

**PENGEMBANGAN SENSOR *SPACING* YANG TERINTEGRASI PADA  
SISTEM *WEIGH IN MOTION* BERBASIS SERAT OPTIK**



**Disusun oleh :**

**GOVINDA PRAMUDYA TAMA  
M0213039**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian  
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Oktober, 2017**

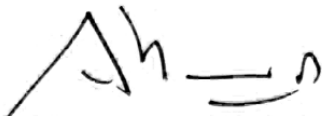
**HALAMAN PERSETUJUAN**  
**SKRIPSI**

**Pengembangan Sensor *Spacing* yang Terintegrasi pada Sistem *Weigh In Motion* Berbasis Serat Optik**

**Oleh**  
**Govinda Pramudya Tama**  
**M0213039**

**Telah disetujui oleh**

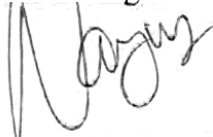
Pembimbing I



Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D.  
NIP. 19680508 199702 1 001

Tanggal : 3 Oktober 2017

Pembimbing II



Nanang Maulana Yoeseph, S.Si., M.Cs.  
2017  
NIP. 19810714 201606 01

Tanggal : 3 Oktober

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul: Pengembangan Sensor *Spacing* yang Terintegrasi pada Sistem *Weigh In Motion* Berbasis Serat Optik

Yang ditulis oleh :

Nama : Govinda Pramudya Tama

NIM : M0213039

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Kamis

Tanggal : 19 Oktober 2017

Anggota Tim Penguji:

1. Ketua Penguji

Dr. Yofentina Iriani, S.Si., M.Si.

NIP. 19711227 199702 2 001

2. Sekretaris Penguji

Mohtar Yunianto, S.Si., M.Si.

NIP. 19800630 200301 1 001

3. Anggota Penguji I

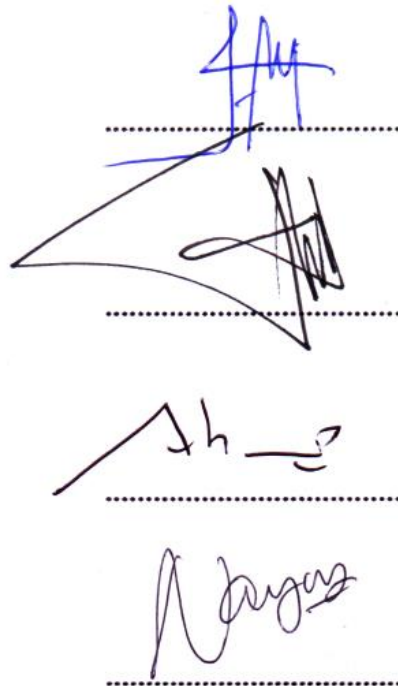
Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D.

NIP. 19680508 199702 1 001

4. Anggota Penguji II

Nanang Maulana Yoeseph, S.Si., M.Cs.

NIP. 19810714 201606 01



Disahkan pada tanggal 09-11-2017

Oleh



Kepala Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sebelas Maret Surakarta

Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.  
NIP. 19721013 200003 1 002

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam isi intelektual skripsi saya yang berjudul “**Pengembangan Sensor *Spacing* yang Terintegrasi pada Sistem *Weigh In Motion* Berbasis Serat Optik**” ini tidak terdapat karya yang pernah dipublikasikan atau diajukan untuk memperoleh gelar akademik di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak ada unsur plagiatisme, falsifikasi, fabrikasi karya, data, atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 3 Oktober 2017

Govinda Pramudya Tama  
M0213039

## **MOTTO**

*“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah apa yang ada pada sesuatu kaum sehingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka sendiri”*

*(Q.S. Ar-Ra'd, 13 : 11)*

*“Sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia”*

*(H.R. Ahmad)*

*“Ilmu itu bukan yang dihafal tetapi yang memberi manfaat”*

*(Imam Syafi'i)*

*“Apapun pekerjaan yang kamu kerjakan, lakukanlah dengan ikhlas dan sepenuh hati. Pekerjaan yang kamu lakukan bukan sekedar masalah bagaimana mendapatkan uang, namun bagaimana menjadikannya sebagai jalan menuju surga Allah”*

