

SKRIPSI

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GETARAN PEMESINAN DENGAN 3DR RADIO TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI APLIKASI JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS SPEKTRAL (*OPEN-SOURCE*)

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**IQBAL AL FARABI
03051181621006**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

SKRIPSI

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GETARAN PEMESINAN DENGAN 3DR RADIO TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI APLIKASI JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS SPEKTRAL (*OPEN-SOURCE*)

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



Oleh :

IQBAL AL FARABI

03051181621006

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GETARAN PEMESINAN DENGAN 3DR RADIO TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI APLIKASI JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS SPEKTRAL (*OPEN-SOURCE*)

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

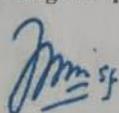
IQBAL AL FARABI

03051181621006

Indralaya, Juli 2021

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi I


Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T
NIP. 19700228 199412 1 001

Pembimbing Skripsi II


M. A. Ade Saputra, S.T., M.T
NIP. 198711302019031006




Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN

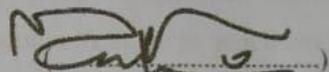
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "Pengembangan Sistem Pengukuran Getaran Pemesinan Dengan 3DR Radio Telemetry Beserta Implementasi Aplikasi Java Sebagai Data Logger Dan Analisi Spektral (*open-source*)" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal Juli 2021.

Indralaya, Juli 2021

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

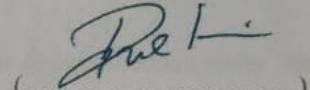
Ketua :

Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP.19590321198703 1 001



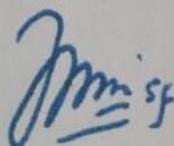
Anggota :

1. Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP.19810510 200501 1 005
2. Ir. Firmansyah Burlian, M.T.
NIP.19561227198811 1 001


(.....)
(.....)

Pembimbing Skripsi,
Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Muhammad Yanis, S.T.,M.T
NIP. 19700228 199412 1001

M. A. Ade Saputra, S.T., M.T
NIP. 19871130 201903 1 006



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin,
Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19711225 199702 1 001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : IQBAL AL FARABI

NIM : 03051181621006

JURUSAN : TEKNIK MESIN

JUDUL : PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN
GETARAN PEMESINAN DENGAN 3DR RADIO
TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI APLIKASI
JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS
SPEKTRAL (*OPEN-SOURCE*)

DIBERIKAN : 10 JANUARI 2021

SELESAI : 10 JULI 2021

Indrataya, Juli 2021



Irsyadi Yani S.T, M.Eng, Ph.D

NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi

Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T

NIP.197002281994121001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Iqbal Al Farabi
NIM : 03051181621006
Judul : Pengembangan sistem pengukuran getaran pemesinan dengan 3dr radio telemetry beserta implementasi aplikasi java sebagai data logger dan analisis spektral (*open-source*)

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Juli 2021



Iqbal Al Farabi
NIM.03051181621006

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Iqbal Al Farabi

NIM : 03051181621006

Judul : Pengembangan sistem pengukuran getaran pemesinan dengan 3dr
radio telemetry beserta implementasi aplikasi java sebagai data
logger dan analisis spektral (*open-source*)

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi
tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur
penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi
akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada
paksaan dari siapapun.



Indralaya, Juli 2021

Iqbal Al Farabi

NIM. 03051181621006

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menjalankan penelitian ini sebagai Tugas Akhir untuk memenuhi syarat mengikuti Ujian Skripsi pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang berjudul “Pengembangan Sistem Pengukuran Getaran Pemesinan dengan 3DR Radio Telemetry beserta Implementasi Aplikasi Java sebagai Data Logger dan Analisis Spektral (*Open-Source*)”.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan arahan serta dukungan sedari awal pelaksanaan hingga selesainya skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada :

1. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya dan Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng., Ph.D selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah memberikan peraturan dan arahan yang baik bagi Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
 2. Bapak Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat dan memberikan motivasi yang memberikan semangat untuk mengerjakan proposal skripsi ini.
 3. Orang tua serta saudara yang telah memberikan motivasi, dukungan serta doa yang bermanfaat bagi penulis.
 4. Seluruh Dosen di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembelajaran khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Indralaya, Juli 2021

