

SKRIPSI

**PENELITIAN DAN PEMBUATAN *IMPULSE*
HAMMER DENGAN VARIASI *HEAD MASS* UNTUK
MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN
MODUS GETAR**



Vernanda Satia Utama

03051381621074

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

SKRIPSI

**PENELITIAN DAN PEMBUATAN *IMPULSE*
HAMMER DENGAN VARIASI *HEAD MASS* UNTUK
MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN
MODUS GETAR**

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



Vernanda Satia Utama

03051381621074

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**PENELITIAN DAN PEMBUATAN *IMPULSE*
HAMMER DENGAN VARIASI *HEAD MASS* UNTUK
MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN
MODUS GETAR**

SKRIPSI

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

Oleh:

VERNANDA SATIA UTAMA

03051381621074

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



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

Palembang, April 2021

**Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi,**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Yanis', is written over the text.

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
:
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal

Paraf :

SKRIPSI

NAMA : VERNANDA SATIA UTAMA
NIM : 03051381621074
JUDUL : PENELITIAN DAN PEMBUATAN *IMPULSE HAMMER* DENGAN VARIASI *HEAD MASS* UNTUK MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN MODUS GETAR

DIBERIKAN : APRIL 2021
SELESAI : JULI 2021

Mengetahui:



Iryadi Yanji, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Pembimbing Skripsi,



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

HALAMAN PERSETUJUAN

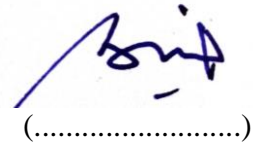
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Penelitian Dan Pembuatan *Impulse Hammer* Dengan Variasi *Head Mass* Untuk Meningkatkan Sensitivitas Modus Getar” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Juli 2021.

Tim Penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Dipl.Ing.Ir.Amrifan Saladin Mohruni, Ph.D

NIP. 196409111999031002

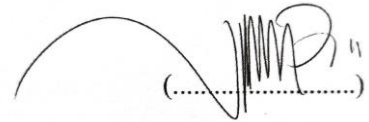


(.....)

Anggota :

1. M.A.Ade Saputra, S.T.,M.T.

NIP. 198711302019031006



(.....)

2. Ismail Thamrin, S.T.,M.T.

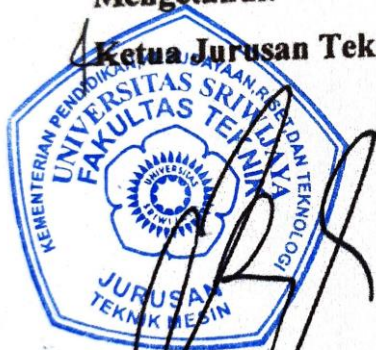
NIP. 197209021997021001



(.....)

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



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

Pembimbing Skripsi,



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

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ''Penelitian dan Pembuatan *Impulse Hammer* Dengan Variasi *Head Mass* Untuk Meningkatkan Sensitivitas Pembacaan Modus Getar'' . Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Sriwijaya Palembang.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moril, materil, maupun spiritual. Sesuai janji penulis skripsi ini diberikan kepada almarhum ayahanda Drs.Takarianto Satia Negara, S.K.M., M.M beliaulah yang menjadi panutan penulis. Penulisan skripsi ini mendapat bantuan dari berbagai pihak, Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dra. Sera Marlita dan Syabrina Dira Permata merekalah pemberi semangat penulis yang selalu mendukung dari awal perkuliahan hingga sampai selesainya skripsi ini.
2. Bapak Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat dan memberikan semangat untuk mengerjakan proposal skripsi ini.
3. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Seluruh Dosen di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga makin bertambahnya wawasan.

6. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2016 dan Angga Panjy Syahputra, S.Tr.T yang banyak menghibur, memberikan arahan, serta membantu sehingga penulis dapat melengkapi proposal.
7. Adillah Putri Utami mahasiswi Administrasi Negara Universitas Sriwijaya angkatan 2017 yang selalu menemani dan memberikan suport terhadap penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang manajemen pemasaran.

