

**[KM-02] ANALISA PENGARUH
GEOMETRI PAHAT VARIABEL
HELIX ANGLE PADA
PARAMETER MESIN CNC
MILLING VERTIKAL TERHADAP
NILAI GETARAN CHATTER
MENGUNAKAN METODE
STABILITY LOBE DIAGRAM**

Festo Andre Hardinsi^{1*}

¹Jurusan Teknik Perawatan dan Perbaikan
Mesin

Politeknik Negeri FakFak, Papua

* E-mail : festoandrehardinsi@yahoo.com

ABSTRAK

Getaran yang sering terjadi pada pengerjaan proses produksi menggunakan permesinan CNC milling merupakan hal yang sangat penting untuk diperhitungkan. Getaran ini dapat menyebabkan perubahan dimensi dan mempengaruhi tingkat kualitas benda kerja yang dihasilkan, sehingga efek getaran chatter atau self-excited vibration pada proses pengerjaan produksi menjadi masalah utama dalam proses permesinan milling. Nilai getaran chatter ditentukan menggunakan grafik SLD secara ekperimental untuk mengetahui batas antara chatter free dan chatter occurs.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stainless steel 304, dengan menggunakan sensor MPU 6050 yang terhubung pada mikrokontroler Arduino Uno menggunakan software LabVIEW 2019 student edition yang digunakan untuk mengidentifikasi nilai acceleration getaran chatter. Besar nilai acceleration diukur menggunakan FFT, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dalam bentuk eksperimental, dengan geometri pahat Variabel Helix Angle (VHA) Hasil pada Grafik Stability Lobe Diagram yang didapatkan pada proses permesinan slot milling menggunakan pahat variable helix angle 36/38 derajat dengan feed rate 150 mm/mnt memiliki chatter free yang lebih tinggi dibandingkan dengan feed rate 100 dan 125 mm/mnt.. Dari hasil yang didapatkan bahwa semakin tinggi nilai feed rate maka nilai acceleration getaran chatter semakin rendah.

Kata kunci : Chatter, VHA 40/42, SLD, FFT.

ABSTRACT

Vibrations that often occur in the production process using CNC milling machines are very important things to take into account. This vibration can cause dimensional changes and affect the quality level of the resulting workpiece, so that the effect of chatter vibration or self-excited vibration in the production process is a major problem in the milling machining process. The chatter vibration value was determined using an SLD graph experimentally to determine the boundary between chatter free and chatter occurs.

The material used in this study is 304 stainless steel, using an MPU 6050 sensor connected to the Arduino Uno microcontroller using the LabVIEW 2019 student edition software which is used to identify the chatter vibration acceleration value. The magnitude of the acceleration value is measured using FFT, the method used in this study is in an experimental form, with Variable Helix Angle (VHA) chisel geometry. a feed rate of 150 mm/min has a higher free chatter compared to a feed rate of 100 and 125 mm/min. From the results obtained, the higher the feed rate value, the lower the chatter vibration acceleration value

Keywords: Chatter, VHA 40/42, SLD, FFT.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, kemajuan bidang keteknikan, sains, dan teknologi mempengaruhi perkembangan dalam dunia industri dan manufaktur. Proses produksi pada bidang otomotif, aerospace, mould industries, hingga kemiliteran membutuhkan tingkat efisiensi produksi, produktivitas dan high precision product yang tinggi sehingga memenuhi kebutuhan pasar dan permintaan yang ada. Dalam upaya memenuhi perihal tersebut, diperlukan kualitas mesin perkakas yang digunakan, pemilihan parameter dalam proses permesinan, hingga pemilihan metode-metode yang tepat. Salah satu mesin produksi yang tepat untuk menghadapi perihal tersebut adalah mesin vertical milling center. Karakteristik getaran dinamis yang bekerja dalam arah vertical dapat menimbulkan simpangan yang bervariasi [1].

