



**ANALISIS GETARAN AKIBAT BEBAN KERETA API
TERHADAP STRUKTUR REL DI ATAS LAPISAN
BALLAST MENGGUNAKAN ALAT SENSOR
ACCELEROMETER DAN *SEISMIC MONITORING***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil S1

Oleh

Meri Afrihansyah

NIM.5113416006

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S1

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

i

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Meri Afrihansyah

Nim : 5113416006

Program Studi : Teknik Sipil S1

Judul : “Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel Di Atas Lapisan *Ballast* Menggunakan Alat Sensor *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*”

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 10 Juni 2020

Pembimbing,



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T. M.Sc.

NIP. 197809212005012001

LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi/TA dengan judul “Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel Di Atas Lapisan *Ballast* Menggunakan Alat Sensor *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*”, telah dipertahankan di depan sidang panitia ujian skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 18 Juni 2020.

Oleh:

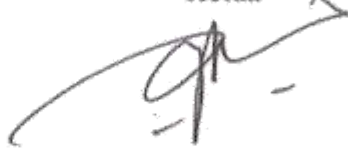
Nama : Meri Afrihansyah

Nim : 5113416006

Program Studi : Teknik Sipil S1

Panitia:

Ketua



Aris Widodo, S.Pd., M.T.

NIP. 197102071999031001

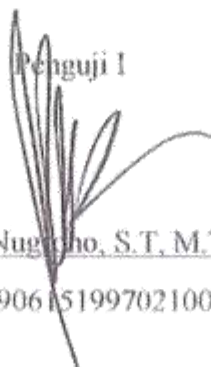
Sekretaris



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.

NIP. 197809212005012001

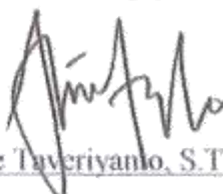
Penguji I



Untoro Nugroho, S.T., M.T.

NIP. 196906151997021001

Penguji II



Arie Taveriyanto, S.T., M.T.

NIP. 196507222001121001

Penguji III/ Pembimbing



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.

NIP. 197809212005012001

Mengetahui,

Ketua Fakultas Teknik UNNES



Meri Afrihansyah, M.T., I.P.M.

NIP. 196911301994031001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi /TA ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, 10 Juni 2020



Meri Afrihansyah

NIM. 5113416006

MOTTO

“Sesungguhnya Allah Tidak Akan Merubah Keadaan Suatu Kaum Sehingga Mereka Merubah Keadaan Yang Ada Pada Diri Mereka Sendiri”
(Qs. Ar Ra’ad: 11)

“Dan Bahwasanya Seorang Manusia Tiada Memperoleh Selain Apa Yang Telah Di Usahakanya”
(An Najm: 39)

“Sesungguhnya Sesudah Kesulitan Itu Ada Kemudahan, Maka Apabila Kamu Telah Selesai (Dari Urusan) Kerjakanlah Dengan Sungguh-Sungguh (Urusan) Yang Lain”
(Qs. Al Insiroh:6-7)

“Pandanglah Hari ini, Kemarin Dalah Mimpi dan Esok Hanyalah Sebuah Misi. Tetapi Hari Ini Yang Sungguh Nyata, Menjadikan Kemarin Sebagai Mimpi Bahagia, dan Setiap Hari Esok Sebagai Visi Harapan”
(Alexander Pope)

Sedikit Pengetahuan Yang Diterapkan Lebih Berharga Ketimbang Banyak Pengetahuan Yang Tak Dimanfaatkan
(Kahlil Gibran)

PESEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan:

1. Untuk kedua Orang tua saya, Bapak Suhardi dan Ibu Sariyah yang telah mendokan, membimbing dan memberikan dukungan kepada saya selama menempuh perkuliahan hingga sampai saat ini.
2. Untuk kakak saya dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan dukungan.
3. Untuk dosen pembimbing skripsi (Ibu Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.) yang telah membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Untuk dosen penguji skripsi (Bapak Untoro Nugroho, S.T, M.T dan Bapak Arie Taveriyanto, S.T, M.T) yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Untuk seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan selama kuliah di UNNES.
6. Untuk PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daop 4 Semarang yang telah memberikan izin dan membantu selama penelitian berlangsung.
7. Untuk teman-teman saya yang telah membantu selama penelitian ini (Annisaul Hidayah, Bangun Marpaung, Iis Saputra, Vina Fadila, Mufita Aulia Zelin) serta teman-teman teknik sipil angkatan 2016 yang selalu memberi dukungan, dan membantu saya selama perkuliahan.
8. Untuk kampus tercinta Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Meri Afrihansyah. 2020. “*Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel Di Atas Lapisan Ballast Menggunakan Alat Sensor Accelerometer Dan Seismic Monitoring*”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.

Kereta api merupakan salah satu transportasi umum yang ada di Indonesia dan banyak digunakan oleh masyarakat umum. Struktur jalan rel kereta api itu sendiri merupakan suatu konstruksi yang terdiri dari beberapa komponen seperti tanah dasar, bantalan, penambat rel, *ballast* dan rel kereta api. Tanah akan mengalami perubahan bentuk (*deformation*) dan terjadi penurunan struktur akibat memikul beban dari lapisan di atasnya yaitu lapisan *ballast* dan *subballast* akibat beban dari kereta api tersebut. Perlunya analisis pembebanan berguna untuk mengurangi resiko kerusakan pada jalan rel yang disebabkan respon jalan rel akibat beban yang terjadi. Getaran yang diakibatkan kereta api akan mengakibatkan kerusakan bangunan di sekitar rel, kelongsoran pada lokasi tanah timbunan dan akan mengakibatkan terjadinya defleksi yang akan berdampak pada struktur rel dan tanah dasar dibawahnya.

