



Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino

Dwi Setiawan Widodo^{1*}, Angger Sembodo¹, Muhammad Ghiyats Mukmin¹,
Rizky Muhammad Rizal¹, dan Jimmy Dozeno²

¹LNG Academy, Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

²PT Badak LNG, Satimpo, Bontang Selatan, Kota Bontang, Kalimantan Timur 75324

Abstrak

Dalam dunia industri, manusia sangat terbantu dengan mesin-mesin yang telah diciptakan. Salah satu mesin yang sangat berguna adalah mesin CNC. Berkaitan dengan seksi machinery heavy equipment PT Badak NGL, pembuatan mesin CNC bertujuan membantu beberapa pekerjaan pada seksi tersebut. Mesin CNC ini dibuat menggunakan jenis rangka close frame structure yang dirakit dengan komponen ballscrew. Komponen ballscrew digunakan untuk merubah gerakan rotasi yang dihasilkan dari motor stepper, menjadi gerak translasi untuk menggerakkan sumbu kerja mesin CNC. Sedangkan, motor yang digunakan untuk memutar mata milling adalah motor DC. Pembuatan mesin CNC milling menggunakan arduino sebagai mikrokontroler. Mesin CNC ini akan mengeksekusi perintah dalam bentuk G-Code yang diinputkan pada aplikasi Universal G-Code Sender. G-Code tersebut merupakan definisi dari koordinat gambar yang akan dibentuk. Gambar desain akan diterjemahkan dalam bentuk G-Code oleh Fusion 360. Motor yang digunakan untuk gerakan translasi mesin CNC adalah motor stepper. Sedangkan untuk memutar mata milling, motor yang digunakan adalah motor DC. Pengujian mesin CNC Milling berupa kepresisian jarak yang ditempuh sesuai dengan input dan percobaan milling berbentuk gambar atau tulisan tertentu.

Kata-kata kunci: milling; G-Code; motor stepper; close frame structure; ballscrew

Abstract

In industrial world, humans are vastly helped by the presence of machines that already invented. One of the most helpful machine is CNC machine. Related to machinery heavy equipment section in PT Badak NGL, CNC machine manufacturing would greatly help several jobs in said section. This CNC machine is designed using close frame structure type which assembled with ballscrew component. Ballscrew is used to convert rotational movement from motor stepper into translational movement to drive CNC machine operational axis. Meanwhile to rotate milling bit, the motor used is DC motor. CNC milling machine manufacturing use arduino as its microcontroller. Said machine will execute commands in the form of G-Codes which will be inputted in the Universal G-Code sender application. The G-Code is a definition of coordinates from the illustration that will be made. Design illustration will be translated into G-Code form by using Fusion 360. Used motor for CNC machine translation motion is stepper motor. Meanwhile, motor DC is used to rotate the milling bit. Trials of CNC milling machine are done in the form of testing the travelling distance precision according to the input design and also testing to mill certain illustration or sentences.

Keywords: milling; G-Code; motor stepper; close frame structure; ballscrew

* Corresponding author E-mail address: dwisetiawan868@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Badak LNG merupakan suatu perusahaan yang bergerak dalam sektor pengolahan gas alam. Dalam menunjang keberlangsungan proses pengolahan gas tersebut terdapat *Maintenance Department* yang memiliki fungsi sebagai pemelihara seluruh peralatan kilang. Salah satu seksi dalam *Maintenance Department* adalah seksi *Machinery and Heavy Equipment*. Seksi ini berfungsi dalam melakukan kegiatan pemeliharaan peralatan *mechanical* dan *rotating*. Kegiatan pemeliharaan tersebut erat kaitannya dengan penggantian bagian yang rusak dengan *spare-part* yang baru. *Spare-part* merupakan suatu kebutuhan yang sangat krusial apabila terjadi kerusakan, sehingga jumlah dari stok *spare-part* harus diperhitungkan dengan perkiraan kerusakan yang akan terjadi dalam jangka waktu tertentu. Permasalahan yang timbul apabila terjadi kerusakan melebihi dari perkiraan awal adalah kekurangan stok, sementara dalam suplai stok tergantung dengan pihak ketiga.

Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu peralatan manufaktur yang berfungsi untuk memproduksi *spare-part* sehingga tidak tergantung dengan suplai dari pihak ketiga, atau setidaknya dapat mengurangi ketergantungan tersebut. Salah satu peralatan manufaktur adalah mesin CNC *Milling*. Mesin CNC *Milling* merupakan suatu mesin yang mampu menghasilkan profil bentuk dari material bidang datar, seperti plat, yang dikontrol melalui perintah dari komputer.

Pada tahun 1952, mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) lahir dan dikembangkan oleh John Pearson. Latar belakang dibuatnya mesin CNC adalah memenuhi kebutuhan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Pada awal perkembangan mesin ini, volume unit pengendali sangat besar. Sampai tahun 1973 masih sedikit perusahaan yang berani untuk investasi mesin CNC. Kemudian pada tahun 1975, mesin CNC mulai berkembang dengan pesat. Perkembangan mesin CNC dipacu oleh perkembangan *microprocessor* sehingga pengendali mesin CNC menjadi lebih ringkas [1].

Dalam pengendalian mesin CNC, diperlukan input agar mesin dapat berjalan secara otomatis dari waktu *start* hingga pekerjaan mesin CNC selesai. Metode pengendalian mesin CNC adalah menggunakan input G-Code. Operasi dari mesin CNC akan berjalan sesuai dengan urutan perintah dalam dari G-Code yang telah diinput-kan.

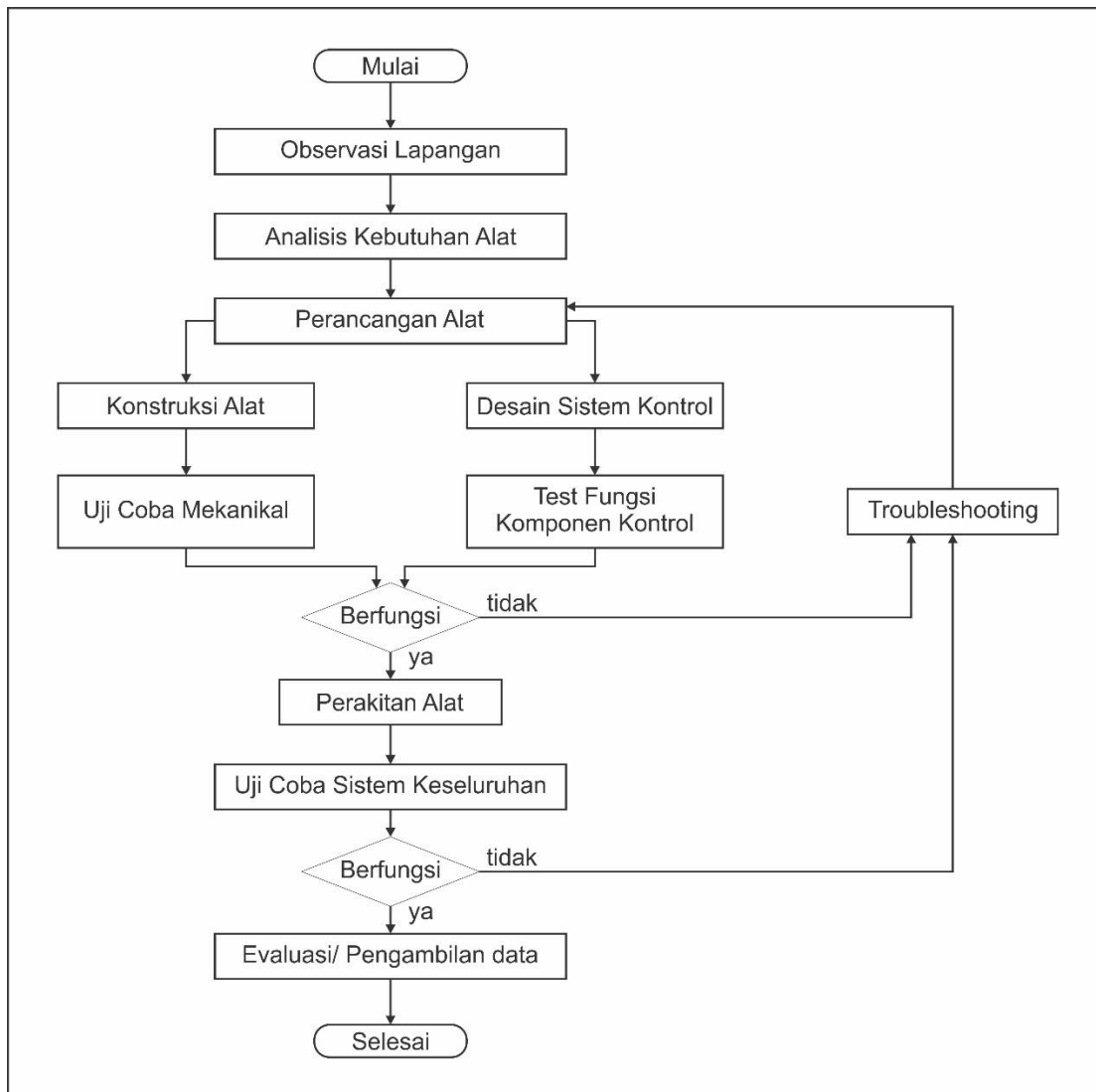
Bahan material bidang datar yang mampu diproses menggunakan Mesin CNC *Milling* sendiri sangat beragam mulai dari material lunak, seperti plastik dan akrilik, hingga material keras, seperti kayu dan metal. Profil bentuk yang bisa dibentuk juga beragam, tergantung dari perintah komputer yang dimasukkan.

