

Pengembangan Lintasan Pahat Pada Pengefraisan “Umsu” Menggunakan Cnc Tu-3a

Rahmatullah^{1*}, Khairul Umurani², M A Siregar³

^{1,2)} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238, Sumatera Utara, Indonesia

*Email: rahmatullah@umsu.ac.id

ABSTRACT

Computer numerically controlled (CNC) machines have long been known and used in various industrial sectors such as the aircraft, shipping, automotive, molding and others industries. Various types of existing CNC machines such as CNC turning, CNC milling, CNC shaping, CNC drilling, CNC laser cutting and others have been commonly used in various manufacturing industries. CNC machines for production units and training unit CNC machines can be used according to milling machining parameters, machine capacity, product quality targets and workpiece material types. In milling machining using a 3-A training unit CNC machine, the first step is to design a workpiece, design G and M codes, simulate it using software such as CAD / CAM and can also be done by simulating it with a pen plotter. After evaluating and the simulation results are in accordance with the workpiece design, it can be executed for product machining. Different designs of CNC machining products have different toolpaths. In general, there are three types of techniques for path generation tools, namely iso-parametric, iso-planner, and iso-scallop height. Tool path generation on "UMSU" CNC milling machining using the CNC TU-3A has been developed a toolpath generation suitable for the "UMSU" machining. The type of tool path generation technique to be used can be considered from several factors including the complexity of the product design, the type of milling tool used, product quality, machining time and other factors.

Keywords: : Toolpath, CNC milling, TU-3A

PENDAHULUAN

Mesin *computer numerically controlled* (CNC) telah lama dikenal dan digunakan pada berbagai sektor industri seperti industri pesawat terbang, perkapalan, otomotif, cetakan dan lain-lain. Berbagai jenis mesin CNC yang ada seperti CNC *turning*, CNC *milling*, CNC *shaping*, CNC *welding*, CNC *laser cutting* dan lain-lain telah umum digunakan diberbagai industri manufaktur. Mesin CNC berdasarkan fungsinya secara umum dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu mesin CNC untuk unit produksi (*production unit*) dan mesin CNC unit latihan (*training unit*). Mesin CNC tersebut dapat digunakan sesuai tujuannya dengan mempertimbangkan kapasitas mesin, target kualitas produk dan jenis material benda kerja.

Mesin CNC *milling* yang ada pada saat ini ada memiliki variasi sumbu seperti 3, 5, 7, 9, 11 dan seterusnya. Semakin banyak sumbu mesin tersebut makan semakin meningkat kemampuannya, semakin fleksibel dan semakin kompleks pengoperasiannya dan pengembangan kode G dan M nya. Mesin CNC *milling* 3A seperti pada pembahasan pada penelitian ini adalah mesin dengan tiga sumbu yaitu x, y dan z. Mesin CNC *milling* 3A ini dapat dioperasikan dengan relative mudah jika terkoneksi dengan software CAM (*computer aided manufacturing*) dan relative kompleks pengoperasiannya jika dilakukan secara manual atau tidak terkoneksi dengan software CAM.

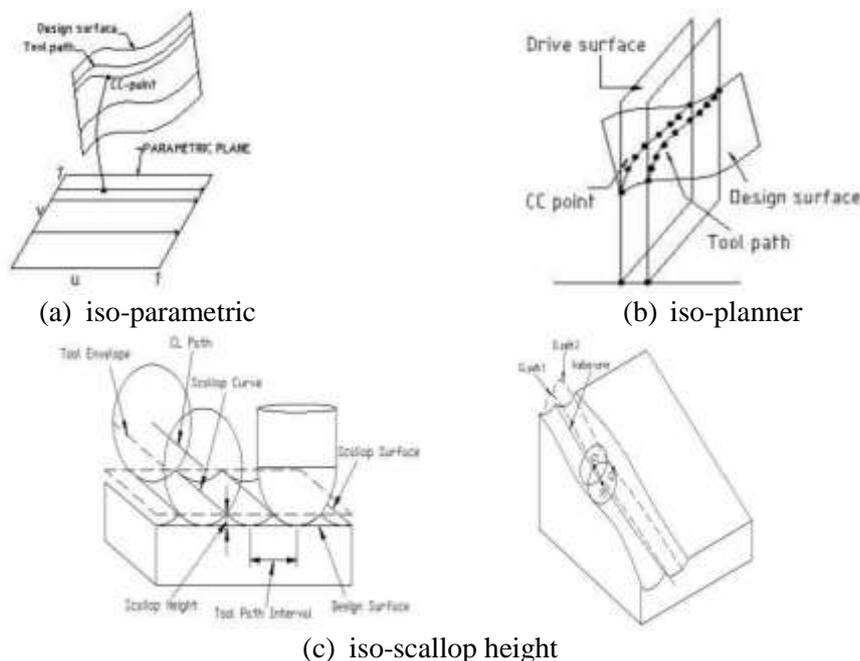
Proses pemesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini dapat menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, alur, melengkung dan lain-lain. Permukaan benda