Penulis

RINGKASAN

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GETARAN PEMESINAN DENGAN 3DR RADIO TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI APLIKASI JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS SPEKTRAL (*OPEN-SOURCE*)

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, Juli 2021

Iqbal Al Farabi ;Dibimbing oleh Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T,

DEVELOPMENT OF MACHINE VIBRATION MEASUREMENT SYSTEM WITH 3DR RADIO TELEMETRY AND IMPLEMENTATION OF JAVA APPLICATIONS AS DATA LOGGER AND OPEN-SOURCE ANALYSIS

XXVII+ 53 halaman, 3 tabel, 22 gambar,

RINGKASAN

Kurangnya kekakuan dinamis pada perkakas pemesinan, pada mata pahat (*tool*) – pemegang (*holder*), dan pada system pemotong – benda kerja, tiga bentuk getaran dapat dihasilkan selama pemesinan getaran bebas (*freevibration*), getaran paksa (*forced vibration*), dan getaran tereksitasi sendiri (*self-excited vibration*).

Kemajuan dalam bidang teknologi komputer, sensor, dan actuator telah meningkatkan pemahaman tentang fenomena ini dan membantu pengembangan strategi untuk mengatasi masalah ketidak-stabilan. Pada saat pemesinan sedang dalam tahap penggeraan terjadi perubahan konstan dari komponen-komponen pemesinan, seperti perubahan pada kondisi mesin perkakas, benda kerja dan mata potong. Hal ini menjadi mempersulit proses dalam memprediksi kestabilan pemesinan perkakas secara akurat serta dalam menentukan parameter-parameter pemesinan. Sebagai sebuah solusi terhadap permasalahan ini, para peneliti dapat mendeteksi berbagai sinyal dalam sebuah proses pemesinan (Delio et al., 1992), yang tediri dari sinyal-sinyal percepatan (*acceleration*), sinyal-sinyal gaya pemotongan (*cutting forces*), atau sinyal akustik. Masalah penelitian dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang bangun sebuah peralatan yang terintegrasi

dengan system pengukuran getaran dengan sensor *accelerometer* berbasis MEMS pada mesin CNC dengan dukungan transmisi data nirkabel (*wireless radio*) dengan kecepatan tinggi (*high-speed baudrate*) secara waktu-nyata (*real-time*) dengan laju sampel tinggi (*high sample-rate*) disertai dengan pencatatan (*data logger*) dan pemrosesan data mentah (*raw data analysis*) berbasis domain waktu dan analisis spectral secara daring (*online*) melalui aplikasi *open-source* berbasis Java, yaitu Telemetry Viewer. Dari hasil penelitian dalam tugas akhir ini berupa prototipe alat ukur getaran nirkabel beserta hasil pengujinya, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah Perancangan alat ukur getaran berbasis *radio telemetry* telah dapat berfungsi mengukur getaran percepatan tiga sumbu dengan sensor MEMS MPU6050 secara nirkabel dengan kecepatan *baudrate* 115.200. Alat telah berhasil mengukur getaran percepatan tiga sumbu x, y, dan z, dengan skala penuh yang berkisar $\pm 2g$ ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Alat dapat mengukur temperatur pada kondisi operasional secara *real-time* yang berkisar $25 - 40^\circ\text{C}$. Aplikasi GUI *Telemetry Viewer* versi 07 telah berhasil menampilkan *streaming* “*raw data*” secara *real-time* yang terdiri dari percepatan pada sumbu x, y, dan z dengan frekuensi pencuplikan data berkisar $1.024 - 10.240 \text{ Hz}$ dengan variasi jumlah sampel tertentu. Perekaman data (*data logging*) dalam format “*csv*” dan konversinya ke dalam format *spreadsheet* MS.Excel dapat dilakukan untuk pengolahan data lebih lanjut (*signal processing*).