Palembang, April 2021

Vernanda Satia Utama
03051381621074

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Vernanda Satia Utama

Nim : 03051381621074

Judul : Penelitian dan Pembuatan *Impulse Hammer* Dengan Variasi *Head Mass*
Untuk Meningkatkan Sensitivitas Pembacaan Modus Getar

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.

Palembang, Juli 2021

Vernanda Satia Utama

NIM : 03051381621074

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Vernanda Satia Utama

Nim : 03051381621074

Judul : Penelitian dan Pembuatan *Impulse Hammer* Dengan Variasi *Head Mass* Untuk Meningkatkan Sensitivitas Pembacaan Modus Getar

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.



Palembang, Juli 2021



Vernanda Satia Utama

Nim : 03051381621074

RINGKASAN

PENELITIAN DAN PEMBUATAN *IMPULSE HAMMER* DENGAN VARIASI *HEAD MASS* UNTUK MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN MODUS GETAR

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 15 Juli 2021

Vernanda Satia Utama; Dibimbing oleh Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF IMPULSE HAMMER WITH VARIATION OF HEAD MASS TO IMPROVE VIBRATION MODE READING SENSITIVITY

xxv + 55 halaman, 6 tabel, 33 gambar, 10 lampiran

RINGKASAN

Pengujian *tap* (uji impuls), yang juga dikenal sebagai pengujian modal, adalah metode analisis modal eksperimental yang digunakan untuk mengeksitasi sistem peralatan mesin dalam rangka mengekstrak informasi harmonika seperti modus getar. *Impulse hammer* atau palu uji berinstrumen merupakan alat yang dirancang untuk keperluan eksitasi getaran pada benda uji. Desain *impulse hammer* terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian mekanikal atau struktur, bagian elektrikal, dan bagian perangkat lunak. Pengujian sistem *impulse hammer* dilakukan sesuai dengan prosedur standar untuk validasi kode pada program *IDE Arduino*. Dari hasil pengujian diperoleh *raw data* dalam format *CSV (Commas Separated Variables)* yang terdiri dari susunan data berbentuk baris dan kolom. *Raw data* hasil pengujian yang diperoleh pada *sample number* ke-946 menunjukkan nilai *raw data* 4143510 dengan massa kepala hammer 62 gram, massa kepala hammer yang berat menghasilkan efisiensi getaran yang lebih baik.

Kata Kunci: Pengujian tap, Impuls Hammer, Modus Getar, IDE Arduino

SUMMARY

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF IMPULSE HAMMER WITH VARIATION OF HEAD MASS TO IMPROVE VIBRATION MODE READING SENSITIVITY

Scientific Writing in the form of Thesis, July 15 2021

Vernanda Satia Utama; Dibimbing oleh Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T

PENELITIAN DAN PEMBUATAN IMPULSE HAMMER DENGAN VARIASI HEAD MASS UNTUK MENINGKATKAN SENSITIVITAS PEMBACAAN MODUS GETAR

xxv + 55 pages, 6 tabel, 33 figures, 10 attachments

SUMMARY

Tap testing (impulse test), also known as modal testing, is an experimental modal analysis method used to excite machine tool systems to extract harmonic information such as vibration mode. An impulse hammer or instrumented test hammer is a tool designed for the purpose of excitation of vibrations in the test object. The impulse hammer design consists of three parts, namely the mechanical or structural part, the electrical part, and the software part. The impulse hammer system testing was carried out according to the standard procedure for code validation in the Arduino IDE program. From the test results obtained raw data in CSV format (Commas Separated Variables) which consists of the arrangement of data in the form of rows and columns. The results of testing the raw data obtained at sample number 946 show the raw data value of 4143510 with a hammerhead mass of 62 grams, a hammerhead mass that produces better vibration efficiency.