kerja yang dapat dikerjakan juga dapat berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Pemesinan *milling* yang efektif dan efisien adalah pemesinan dengan desain yang sudah direncanakan dengan baik sesuai case study nya sehingga *toolpath* pemesinan tersebut juga efektif. Selain penentuan parameter pemesinan yang tepat, maka perencanaan *toolpath* yang tepat dapat menjadi factor yang menentukan keefektifan pemesinan *milling*. Pengulangan *toolpath* dan perencanaan *cutting tool* dan spesifikasinya yang kurang tepat semaksimalnya harus dihindari karena tidak efisien. Umumnya banyak pemesinan yang dilakukan menjadi kurang efektif dan efisien karena tidak tepatnya penentuan spesifikasi *cutting tool* dan perencanaan *tool path generation* pemesinan tersebut. Hal ini harus dihindari dan diselesaikan dengan metode-metode yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya ataupun dengan cara pengembangan metode khusus untuk hal tersebut. Tujuan utama pemesinan *milling* adalah pemesinan yang efektif, efisien waktu, penggunaan *cutting tool*, *toolpath* dan produk yang berkualitas dibandingkan dengan kondisi dan perkembangan pemesinan *milling* yang terkini.

METODE PENELITIAN

Tool Path Generation

Menurut Tao dan Zhiliang (2008) [1] Secara umum, ada tiga tipe teknik untuk *tool path generation*, yaitu *iso-parametric*, *iso-planner*, dan *iso-scallop height* seperti pada Gambar 1 (a), (b) dan (c).



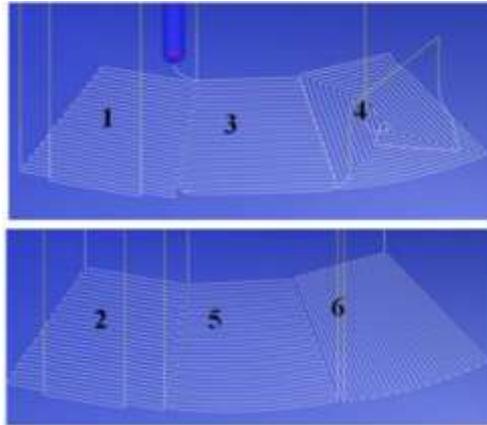
Gambar 1. (a), (b), (c) Teknik untuk *tool path generation* [8]

Tujuan dari pengembangan lintasan pahat adalah untuk menyediakan lintasan pahat yang akurat dan efisien. lintasan pahat yang akurat menghasilkan permukaan yang dikerjakan dalam zona toleransi permukaan matematika. lintasan pahat yang tidak akurat mengakibatkan undercutting (misalnya sisa material di luar toleransi) atau overcutting (misalnya menyayat lebih dari jumlah yang diizinkan) atau keduanya. [2]

Masing-masing dari 6 area diselesaikan dengan strategi lintasan pahat yang berbeda sebagaimana terlihat pada gambar 2:

1. Pahat bergerak tegak lurus pada sumbu X dari bawah ke atas dengan pemotongan paralel;
2. Pahat bergerak mirip dengan strategi 1, tetapi pemotongan dimulai dari atas ke bawah;
3. Paralel antara kurva atas dan bawah;

4. Spiral dari luar ke dalam;
5. Antara kurva atas dan bawah serupa dengan lintasan pahat 2, tetapi pahat bergerak pada kurva melingkar;
6. Antara kurva - lateral.