Mesin *vertical milling center* adalah jenis mesin CNC dengan putaran spindel utama pada posisi vertikal. Efek getaran *chatter* atau *self-excited vibration* pada proses pengerjaan produksi menjadi masalah utama dalam proses permesinan *milling*. Efek getaran ini dapat menyebabkan perubahan dimensi sehingga mempengaruhi tingkat desain produk [2]. *Chatter* merupakan getaran *self-excited* yang dapat terjadi selama operasi permesinan dan menjadi batasan umum untuk produktivitas dari sisi bagian kualitas [3]. *Chatter* dapat terjadi dalam proses permesinan antara lain permesinan *turning* [4], *milling* [5]. *Chatter* diklasifikasikan dalam dua kategori yang berbeda yaitu primer dan sekunder. kategori primer yaitu *chatter* yang dihasilkan pada proses pemotongan seperti, yaitu gesekan antara alat dan benda kerja. Dalam kategori sekunder, *chatter* disebabkan oleh efek regenerasi permukaan bergelombang pada benda kerja [9].

Efek *chatter* dalam proses permesinan dapat mengakibatkan, kerusakan pahat, kebisingan yang berlebihan, ketidakakuratan, dan permukaan yang buruk [10] Untuk mengurangi terjadinya getaran *chatter* yang berlebihan pada permesinan, diperlukan suatu cara untuk meminimalisir *chatter* pada proses pengoperasian. Salah satu cara untuk mengetahui terjadinya *chatter* yang berlebihan dengan menggunakan *stability lobe diagram*. *Stability lobe diagram* merupakan diagram yang menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan dengan menggunakan parameter *depth of cut* dan *spindle speed* sebagai parameter perbandingan. Fungsi utama dari parameter di atas, yaitu untuk menunjukkan batas antara *stable cut* dan *unstable cut* yang bertujuan untuk memberitahukan daerah mana yang disarankan dalam proses pemotongan. Daerah yang disarankan merupakan daerah yang memiliki sedikit peluang terjadinya *displacement* pada *cutting tool* yang dapat mengakibatkan efek *regenerative* atau *chatter*. [11] melakukan

penelitian tentang *chatter stability prediction* menggunakan mesin *milling* 4 axis pada material aluminium *alloy* untuk *aero-engine casings*, eksperimen tersebut menggunakan pahat *bull nosed-endmill*. Penelitian tersebut menggunakan *stability lobe diagram* sehingga mendapatkan *spindle speed* dan *radial depth of cut* yang ideal untuk mengidentifikasi *chatter* dalam proses permesinan. [12] melakukan penelitian tentang optimasi bentuk geometri pahat *variable helix* untuk mengurangi timbulnya *chatter*. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa *regenerative chatter* dapat diminimalisir dengan cara menggunakan pahat *variable helix angle* dibandingkan dengan pahat biasa. Bentuk geometri atau variasi sudut helix pada pahat memberikan stabilitas yang baik pada proses pemakanan benda kerja yang mana hal tersebut mereduksi timbulnya *chatter* sehingga benda kerja yang dihasilkan memiliki kekasaran permukaan yang baik.

[13] melakukan penelitian tentang teknik mereduksi *chatter* dalam pemotongan logam. Parameter-parameter seperti *cutting force*, *dynamic force* pada sistem, *process parameter*, dan geometri pahat, ditentukan dengan menggunakan *stability lobe diagram*. Efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya getaran vertikal yang berfluktuasi adalah dapat mempengaruhi kualitas kerja dalam suatu system, [14]. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa *chatter* dapat ditekan dengan cara menerapkan CSSV (*continuous spindle speed variation*), menggunakan pahat *variable helix angle*. Dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran *spindle* dan semakin kecil *depth of cut* yang digunakan akan mereduksi timbulnya *chatter*. Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh parameter kecepatan *spindle speed*, kedalaman potong, dan variabel sudut *helix angle* terhadap getaran *chatter* menggunakan diagram SLD (*stability lobe diagram*).

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental bertujuan untuk mencari pengaruh dari *variable helix angle and pitch tool* terhadap transformasi *stability lobe diagram* dan kekasaran permukaan dibandingkan dengan *normal helix angle and pitch tool* menggunakan mesin VMC (*Vertical Machining Center*). *Chatter control* pada proses permesinan menggunakan material *stainless steel 304*.

Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan adalah variasi *spindle speed* yang digunakan pada masing-masing *tool* berikut, dan dengan variasi *axial depth of cut*.

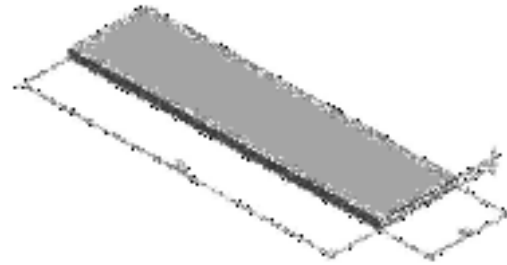
Tabel 1.

Parameter Variabel Penelitian

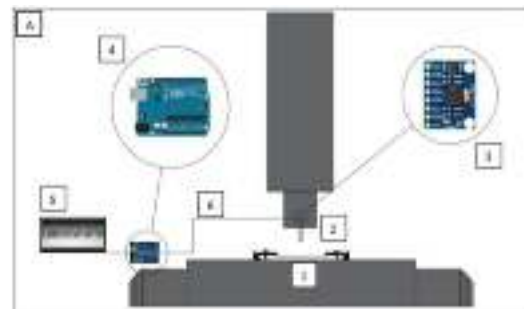
Parameter	Unit			
<i>Variable Helix Angle</i>	(derajat)	36/38		
<i>Spindel Speed</i>	(RPM)	2000	250	0
<i>Feed Rate</i>	(mm/s)	100	125	5
<i>Depth Of Cut</i>	(m)	0.5	1	1.5

Material dan Alat

Benda kerja *stainless steel 304* berdimensi 200 x 50 x 5 mm³ digunakan dalam proses permesinan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



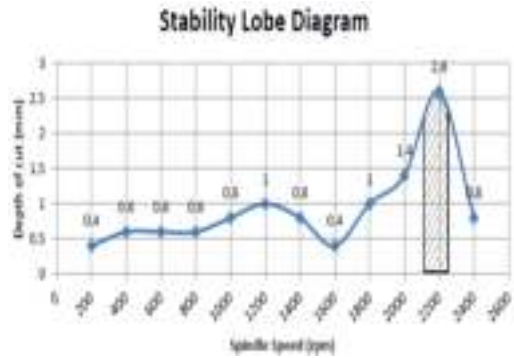
Gambar 2. Dimensi Benda Kerja



Gambar 3. Skema Penelitian

Pada Gambar 3 menunjukkan proses pemakanan benda kerja *Stainless Steel 304* (1) dipasang tepat di bawah *endmill tool* (2) yang digunakan sebagai *cutting tool* dalam proses *slot milling*. Proses pemakanan pertama menggunakan pahat variabel *helix angle* dengan mengatur putaran *spindle* (rpm) dan *feed* sehingga motor pneumatik dari mesin akan berputar menggerakkan *spindle* dan *table*. Selama proses pemakanan dilakukan pengambilan data *shifting* menggunakan *accelerometer MPU6050* (3) kemudian data tersebut diproses oleh mikrokontroler *Arduino Uno* (4). Mikrokontroler *Arduino uno* dikoneksikan ke *Laptop* (5) yang sudah terinstall *software LabVIEW 2019 version student edition* dan telah dibuat program yang bisa menerjemahkan getaran yang terjadi menjadi data dalam bentuk *time domain*, setelah itu data *time domain* di input ke dalam *software DIAdem* untuk mendapatkan data grafik