*(Ary Ginanjar Agustian)*

*“Do the best, All the time, Up to the limit!”*

## **PERSEMBAHAN**

*Persembahan Cinta tertinggi hanya untuk Allah SWT  
Tuhan Semesta Alam*

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Ku persembahkan untuk Orang tua tercinta*

*Bapak Sutomo dan Ibu Nunung*

*Serta Adikku Rismada*

*dan*

*Untuk Agama, Bangsa dan Negara*

*Tanah Air Indonesia*

## **Pengembangan Sensor *Spacing* yang Terintegrasi pada Sistem *Weigh In Motion* Berbasis Serat Optik**

GOVINDA PRAMUDYA TAMA

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Sebelas Maret. Surakarta

### **ABSTRAK**

Penelitian ini menyajikan sebuah metode untuk menimbang setiap kendaraan berjalan menggunakan integrasi *Weigh In Motion* berbasis sensor serat optik. Tiap kendaraan akan ditimbang secara terpisah dari kendaraan berikutnya dengan memanfaatkan sensor *spacing*. Sensor ini dibuat dengan mengarahkan tiga sinar laser ke detektor yang berbeda-beda. Jika sebuah kendaraan melewati sensor beban, maka akan muncul pola lembah pada grafik yang merupakan nilai dari *loss bending*. Algoritma yang telah dibuat digunakan untuk memisahkan penjumlahan total *loss bending* pada setiap kendaraan. Ketika sinar laser terhalang oleh bagian kendaraan maka program komputer akan mulai menjumlahkan semua *loss bending* akibat penekanan pada setiap sumbu roda kendaraan. Untuk setiap kendaraan yang melewati sistem WIM dapat diketahui beban sesungguhnya yang didapatkan dari persamaan umum sensor beban.

Kata kunci : *Weigh In Motion*, sensor serat, beban dinamis

# **Integrated Spacing Sensor Development on Weigh In Motion System Based Optical Fiber**

GOVINDA PRAMUDYA TAMA

Physics Department, Mathematics and Natural Science Faculty,  
Sebelas Maret University Surakarta

## **ABSTRACT**

This study presents a method to weigh individual running vehicles using integrated weigh in motion fiber sensor. Individual vehicle was weighed separately to the following vehicle by utilizing a spacing sensor. This sensor was made by pointing 3 laser beams to different detectors. If a vehicle passing over fiber sensor, it will appear the valley pattern on the graph that represents the value of loss bending. The algorithm was created is used to separate the summation of loss bending on each vehicle. When the laser beam is blocked by the vehicle part, the computer program will begin to adds all loss bending due to loading on each axles of the vehicle. For each vehicle passing over the WIM system we have found the actual load obtained from the general equation of fiber sensor.

Keywords : Weigh in Motion, fiber sensor, dynamic weight



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan banyak rahmat dan hidayah-Nya serta Yang Maha Pemberi kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Pemimpin Agung Baginda Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabatnya dan umatnya yang selalu berjuang dan istiqomah di jalan kebenaran.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini berjudul **“Pengembangan Sensor *Spacing* yang Terintegrasi pada Sistem *Weigh In Motion* Berbasis Serat Optik”**. terselesaikannya Skripsi ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penulis. Setelah sekitar lebih dari satu semester penulis harus berjuang untuk bisa menyelesaikan Skripsi. Dengan segala suka, duka, dan perjuangannya, pada akhirnya Skripsi ini terselesaikan juga. Kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Skripsi ini penulis ucapkan terima kasih. Atas bantuannya yang sangat besar selama proses pengerjaan Skripsi ini, ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

- Bapak Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D selaku pembimbing pertama yang telah banyak mencurahkan waktu, tenaga, ilmu, gagasan dan materiil beliau dalam menyelesaikan penelitian ini.
- Bapak Nanang Maulana, S.Si., M.Cs selaku pembimbing kedua yang telah memberikan dukungan dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini.
- Bapak Prof. Ir. Ari Handono Ramelan, M.Sc (Hons)., Ph.D selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasihat dalam bidang akademik.
- Keluarga tercinta Pak Tomo, Bu Nunung, Rismada atas semua dukungan, cinta dan kasih sayang yang luar biasa dalam setiap waktu.
- Bapak dan Ibu dosen serta Staff di Program Studi Fisika FMIPA UNS yang telah banyak memberikan ilmu dan pembelajaran yang luar biasa.

- Sahabat - sahabat penulis di Laboratorium *Optics & Photonics Research Group* (OPRG), Lintang, Bangun, Pupus, Gesit, Algi, Ferifta, Umay, Arni, Itul yang banyak memberikan inspirasi dan dukungan bagi penulis.
- Keluarga penulis di Entitas Mahasiswa Fisika (EMF) 2013 yang selama ini memberikan kebahagiaan dan kebersamaan yang indah, terkhusus Esti, Andhika serta Bintang dengan bantuan laptopnya dalam proses Skripsi.
- Sahabat-sahabat penulis, Hafiz, Juna, Mas Bagus, Rey, Bale, Ridwan, Abay.
- Teman, sahabat, dan keluarga penulis dari HIMAFIS 2014, SKI FMIPA 2014, FOSMA 165, BEM FMIPA, PMII, REISMA Masjid Jami' Tegalarjo dan Tim KKN UNS Buding 2017.
- Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Semoga kebaikan dari Allah SWT terus mengalir untuk mereka dan semoga kebaikan tersebut dapat berlipat ganda.

Perlu disadari bahwa dengan segala keterbatasan, dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, apabila ada kebenaran pasti datang dari Allah SWT dan apabila terdapat kesalahan penulis mohon masukan dan kritikan yang membangun demi kedepan yang lebih baik dan semoga karya ini bermanfaat.

Surakarta, 03 Oktober 2017

Penulis

## **PUBLIKASI**

Sebagian skripsi saya yang berjudul “*Integrated Weigh in Motion Fiber Sensor Capables of Weighing Individual Running Vehicles*” akan dipublikasikan pada MATTER: *International Journal of Science and Technology* ISSN 2454-5880.

## DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | i       |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....                                    | ii      |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                     | iii     |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....                                     | iv      |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....  | v       |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                                    | vi      |
| <b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....  | vii     |
| <b>HALAMAN ABSTRACT</b> .....                                       | viii    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | ix      |
| <b>HALAMAN PUBLIKASI</b> .....                                      | xi      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | xii     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xiv     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | xv      |
| <b>DAFTAR SIMBOL</b> .....  | xvii    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....  | xix     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                                      | 1       |
| 1.1. Latar Belakang .....   | 1       |
| 1.2. Batasan Masalah.....   | 4       |
| 1.3. Perumusan Masalah.....   | 5       |
| 1.4. Tujuan Penelitian .....  | 5       |
| 1.5. Manfaat Penelitian .....                                       | 5       |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                | 6       |
| 2.1. Teori Gelombang Cahaya .....                                   | 6       |
| 2.2. Teori Dasar Optik .....  | 8       |
| 2.2.1. Pemantulan Cahaya .....                                      | 8       |
| 2.2.2. Pembiasan Cahaya .....                                       | 9       |
| 2.2.3. <i>Total Internal Reflection</i> .....                       | 11      |
| 2.3. Perambatan Cahaya di dalam Serat Optik .....                   | 11      |
| 2.4. Rugi-rugi <i>Macrobending</i> Serat Optik .....                | 12      |
| 2.5. Prinsip Sensor Serat Optik .....                               | 13      |
| 2.6. Jenis Sensor Serat Optik .....                                 | 14      |
| 2.7. Sejarah Pengembangan <i>Weigh In Motion</i> (WIM) .....        | 15      |
| 2.8. Teknologi Sensor pada <i>Weigh In Motion</i> (WIM) .....       | 16      |
| 2.8.1. WIM dengan <i>Bending</i> dan <i>Load Cells</i> .....        | 16      |
| 2.8.2. WIM dengan <i>Strip Sensors</i> .....                        | 17      |
| 2.9. Hukum Newton III .....   | 18      |
| 2.10. Hubungan Kelajuan dengan Pergeseran <i>Fiber Sensor</i> ..... | 18      |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....                          | 20      |
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....                              | 20      |
| 3.2. Alat dan Bahan .....   | 20      |
| 3.2.1. Alat – alat Penelitian .....                                 | 20      |
| 3.2.2. Bahan – bahan penelitian .....                               | 20      |
| 3.2.3. Software yang digunakan .....                                | 20      |
| 3.3. Metode Penelitian .....  | 21      |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.1. Penyiapan .....                              | 21 |
| 3.3.2. Pembuatan Sensor <i>Spacing</i> .....        | 23 |
| 3.3.3. Pembuatan Sumber Cahaya .....                | 24 |
| 3.3.4. Pembuatan Detektor Cahaya .....              | 24 |
| 3.3.5. Pembuatan Sistem ADC .....                   | 25 |
| 3.3.6. Pembuatan Perangkat Lunak .....              | 25 |
| 3.3.7. Pengujian Alat .....                         | 26 |
| 3.3.8. Proses Pengambilan Data .....                | 26 |
| 3.3.9. Teknik Analisis Data .....                   | 27 |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....            | 28 |
| 4.1. Pengujian Sensor <i>Spacing</i> .....          | 28 |
| 4.2. Pengujian Sensor Kelajuan .....                | 32 |
| 4.3. Pengujian Sensor Beban .....                   | 33 |
| 4.3.1. Beban Statis .....                           | 35 |
| 4.3.2. Beban Dinamis .....                          | 38 |
| 4.4. Pengujian Sistem WIM Menggunakan Program ..... | 45 |
| <b>BAB V PENUTUP</b> .....                          | 53 |
| 5.1. Kesimpulan .....                               | 53 |
| 5.2. Saran .....                                    | 53 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                         | 54 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                               | 57 |

## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 4.1. Tabel kebenaran gerbang logika AND dengan 3 input.....   | 29      |
| Tabel 4.2. Pengujian sensor <i>spacing</i> pada satu titik waktu saat tidak ada kendaraan yang melewati sensor <i>spacing</i> ..... | 29      |
| Tabel 4.3. Pengujian sensor <i>spacing</i> pada satu titik waktu saat kendaraan melewati sensor <i>spacing</i> .....                | 30      |
| Tabel 4.4. Persamaan umum grafik pengujian untuk mengetahui waktu relaksasi.....  | 40      |
| Tabel 4.5. Persamaan garis grafik total <i>loss bending</i> terhadap fungsi beban pada variasi kelajuan kendaraan .....             | 44      |
| Tabel 4.6. Hasil perhitungan total <i>loss bending</i> pada dua truk tunggal .....  | 48      |
| Tabel 4.7. Hasil perhitungan total <i>loss bending</i> pada truk gandeng .....  | 49      |
| Tabel 4.8. Hasil perhitungan total <i>loss bending</i> pada truk gandeng dan truk tunggal .....                                     | 50      |
| Tabel 4.9. Hasil perhitungan total <i>loss bending</i> pada dua truk tunggal dengan 3 sumbu roda .....                              | 51      |
| Tabel 4.10. Pengukuran beban terukur .....  | 52      |

## DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1. Representasi gelombang elektromagnetik.....  | 7       |
| Gambar 2.2. Hukum pemantulan cahaya .....  | 8       |
| Gambar 2.3. Pembiasan berkas cahaya dalam medium kaca.....   | 9       |
| Gambar 2.4. Perambatan cahaya pada medium berbeda.....   | 10      |
| Gambar 2.5. Geometri sinar yang dibiaskan oleh permukaan bidang .....  | 11      |
| Gambar 2.6. Proses jalannya sinar di dalam struktur serat optik.....   | 12      |
| Gambar 2.7. Diagram skematik <i>macrobending</i> .....   | 12      |
| Gambar 2.8. Skema rugi-rugi <i>macrobending</i> pada serat optik .....   | 13      |
| Gambar 2.9. Skema rancangan sensor serat optik.....  | 13      |
| Gambar 2.10. Sensor serat optik ekstrinsik.....  | 15      |
| Gambar 2.11. Sensor serat optik intrinsik.....   | 15      |
| Gambar 2.12. Diagram komponen dasar <i>Weight In Motion</i> (WIM) .....  | 16      |
| Gambar 2.13. HS-WIM dengan <i>bending plates</i> yang dipasang dijalan.....  | 17      |
| Gambar 2.14. HS-WIM dengan sensor <i>strip piezo-ceramic</i> .....   | 18      |
| Gambar 3.1. Diagram alur penelitian .....  | 22      |
| Gambar 3.2. Skema rancangan penelitian.....  | 23      |
| Gambar 3.3. Integrasi sistem WIM .....   | 23      |
| Gambar 3.4. Detektor sensor <i>spacing</i> .....   | 24      |
| Gambar 3.5. Rangkaian sumber cahaya .....  | 24      |
| Gambar 3.6. Rangkaian detektor cahaya.....   | 25      |
| Gambar 3.7. Tampilan program WIM .....   | 26      |
| Gambar 4.1. Grafik pengujian sensor <i>spacing</i> pada truk tunggal .....   | 30      |
| Gambar 4.2. Grafik pengujian sensor <i>spacing</i> pada truk gandeng .....   | 31      |
| Gambar 4.3. Kendaraan uji dengan papan penghalang sensor kelajuan .....  | 32      |
| Gambar 4.4. Selisih waktu pada pengujian sensor kelajuan .....   | 33      |
| Gambar 4.5. <i>Pad fiber sensor</i> .....  | 33      |
| Gambar 4.6. Ilustrasi kondisi <i>fiber sensor</i> .....  | 34      |
| Gambar 4.7. Perambatan cahaya pada serat optik yang dililit .....  | 34      |
| Gambar 4.8. Ilustrasi nilai <i>loss bending</i> .....  | 35      |
| Gambar 4.9. Nilai <i>loss bending</i> terhadap beban pada pengujian sensor<br>beban kondisi statis .....                                 | 36      |
| Gambar 4.10. Analogi sensor beban sebagai pegas .....  | 36      |
| Gambar 4.11. Analogi distribusi beban kendaraan .....  | 37      |
| Gambar 4.12. Grafik transmitansi sensor beban pada kondisi dinamis .....   | 39      |
| Gambar 4.13. Grafik pengujian untuk mengetahui waktu relaksasi <i>fiber sensor</i><br>untuk beban yang berbeda .....                     | 39      |
| Gambar 4.14. Waktu relaksasi pada variasi beban dalam kondisi statis.....  | 41      |
| Gambar 4.15. Grafik transmitansi sensor beban terhadap fungsi waktu untuk<br>kelajuan kendaraan yang bervariasi pada roda belakang ..... | 41      |
| Gambar 4.16. Nilai <i>loss bending</i> terhadap beban pada pengujian sensor<br>beban kondisi dinamis dengan kelajuan 0.36 m/s.....       | 42      |
| Gambar 4.17. Grafik total <i>loss bending</i> sebagai fungsi beban pada<br>variasi kelajuan kendaraan .....                              | 43      |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.18. Grafik titik potong sumbu vertikal terhadap variasi kelajuan yang didapatkan dari persamaan garis pengujian sensor beban.... | 44 |
| Gambar 4.19. Ilustrasi terjadinya pola lembah .....   | 45 |
| Gambar 4.20. <i>Baseline</i> pada grafik .....  | 46 |
| Gambar 4.21. Ilustrasi perhitungan total <i>loss bending</i> tanpa sensor <i>spacing</i> .....  | 47 |
| Gambar 4.22. Ilustrasi perhitungan total <i>loss bending</i> menggunakan sensor <i>spacing</i> .....                                      | 48 |
| Gambar 4.23. Pengujian pada truk gandeng .....  | 49 |
| Gambar 4.24. Pengujian truk gandeng dan truk tunggal.....   | 50 |
| Gambar 4.25. Pengujian 2 truk tunggal dengan 3 sumbu roda .....   | 51 |



## DAFTAR SIMBOL

|                 |  | Satuan           |
|-----------------|--|------------------|
| $n$             | = Indeks Bias Medium                               | -                |
| $n_1$           | = Indeks Bias Medium Pertama                       | -                |
| $n_2$           | = Indeks Bias Medium Kedua                         | -                |
| $n_c^2$         | = Indeks Bias Lokal Termodifikasi                  | -                |
| $\theta_1$      | = Sudut Sinar Datang dengan Garis Normal           | Rad atau Derajat |
| $\theta_2$      | = Sudut Sinar Pantul atau Bias dengan Garis Normal | Rad atau Derajat |
| $\theta_c$      | = Sudut Kritis                                     | Rad atau Derajat |
| $\pi$           | = 3.14   | -                |
| $\lambda$       | = Panjang Gelombang                                | m                |
| $E$             | = Medan Listrik                                    | N/C              |
| $E$             | = Energi Foton                                     | J                |
| $E_m$           | = Amplitudo Medan Listrik                          | N/C              |
| $B$             | = Medan Magnet                                     | T                |
| $B_m$           | = Amplitudo Medan Magnet                           | T                |
| $h$             | = Konstanta Planck                                 | J.s              |
| $h$             | = <i>Loss Bending</i>                              | %                |
| $f$             | = Frekuensi  | Hz               |
| $R$             | = Radius Kelengkungan Serat Optik                  | m                |
| $R$             | = Hambatan Resistor                                | Ohm              |
| $R_{LDR}$       | = Hambatan LDR                                     | Ohm              |
| $T$             | = Transmittansi Cahaya                             | %                |
| $I_{modulasi}$  | = Intensitas Modulasi                              | Volt             |
| $I_{referensi}$ | = Intensitas Referensi                             | Volt             |
| $V_{out}$       | = Tegangan Keluaran                                | Volt             |
| $V_{cc}$        | = Tegangan Masukan                                 | Volt             |
| $\Delta s$      | = Perubahan Jarak                                  | m                |
| $\Delta t$      | = Perubahan Waktu atau Waktu Kontak                | s                |

|               |  |             |
|---------------|--|-------------|
| $\Delta x$    | = Pergeseran Jarak                                       | m           |
| $\Delta \tau$ | = Relaxation Time  | s           |
| $\omega$      | = Frekuensi Sudut  | radian/s    |
| $k$           | = Bilangan Gelombang                                     | $m^{-1}$    |
| $k$           | = Konstanta Pegas  | N/m         |
| $c$           | = Kecepatan Cahaya                                       | m/s         |
| $\mu_0$       | = Permeabilitas Ruang Hampa                              | T.m/A       |
| $\epsilon_0$  | = Permittivitas Ruang Hampa                              | $C^2/N.m^2$ |
| $v$           | = Kelajuan   | m/s         |
| $L$           | = Panjang  | m           |
| $F$           | = Gaya   | N           |
| $W$           | = Gaya Berat   | N           |
| $E_k$         | = Energi Kinetik   | Joule       |
| $E_p$         | = Energi Potensial                                       | Joule       |
| $I$           | = Impuls   | N.s         |
| $P$           | = Momentum   | kg.m/s      |
| $m$           | = Massa atau Beban                                       | kg          |
| $g$           | = Konstanta Gravitasi                                    | $m/s^2$     |
| $\bar{b}_m$   | = Gradien Rata-rata Persamaan Garis Sebagai Fungsi Beban | -           |
| $b_v$         | = Gradien Persamaan Garis Sebagai Fungsi Kelajuan        | -           |
| $a$           | = Titik Potong dengan Sumbu Vertikal                     | -           |
| $R^2$         | = Koefisien Determinasi                                  | -           |
| $n$           | = Iterasi ke-n   | -           |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran 1. <i>Flow chart</i> dasar program.....                        | 57      |
| Lampiran 2. Data <i>loss bending</i> pada pengujian beban statis .....  | 58      |
| Lampiran 3. Data <i>loss bending</i> pada pengujian beban dinamis ..... | 59      |
| Lampiran 4. Data total <i>loss bending</i> pada variasi kelajuan.....   | 60      |