Keyword: *Tap testing, Impuls Hammer, Vibration Mode, Arduino IDE*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PENGESAHAN AGENDA.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Rumusan Masalah.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Review Publikasi Penemuan (Patent)</i>	4
2.2 <i>Transduser Gaya (Force Sensing Technology)</i>	6
2.2.1 <i>Resistive Load Cell</i>	7
2.2.2 <i>Capacitative Load Cell</i>	7
2.2.3 <i>Piezoelectric Load Cell</i>	8
2.3 <i>Amplifier Load Cell</i>	9
2.4 <i>Sensitivitas dan Resolusi Sensor</i>	11
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	 12
3.1 <i>Proses Desain dan Pengembangannya</i>	12
3.1.1 <i>Proses Desain dan Pengembangan Prototipe Impulse Hammer</i>	12
3.2 <i>Perancangan dengan Pemodelan Dinamik</i>	15
3.2.1 <i>Pemodelan Dinamik Transduser Gaya</i>	16
3.2.2 <i>Pemodelan Dinamik Transduaser Gaya dan Massa Kalibrasi..</i>	17
3.3 <i>Prototipe Awal dan Konsep Desain</i>	20
3.3.1 <i>Sistem Mekanikal</i>	20
3.3.2 <i>Sistem Elektrikal</i>	22
3.3.3 <i>Sistem Pemrosesan Sinyal dan Akuisisi Data</i>	26
3.4 <i>Perancangan Metode Pengujian (Experimerntal Setup)</i>	29
3.4.1 <i>Perangkat Alat Kalibrasi</i>	29
3.4.2 <i>Persiapan Massa Referensi dan Impulse Hammer</i>	31
3.5 <i>Jadwal Pelaksanaan Penelitian</i>	34
3.6 <i>Hasil Pengujian yang Diharapkan</i>	34

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil Desain.....	35
4.1.1 Komponen Struktural dan Mekanikal.....	35
4.1.2 Sistem Elektrikal.....	39
4.1.3 Fabrikasi Prototipe.....	40
4.2 Pengujian Prototipe.....	43
4.3 Pembahasan.....	44
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	 47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR RUJUKAN.....	49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Multi Range Impulse hammer</i>	6
Gambar 2.2	Palu uji berinstrumen.....	7
Gambar 2.3	Skema <i>Piezoelectric Load Cell</i> sensor.....	9
Gambar 2.4	<i>Amplifier Load Cell</i> Yang Bertipe HX711.....	11
Gambar 2.5	Sensitifitas dan Resolusi Sensor.....	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Desain.....	13
Gambar 3.2	Proses Percobaan dan Produksi Prototipe.....	15
Gambar 3.3	Proses Perancangan dan Pemodelan.....	16
Gambar 3.4	Pemodelan Transduser Gaya (<i>Load Cell</i>).....	17
Gambar 3.5	Model Dasar Sebuah Transduser Gaya	19
Gambar 3.6	Model Pengaturan Kalibrasi Gaya Kejut.....	20
Gambar 3.7	Sistem Kalibrasi Dengan Pemodelan Multi-DOF.....	21
Gambar 3.8	Konsep Desain dan Prototipe <i>Impulse Hammer</i>	22
Gambar 3.9	Pembuatan Prototipe <i>Impulse Hammer</i> (Mekanikal).....	23
Gambar 3.10	Diagram Blok Sistem Elektrikal	24
Gambar 3.11	Bentuk Fisik <i>Load Cell</i> dan <i>Amplifier HX 711</i>	25
Gambar 3.12	Komponen <i>Load Cell</i> , <i>Amplifier HX 711</i> , dan <i>Arduino UNO</i> ..	27
Gambar 3.13	Diagram Data Akuisisi Untuk Pengujian Kalibrasi	27
Gambar 3.14	Diagram Data Akuisisi Untuk Pengujian FRF.....	28
Gambar 3.15	Diagram Pemrosesan Sinyal Dalam Pengujian FRF	30
Gambar 3.16	Sistem Kalibrasi Sensor Secara <i>Gravimetic</i>	31
Gambar 3.17	Konfigurasi Pengaturan Massa Reaksi Sebagai Bandul.....	32
Gambar 3.18	Pengujian <i>Impact Hammer</i> Dengan Bandul Massa Reaksi.....	33
Gambar 3.19	Hasil Pengujian dan Kalibrasi <i>Impact Hammer</i> Terkalibrasi ...	33
Gambar 4.1	Model 3D dan detail dimensi <i>load cell</i>	38
Gambar 4.2	Detail model 2D desain <i>Impulse Hammer</i>	39
Gambar 4.3	Detail model 3D desain <i>Impulse Hammer</i>	40