Penelitian ini menganalisis percepatan getaran kereta api menggunakan dua alat yaitu sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* yang dilakukan di Jalur kereta api Semarang – Jakarta di Jl. Stasiun Jerakah di titik KM 5 + 8/9 dan di jalur Semarang - Surabaya di Jl. Muktiharjo Raya di titik KM 3 + 4/5 Kaligawe, Kota Semarang, Jawa Tengah. Sensor getaran *accelerometer* merupakan sensor yang dapat mendeteksi getaran yang terjadi terutama pada lapisan *ballast* akibat dari beban dinamis kereta api. Data yang diperoleh akan diolah menggunakan aplikasi *GeoPsy* untuk mencari nilai frekuensi natural dan amplifikasi menggunakan metode HSVR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

Berdasarkan data yang didapat kereta api yang melintas berupa kereta barang dan kereta penumpang dengan kecepatan 59 – 77 km/jam². Besarnya percepatan getaran dari kedua alat berdasarkan lokasi penelitian di titik KM 5 + 8/9 dan KM 3 + 4/5 sebesar 0,14 - 0,58 m/s² untuk arah x, 0,21 - 0,54 m/s² untuk arah y, dan 0,15 – 1,0 m/s² untuk arah z. Gaya getaran yang dihasilkan sebesar 4,083 - 8,147 kN dan 4,373 - 8,640 kN. Besar tegangan pada lapisan balas dibawah dua bantalan adalah sebesar 5 kg/cm² dan 5,36 kg/cm². Frekuensi natural sebesar 0,827 - 4,836 Hz dan 0,978 – 1,337 Hz. Besarnya percepatan getaran kereta, gaya getaran dan frekuensi natural di pengaruhi oleh kecepatan kereta yang melintas, perletakan sensor, jenis kereta dan beban kereta.

Kata Kunci: kereta api, percepatan getaran, kecepatan, frekuensi natural, sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul “**Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel Di Atas Lapisan *Ballast* Menggunakan Alat Sensor *Accelerometer* Dan *Seismic Monitoring*”**. Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul qiyamah, aamin.

Penyelesaian Skripsi/TA ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak sehingga penyusunan Skripsi /TA ini dapat terselesaikan dengan baik, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Aris Widodo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
4. Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Sipil dan dosen pembimbing yang telah berkenan memberikan bimbingan, arahan dan masukan dalam menyelesaikan Skripsi/TA ini.
5. Untoro Nugroho, S.T, M.T. sebagai dosen penguji satu yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Arie Taveriyanto, S.T, M.T. sebagai dosen penguji dua yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Semua dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat berharga.
8. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daop 4 Semarang yang telah memberikan izin selama penelitian berlangsung dan unit jalan rel dan

jembatan JJ 4.2 yang telah membantu selama penelitian berlangsung.

9. Orang tua yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Teman-teman yang sudah membantu dalam penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
11. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan.oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Semarang, 10 Juni 2020



Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH | iv |
| MOTTO | v |
| PERSEMBAHAN | vi |
| ABSTRAK | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xvii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 3 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.4 Pembatasan Masalah | 4 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Manfaat Penelitian..... | 5 |
| | |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | |
| 2.1 Getaran dan Gelombang | 6 |
| 1. Getaran..... | 6 |
| 2. Macam-Macam Besaran Getaran | 7 |
| 3. Gelombang..... | 9 |
| 2.2 Getaran Tanah | 12 |
| 2.3 Accelerometer, HVSR, Frekuensi Natural (F_0) dan Amplifikasi..... | 19 |
| 1. Sensor Accelerometer dan seismic monitoring..... | 19 |
| 2. Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)..... | 20 |

| | |
|--|--------|
| 3. Frekuensi Natural (F_0) dan Amplifikasi (A_0)..... | 22 |
| 2.4 Struktur Jalan Rel | 23 |
| 2.5 Beban Kereta Api | 35 |
| 2.6 Gaya-Gaya yang Ditimbulkan Kereta Api saat Melintas | 36 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Kondisi Geografis Kota Semarang..... | 38 |
| 3.2 Lokasi Penelitian | 39 |
| 3.3 Survey dan perizinan | 40 |
| 3.4 Peralatan | 40 |
| 3.5 Flow Chart Penelitian | 42 |
| 3.6 Metode Pengumpulan Data | 43 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Data Spesifikasi Rel | 56 |
| 4.2 Data Beban Dinamis Kereta dan Gaya Yang Bekerja Pada Rel | 58 |
| 4.3 Data Kecepatan Kereta..... | 60 |
| 4.4 Data Percepatan Getaran | 61 |
| 4.5 Gaya Getara Akibat Beban Kereta Api | 66 |
| 4.6 Nilai Frekuensi Pada Rel Akibat Kereta Yang Melintas..... | 69 |
| 4.7 Frekuensi Dan Amplitudo Getaran..... | 71 |
| 4.8 Perhitungan Tegangan Pada Balas di bawah dua Bantalan..... | 77 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 82 |
| 5.2 Saran..... | 84 |
| DAFTAR PUSTAKA | 85 |
| LAMPIRAN..... | 88 |