Kata Kunci :Getaran, MEMS, Chatter, 3DR Radio.

Kepustakaan : 18 (1987 -2020)

SUMMARY

DEVELOPMENT OF MACHINE VIBRATION MEASUREMENT SYSTEM
WITH 3DR RADIO TELEMETRY AND IMPLEMENTATION OF JAVA
APPLICATIONS AS DATA LOGGER AND OPEN-SOURCE ANALYSIS
Scientific Writing in the Form of a Thesis, July 2021

Iqbal Al Farabi ;Supervised by Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T,

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN GETARAN PEMESINAN
DENGAN 3DR RADIO TELEMETRY BESERTA IMPLEMENTASI
APLIKASI JAVA SEBAGAI DATA LOGGER DAN ANALISIS SPEKTRAL
(OPEN-SOURCE)

XXVII+ 53pages, 3 table, 22 images,

SUMMARY

Lack of dynamic rigidity in machining tools, in tool – holders, and in cutting systems – workpieces, three forms of vibration can be generated during machining: free vibration, forced vibration and excited vibration. itself (self-excited vibration). Advances in computer technology, sensors, and actuators have increased understanding of this phenomenon and aided the development of strategies for dealing with instability problems. When the machining is in progress, there are constant changes in the machining components, such as changes in the condition of the machine tools, workpieces and cutting edges. This complicates the process in accurately predicting the stability of machining tools and in determining machining parameters. As a solution to this problem, researchers can detect various signals in a machining process (Delio et al., 1992), which may consist of acceleration signals, cutting forces signals, or acoustic signals.

The research problem in this final project is how to design an integrated equipment with a vibration measurement system with a MEMS-based accelerometer sensor on a CNC machine with support for wireless data transmission (wireless radio) at high speed (high-speed baudrate) in real-time with a high sample rate (high sample-rate) accompanied by recording (data logger) and processing raw data (raw data analysis) based on time domain and online spectral analysis through an open-source application based on Java, namely Telemetry Viewer. From the results of the research in this final project in the form of a wireless vibration measuring instrument prototype along with the test results, several things that can be concluded are the design of a radio telemetry-based vibration measuring instrument has been able to measure the three-axis acceleration vibration with the MEMS MPU6050 sensor wirelessly with a baudrate speed of 115,200. The tool has succeeded in measuring the acceleration vibrations of the three x, y, and z axes, with a full scale ranging from $\pm 2g$ ($1g = 9.81 \text{ m/s}^2$). The tool can measure temperature in real-time operating conditions in the range of 25-40 oC. The GUI Telemetry Viewer version 07 application has succeeded in displaying real-time “raw data” streaming consisting of acceleration on the x, y, and z axes with data sampling frequency ranging from 1,024 – 10,240 Hz with a certain number of samples. Data logging (data logging) in “csv” format and its conversion into MS.Excel spreadsheet format can be done for further data processing (signal processing).

Key Word :Vibration, MEMS, Chatter, 3DR Radio

Literature: 18 (1987 -2020)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengantar Getaran Mekanik untuk Dinamika Pemesinan	5
2.2 Fungsi Respon Frekuensi (FRF).....	7
2.3 Implementasi Sensor Getaran Berbasis MEMS	9
2.4 Sensor MPU-6050	10
2.5 Arduino Mega 2560.....	12
2.6 Arduino IDE	14
2.7 Radio Telemetri 3DR.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Diagram Blok Sistem.....	18
3.3 Perakitan <i>Hardware</i> menjadi Purwarupa.....	21
3.4 Penyusunan <i>Software</i> dan Kompilasi Kode.....	21
3.5 Jadwal Penelitian	23
3.6 Hasil yang Diharapkan	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Desain.....	22