Saat ini seksi *Machinery and Heavy Equipment* belum mempunyai mesin CNC *Milling*, maka dari itu kami membuat rancang bangun dari mesin CNC *Milling* secara sederhana. Harapan dari rancang bangun mesin CNC *Milling* ini yaitu dapat diaplikasikan untuk material ebonite dan akrilik. Profil bentuk yang diharapkan dapat dibuat adalah *spare-part* sederhana, *tag number* untuk peralatan di Badak LNG, dan souvenir khas Badak LNG untuk keperluan pemberian apresiasi bagi pekerja maupun tamu.

Adapun tujuan dari penulisan makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan konstruksi, mekanisme, dan pengaturan pada sistem gerak Mesin CNC *Milling* 3-Axis.
2. Menentukan desain sistem pengendalian dan penggerak mesin CNC dengan akurasi pergerakan 0,025 mm/step
3. Melakukan pengujian sistem pengendali dan sistem penggerak untuk mesin CNC dan mengevaluasi parameter hasil data pengujian tersebut
4. Mendapatkan konfigurasi pemotongan yang tepat untuk material akrilik dan ebonit dari pengujian Mesin CNC *Milling* 3-Axis yang akan dibuat

2. METODE



Gambar 1. Diagram alir metode pembuatan mesin CNC 3-Axis.

Metode yang kami gunakan dalam pengerjaan Mesin CNC 3-Axis ini ditunjukkan oleh gambar 1. Tahap pertama dari metode yang digunakan adalah melakukan observasi lapangan terhadap mesin *milling* di Machine Shop milik Badak LNG. Kemudian melakukan analisis kebutuhan terkait Mesin CNC 3-Axis yang akan dibuat dan perancangan alat yang meliputi studi literatur berkaitan dengan sistem kontrol dan konstruksi mekanikal. Langkah selanjutnya dilakukan secara paralel antara konstruksi alat dan desain sistem kontrol. Lalu dilakukan uji coba mekanikal dan tes fungsi komponen kontrol untuk memastikan apakah berfungsi dengan baik atau tidak. Apabila uji coba tersebut hasilnya baik maka kemudian dilakukan proses perakitan dan uji coba sistem secara keseluruhan. Jika uji coba secara keseluruhan ini hasilnya baik maka dilakukan evaluasi atau pengambilan data untuk mengetahui apakah alat bekerja sesuai tujuan awal dan untuk mengetahui karakter dari alat.