DAFTAR TABLE

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai | 22 |
| Tabel 2.2 Kelas Jalan dan Tipe Rel | 25 |
| Tabel 2.3 Dimensi Penampang Rel | 27 |
| Tabel 4.1 Data Spesifikasi Struktur Rel | 56 |
| Tabel 4.2 Data Beban Kereta Api Yang Melintasi Lokasi Penelitian..... | 59 |
| Tabel 4.3 Data Kecepatan Kereta Berdasarkan Lokasi Penelitian..... | 61 |
| Tabel 4.4 Data Nilai Kecepatan Kereta Api dan Percepatan Getaran Dari Alat Sensor <i>Accelerometer</i> Berdasarkan Lokasi Penelitian..... | 65 |
| Tabel 4.5 Data Nilai Kecepatan Kereta Api dan Percepatan Getaran Dari Alat <i>Seismic Monitoring</i> Berdasarkan Lokasi Penelitian | 65 |
| Tabel 4.6 Percepatan dan Gaya Getaran Kereta Api Berdasarkan Lokasi Penelitian..... | 67 |
| Tabel 4.7 Frekuensi Bantalan dan Frekuensi Roda Kereta Berdasarkan Lokasi Penelitian..... | 70 |
| Tabel 4.8 Percepatan Getaran, Kecepatan Keretan, Beban Kereta Dan Frekuensi Natural | 75 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Ilustrasi Getaran Kereta api | 6 |
| Gambar 2.2 Panjang Gelombang dan Amplitudo..... | 7 |
| Gambar 2.3 Gelombang <i>Love</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Gelombang <i>Rayleigh</i> | 10 |
| Gambar 2.5 Gelombang Longitudinal | 11 |
| Gambar 2.6 Gelombang Transversal | 12 |
| Gambar 2.7 Getaran Tanah Akibat Kereta Api | 12 |
| Gambar 2.8 Ilustrasi Getaran Tanah Akibat Beban Dinamis Kereta Api | 13 |
| Gambar 2.9 Posisi perletakan sensor <i>accelerometer</i> dan <i>seismic monitoring</i> di tanah | 15 |
| Gambar 2.10 Grafik percepatan getaran sensor <i>accelerometer</i> dan <i>seismic monitoring</i> | 15 |
| Gambar 2.11 Ilustrasi Getaran Partikel Tanah Akibat Kendaraan Lalu Lintas | 16 |
| Gambar 2.12 Posisi perletakan sensor <i>accelerometer</i> | 17 |
| Gambar 2.13 Nilai Percepatan Berdasarkan Lokasi Penelitian..... | 17 |
| Gambar 2.14 Nilai Percepatan Berdasarkan Kedalaman yang Berbeda | 18 |
| Gambar 2.15 Grafik Hubungan Percepatan dan Jenis Kendaraan Berdasarkan Kedalaman Perletakan Sensor..... | 18 |
| Gambar 2.16 Ilustrasi Gelombang Akibat Pemancangan Tiang Pondasi..... | 19 |
| Gambar 2.17 Sensor <i>Accelerometer</i> dan <i>Seismic Monitoring</i> | 20 |
| Gambar 2.18 Tampilan Menu Toolbox H/V | 21 |
| Gambar 2.19 Grafik H/V pada <i>Software Geopsy</i> | 23 |
| Gambar 2.20 Struktur Rel..... | 24 |
| Gambar 2.21 Dimensi Penampang Rel R.42..... | 25 |
| Gambar 2.22 Dimensi Penampang Rel R.50..... | 26 |
| Gambar 2.23 Dimensi Penampang Rel R.54..... | 26 |
| Gambar 2.24 Dimensi Penampang Rel R.60..... | 27 |
| Gambar 2.25 Bantalan Baja..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Gambar 2.26 Bantalan Kayu | 30 |
| Gambar 2.27 Bantalan Beton | 31 |
| Gambar 2.28 Lapisan Balas..... | 33 |
| Gambar 2.29 Potongan Penampang Melintang Jalan Rel | 34 |
| Gambar 2.30 Jenis Penambat <i>Clip</i> Yang Digunakan | 35 |
| | |
| Gambar 3.1 Peta Geologi Kota Semarang..... | 38 |
| Gambar 3.2 Lokasi Penelitian 1 | 39 |
| Gambar 3.3 Lokasi Penelitian 2 | 40 |
| Gambar 3.4 Sensor <i>Accelerometer</i> dan <i>Seismic Monitoring</i> | 41 |
| Gambar 3.5 <i>Speedgun</i> | 41 |
| Gambar 3.6 Pengukuran Dimensi Rel | 41 |
| Gambar 3.7 <i>Flow Chart</i> Penelitian..... | 42 |
| Gambar 3.8 Proses Menyiapkan Alat | 44 |
| Gambar 3.9 Meletakkan Alat Sensor Di Ballast dan Pastikan Posisi Sensor Ke Arah Timur | 44 |
| Gambar 3.10 Menghubungkan <i>Recorder</i> Ke Laptop | 45 |
| Gambar 3.11 Menyiapkan Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 45 |
| Gambar 3.12 Pastikan Posisi Sensor <i>Accelerometer</i> Ke Arah Timur | 46 |
| Gambar 3.13 Menghubungkan <i>Recorder</i> Ke Laptop | 46 |
| Gambar 3.14 Tampilan Aplikasi DsACC..... | 46 |
| Gambar 3.15 Pemilihan Data Getaran Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 47 |
| Gambar 3.16 Menu Setting Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 47 |
| Gambar 3.17 Tampilan Grafik Getaran di Aplikasi <i>Geodas</i> | 49 |
| Gambar 3.18 Tampilan aplikasi <i>Geopsy</i> | 50 |
| Gambar 3.19 Tampilan Input data Getaran di aplikasi <i>Geopsy (.msd)</i> | 50 |
| Gambar 3.20 Grafik Percepatan Getaran dengan Tiga Buah Sinyal Arah x, y dan z. | 50 |
| Gambar 3.21 Tampilan Menu <i>Toolbox</i> H/V..... | 50 |
| Gambar 3.22 Tampilan Setelah Pemilihan Sinyal..... | 51 |
| Gambar 3.23 Tampilan Grafik H/V..... | 51 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.24 Tampilan Ms. Exel..... | 52 |
| Gambar 3.25 Import Data Accelerometer | 52 |
| Gambar 3.26 Data Percepatan Getaran Dengan Tiga Buah Sinyal Arah x, y dan z | 53 |
| Gambar 3.27 Grafik Percepatan Getaran..... | 53 |
| Gambar 4.1 (a) Lokasi Penelitian di Jerekah (b) Lokasi Penelitian di Kaligawe | 55 |
| Gambar 4.2 Lokasi Perletakan Sensor..... | 56 |
| Gambar 4.3 Pengukuran Dimensi Rel | 57 |
| Gambar 4.4 Pengukuran Dimensi Bantalan | 57 |
| Gambar 4.5 Pengukuran Dimensi <i>Ballast</i> | 57 |
| Gambar 4.6 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 dari Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 61 |
| Gambar 4.7 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 dari Alat <i>Seismic</i> <i>Monitoring</i> | 62 |
| Gambar 4.8 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 dari Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 62 |
| Gambar 4.9 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 dari Alat <i>Seismic</i> <i>Monitoring</i> | 63 |
| Gambar 4.10 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Joglosemarkerto dari Alat Sensor <i>Accelerometer</i> | 63 |
| Gambar 4.11 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Joglosemarkerto dari Alat <i>Seismic Monitoring</i> | 64 |
| Gambar 4.12 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Kedungsepur dari Alat Sensor <i>Acclerometer</i> | 64 |
| Gambar 4.13 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Kedungsepur dari Alat <i>Seismic Monitoring</i> | 65 |
| Gambar 4.14 Grafik Hubungan Percepatan dengan Gaya Getaran Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9 | 68 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.15 Grafik Hubungan Percepatan dengan Gaya Getaran Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 + 4/5 | 68 |
| Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kecepatan dan Frekuensi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9 | 71 |
| Gambar 4.17 Grafik Hubungan Kecepatan dan Frekuensi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 +4/5 | 71 |
| Gambar 4.18 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 Arah x, y dan z..... | 72 |
| Gambar 4.19 Grafik H/Vdari <i>Software Geopsy</i> | 72 |
| Gambar 4.20 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 Arah x, y dan z..... | 73 |
| Gambar 4.21 Grafik H/Vdari <i>Software Geopsy</i> | 73 |
| Gambar 4.22 Grafik Percepatan Getaran Kereta Joglosemarkerto Arah x, y dan z | 74 |
| Gambar 4.23 Grafik H/Vdari <i>Software Geopsy</i> | 74 |
| Gambar 4.24 Grafik Percepatan Getaran Kereta Kedungsepur Arah x, y dan z | 75 |
| Gambar 4.25 Grafik H/Vdari <i>Software Geopsy</i> | 75 |
| Gambar 4.26 Grafik H/V Hubungan Frekuensi Dengan Amplifikasi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9 | 77 |
| Gambar 4.27 Grafik H/V Hubungan Frekuensi Dengan Amplifikasi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 +4/5 | 77 |
| Gambar 4.28 Ilustrasi Tegangan Pada Balas dibawah dua Bantalan | 78 |