Gambar 2. Tipe lintasan pahat [4]

Parameter Pemesinan *Milling*

Parameter-parameter pada proses pemesinan menentukan proses pemesinan yang berlangsung apakah telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Terdapat parameter bebas dan terikat pada setiap proses pemesinan [3].

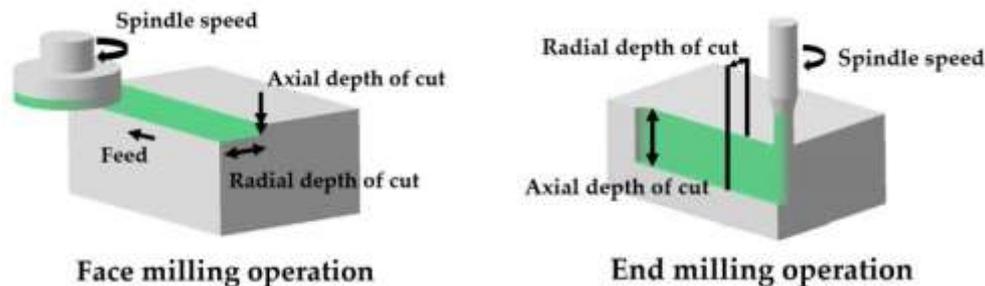
Parameter-parameter bebas antara lain adalah:

- Material dan kondisi dari *cutting tool*.
- Bentuk dari *cutting tool*, spesifikasi permukaan, toleransi pemesinan.
- Material *workpiece*, kondisi, dan temperature operasi.
- Kecepatan pemotongan (*cutting speed*), *feed rate* dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*).
- Fluida pemotongan (*cutting fluid*) yang digunakan.
- Karakteristik mesin, kekakuan bed dan holder dan peredam getar.

Parameter-parameter terikat adalah:

- Tipe dari chip yang dihasilkan
- *Cutting force*
- Perubahan *temperature* pada *workpiece*, *chip*, dan *cutting tool*.
- Laju keausan *cutting tool*.
- Hasil akhir permukaan setelah proses pemesinan.

Proses pengefraisan (*milling*) memiliki pemotong yang berputar untuk membuat bentuk atau karakteristik permukaan tertentu dengan membuang material dari benda kerja. Ada dua operasi dasar pengefraisan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu *peripheral (end) milling* dan *face milling*. *Peripheral milling* biasanya digunakan untuk pekerjaan profil atau slotting, dan *face milling* diperlukan untuk membuat permukaan datar dari suatu benda kerja [5]. Proses *milling* digunakan untuk menguji metode optimasi dalam penelitian ini.



Gambar 3. Operasi *milling* [6]

Tiga faktor utama dalam setiap operasi pengefraisan dasar adalah kecepatan, pemakanan, dan kedalaman pemotongan. Faktor-faktor lain seperti jenis material dan jenis pahat memiliki pengaruh yang besar, namun ketiga hal ini yang dapat diubah oleh operator dengan mengatur kontrol, tepat di mesin [7].

- Kecepatan (*Speed*): Kecepatan potong adalah kecepatan pemotongan dari pemotong mesin milling, diukur dalam meter per menit (m/menit). Kecepatan yang disukai ditentukan berdasarkan material yang dipotong. Kecepatan potong yang berlebihan akan menyebabkan keausan pahat prematur, pecah, dan dapat menyebabkan pahat bergemeletuk, yang semuanya dapat menyebabkan kondisi yang berpotensi membahayakan. Menggunakan kecepatan potong yang benar untuk material dan pahat akan sangat memengaruhi umur pahat dan kualitas permukaan akhir.
- Pemakanan (*Feed*): Pemakanan adalah kecepatan di mana pemotong melakukan pemakanan, yaitu, maju terhadap benda kerja. Ini dinyatakan dalam satuan jarak per waktu untuk milling (biasanya inci per menit [ipm] atau milimeter per menit); dengan pertimbangan berapa banyak gigi (atau flutes) yang dimiliki pemotong kemudian menentukan apa artinya untuk setiap gigi.
- Kedalaman Pemotongan (*Depth of Cut*): Hal ini mengacu pada jumlah material benda kerja yang diambil per lintasan pahat. Seberapa dalam pahat potong berada di bawah permukaan material benda kerja yang dipotong. Kondisi ini akan menghasilkan tingginya jumlah chip yang dihasilkan. Biasanya, kedalaman pemotongan kurang dari atau sama dengan diameter pahat.