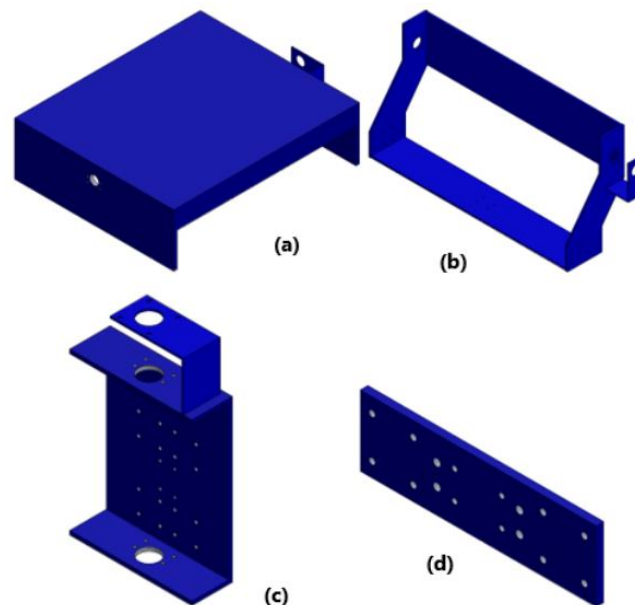
3. ANALISIS RANCANGAN

Analisa rancang bangun mesin CNC 3-Axis berupa perhitungan dan disain dari sistem penggerak dan sistem translasi. Berikut adalah proses analisis rancangannya.

Konstruksi Mekanikal

Konstruksi mekanikal untuk mesin CNC 3-Axis terdiri dari dua bagian, yaitu konstruksi rangka dan konstruksi sistem penggerak. Konstruksi rangka difokuskan membentuk area kerja yang diinginkan dengan

struktur yang cukup kuat dan rigid untuk menahan beban kerja. Area kerja yang dibangun pada mesin CNC 3-Axis ini berkisar 55cm x 55cm. Rancangan konstruksi rangka terdiri dari konstruksi rangka sumbu x, sumbu y, sumbu z, dan *spindle base* (dapat dilihat pada gambar 2). Konstruksi rangka menggunakan bahan aluminium ½ inch untuk rangka sumbu y dan aluminium ¼ inch untuk bagian lainnya.



Gambar 1. (a) Rangka sumbu X, (b) Rangka sumbu Y, (c) Rangka sumbu Z, (d) Rangka Spindle Base

Konstruksi sistem penggerak difokuskan untuk menghasilkan gerakan linier tiap sumbu. Sistem penggerak ini terdiri dari *stepper motor*, *ballscrew*, *linear guide*, kopling, dan *end support bearing*. [2]

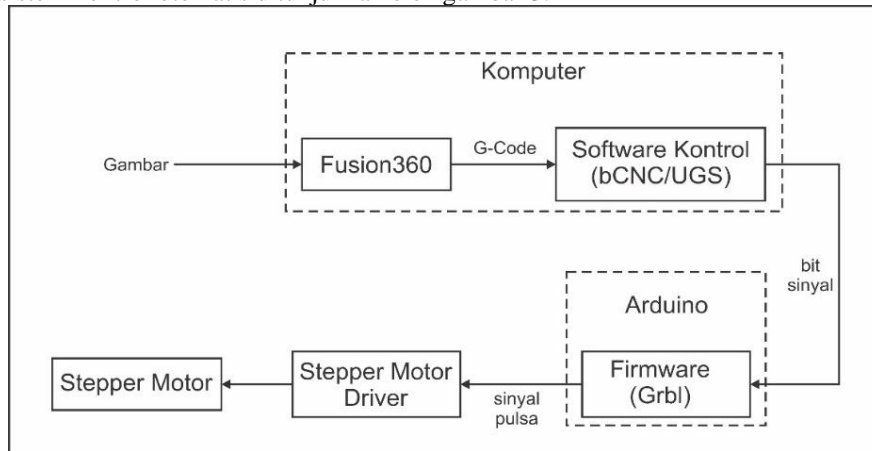
1. *Stepper motor* adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. *Stepper motor* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Motor stepper ini berfungsi sebagai *driver* dalam sistem penggerak.
2. *Ballscrew* adalah komponen yang berfungsi sebagai sistem transmisi yang mengubah atau menyalurkan gerakan rotasi yang dihasilkan motor *stepper* menjadi gerakan linier akibat adanya perputaran ulir dengan tingkat akurasi yang tinggi. *Ballscrew* ini berfungsi sebagai beban yang digerakkan/*driven* dalam sistem penggerak.
3. *End support bearing* merupakan bagian pendukung dari *ballscrew* yang berfungsi sebagai bantalan untuk menyokong kedua ujung *ballscrew*.
4. Kopling merupakan suatu alat yang digunakan untuk menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis. Kopling ini menghubungkan antara *shaft* dari *stepper motor* dengan *ballscrew*.
5. *Linear Guide* adalah komponen pendukung mesin CNC yang berfungsi sebagai bantalan untuk menstabilkan gerakan dan menahan *table* mesin CNC agar bergerak dengan gesekan yang minimal, sehingga tenaga yang dihasilkan *stepper motor* dapat dimaksimalkan dalam proses pemakanan benda kerja. *Linear guide* merupakan komponen yang terdiri dari sistem blok dan sistem rel yang dapat memberikan gerakan linier.