Gambar 4.4	Desain Sistem Elektrikal (<i>Load Cell+Amplifier HX711+Arduino UNO</i>).....	42
Gambar 4.5	Integrasi sistem mekanikal dan elektrikal.....	43
Gambar 4.6	Konstruksi sistem mekanikal.....	44
Gambar 4.7	Format data keluaran dari <i>Arduino Uno (serial monitor)</i>	45
Gambar 4.8	Plot data keluaran dari <i>Arduino Uno (serial plotter)</i>	46
Gambar 4.9	Grafik keluaran <i>impulse hammer</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Sensor <i>Load Cell</i>	26
Tabel 3.2	Identifikasi Parameter Dinamik Sensor Gaya Dari Beberapa Produk Komersil <i>Impact Hammer</i>	34
Tabel 3.3	Uraian Kegiatan Selama Pelaksanaan Pengumpulan Data dan Penelitian	35
Tabel 4.1	Konektivitas antara <i>load cell</i> dengan modul HX711.....	41
Tabel 4.2	Konektivitas I/O antara modul HX711 dan <i>Arduino Uno</i>	41
Tabel 4.3	Konversi <i>CSV (Commas Separated Variables)</i> ke dalam Excel.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Detail model 3D desain <i>Impulse Hammer</i>	53
Lampiran 2	Detail model 2D desain <i>Impulse Hammer</i>	54
Lampiran 3	Model 3D dan detail dimensi <i>load cell</i>	54
Lampiran 4	Grafik Keluaran <i>impulse hammer</i>	55
Lampiran 5	Grafik keluaran <i>impulse hammer</i>	55
Lampiran 6	Konversi <i>CSV (Commas Separated Variables)</i> ke dalam <i>Excel</i>	56
Lampiran 7	Plot data keluaran dari <i>Arduino Uno (serial plotter)</i>	57
Lampiran 8	Format data keluaran dari <i>Arduino Uno (serial monitor)</i>	58
Lampiran 9	Desain Sistem Elektrikal (<i>Load Cell+Amplifier HX711+Arduino UNO</i>).....	59
Lampiran 10	Integrasi sistem mekanikal dan elektrikal.....	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengujian *tap* (uji impuls), yang juga dikenal sebagai pengujian modal, adalah metode analisis modal eksperimental yang digunakan untuk mengeksitasi sistem peralatan mesin dalam rangka untuk mengekstrak informasi harmoniknya seperti frekuensi natural, massa modal, rasio redaman modal, dan bentuk modus getar. Pengujian ini biasanya dilakukan dalam kondisi statis, dengan menggunakan *impulse hammer* atau palu modal impak sebagai mekanisme pengeksitasi, dan akselerometer sebagai sensor respons getaran (Brüggemann et al., 2015).

Sebuah *impulse hammer* atau palu uji berinstrumen yang dirancang untuk keperluan eksitasi getaran pada benda uji memiliki konstruksi mekanikal yang mencakup rakitan *hammer head* yang memiliki *impact tip* dan transduser gaya yang secara operasional diatur untuk mengukur gaya kontak yang terjadi akibat tumbukan kepala palu dengan benda uji. Transduser gaya tersebut berperan untuk mengubah besar gaya mekanikal yang diukur menjadi sinyal elektrik secara proporsional. Selain itu, desain palu memiliki sebuah *handle* yang memanjang dari rakitan kepala palu dan sebagian permukaan pegangan ini diselubungi dengan material elastomerik *cushioned grip* (M. Kobusch et al., 2007).