Penelitian ini dilaksanakan dalam waktu selama 6 bulan, Tahapan pada penelitian ini diawali dengan melakukan review data teoritis sebagai referensi berdasarkan tinjauan pustaka, mendesain benda kerja (*workpiece*), membuat *worksheet*, mendesain lintasan pahat (*toolpath*), mensimulasikannya dan melakukan pemesinan *workpiece* tersebut pada mesin *milling*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium *Computer Numerically Controlled* (CNC) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Metode pembuatan jalur alat untuk permukaan yang disayat dapat dibagi menjadi dua kategori umum: pengindeksan isoparametrik dan non-isoparametrik. Pada pengindeksan isoparametrik, serangkaian titik kontak pemotong (*cutter contact point - CC*) ditentukan dengan mengindeks sepanjang garis parameter konstan dalam ruang u-v dari permukaan. Titik pusat lokasi pemotong (*cutter location - CL*) kemudian dihitung dari titik CC. Pada kategori kedua, pengindeksan non-isoparametrik, batasan ditempatkan pada poin CL (misalnya posisi x, y diatur) dan poin CC dihitung.

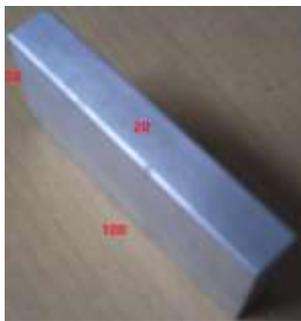
Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan alat seperti PC atau laptop dengan spesifikasi terkini dan sudah terdapat salah satu software simulasi CNC seperti CAD/CAM atau sejenis, dan Mesin CNC Milling TU-3A (Gambar 4). Material *workpiece* yang digunakan adalah *Aluminum Alloys* (Gambar 5 dan 6) dengan satu *cutting tool* Endmill HSS \varnothing 6 mm.



Gambar 4. Mesin CNC TU 3A

Material benda kerja yang digunakan adalah *aluminum alloys* dengan ukuran $l = 50$ mm, $t = 20$ mm, dan $p = 100$ mm.



Gambar 5. Benda Kerja Alumunium



Gambar 6. Ukuran benda kerja

Pengembangan Lintasan Pahat (*Toolpath*) “UMSU”

Setelah model 3D telah dibuat, maka proses selanjutnya adalah melakukan pemrograman lintasan pahat untuk mendapatkan *cutter location file* (CL-file) dan *cutter contact point* (CC point). Selain untuk mendapat CL-file dan CC point, pemrograman lintasan pahat juga dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang nantinya akan menjadi acuan untuk digunakan pada proses pemesinan.

Pada saat akan melakukan pemrograman lintasan pahat, komponen yang akan dilakukan pemrograman harus berada dalam CAM software. Beberapa dari CAM software yang tersedia sudah terintegrasi dengan CAD software namun ada juga beberapa CAM software yang tidak terintegrasi dengan CAD software.

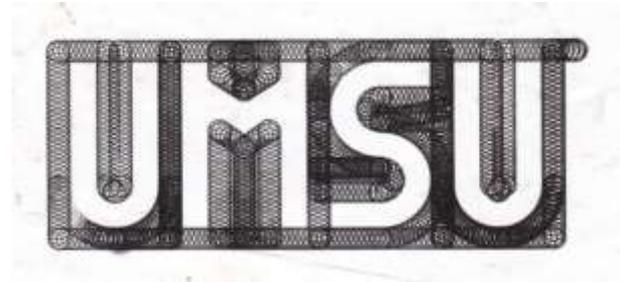
Pada pengembangan *toolpath* “UMSU” ini yang harus dihindari adalah pengulangan *toolpath* yang tidak perlu untuk mereduksi waktu pemesinan dan menjaga life time cutting tool agar efisien. Pada *toolpath* “UMSU” yang dapat dilihat pada Gambar 6 dapat dilihat ada pengulangan *toolpath* yang tidak terhindarkan antara huruf “U” dan “S” dan antara huruf “M” dan “U” dan itu tidak termasuk dalam ketidakefektifan, karena memang hal itu termasuk dalam klasifikasi *toolpath* yang tidak terhindarkan.