dalam bentuk FFT (*Fast Fourier Transform*). Adapun pembuatan program



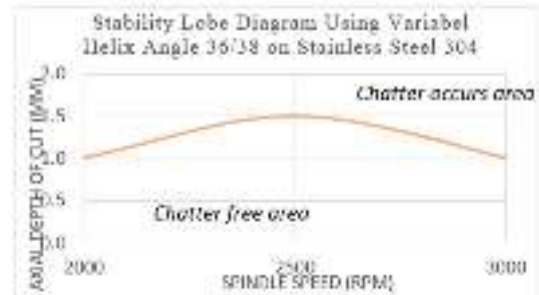
Gambar 3. Stability Lobe Diagram

Pada Gambar 3 menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan yang bergantung kepada *depth of cut* dan *spindle speed*. Sebagai fungsi dari dua parameter pemotongan ini, batas antara *stable cut* dan *unstable cut* dapat ditunjukkan dalam *stability lobe diagram*. Penyusunan *stability lobe diagram* dapat dilakukan dengan *analytical method*, *semi analytical method*, dan *eksperimental method* (Palpandian, Prabhu & Satish, 2013).

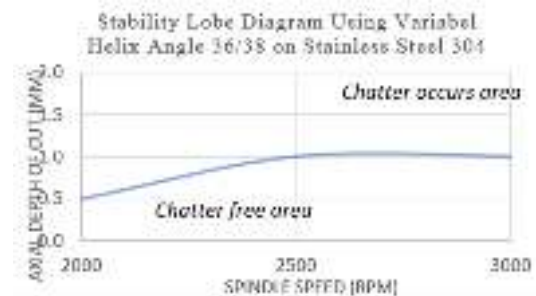
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Hasil Penelitian

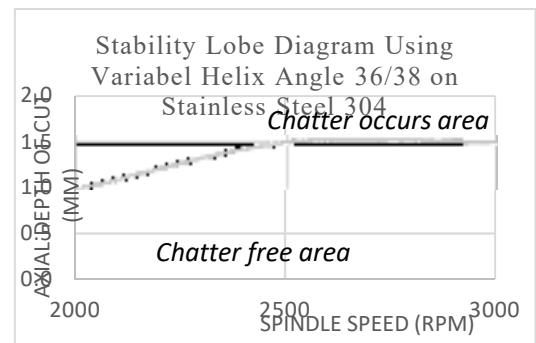
Setelah melakukan pengambilan data secara eksperimental, dari hasil proses permesinan *slot milling* dan pengamatan *acceleration-time domain* pada *software* LabVIEW 2019 *student edition* dengan menggunakan *variable helix 36/38* (derajat) pada variasi *spindle speed* yaitu 2000, 2500, 3000 (RPM), *axial depth of cut* yaitu 0.5, 1 dan 1.5 (mm) dan *Feed Rate* yaitu 100, 125 dan 150 (mm/mnt). Pembuatan *SLD* dilakukan dengan perbandingan nilai *fast fourier transform (FFT)* pada setiap parameter *Axial depth of cut* dan *Spindel Speed* dengan menggunakan *software* DIAdem 2019 *student edition* grafik *SLD* dapat ditunjukkan pada gambar 8,9 dan 10.



Gambar 4. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 100 mm/mnt



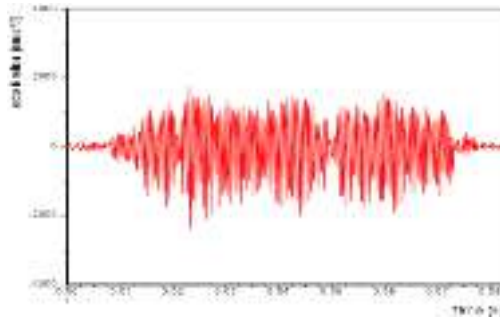
Gambar 5. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 125 mm/mnt.



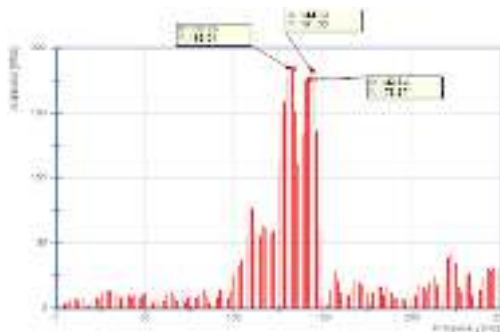
Gambar 6. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 150 mm/mnt

2. Grafik dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan pada salah satu variasi putaran spindel yaitu 3000 RPM dengan menggunakan pahat *variable helix*. Pada variasi tersebut terjadi *chatter* pada *axial depth of cut* 1.0 mm pada pemakanan sebelumnya pada *axial depth of cut* 0.5 mm dengan variasi *feed rate* 100, 125, 150 mm/mnt.