Perancangan Sistem Kontrol

Sistem kontrol dari mesin CNC ini terbagi menjadi dua jenis sistem kontrol, yaitu sistem kontrol otomatis dan sistem kontrol manual. Sistem kontrol otomatis digunakan untuk mengontrol *stepper motor* sedangkan sistem kontrol manual digunakan untuk mengontrol *spindle motor*.

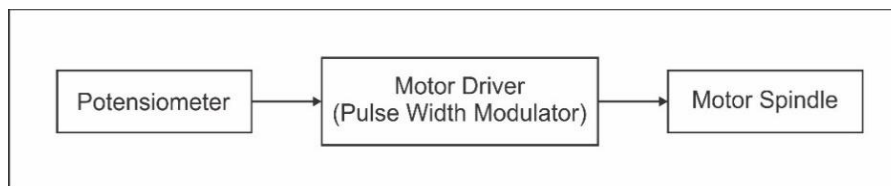
Sistem kontrol otomatis dari mesin CNC ini menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai unit pemrosesan pusatnya. Arduino berfungsi untuk mengolah sinyal input menjadi sinyal output berdasarkan logika tertentu yang telah diprogram pada Arduino. Sinyal input yang diproses merupakan G-Code yang berasal dari komputer, sedangkan sinyal output berupa sinyal pulsa sebagai masukan ke stepper motor driver. G-Code sendiri merupakan representasi dari gambar yang berupa plot-plot koordinat [3]. Input G-Code dapat dilakukan secara manual jika gambar atau profil yang dibuat sederhana. Apabila gambar atau profil yang dibuat rumit lebih mudah menggunakan bantuan dari aplikasi. Aplikasi yang umum digunakan untuk mengubah gambar

menjadi G-Code adalah Fusion360. *Logic* yang diprogram kedalam Arduino berupa firmware Grbl dan untuk mengakses fungsi dari firmware tersebut diperlukan *software* kontrol khusus yang operasinya berbasis firmware Grbl [4]. *Software* kontrol yang umum digunakan adalah bCNC atau Universal G-Code Sender (UGS). Alur sistem kontrol otomatis ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Alur Sistem Kontrol Otomatis

Sistem kontrol manual dari Mesin CNC 3-Axis tidak menggunakan mikrokontroler dalam proses kontrolnya. Sistem kontrol ini menggunakan *motor driver* dengan prinsip *Pulse Width Modulation* untuk mengatur kecepatan dari *spindle motor*. Kecepatan dari *spindle motor* sebanding dengan lebar pulsa yang dihasilkan oleh *motor driver*. Alur sistem kontrol manual ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Sistem Kontrol Manual

Perancangan Sistem Proteksi

Sistem proteksi digunakan untuk memastikan kondisi tetap aman ketika terjadi kegagalan pada mesin CNC. Sistem proteksi dibagi menjadi dua, yaitu proteksi kelistrikan untuk melindungi komponen elektronika dari sistem kontrol dan proteksi mekanikal untuk membatasi pergerakan sumbu dari mesin CNC agar tidak melebihi batas bidang kerja. Sistem proteksi kelistrikan terdiri dari *rocker button*, *emergency stop*, dan *fuse* yang dirangkai secara seri. Sistem proteksi mekanikal menggunakan dua buah *limit switch* untuk setiap sumbunya, dua buah *limit switch* berada pada posisi *normally close* yang dihubungkan secara seri.

Perhitungan Beban *Ballscrew* dan Penentuan *Stepper Motor*

Penentuan motor stepper didasari dari tiga sumbu pada mesin CNC yaitu sumbu X, Y, dan Z. Perhitungan beban ballscrew menggunakan rumus dari persamaan (1) [5].

$$T_L = \frac{F \cdot P_B}{2 \cdot \pi \cdot \eta} + \frac{\mu_o \cdot F_o \cdot P_B}{2 \cdot \pi} \quad (1)$$

dengan T_L adalah beban torsi dalam satuan N.mm, F adalah gaya dalam satuan newton, P_B adalah *lead* dari *ballscrew* dalam mm, μ_o adalah koefisien gesek internal, dan η adalah efisiensi dari *ballscrew*. Hasil dari perhitungan beban *ballscrew* menggunakan persamaan (1) adalah sebagai berikut:

- Sumbu Z

$$T_{Laxis-z} = \frac{102,87[N] \cdot 5[mm]}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} + \frac{0,1 \cdot 36,74[N] \cdot 5[mm]}{2 \cdot \pi} = 93,88[N \cdot mm]$$

- Sumbu Y

$$T_{L_{axis-y}} = \frac{171,47[N].5[mm]}{2.\pi.0,9} + \frac{0,1.61,24[N].5[mm]}{2.\pi} = 156,49[N.mm]$$

- Sumbu X

$$T_{L_{axis-x}} = \frac{87,49[N].5[mm]}{2.\pi.0,9} + \frac{0,1.31,25[N].5[mm]}{2.\pi} = 79,85[N.mm]$$

Berdasarkan hasil perhitungan beban *ballscrew* diatas, maka *stepper motor* yang digunakan adalah NEMA 23 [6].

Penentuan Spindle Motor

Spindle motor merupakan motor yang digunakan untuk memegang *cutter/end mill*. *End mill* berfungsi untuk memakan objek agar menghasilkan profil sesuai dengan input. Pemilihan *spindle motor* harus mempertimbangkan material benda yang akan dimakan, pada rancang bangun mesin CNC ini target materialnya adalah ebonite dan akrilik. Hal yang perlu diperhatikan dari material yang akan dimakan adalah *cutting speed* karena *cutting speed* ini menentukan kemampuan *spindle motor* apakah bisa memotong material tersebut atau tidak. Daftar dari *cutting speed* untuk berbagai material ebonite dan akrilik ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Cutting Speed untuk Material Lunak

Material	Cutting Speed
	v [m/min]
Ebonit	55-70
Akrilik	55-60

Dalam menentukan kemampuan motor spindle untuk memenuhi *cutting speed* dari material ebonite dan akrilik pada tabel 1 perlu dilakukan perhitungan. Perhitungan ini memerlukan dua parameter, yaitu diameter *end mill/cutter* yang digunakan untuk kasus ini diasumsikan 2,5 mm sampai 7 mm dan kecepatan putaran dari motor spindle untuk kasus ini mengambil nilai 3000rpm, 12000 rpm, 24000 rpm. Mengambil nilai 3000 rpm, 12000 rpm, dan 24000 rpm karena nilai tersebut merupakan kemampuan *spindle motor* kelas menengah yang tersedia dipasaran. Perhitungan dari kemampuan spindle menggunakan rumus pada persamaan (2) dan hasilnya ditunjukkan oleh tabel 2.

$$v = \frac{\pi.d.n}{1000} \quad (2)$$

dengan d adalah diameter end mill dalam millimeter, n adalah kecepatan motor spindle dalam rpm, dan v adalah cutting speed dalam m/min.

Tabel 2. Perhitungan Cutting Speed untuk Berbagai RPM

Diameter [mm]	Kecepatan Motor Spindel [rpm]		
	3000	12000	2400
	Cutting Speed [m/min]		
2,5	23,57	94,28	188,56
3	28,28	113,14	226,28
4	37,71	150,86	301,72
5	47,14	188,57	377,14
6	56,57	226,28	452,56
7	66	264	528

Berdasarkan data pada tabel 2, menggunakan *spindle motor* dengan kecepatan 3000 rpm sudah mampu memotong ebonit dan akrilik dengan asumsi *end mill* yang digunakan berukuran antara 6-7 mm. Jadi, *spindle motor* dengan kecepatan minimal 3000 rpm.

Hasil Perakitan Alat

Proses kontruksi alat dilakukan untuk menggabungkan dan men-sinkronkan kerja dari komponen yang terkait hingga dihasilkan suatu mesin CNC yang utuh. Gambar 5 merupakan mesin CNC setelah selesai proses perakitannya.



Gambar 5. Rangkaian Utuh Mesin CNC

Pengujian Ketelitian Alat

Ketelitian mesin CNC dinyatakan dalam satuan milimeter per step. Hal tersebut bergantung pada pengaturan microstepping pada *stepper motor driver*. Perancangan mesin CNC ini menggunakan pengaturan *microstepping-fullstep* yang menghasilkan pergerakan sebesar 40 step/mm, sehingga tingkat ketelitiannya adalah 0,025 mm/step.

Tingkat ketelitian mesin CNC perlu diuji dengan dilakukan perhitungan error pada setiap sumbu x dan sumbu y. Pengujian tingkat ketelitian ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran singkat mengenai kemampuan *milling* dalam membentuk profil/gambar dari mesin CNC ini. Pada pengujian ini menggunakan material ebonit dan akrilik dengan parameter panjang 50 mm dan 80 mm. Alat pembanding dari pengujian ini adalah sigmat dengan tingkat ketelitian 0,02 mm. Tabel 3 adalah hasil pengujian error pada sumbu X dan sumbu Y.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sumbu X dan Sumbu Y pada Ebonit dan Akrilik

Material	Input (mm)	Sumbu X			Sumbu Y		
		Aktual (mm)	Error (mm)	Persen Error (%)	Aktual (mm)	Error (mm)	Persen Error (%)
Ebonit	50	49,42	0,58	1,16	50,2	0,20	0,4
Ebonit	50	49,62	0,38	0,76	49,82	0,18	0,36
Ebonit	50	49,72	0,28	0,56	50,26	0,26	0,52
Ebonit	50	49,78	0,22	0,44	50,08	0,08	0,16
Akrilik	80	80,18	0,18	0,225	79,98	0,02	0,025
Akrilik	80	80	0	0	79,82	0,18	0,225
Akrilik	80	79,72	0,28	0,35	79,72	0,28	0,35
Akrilik	80	80,1	0,1	0,125	79,8	0,2	0,25
		Rerata error (%)		0,453	Rerata error (%)		0,286

Berdasarkan data pada tabel 3 dapat diketahui bahwa rata-rata eror pada sumbu X adalah 0,453 persen dan rata-rata eror pada sumbu Y adalah 0,286 persen.

Tingkat ketelitian pada sumbu Z dilakukan dengan mengukur jarak antara bagian atas sumbu Z dengan *mounting spindle*. Sebelum melakukan pengujian, harus menentukan jarak *zero* terlebih dahulu. Jarak *zero* yang digunakan adalah 154 mm. Sampel jarak perpindahan sumbu Z yang digunakan untuk mencari nilai eror adalah 25 mm, 50 mm, dan 75 mm. Data pengujian tingkat ketelitian ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Error Sumbu Z



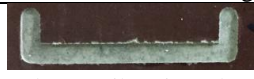











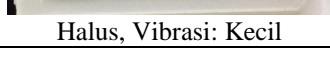
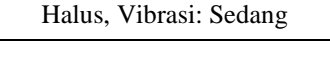
Sampe Jarak (mm)	Jarak Zero (mm)	Jarak Pengukuran (mm)	Jarak Aktual (mm)	Error (mm)	Presentase Error
25	154	129,16	24,84	0,16	0,640%
50	154	104,2	49,8	0,2	0,400%
75	154	79,98	74,02	0,98	1,307%
Rata-Rata Error					0,782%

Berdasarkan hasil data pada tabel 4 diperoleh rata-rata eror pada sumbu Z adalah 0,782 %

Pengujian Konfigurasi Pemotongan pada Akrilik dan Ebonit

Proses pengujian konfigurasi pemotongan dilakukan menggunakan *cutter* dengan tipe *end mill* yang memiliki empat *flutes* dengan diameter *cutter* 5 mm. Pengujian dilakukan pada material ebonite dan akrilik dengan pengaturan *feed rate* pada 100 mm/min dan 200 mm/min. Sedangkan untuk kecepatan *spindle motor* dibagi menjadi 4 tahapan, yakni; 4000-6000 rpm, 6000-8000 rpm, 8000-10000 rpm, dan 10000-12000 rpm. Pada pengujian ini parameter yang diamati adalah vibrasi setiap kombinasi kecepatan, jenis material, dan *feed rate*. Vibrasi pada pengujian ini diindikasikan dengan level bunyi getaran atau noise ketika mesin bekerja pada material yang ditentukan. Parameter vibrasi kecil, sedang, dan tinggi ditentukan berdasarkan percobaan yang telah dilakukan beberapa kali. Hasil pengujian konfigurasi pemotongan yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Konfigurasi Pemotongan

Material	Kecepatan [rpm]	Feed Rate [mm/min]	
		100	200
Ebonit	4000-6000	 Kasar, Vibrasi: Sedang	 Kasar, Vibrasi: Tinggi
Ebonit	6000-8000	 Sedang, Vibrasi: Sedang	 Kasar, Vibrasi: Tinggi
Ebonit	8000-10000	 Halus, Vibrasi: Kecil	 Sedang, Vibrasi: Sedang
Ebonit	10000-12000	 Halus, Vibrasi: Kecil	 Kasar, Vibrasi: Sedang
Akrilik	4000-6000	 Halus, Vibrasi: Sedang	 Kasar, Vibrasi: Tinggi
Akrilik	6000-8000	 Halus, Vibrasi: Kecil	 Sedang, Vibrasi: Sedang
Akrilik	8000-10000	 Halus, Vibrasi: Kecil	 Halus, Vibrasi: Sedang
Akrilik	10000-12000	 Halus, Vibrasi: Kecil	 Halus, Vibrasi: Sedang

Dari data pengujian pada tabel 5, bisa disimpulkan bahwa konfigurasi pemotongan yang baik, menghasilkan potongan yang halus dan rapi, maka digunakan kecepatan *spindle motor* sebesar 8000-12000 rpm dengan *feed rate* sebesar 100 mm/min untuk material ebonit. Sedangkan untuk material akrilik, digunakan rpm 6000-12000

rpm]dan *feed rate* sebesar 100 mm/min untuk mendapatkan hasil yang baik dengan getaran yang dihasilkan juga kecil.

4. KESIMPULAN

1. Konstruksi yang digunakan pada mesin CNC *Milling* 3-Axis ini menggunakan rangka tipe *close frame structure* dengan material aluminium yang dirakit bersama *ballscrew* pada masing-masing sumbu, agar gerakan putar yang dihasilkan *stepper motor* dapat diubah menjadi gerakan linier untuk menggerakkan sumbu kerja. Pengaturan gerakan tersebut diatur oleh *driver microstepping* dari *stepper motor* yang dihubungkan pada aplikasi CNC yang sudah ditentukan.
2. Desain sistem pengendali dan penggerak mesin CNC dengan akurasi pergerakan 0,025 mm/step diperoleh dengan menggunakan *stepper motor* yang dihubungkan secara *direct coupling* dengan *ballscrew*. *Stepper motor* yang digunakan mempunyai resolusi pergerakan 1,8 degree/step dan *ballscrew* yang digunakan mempunyai *pitch* 5mm.
3. Pengujian sistem pengendali dan penggerak mesin CNC dilakukan dengan cara melakukan pemotongan pada ebonit dan akrilik. Error pergerakan dari pengujian pada sumbu X adalah 0,453%, pada sumbu Y adalah 0,286%, dan pada Sumbu Z adalah 0,782%.
4. Konfigurasi pemotongan yang baik atau untuk mendapatkan hasil yang halus dan rapi, maka digunakan kecepatan spindle sebesar 8000-12000 rpm dengan *feed rate* sebesar 100 mm/min untuk material ebonit. Sedangkan untuk material akrilik, digunakan rpm 6000-12000 rpm dan *feed rate* sebesar 100 mm/min untuk mendapatkan hasil yang baik dengan getaran yang dihasilkan juga kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Badak NGL atas dukungan finansialnya pada penelitian ini serta kepada Bapak Agus Sukandi, S.T., M.T., Bapak Drs. Kusnadi, S.T., M.Si, Bapak Azwardi, S.T., M.Kom., Bapak Sonki Prasetya, M.Sc, Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T., Ibu Rika Novita Wardani, S.T., M.T., dan Bapak Ian Galang Prakoso, S.T. atas diskusinya yang bermanfaat.

REFERENSI

1. Gibbs David & Crandel M. Thomas. 1991. Dasar-Dasar Teknik dan Pemrograman CNC. Bandung: PT Remaja Rosdakarya Offset.
2. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 6, Issue 4, July-August, 2018. "Design and fabrication of 3-axis CNC Milling machine"
3. <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>. Diakses pada 1 Juni 2019 (20.22 WITA)
4. G. H. R. Rashid Khalid Hilal Al Habsi, "Design and Fabrication of 3-Axis Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter," International Journal of Multidisciplinary Science and Engineering, vol. 7, no. 5, pp. 7-16, 2016.
5. Hiwin. Ballscrews Catalogue
6. Media, P., HOW TO SIZE A MOTOR