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data primer di lapangan.
2. Data percepatan getaran akibat kereta api yang melintasi lokasi penelitian.
3. Data frekuensi dan amplitudo getaran akibat kereta api yang melintasi lokasi penelitian.
4. Data lokomotif CC-206
5. Foto dokumentasi penelitian.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia kita mengenal banyak transportasi salah satunya adalah kereta api, dimana transportasi yang satu ini adalah salah satu transportasi yang banyak diminati oleh masyarakat Indonesia. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan padatnya volume lalu lintas mengakibatkan semakin banyaknya kendaraan pribadi dan umum sehingga menyebabkan terjadinya kemacetan di jalan-jalan utama, sehingga masyarakat mulai menjadikan kereta api menjadi pilihan yang baik untuk digunakan guna menghindari kemacetan. Selain itu kereta api juga mempunyai keistimewaan tersendiri di bandingkan dengan transportasi lainnya, yakni mempunyai jalur tersendiri yang dinamakan rel, yang tidak dapat dilewati oleh kendaraan lain sehingga perjalanan kereta api tidak mempunyai hambatan dan gangguan dalam perjalanannya.

Transportasi merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Terdapat hubungan erat antara transportasi dengan jangkauan dan lokasi kegiatan manusia, barang-barang dan jasa. Dalam kaitannya dengan kehidupan dan kegiatan manusia, transportasi mempunyai peran signifikan dalam aspek-aspek sosial, ekonomi, lingkungan dan politik (Utomo, 2013).

Kereta api merupakan salah satu transportasi umum yang ada di Indonesia dan banyak digunakan oleh masyarakat umum. Selain itu kereta api juga memiliki sistem penjadwalan yang teratur dan harganya yang cukup relatif murah sehingga membuat masyarakat lebih memilih menggunakan kereta api dari pada kendaraan umum. Struktur jalan rel kereta api itu sendiri merupakan suatu konstruksi yang terdiri dari beberapa komponen seperti tanah dasar (subgrade), *subballast*, *ballast* dan rel kereta api (Rosadi, 2013).

Tanah merupakan suatu komponen utama dari struktur jalan rel, baik itu tanah asli maupun tanah urugan. Tanah akan mengalami perubahan bentuk (*deformation*) dan terjadi penurunan struktur akibat memikul beban dari lapisan di atasnya yaitu lapisan *ballast* dan *subballast* akibat beban dari kereta api tersebut.

Pembebanan pada struktur jalan rel menimbulkan berbagai gaya pada rel diantaranya gaya vertikal, gaya transversal (lateral) dan gaya longitudinal. Perlunya analisis pembebanan berguna untuk mengurangi resiko kerusakan pada jalan rel yang disebabkan respon jalan rel akibat beban yang terjadi (Zelin, 2018).

Getaran tanah akibat beban kereta api yang berasal dari getaran dinamis akan di terima rel kereta dan diteruskan ke tanah dasar. Besarnya getaran dinamis meningkat sebanding dengan meningkatnya kecepatan kereta tersebut. Oleh karena itu kereta api dengan berkecepatan tinggi memiliki getaran yang lebih besar dari pada kereta berkecepatan normal. Jika kecepatan gelombang getaran yang dihasilkan kereta lebih besar dari kecepatan gelombang *Rayleigh* di dalam tanah, getaran tanah yang dihasilkan akan memiliki dampak yang besar (Shih, 2018).

Getaran merupakan suatu peristiwa gerak bolak balik secara teratur dari sebuah benda melalui satu titik kesetimbangan. Getaran dibedakan menjadi dua yaitu getaran mekanik merupakan getaran yang ditimbulkan oleh sarana dan peralatan kegiatan manusia seperti pemancangan pondasi tiang pancang, beban lalu lintas kendaraan, beban kereta api dan lain-lain. Serta getaran seismik merupakan getaran tanah yang disebabkan oleh peristiwa alam seperti gempa. Getaran mekanik yang di sebabkan oleh aktivitas lalu lintas menyebabkan suatu kondisi dimana tanah dasar mengalami defleksi vertikal. Beban kereta api yang melintasi rel kereta dapat menyebabkan getaran pada struktur jalan rel tersebut, getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan di sekitar rel seperti kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kondisi tanah di bawah konstruksi rel.