Analisa Lintasan Pahat

Pengembangan lintasan pahat yang dilakukan perlu dianalisis untuk mengetahui apakah *toolpath* yang terbentuk telah valid atau belum. Pemvalidasian dilakukan agar *toolpath* yang dibuat

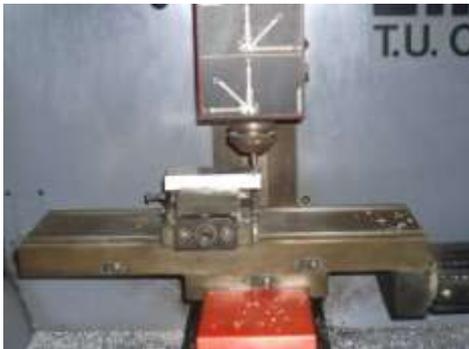
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

dapat dijadikan acuan untuk standard prosedur operasi pembuatan “UMSU” baik pada huruf U, M, S, dan U (Gambar 7). Analisis *toolpath* dilakukan pada setiap *toolpath* yang dibuat mulai dari proses *roughing* dan *finishing*.

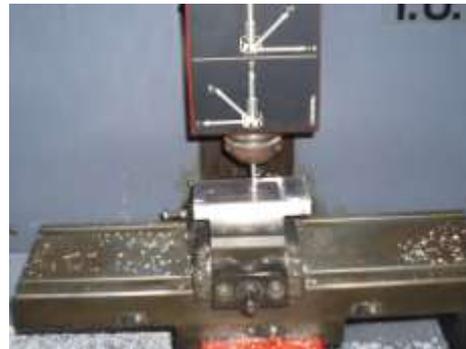


Gambar 7. *Toolpath* pemesinan “UMSU”

Selama proses operasi milling, benda kerja disayat oleh pisau frais yang bergerak ke arah sumbu x, y, z sesuai desain pemakanan (*feeding*). Material benda kerja yang disayat secara bertahap menuju suatu bentuk U, M, S, U, yang direncanakan (Gambar 8, 9, 10 dan 11). Merencanakan kode G dan M, disesuaikan dengan desain besar ukuran masing-masing huruf yang telah disesuaikan dengan ukuran workpiece dan diameter *endmill* yang digunakan. Pada desain disini adalah dengan *endmill* memakan atau menyayat disekeliling huruf dengan kedalaman pemakanan (*depth of cut*) adalah 2 mm.



Gambar 8. Proses awal *milling* huruf “U”



Gambar 9. Proses *milling* huruf “M”



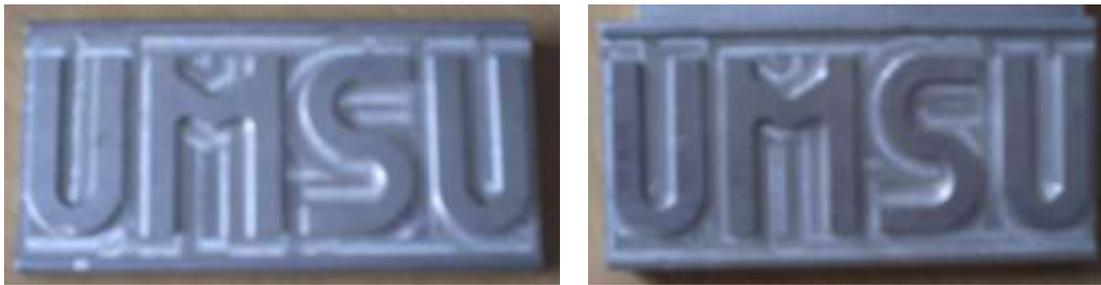
Gambar 10. Proses *milling* huruf “S, U”



Gambar 11. Proses *milling* “UMSU” selesai

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *milling*, pemilihan spesifikasi *cutting tool*, spesifikasi *workpiece*, *speed*, *feed*, *depth of cut* dan lintasan pahat (*toolpath*) yang digunakan dapat telah menghasilkan produk pemesinan *milling* yang sesuai dengan yang direncanakan dan ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Lintasan pahat yang digunakan sesuai dengan diameter end mill \varnothing 6 mm, *depth of cut*, jarak huruf U, M, S, U, dan telah menghasilkan kode G yang sesuai dengan desain ukuran *workpiece*. Hasil perencanaan penggunaan spesifikasi *cutting tool* dan perencanaan *tool path generation* pada pemesinan U, M, S, U, telah menunjukkan bahwa hal ini sudah sesuai perencanaan dan sesuai dengan tujuan penelitian yaitu pemesina yang efektif dengan mereduksi jumlah *tool path generation*, mengurangi pemakaian *cutting tool* yang banyak dan mengurangi resiko pemesinan yang tidak efektif.