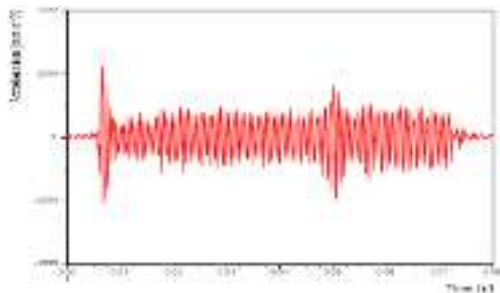


(A)



(B)

Gambar 7. (A) Grafik *Acceleration-Time Domain* dan (B) Grafik *Fast Fourier Transform* pada *Spindle Speed* 3000 RPM dan *Depth of Cut* 1.0 mm dengan *Feed Rate* 100 mm/mnt.

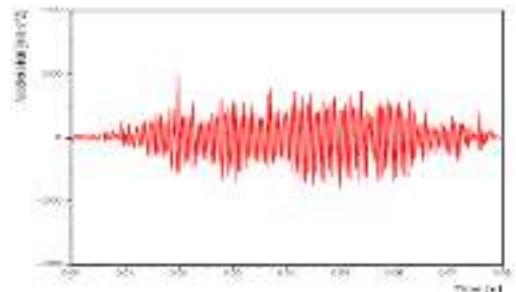


(A)

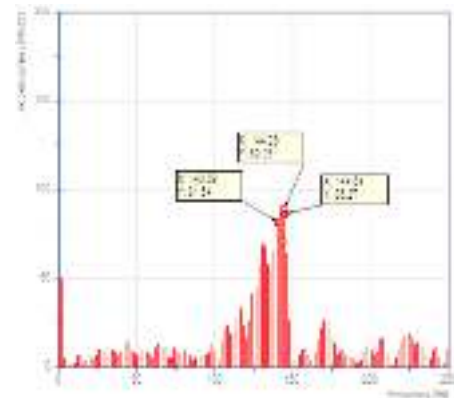


(B)

Gambar 8. (A) Grafik *Acceleration-Time Domain* dan (B) Grafik *Fast Fourier Transform* pada *Spindle Speed* 3000 RPM dan *Depth of Cut* 1.0 mm dengan *Feed Rate* 125 mm/mnt



(A)



(B)

Gambar 9. (A) Grafik *Acceleration-Time Domain* dan (B) Grafik *Fast Fourier Transform* pada *Spindle Speed* 3000 RPM dan *Depth of Cut* 1.5 mm dengan *Feed Rate* 150 mm/mnt.