4.1.1 Sistem Elektrikal	22
4.1.2 Febrikasi Prototipe	24
4.2 Pengujian Untuk Validasi	26
4.3 Hasil Pengujian Sistem	28
4.4 Pembahasan	30
BAB 4 KESIMPULAN.....	22
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	33
DAFTAR RUJUKAN	i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Getaran Sederhana	5
Gambar 2. 2 Respon Dari Sistem Getaran.....	6
Gambar 2. 3 FRF Dari Sistem Getaran.....	8
Gambar 2. 4 Bentuk Fisik Modul Sensor MPU-6050	10
Gambar 2. 5 Tampilan Awal Arduino IDE	14
Gambar 2. 6 Radio Telemetri Kit 3DR	15
Gambar 3. 1 Bagian Penerimaan dan Pemancaran Data Secara Telemetry .	17
Gambar 3. 2 Bagian Penerimaan Telemetry dan Perekaman Data.....	18
Gambar 3. 3 <i>Port Setting</i> Untuk Komunikasi Serial Dengan Perangkat Telemetry	19
Gambar 3. 4 <i>Wiring Diagram</i> Antar Modul	20
Gambar 3. 5 Kode Arduino	21
Gambar 3. 6 Jendela <i>Serial Plotter</i> Pada Arduino IDE	21
Gambar 3. 7 Pengaturan Pengujian (<i>Experimental Setup</i>)	24
Gambar 4. 1 Integrasi antar modul elektrikal pada bagian pengirim	24
Gambar 4. 2 Integrasi antar modul elektrikal pada bagian penerima	25
Gambar 4. 3 <i>Settingbaudrate</i> pada COM 5 port USB.....	26
Gambar 4. 4 Format data keluaran dari Arduino Uno (<i>serial monitor</i>)	27
Gambar 4. 5 Plot data keluaran dari Arduino Uno (<i>serial plotter</i>).....	27
Gambar 4. 6 Pencuplikan sampel pada $f_s = 1024$ Hz dengan $N_{\text{samp}} = 128$	28
Gambar 4. 7 Pencuplikan sampel pada $f_s = 1024$ Hz dengan $N_{\text{samp}} = 256$	29
Gambar 4. 8 Pencuplikan sampel pada $f_s = 10.240$ Hz dengan $N_{\text{samp}} = 512$..	30
Gambar 4. 9 Proses konversi data dari format csv ke <i>spreadsheet</i>	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rentang Skala Sensor MPU6050.....	11
Tabel 4. 1 Konektivitas antara Arduino Mega2560 dengan modul MPU6050	23
Tabel 4. 2 Konektivitas antara Arduino Mega2560 dengan <i>Air Module</i>	23

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kurangnya kekakuan dinamis pada perkakas pemesinan, pada mata pahat (*tool*) – pemegang (*holder*), dan pada system pemotong – benda kerja, tiga bentuk getaran dapat dihasilkan selama pemesinan (YUE et al., 2019): getaran bebas (*freevibration*), getaran paksa (*forced vibration*), dan getaran tereksitasi sendiri (*self-excited vibration*).

Jika suatu system dalam keadaan seimbang (*balance*), dua jenis getaran yang pertama tersebut diatas dapat dihindari, dikurangi, bahkan dihilangkan. Getaran tereksitasi sendiri (*self-excited vibration*) atau sering juga disebut dengan istilah ”*chatter*” termasuk getaran yang tidak diredam (*un-damped vibration*) yang disebabkan oleh gaya bolak-balik (*alternating forces*) yang dihasilkan oleh interaksi antara alat (*tool*) dan bendakerja (*work piece*). Ini sangat meningkatkan ketidak-stabilan dan tidak terkontrolnya system (Quintana and Ciurana, 2011). Bentuk paling umum dari getaran tereksitasi diri adalah *chatter* regenerative (Quintana and Ciurana, 2011; YUE et al., 2019). Sejak 1950-an, para peneliti telah melakukan penelitian ekstensif dan menyeluruh terkait masalah *chatter* tersebut. Walaupun begitu, sampai saat ini fenomena *chatter* dalam proses pemesinan otomatis seperti *turning*, *miling*, dan *drilling* masih saja menjadi hambatan utama.