Dari ulasan hasil riset yang telah dipublikasikan, para peneliti telah menerapkan pengujian *tap* dengan *impulse hammer* mini untuk mengidentifikasi parameter dinamik dari pahat berukuran kecil pada mesin *milling* (Brüggemann et al., 2015).

Berdasarkan latar belakang diatas maka pada skripsi ini akan melakukan penelitian dan pembuatan proposal *impulse hammer* dengan transduser gaya berbasis *strain gauge* dengan tingkat sensitivitas relatif tinggi, yang berukuran

kecil *platform* yang miniatur untuk pengujian *tap* pada mata pahat atau mata potong.

1.2 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah :

1. Meneliti dan membuat *impulse hammer* untuk mengoptimalkan rancangan secara dinamik dari *miniature impulse hammer*.
2. Mengkajian dinamika pemesinan terutama pada pembacaan modus getar.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis pada penelitian kali ini adalah :

1. Sebagai studi penelitian khususnya dalam mendesain *impulse hammer* dengan solusi pembacaan modus getar lebih optimal.
2. Sebagai referensi penelitian yang relevan.
3. Sebagai masukan bagi praktisi yang bekerja dalam bidang pembuatan *impulse hammer*.
4. Sebagai penelitian yang bersifat akademis dan ekonomis.

1.4 Rumusan Masalah

Masalah penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh bobot massa kepala *hammer* terhadap frekuensi pribadi dari prototipe *impulse hammer*.
2. Bagaimana perancangan *impulse hammer* yang telah dirancang mempertimbangkan aspek *low-cost*.
3. Bagaimana pola getar konstruksi *impulse hammer* setelah terjadi benturan.

1.5 Batasan Masalah

1. Desain dan pemodelan dibantu program CAD Solidworks Simulation.
2. Pembuatan *impulse hammer* masih menggunakan sambungan las dan baut.
3. *Load cell* yang digunakan adalah tipe balok dengan *strain gauges (full bridge)* dengan *rated output* 1 kg dan 5kg.
4. Menggunakan *mikrokontroler Arduino UNO* dengan komunikasi serial via USB.
5. Menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyro (6-axis) MPU6050* yang mendukung konektivitas I2C.

DAFTAR RUJUKAN

- Arsyistawa, N., Rivai, M., & Suwito, S. (2017). Aplikasi Wireless Sensor Network Untuk Pembacaan Meteran Air. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.26648>
- Brüggemann, T., Biermann, D., & Zabel, A. (2015). Development of an automatic modal pendulum for the measurement of frequency responses for the calculation of stability charts. *Procedia CIRP*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.090>
- Carrella, A., & Ewins, D. J. (2011). Identifying and quantifying structural nonlinearities in engineering applications from measured frequency response functions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(3). <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2010.09.011>
- Junaidi, & Prabowo, Y. D. (2018). Project Sistem Kendali Elektronik Berbasis Arduino. In *CV Anugrah Utama Raharja*.
- Kobusch, M., Link, A., Buss, A., & Bruns, T. (2007). Comparison of shock and sine force calibration methods. *20th IMEKO TC3 International Conference on Measurement of Force, Mass and Torque 2007*.
- Kobusch, Michael, Eichstädt, S., Klaus, L., & Bruns, T. (2015). Investigations for the model-based dynamic calibration of force transducers by using shock excitation. *Acta IMEKO*, 4(2). https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v4i2.214
- Paliwal, V., & Ramesh Babu, N. (2020). Prediction of stability lobe diagrams in high-speed milling by operational modal analysis. *Procedia Manufacturing*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.049>
- Tarmuji. (2014). Perancangan dan pembuatan alat pengukur getaran mekanis menggunakan piezzo electric sensor berbasis arduino mikrokontroler. *Emitor*, 15(02).