Pada gambar 7,8 DAN 9 merupakan hasil *signal processing* berupa grafik *acceleration-time domain* dan FFT (*Fast Fourier Transform*) dari proses permesinan *slot milling* pada variasi putaran spindle 3000 RPM dengan menggunakan *variable helix and pitch tool* dengan sudut *helix* 40/42 derajat, *depth of cut* 1.0 mm. Pengukuran besaran nilai *acceleration* getaran *chatter* diukur menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*), nilai *acceleration* pada *Feed rate* 100 mm/mnt sebesar 183.01 RMS, 181,03 RMS dan 175,37 RMS, nilai *acceleration* pada *Feed rate* 125 mm/mnt sebesar 233,68 RMS, 187.51 RMS dan 141,35 RMS, sedangkan nilai *acceleration* pada *Feed rate* 150 mm/mnt sebesar 89.06 RMS, 86,27 RMS dan 81,64 RMS.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa grafik *stability lobe diagram* yang dihasilkan dari penelitian eksperimental ini, dapat diketahui bahwa proses permesinan *slot milling* menggunakan *variable helix angle* 36/38 derajat dengan *feed rate* 150 mm/mnt memiliki *free chatter area* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *feed rate* 100 dan 125 mm/mnt. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan kecepatan pemakanan pada *cutting tool* sehingga dapat menyebabkan adanya variasi nilai *tooth passing frequency* dan mengurangi peluang terjadinya *chatter* pada proses permesinan. Hasil nilai *acceleration* diukur menggunakan FFT, dari hasil tersebut didapatkan bahwa semakin tinggi *feed rate* maka nilai getaran *chatter* semakin rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] S. Ka'Ka, S. Himran, I. Renreng, and O. Sutresman, "Modeling of Vertical Dynamic Vibration Characteristics on Vehicles Suspension System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 619, no. 1, 2019.
- [2] V. R. Mamilla, M. Srinivasulu, and P. N. Mani, "Study on computer numerical control (CNC) machines," *Int. J. Adv. Sci. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–25, 2016.
- [3] G. Quintana and J. Ciurana, "Chatter in machining processes: A review," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 51, no. 5, pp. 363–376, 2011.
- [4] K. R. Kashyzadeh and M. J. O. Ghorabi, "Study of Chatter Analysis in Turning Tool And Control Methods – A Review," vol. 2, no. 4, pp. 1–5, 2012.
- [5] a K. M. N. Amin, A. U. Patwari, M. S. Sharulhazrin, and I. Hafizuddin, "Investigation of Effect of Chatter Amplitude on Surface Roughness during End Milling of Medium Carbon Steel," *Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, pp. 127–131, 2010.
- [6] I. M. Mehrabadi, M. Nouri, and R. Madoliat, "Investigating chatter vibration in deep drilling, including process damping and the gyroscopic effect," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 49, no. 12–13, pp. 939–946, 2009.
- [7] A. Hassui and A. E. Diniz, "Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 855–862, 2003.
- [8] M. Wiercigroch and A. M. Krivtsov, "Frictional chatter in orthogonal metal cutting," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 359, no. 1781, pp. 713–738, 2001.
- [9] M. Siddhpura and R. Paurobally, "A review of chatter vibration research in turning," *Int. J. Mach. Tools*

- Manuf.*, vol. 61, pp. 27–47, 2012.
- [10] M. C. Salcedo, E. Y. Rodriguez, and G. V. Ochoa, “Study and analysis of the chatter in the milling the stainless steel 302 and alloy steel 4140,” *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 55, pp. 2715–2722, 2018.
- [11] X. Zhou, D. Zhang, M. Luo, and B. Wu, “Chatter stability prediction in four-axis milling of aero-engine casings with bull-nose end mill,” *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 28, no. 6, pp. 1766–1773, 2015.
- [12] A. R. Yusoff and N. D. Sims, “Optimisation of variable helix tool geometry for regenerative chatter mitigation,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 51, no. 2, pp. 133–141, 2011.
- [13] M. Zatarain, J. Alvarez, I. Bediaga, J. Munoa, and Z. Dombovari, “Implicit subspace iteration as an efficient method to compute milling stability lobe diagrams,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 77, no. 1–4, pp. 597–607, 2015.
- [14] S. Ka’Ka, S. Himran, I. Renreng, and O. Sutresman, “Effects of Work on Shock Absorber and Spiral Springs Against Vertical Loads of Vehicles Burdening the Road Structure,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 676, no. 1, 2019.
- [15] Karunya, G., P. Ravikumar, P. Geeta Krishna, and P. Shiva Krishna. 2017. “Optimization of the Surface Roughness by Applying the Taguchi Technique for the Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel.” *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 8(8): 694–701.
- [16] Izamshah, Raja et al. 2013. “Effects of End Mill Helix Angle on Accuracy for Machining Thin-Rib Aerospace Component.” *Applied Mechanics and Materials* 315: 773–77.
- [17] Mei, Jiawei et al. 2018. “Analytical Modeling, Design and Performance Evaluation of Chatter-Free Milling Cutter with Alternating Pitch Variations.” *IEEE Access* 6(c): 32367–75.