Kemajuan dalam bidang teknologi komputer, sensor, dan actuator telah meningkatkan pemahaman tentang fenomena ini dan membantu pengembangan strategi untuk mengatasi masalah ketidak-stabilan (Albertelli et al., 2019; Cao et al., 2019; Khasawneh et al., 2018; Tamascelli et al., 2020; Zhu and Liu, 2020). Pada saat pemesinan sedang dalam tahap penggerjaan terjadi perubahan konstan dari komponen-komponen pemesinan, seperti perubahan pada kondisi mesin perkakas, benda kerja dan mata potong (Altintas and Chan, 1992).

Hal ini menjadi mempersulit proses dalam memprediksi kestabilan pemesinan perkakas secara akurat serta dalam menentukan parameter-parameter pemesinan. Sebagai sebuah solusi terhadap permasalahan ini, para peneliti dapat mendeteksi berbagai sinyal dalam sebuah proses pemesinan (Delio et al., 1992), yang tediri dari sinyal-sinyal percepatan (*acceleration*), sinyal-sinyal gaya pemotongan (*cutting forces*), atau sinyal akustik.

Analisis spectrum berbasis domain frekuensi dengan metode transformasi Fourier cepat (FFT) dapat diterapkan untuk mengidentifikasi frekuensi dari sinyal getaran yang diakuisi secara efisien. Analisis sinyal getaran berbasis domain waktu-frekuensi seperti analisis *wavelet* dan *pocket wavelet*, metode transformasi Hilbert-Huang (HHT) dan seterusnya telah terbukti tangguh dalam mengidentifikasi karakteristik proses yang non-stasioner (YUE et al., 2019).

Para peneliti menekankan riset mereka pada prediksi *chatter* secara luring atau *offline chatter prediction* (Altintas and Chan, 1992; Constantinides and Bennett, 1987; Özşahin et al., 2015; Rao et al., 1995; Tamascelli et al., 2020; Zhao et al., 2020) dan deteksi *chatter* secara daring atau *online chatter detection* (Albertelli et al., 2019; Cao et al., 2017; Singh et al., 2015), dan *chatter suppression* (Altintas and Chan, 1992; Munoa et al., 2016; Zhu and Liu, 2020). Namun, dalam studi dan riset terdahulu permasalahan dalam metode prediksi *chatter* belum ditinjau secara komprehensif (Zhu and Liu, 2020).

Apalagi dengan berkembangnya *Intelligent Manufacturing* (IM), beberapa persyaratan baru untuk penelitian tentang *chatter* ini sudah mulai dikedepankan, terutama dalam melakukan tinjauan sistematis terhadap *chatter*, dengan fokus pada *chatter* tipe regeneratif dan *mode coupling*.

Sinyal getaran berbasis percepatan (*acceleration*) telah terbukti dapat menyediakan informasi yang mendalam mengenai dinamika dalam sebuah proses pemotongan pada pemesinan CNC, terutama dalam tahapan pemantauan proses pemesinan tersebut karena teknik pengukuran getaran tersebut sering kali dimanfaatkan dalam usaha mendeteksi *chatter* tipe regeneratif.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah penelitian dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang bangun sebuah peralatan yang terintegrasi dengan sistem pengukuran getaran dengan sensor *accelerometer* berbasis MEMS pada mesin CNC dengan dukungan transmisi data nirkabel (*wireless radio*) dengan kecepatan tinggi (*high-speed baudrate*) secara waktu-nyata (*real-time*) dengan laju sampel tinggi (*high sample-rate*) disertai dengan pencatatan (*data logger*) dan pemrosesan data mentah (*raw data analysis*) berbasis domain waktu dan analisis spectral secara daring (*online*) melalui aplikasi *open-source* berbasis Java, yaitu Telemetry Viewer.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan mikro kontroler Arduino Mega 2560 dengan komunikasi serial via USB dan *wireless radio* dengan protokol 3DR 915 Hz (*baudrate* 115.200).
2. Menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyro* (6-axis) MPU6050 yang mendukung konektivitas I2C.
3. Menggunakan aplikasi *open-source* berbasis Java untuk antarmuka atau GUI pada komputer PC/Laptop berbasis Windows 10 x64 bit.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian pada tugas akhir ini adalah untuk:

1. Memberikan solusi terhadap permasalahan pengukuran sinyal getaran percepatan (*acceleration*) dari mesin perkakas CNC.
2. Menyediakan informasi yang dibutuhkan dalam pendekripsi *chatter* regenerative secara *real-time* melalui pemantauan secara langsung (*online chatter detection*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan bisa menghasilkan sebuah peralatan yang terintegrasi dengan sistem pengukuran getaran dengan sensor *Accelerometer* berbasis MEMS mesin CNC.
2. Memberikan terobosan alternatif alat ukur dengan keuntungan harga yang lebih rendah dan integrasi yang unggul.
3. Memberikan keuntungan efisiensi tenaga kerja manusia dan efektifitas alat ukur pada perusahaan terkait.

DAFTAR RUJUKAN

- Albertelli, P., Braghieri, L., Torta, M., Monno, M., 2019. Development of a generalized chatter detection methodology for variable speed machining. *Mech. Syst. Signal Process.* 123, 26–42.
- Altintas, Y., Chan, P.K., 1992. In-process detection and suppression of chatter in milling. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 32, 329–347.
- Cao, H., Yue, Y., Chen, X., Zhang, X., 2017. Chatter detection in milling process based on synchrosqueezing transform of sound signals. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 89, 2747–2755.
- Cao, L., Zhang, Xiaoming, Huang, T., Zhang, Xiaoqian, Ding, H., 2019. An adaptive chatter signal enhancement approach for early fault diagnosis in machining process. *Procedia CIRP* 82, 308–313.
- Constantinides, N., Bennett, S., 1987. An investigation of methods for the on-line estimation of tool wear. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 27, 225–237.
- Delio, T., Tlusty, J., Smith, S., 1992. Use of Audio Signals for Chatter Detection and Control. *J. Eng. Ind.* 114, 146–157.
- Khasawneh, F.A., Munch, E., Perea, J.A., 2018. Chatter Classification in Turning using Machine Learning and Topological Data Analysis. *IFAC-PapersOnLine* 51, 195–200.
- Munro, J., Beudaert, X., Dombovari, Z., Altintas, Y., Budak, E., Brecher, C., Stepan, G., 2016. Chatter suppression techniques in metal cutting. *CIRP Ann.* 65, 785–808.
- Özşahin, O., Budak, E., Özgüven, H.N., 2015. In-process tool point FRF identification under operational conditions using inverse stability solution. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 89, 64–73.
- Poundarik, A.A., Vashishth, D., 2015. Multiscale imaging of bone microdamage. *Connect. Tissue Res.* 56, 87–98.

- Quintana, G., Ciurana, J., 2011. Chatter in machining processes: A review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 51, 363–376.
- Rao, B.C., Gao, R.X., Friedrich, C.R., 1995. Integrated force measurement for on-line cutting geometry inspection. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 44, 977–980.
- Singh, K.K., Singh, R., Kartik, V., 2015. Comparative Study of Chatter Detection Methods for High-Speed Micromilling of Ti6Al4V. *Procedia Manuf.* 1, 593–606.
- Tamascelli, N., Paltrinieri, N., Cozzani, V., 2020. Predicting chattering alarms: A machine Learning approach. *Comput. Chem. Eng.* 143, 107122.
- YUE, C., GAO, H., LIU, X., LIANG, S.Y., WANG, L., 2019. A review of chatter vibration research in milling. *Chinese J. Aeronaut.* 32, 215–242.
- Zhao, X., Zheng, L., Liu, X., Cao, Y., 2020. Chatter stability prediction for multi-robots collaborative milling system. *Procedia CIRP* 93, 856–861.
- Zhou, J., Pang, C.K., Lewis, F.L., Zhong, Z., 2009. Intelligent Diagnosis and Prognosis of Tool Wear Using Dominant Feature Identification. *IEEE Trans. Ind. Informatics* 5, 454–464.
- Zhu, L., Liu, C., 2020. Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling. *Mech. Syst. Signal Process.* 143, 106840.