Pada penelitian ini menggunakan alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*. Sensor getaran *accelerometer* merupakan sensor yang dapat mendeteksi getaran yang terjadi pada struktur rel terutama di lapisan *ballast* akibat beban dinamis kereta api. *Accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur percepatan getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinasi). *Accelerometer* juga dapat mendeteksi getaran

gelombang yang di sebabkan oleh kendaraan dari tiga arah yaitu: *Longitudinal* (L), *Vertikal* (V) dan *Traverse* (T) (Kusumawardani, 2018). Sensor accelerometer mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya (Alma, 2011). *Accelerometer* juga digunakan untuk mengetahui percepatan getaran akibat gempa, beban kendaraan, dan objek lain yang menyebabkan adanya getaran dinamis, serta mendeteksi besarnya getaran yang terjadi akibat beban kereta api yang melintas. Alat ini juga banyak di gunakan pada monitoring bangunan seperti gedung, bendungan, jembatan, jalan dan bangunan infrastruktur lainnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan yang sudah di uraikan dapat dibuat identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Fungsi dan peran *Ballast* dalam struktur jalan rel pada saat kereta melintas.
2. Besarnya percepatan getaran dari sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.
3. Besarnya percepatan dan gaya getaran akibat beban kereta api.
4. Besar tegangan yang terjadi di *Ballast* akibat beban rel kereta api.
5. Frekuensi dan amplitudo yang terjadi akibat getaran kereta yang terjadi.

1.3 Rumusan Masalah

Penelitian ini disusun dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana fungsi dan peran *Ballast* dalam struktur jalan rel pada saat kereta melintas?
2. Berapa besarnya percepatan getaran dari sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*?
3. Berapa besarnya percepatan dan gaya getaran akibat beban kereta api?
4. Berapa besar tegangan yang terjadi di *Ballast* akibat beban rel kereta api?
5. Berapa besarnya frekuensi dan ampiltudo yang terjadi akibat getaran kereta yang terjadi?

1.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu ada pembatasan masalah agar pembahasan tidak meluas dan batasan pembahasan menjadi jelas. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang di ambil adalah data getaran rel kereta api.
2. Lokasi yang di tinjau adalah jalur rel kereta Semarang-Surabaya yang berlokasi di Jl. Muktiharjo Raya, Kaligawe, dan jalur rel kereta api Semarang-Jakarta yang berlokasi di Stasiun Jerakah, Semarang, Indonesia.
3. Alat pendeteksi yang di gunakan adalah sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.
4. Data yang di dapat akan di olah menggunakan aplikasi *Geopsy* dan *GeoDAS*.
5. Output dari alat pendeteksi getaran sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* berupa percepatan getaran.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki *Ballast* akibat beban kereta api saat melintasi jalan rel.

1. Mengetahui fungsi dan peran *Ballast* dalam struktur jalan rel pada saat kereta melintas.
2. Mengetahui besarnya percepatan getaran dari sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.
3. Mengetahui besarnya percepatan dan gaya getaran akibat beban kereta api.
4. Mengetahui besar tegangan yang terjadi di *Ballast* akibat beban rel kereta api.
5. Mengetahui besarnya frekuensi dan amplitudo yang terjadi akibat getaran kereta api.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan, serta dapat digunakan sebagai bahan pengetahuan dan perbandingan sumber acuan untuk bidang kajian yang sama.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Penulis

- 1) Mampu menerapkan metode atau ilmu yang diperoleh selama perkuliahan dan melatih untuk menganalisa permasalahan yang ada serta mencari penyelesaiannya.
- 2) Mampu mengetahui fungsi dan peran *Ballast* dalam struktur jalan rel pada saat kereta melintas.
- 3) Mampu mengetahui besarnya percepatan getaran dari sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.
- 4) Mampu mengetahui besarnya frekuensi dan amplitudo yang terjadi akibat getaran kereta api.

b. Bagi Akademis

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan dalam penelitian yang berhubungan dengan “Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel Di Atas Lapisan *Ballast* Menggunakan Alat Sensor *Accelerometer* Dan *Seismic Monitoring*” serta sebagai sumber informasi bagi penelitian selanjutnya, serta dapat memberikan kontribusi dalam menambah wawasan keilmuan kepada civitas akademik khususnya dalam bidang teknik sipil.

c. Bagi Instansi/Pembaca

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan bagi para pembaca yang akan melakukan penelitian baik yang berhubungan dengan topik penelitian ini maupun tidak berhubungan.

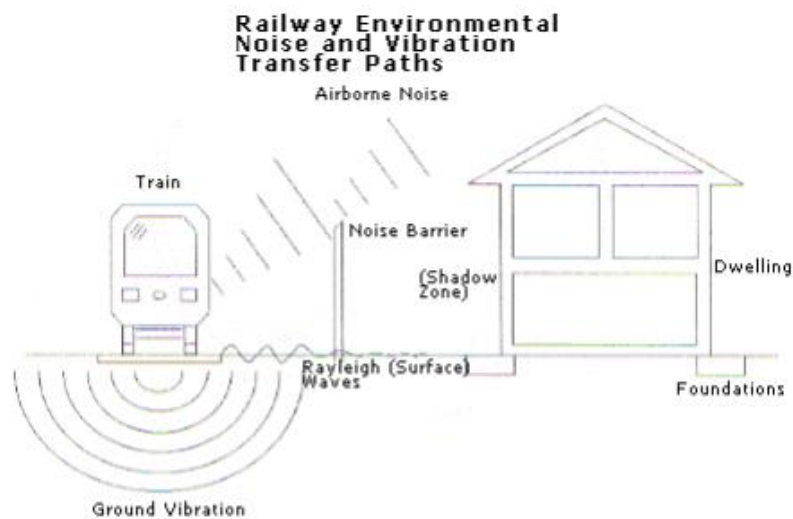
BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Getaran dan Gelombang

1. Getaran

Getaran merupakan suatu peristiwa gerak bolak balik secara teratur dari sebuah benda melalui satu titik kesetimbangan dimana kuat lemahnya pergerakan benda dipengaruhi oleh jumlah energi yang diberikan, semakin kuat energi yang diberikan maka semakin kuat pula getaran yang terjadi (Aulia, 2017). Didalam bidang ketekniksipilan ada beberapa getaran yang terjadi yang disebabkan oleh gempa bumi, getaran akibat beban lalu lintas kendaraan terutama pada kereta api, getaran akibat pemancangan tiang pancang dan getaran lainnya yang dapat mempengaruhi kondisi struktur lainnya.

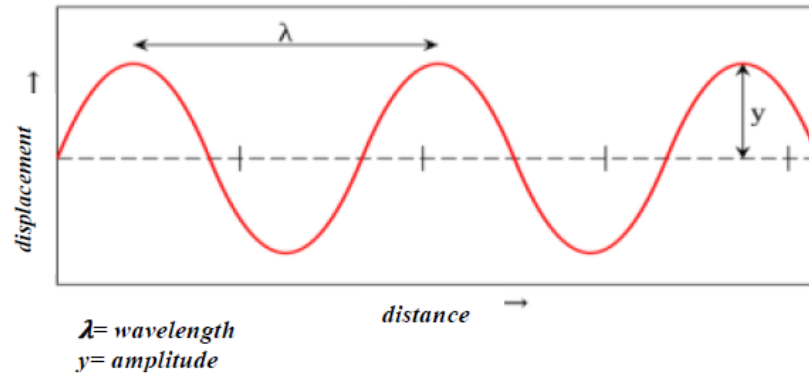


Gambar 2.1 Ilustrasi Getaran Kereta api (Suhairy, 2000)

Getaran yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas menyebabkan suatu kondisi dimana tanah dasar mengalami defleksi vertikal. Beban kereta api yang melintasi rel kereta dapat menyebabkan getaran pada struktur jalan rel tersebut, getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan di sekitar rel seperti kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan

kondisi tanah di bawah konstruksi rel (Zelin, 2018).

2. Macam-macam Besaran Getaran



Gambar 2.2 Panjang Gelombang dan Amplitudo (Suhairy, 2000)

a. Periode Getaran (T)

Periode getaran adalah waktu yang di perlukan suatu benda untuk bergetar dalam satu kali getaran. Periode getaran dihitung dalam satuan detik atau second. (Aulia, 2017). Periode getaran dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{t}{n} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

T = periode getarann (s);

f = frekuensi getaran (Hz);

T = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s);

n = jumlah getaran (n).

b. Frekuensi Getaran

Frekuensi getaran adalah banyaknya getaran dalam tiap satu detik. Frekuensi memiliki satuan Hertz (Hz) (Aulia, 2017). Frekuensi dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{n}{t} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

- f = frekuensi getaran (Hz);
 T = periode getarann (s);
 t = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s);
 n = jumlah getaran (n);

c. Kecepatan Gelombang Getaran

Kecepatan gelombang getaran adalah perbandingan antara jarak tempuh gelombang dan waktu yang di butuhkan gelombang (Kartono, 2007). Kecepatan gelombang dapat di hitung dengan persamaan :

$$v = \frac{s}{t} \text{ atau } v = \frac{\lambda}{T} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

- v = kecepatan getaran (m/s);
 s = jarak yang ditempuh gelombang (m);
 t = waktu yang ditempuh gelombang (s);
 λ = panjang gelombang (m);
 T = periode (s);

d. Percepatan Getaran

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai kecepatan tertentu (Kartono, 2007). Percepatan gelombang dapat di hitung dengan persamaan :

$$a = -\omega^2 A \sin (\omega t - kx) \dots\dots\dots(2.4)$$

e. Amplitudo (A)

Amplitude adalah besarnya simpangan maksimum/jarak terbesar benda dari titik keseimbangan. Amplitudo selalu berharga positif. Satuan SI amplitudo

adalah meter (m) (Aulia, 2017). Amplitudo gelombang dapat di hitung dengan persamaan :

$$a = -\omega^2 A \sin (\omega t - kx) \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan:

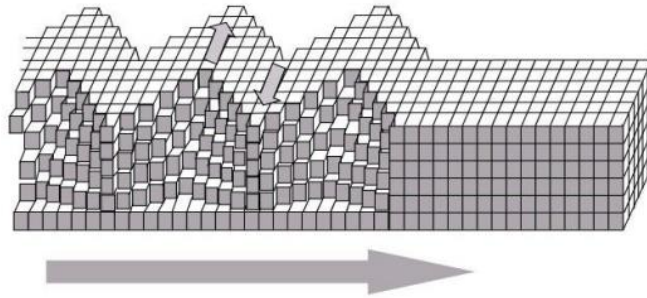
- ω = kecepatan radian= $2\pi f$ atau $2\pi/T$;
- T = waktu yang ditempuh gelombang (s);
- A = amplitude (m);
- a = percepatan gelombang (m/s²);
- k = bilangan gelombang;
- x = jarak titik (m);

3. Gelombang

Gelombang merupakan energi getaran yang merambat tanpa memindahkan materi perantaranya (Aulia, 2017). Gelombang dibagi menjadi dua jenis yaitu gelombang tubuh dan gelombang permukaan. Gelombang tubuh dapat melakukan rambatan di dalam lapisan bumi, sedangkan gelombang permukaan hanya dapat merambat di atas permukaan bumi (Suhairy, 2000). Berdasarkan medium perambatannya gelombang permukaan dibagi menjadi dua yaitu:

1) Gelombang Love

Gelombang love merupakan gelombang permukaan pertama yang ditemukan oleh A.E.H. LOVE seorang ahli matematika inggris pada tahun 1911. Gelombang ini merupakan gelombang permukaan tercepat dan menggerakkan tanah dari sisi ke sisi. Gerakan partikel gelombang love sejajar dengan arah rambatanya (Suhairy, 2000).



Gambar 2.3 Gelombang *Love* (Suhairy, 2000).

Kecepatan perambatan gelombang love dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_1 = \tan\left[H_w \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}\right)^{1/2}\right] \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

V_1 = kecepatan gelombang (m/s)

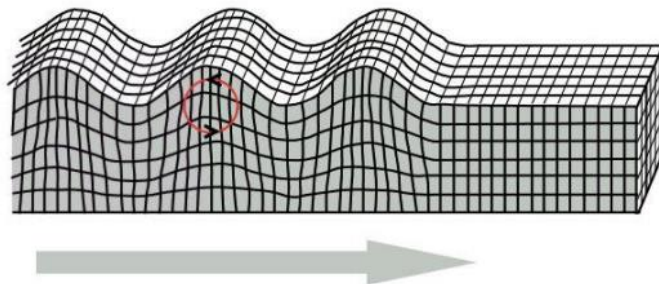
H = ketebalan lapisan (m)

W = frekuensi granular (rad/s)

β_1, β_2 = kecepatan gelombang pada medium 1 dan 2 (m/s)

2) Gelombang rayleigh

Gelombang permukaan kedua adalah gelombang rayleigh. Gelombang rayleigh merupakan gelombang yang merambat pada tanah seperti gulungan gelombang di danau atau lautan. Gelombang rayleigh menggerakkan tanah ke atas dan ke bawah, sisi-ke-sisi dalam arah yang sama dengan gelombang yang bergerak (Suhairy, 2000).



Gambar 2.4 Gelombang *Rayleigh* (Suhairy, 2000).

Persamaan Gelombang *Rayleigh*:

$$v_R = \left(2 - \frac{C}{v_s^2}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

v_R = kecepatan gelombang *Rayleigh* (m/s);

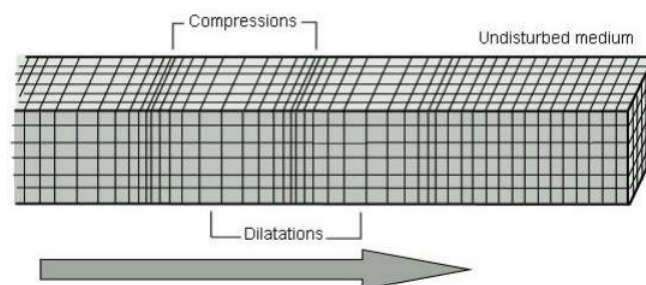
v_S = kecepatan gelombang S (m/s);

C = kecepatan sesaat (m/s).

Berdasarkan arah perambatannya gelombang permukaan dibagi menjadi dua yaitu:

1) Gelombang Longitudinal (P Wave)

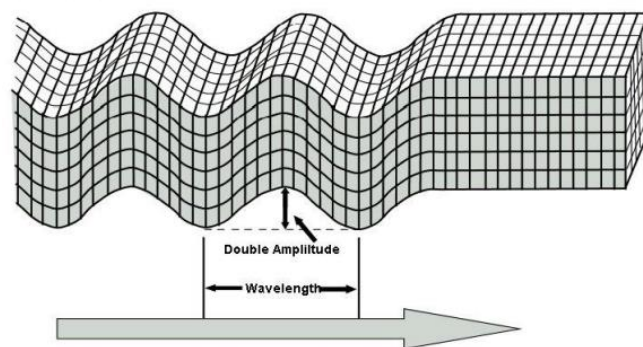
Gelombang longitudinal (P Wave) merupakan gelombang yang arah getarannya sejajar dengan arah rambatnya. Gelombang P bergerak melalui batuan padat dan cairan seperti lapisan cairan bumi.



Gambar 2.5 Gelombang Longitudinal (Suhairy, 2000).

2) Gelombang Transversal (S Wave)

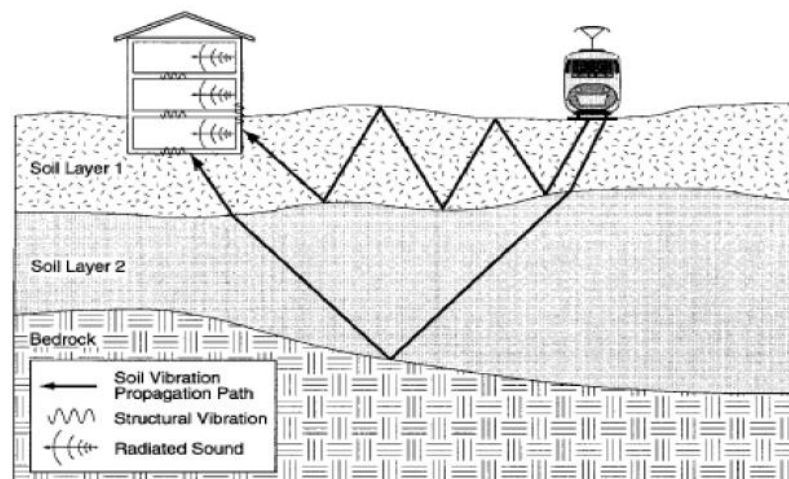
Gelombang Transversal (S Wave) adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus arah getarannya. Gelombang S lebih lambat dari gelombang P dan hanya dapat bergerak melalui batuan padat. Getaran yang di sebabkan oleh kereta api termasuk gelombang transversal (Suhairy, 2000).



Gambar 2.6 Gelombang Transversal (Suhairy, 2000).

2.2 Getaran Tanah

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, salah satu diantaranya adalah kegiatan peledakan, pekerjaan konstruksi, kereta api dan transportasi jalan (Pasang, 2013).



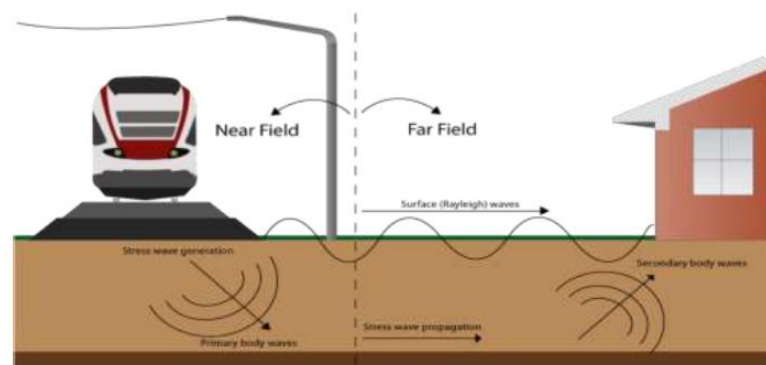
Gambar 2.7 Getaran Tanah Akibat Kereta Api (Avisena, 2011)

Getaran tanah yang dihasilkan oleh kereta api relatif terhubung dengan jenis tanah dan property. Getaran tanah diterima sebagai gelombang permukaan yaitu gelombang *Rayleigh*. Rentang frekuensi umum untuk getaran tanah adalah 0.5-80 Hz (Suhairy, 2000). Gelombang dengan frekuensi yang lebih rendah (di bawah 1 Hz) biasanya disebut mikroseismik. Getaran tanah yang di hasilkan oleh

kereta api dan lalu lintas jalan dapat menyebabkan gangguan bagi penghuni bangunan terdekat baik secara langsung maupun melalui kebisingan lalu lintas. Getaran yang sangat kuat seperti getaran akibat pemancangan pondasi, lalu lintas kereta api, lalu lintas truk-truk besar di jalan bisa menyebabkan kerusakan struktur bangunan dan tanah di sekitarnya. Kerusakan yang terjadi meliputi kerusakan jalan, kembang susut jalan dan retak-retak pada struktur bangunan. Besarnya getaran tanah biasanya di gambarkan sebagai kecepatan getaran (mm/s atau m/s) atau besarnya frekuensi getaran (Hz) (Zelin, 2018).

1. Getaran Tanah akibat kereta api

Getaran tanah yang terjadi akibat beban dinamis kereta api akan diterima rel kereta dan di teruskan ke tanah dasar. Besarnya getaran dinamis kereta api meningkat sebanding dengan meningkatnya kecepatan kereta. Oleh karena itu kereta api berkecepatan tinggi memiliki getaran yang lebih besar dari pada kereta berkecepatan normal.



Gambar 2.8 Ilustrasi Getaran Tanah Akibat Beban Dinamis Kereta Api (Aetherforce, 2020)

Menurut Suhairy (2000) untuk jarak bantalan as ke as 0,65 m kereta dengan kecepatan 25 m/s (90 km/jam) memiliki frekuensi maksimal 38,5 Hz. Pada saat kereta api melewati rel akan menghasilkan getaran yang diukur dalam bentuk percepatan dan frekuensi. Ketika roda kereta melawati besi rel dan bantalan akan mengakibatkan percepatan getaran dan frekuensi yang dipengaruhi oleh besarnya kecepatan kereta yang melintas. Nilai frekuensi dari rel kereta dapat di hitung dengan persamaan:

a. Frekuensi Pada bantalan

$$f_s = \frac{v}{i_s} \dots\dots\dots(2.8)$$

b. Frekuensi pada roda

$$f_A = \frac{v}{a} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

- f_s = frekuensi bantalan (Hz);
- f_A = frekuensi roda kereta (Hz);
- v = kecepatan kereta (m/s);
- i_s = jarak antar bantalan (m);
- a = jarak antara dua roda ada bogie (m);

Getaran yang di hasilkan kereta api mempunyai arah getaran vertikal dan lateral yang akan diteruskan ke tanah dasar melalui bantalan menuju ballast (Auersch, 2017). Gaya getaran yang terjadi dapat di hitung dengan persamaan:

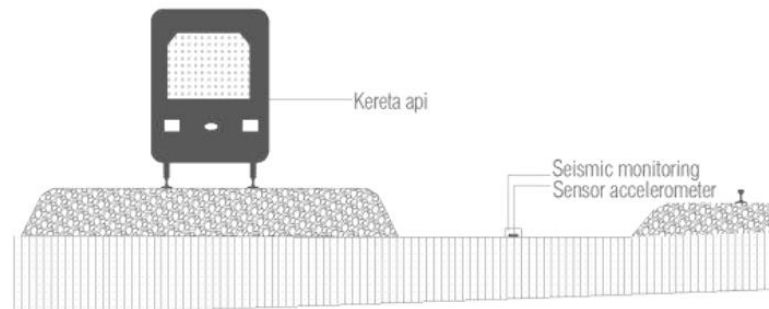
$$F = m_R \cdot a \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

- F = gaya akibat beban dinamis kereta (kN)
- m_R = massa (Kg)
- a = percepatan (m/s^2)

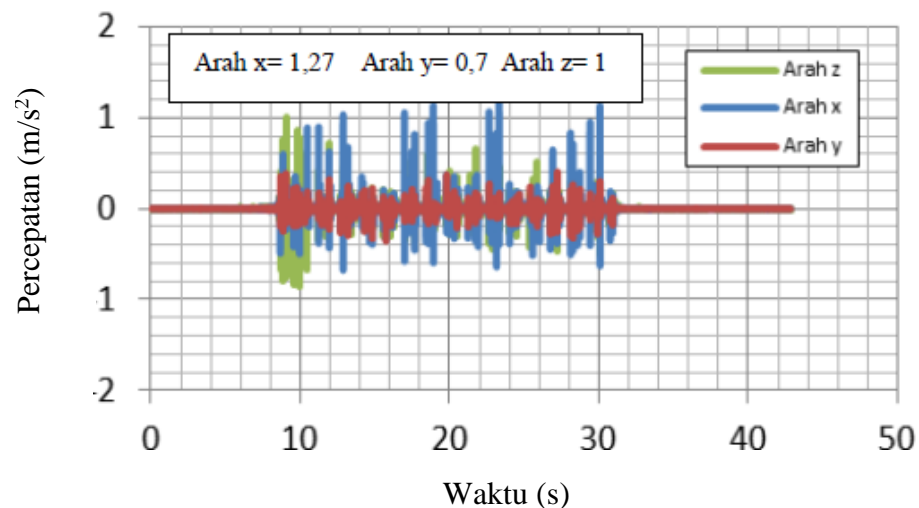
Zelin (2018) melakukan sebuah penelitian di struktur jalan rel kereta api dimana penelitiannya dilakukan di atas tanah timbunan di perlintasan brumbung yang terbagi menjadi 4 titik yaitu pada KM 11+850, KM 11+850 (Jembatan), KM 12+815 dan KM 14+900. Output dari peneltian yang dilakukan adalah percepatan getaran yang selanjutnya di olah untuk mengetahui frekuensi natural dan amplitudo getaran tersebut. Berdasarkan data yang didapat, percepatan getaran akibat beban kereta api sebesar $0,2 \text{ m/s}^2 - 1,78 \text{ m/s}^2$ untuk arah x, $0,2 \text{ m/s}^2 - 1,8 \text{ m/s}^2$ untuk arah y dan $0,3 \text{ m/s}^2 - 1,23$

m/s^2 untuk arah z.



Gambar 2.9 Posisi perletakan sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* di tanah (Zelin, 2018).

Gambar 2.9 menjelaskan tentang posisi perletakan alat *seismic monitoring* dan sensor *accelerometer* di lokasi penelitian. Alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* di letakkan tengah-tengah antara jalan rel bagian hulu dan hilir sedangkan *recorder* di letakkan di tepi jalan rel berjarak kurang lebih satu meter. