samping kanan dan kiri, pada proses pengerjaan benda kerja. Pada saat proses pemakanan dalam bentuk *paralel*, pisau *endmill* pemakanan berjalan naik turun (*Down Milling*) lalu sambil berjalan kekanan.



Gambar 13. Proses *Paralel CNC 3 Axis*

6. Pengerjaan Contour

Pada proses *Contour* Mesin CNC 3 axis dilakukan untuk Membuat *Chamfer* yaitu bagian pinggir benda kerja. Dengan pahat *endmill* khusus *chamfer* diameter 10 mm., kecepatan spindle 10.000 rpm, *Feedrate* 100 mm/menit. *Countour* sendiri berfungsi membuat garis lurus pada pemakanan benda kerja.

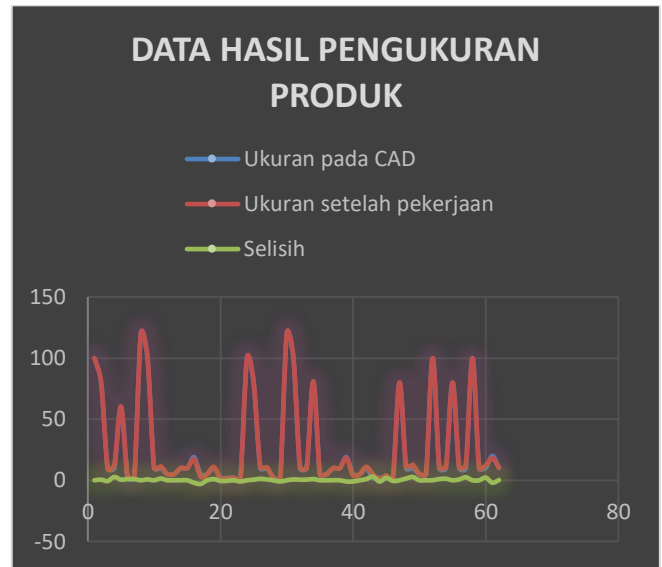


Gambar 14. Proses *Contour CNC 3 Axis*

HASIL PENGUKURAN

Dari data sebanyak 62 pengukuran bagian pada produk asbak. Dari jumlah nilai pengukuran mesin memiliki tingkat kurasi yang cukup karena selisih atau toleransi ukuran dari desain dengan riil setelah pengerjaan 0,28 mm dan masih sesuai standar (lampiran 3: Tabel toleransi). Nilai ukuran saat pengerjaan poket yang memiliki besaran lebih dari 0,28 mm atau minus 0,28 mm mengalami perubahan benda kerja tidak presisi atau goyang dan men *setting* ulang *zero point*. Dikarenakan nilai toleransi dari mesin *CNC Frais 3 Axis* itu sendiri memiliki toleransi sebesar 0,28 mm dan Nilai

ukuran saat Pengerjaan *Pocket* atau *Chamfer* yang memiliki besaran 0,1 mm. Dikarenakan toleransi dari Proses *Chamfer* di *Autodesk HSM Inventor* itu sendiri sebesar 0,1 mm.



Gambar 15. Nilai Pengukuran Produk (Ukuran pada Desain, Ukuran Setelah pekerjaan dan selisih)

Perhitungan waktu

Tabel 1. Waktu Permesinan

No	Kegiatan	Operasional (menit)
1	Setting benda kerja di <i>Inventor</i>	15
2	<i>Seting</i> koordinat benda kerja	5
3	Meratakan permukaan	48
4	<i>Seting Zero Point</i> benda kerja	5
5	<i>Poket</i>	1000
6	<i>Seting Zero Point</i> benda kerja	5
7	<i>Paralel</i>	5
8	<i>Seting Zero Point</i> benda kerja	5
9	<i>Contour</i>	10
Total waktu		1098

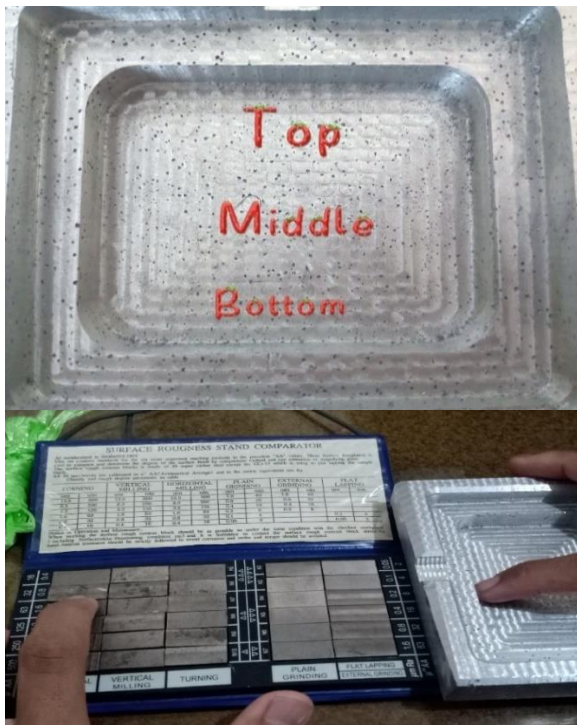
Dari Tabel 1 dan Gambar 16 proses pengerjaan produk asbak dengan menggunakan mesin *CNC Frais 3 Axis* dapat diselesaikan dengan total waktu 1098 menit. Pekerjaan yang membutuhkan lama waktu yaitu pada proses *pocketing*.



Gambar 16. Grafik waktu Pengerjaan Produk Asbak

Analisa kekasaran benda kerja

Benda uji yang telah selesai dikerjakan maka secara visual diukur tingkat kekasarannya menggunakan alat *Surface Rounness Tester* seperti pada gambar dibawah ini melalui 3 tahapan:



Gambar 17. Pengujian kekasaran permukaan posisi Top

Pada hasil pengujian visual kekasaran pada percobaan pertama seperti pada gambar 17 menunjukkan nilai $N7 = 1,6 \mu m$



Gambar 18. Pengujian kekasaran permukaan posisi *Middle*

Pada hasil pengujian visual kekasaran pada percobaan kedua seperti pada gambar 18 menunjukkan nilai $N8 = 3,2 \mu m$.



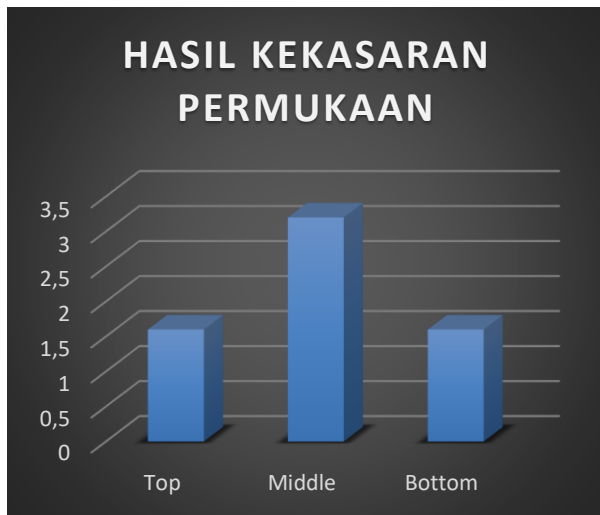
Gambar 19. Pengujian kekasaran permukaan posisi *Bottom*

Pada hasil pengujian visual kekasaran pada percobaan ketiga seperti pada gambar 19. menunjukkan nilai $N7 = 1,6 \mu m$.

Jadi dapat disimpulkan nilai rata-rata pada tiga percobaan pengujian visual kekasaran dengan Tabel :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

No	Gambar	Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan	
		<i>Roughness Grade Number</i>	<i>Roughness value Ra μm</i>
1	Top	N7	1,6
2	Middle	N8	3,2
3	Bottom	N7	1,6
Rata-rata (Ra)			2,1



Gambar 20. Grafik nilai rata-rata kekasaran permukaan produk

Dari rata-rata hasil pengukuran kekasaran permukaan menunjukkan bahwa nilai $Ra = 2.1 \mu\text{m}$ atau sesuai *grade number* pada lampiran 1 tabel Nilai kekasaran setara dengan N7. Nilai $Ra = 2.1 \mu\text{m}$ menunjukkan bahwa angka ini masih standar untuk pengerjaan mesin milling dan turning (lampiran 2 : Tabel kekasaran permukaan dalam proses manufaktur)

IV. PENUTUP

Kesimpulan

1. Waktu total proses pembuatan *pocketing* dengan mesin *CNC frais 3 axis* diselesaikan 1098 menit setara 18 jam 3 menit. Waktu ini berlangsung cukup lama karena pemilihan *tool* yang maksimal hanya 4 mm. Jumlah total 62 pengukuran dimensi pada pengerjaan *pocketing* dengan nilai toleransi rata-rata sebesar 0.28 mm dan masih dikategorikan standar.
2. Nilai kekasaran permukaan dapat disimpulkan dengan menggunakan alat *Surface Roughness Tester* dengan tiga percobaan mendapatkan nilai rata-rata (Ra) yaitu $2,1 \mu\text{m}$ atau setara dengan N7 yang mengindikasikan bahwa nilai tersebut masih standar untuk pekerjaan menggunakan mesin *milling* atau *turning*.

Saran

1. Saat pengerjaan sebaiknya *Spindle* diberi kipas pendingin agar saat proses pengerjaan tidak mengalami panas berlebih
2. Pada penyangga *clam* diberi 4 agar kuat dan tidak getar saat proses produksi
3. Gunakan jenis pahat *Endmill* berkualitas baik

V. DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H. Bontong, Yaser. Aminya, Yusran. 2013. Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness). Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) & Lomba Rancang Bangun Mesin Universitas Lampung.
- Apriana, Asep, Budi Prianto, & Minto Rahayu. 2015. Analisa Kelayakan Mesin Milling F3 Dengan Pengujian Ketelitian Geometrik. Jurnal Teknik Mesin, Politeknologi Vol. 14
- Choirul, Muhammad Azhar. 2014. Analisis Kekasaran Permukaan Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Dwi Wijianto. 2016. Pengaruh Tool Path Dan Feed Rate Pada Proses Mesin CNC Milling Router 3 Axis Dengan Material Acrylic. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Ghoni, W. A. Santosa, Irfan. Sidiq, M Fajar. 2018. Efektifitas Kinerja Mesin CNC Portable Berbasis Microcontroler Arduino Dan Modul Cnc Shield Terhadap Mesin Milling Konvensional. Mechanical Engineering National Convergence, Universitas Pancasakti, Tegal.
- Kharisma, Bobby dan Rusnaldy. 2015. Uji Performance Cutting Fluid pada Proses Pemesinan Drilling Plat Baja. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Vol. 3 No. 2.
- Munandar, M.Tantowi Aris. 2020. Efektifitas Kinerja Mesin CNC 5 Axis Portable karya Mahasiswa Terhadap Mesin Milling Konvensional. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Pancasakti, Tegal.
- Mutaqqin, Muchlis. 2018. Pengaruh Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Pengfresan Magnesium Menggunakan Teknik Minimum Quality Lubrication (MQL). Jurnal Teknik Mesin. Universitas Bandar Lampung

Rahmadianto, F. 2015. Pengaruh Variasi Cutting Fluid Dan Variasi Feeding Pada Proses Pemotongan Orthogonal Poros Baja Terhadap Kekasaran Permukaan. Jurnal Tek. Mesin INS 23, 1-9.

Riyadi, Akhmad Agung. 2020. Efektifitas Kinerja Mesin CNC Port U Shield 3 Axis Dengan Mesin CNC Axis Port U Mac 3 Breakout Bord Untuk Pembuatan Casing HP. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Pancasakti Tegal.

Schey, John. A. 2009. Proses Manufaktur: Introduction to Manufacturing Process. Penerbit : Andi Yogyakarta. ISBN : 978-979-29-0749-0.

Suteja, T. J. et al. 2008. Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. Jurnal Teknik Mesin. 10/ 1:1-7.

Widarto. 2008. Teknik Permesinan Jilid I. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. ISBN : 978-979-060-116-1

Widhiantoro, Dhanu. 2017. Pengaruh Spindle Speed dan Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan AL 6061 Melalui Proses CNC Milling sinumeric Type 802S. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Negri Semarang.

Yanuar, Hari dan Syarif, Akhmad. 2014. Pengaruh Variasi Kecepatan Potong dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Berbagai Media Pendingin Pada Proses Frais Konvensional. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Lampung Volume 3 (1) Halaman: 27-33 ISSN : 2338-2236.

Yetri, Yuli. Siska Angreani, Ruzita Sumiati 2018. Uji Kelayakan Mesin Frais Type Schaublin 13 Menggunakan Metoda Pengujian Ketelitian Geometrik. Jurnal Teknik Mesin, Politeknik Negri Semarang. Vol.1 No. 2, Nov 2018.

Yudhyadi, I.G.N.K. Rachmanto, Tri. Ramadan, Adnan Dedy. 2016. Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Milling Dengan Berbasis CAD/CAM. Jurnal Dinamika Teknik Mesin Volume 6 Nomor 1. ISSN : 2088-088X, e ISSN:2502-1729.

Lampiran 1: Tabel Nilai Kekasaran Artimetik (Schey,2009)

Roughness values R_a μm	Roughness grade number	Roughness grade symbol
50	N12	~
25	N11	▽
12.5	N10	▽
6.3	N9	▽
3.2	N8	▽
1.6	N7	▽
0.8	N6	▽
0.4	N5	▽
0.2	N4	▽
0.1	N3	▽
0.05	N2	▽
0.025	N1	▽

Lampiran 2: Tabel Kekasaran Permukaan Dalam proses Manufaktur (Schey,2009)

Sl. No	Manufacturing Process	R_a in μm													
		0.012	0.025	0.050	0.10	0.20	0.40	0.80	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100
1	Sand casting									5	12.5	25	50		
2	Permanent mould casting						0.8	1.6	3.2	6.3					
3	Die casting						0.8	1.6	3.2						
4	High pressure casting				0.32	0.63	1.25	2.5							
5	Hot rolling							2.5	5	10	20	40	80	160	320
6	Forging							1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
7	Extrusion				0.16	0.32	0.63	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160
8	Flame cutting, sawing & Chipping									6.3	12.5	25	50	100	200
9	Radial cut-off sawing							1	2	4	8	16	32	64	128
10	Hand grinding									6.3	12.5	25	50	100	200
11	Disc grinding							1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
12	Filing				0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256
13	Planing							1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
14	Shaping							1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
15	Drilling							1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
16	Turning & Milling				0.32	0.63	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160	320
17	Boring					0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
18	Reaming					0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
19	Broaching					0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
20	Hobbing					0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200
21	Surface grinding		0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256
22	Cylindrical grinding		0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256
23	Honing		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100
24	Lapping		0.012	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
25	Polishing		0.04	0.08	0.16	0.32	0.63	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160
26	Burnishing		0.04	0.08	0.16	0.32	0.63	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160
27	Super finishing		0.016	0.032	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64

Lampiran 3 : Nilai toleransi (Schey,2009)

Ukuran Nominal (mm)	R_a in μm						
	>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000
Penyimpangan yang diizinkan	Teliti	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
	Sedang	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$
	Kasar	-	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 3