Gambar 12. Produk pemesinan “UMSU”

KESIMPULAN

Parameter pemesinan seperti kecepatan (*speed*), pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) yang telah ditentukan, pemilihan jenis dan spesifikasi *cutting tool*, desain *toolpath* yang digunakan, telah menghasilkan produk pemesinan *milling* yang sesuai dengan tujuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, 9, 10 dan 11. Masalah efektifitas dan efesiennya suatu pemesinan pada penelitian ini sudah terbukti efektif, hal dapat dilihat dari *toolpath* yang dihasilkan tidak banyak mengulang *toolpath*. *Tool path* yang tidak banyak mengulang sudah dipastikan akan dapat mereduksi waktu pemesinan. Pemilihan *cutting tool* yang tepat telah terbukti membuat proses *milling* U, M, S, U, hanya menggunakan satu *cutting* yaitu end mill \varnothing 6 mm. Hal ini juga berdampak kepada peran yang signifikan dalam mereduksi waktu pemesinan karena mengurangi pemakaian banyak *cutting tool*, waktu pertukaran dan settingnya. Pada penelitian ini disimpulkan ada dua yang menyebabkan keefektifannya yaitu perencanaan *tool path* yang benar dan pemilihan *cutting tool* yang tepat. Lintasan pahat yang direncanakan dan digunakan sesuai dengan diameter end mill yang digunakan yaitu \varnothing 6 mm, dengan *depth of cut* 2 mm dan jarak huruf U, M, S, U, dan telah menghasilkan kode G dan M yang sesuai dengan desain ukuran *workpiece*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tao Chen dan Zhiliang Shi (2008), *A tool path generation strategy for three-axis ball-end milling of free-form surfaces*, Journal of materials processing technology 208 (2008) 259–263, www.elsevier.com/locate/jmatprotec.
- [2] Xiaoxia Li, (1993), *Automatic tool path generation for numerically controlled machining of sculptured surfaces*, Doctoral Dissertations University of New Hampshire.
- [3] M. Gani Maulana (2012), Pengembangan lintasan pahat dan manufaktur mini impeller dengan proses *milling* 5-axis, Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

- [4] A E Pena, F D Anania dan C Mohora (2018), *Methodology for optimizing cutting parameters on milling process*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 400 (2018) 022044, doi:10.1088/1757-899X/400/2/022044
- [5] Stephenson, D.A.; Agapiou, J.S. *Metal Cutting Theory and Practice*; Dekker: New York, NY, USA, 2016; pp. 27–43.
- [6] Yubin Lee, Alin Resiga, Sung Yi and Chien Wern * (2020), *The Optimization of Machining Parameters for Milling Operations by Using the Nelder–Mead Simplex Method*, Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2020, 4, 66; doi:10.3390/jmmp4030066, www.mdpi.com/journal/jmmp
- [7] Dr. M.V. Jagannadha Raju, Sameer Kumar Gedela (2016), Experimental Investigation of Machining Parameters of CNC Milling for Aluminum Alloys 6063 and A380, Volume-6, Issue-1, January-February-2016 International Journal of Engineering and Management Research Page Number: 185-197
- [8] N. Shokrollahi, E. Shojae, (2014), *Experimental Comparison of ISO Scallop, ISO Planar and ISO Parametric Algorithms in Machining Sculptured Surfaces*, Mechanic Department, Tabriz Technical College, Technical and Vocational University, Indian J. Sci.Res.1(2): 475-481, 2014
- [9] A. R. Nasution, Z. Fuadi, I. Hasanuddin, and R. Kurniawan, “Effect of vegetable oils as cutting fluid on wear of carbide cutting tool insert in a milling process,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 796, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/796/1/012001.
- [10] A. R. Nasution, “Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, vol. 3, no. 1, pp. 16–22, 2019.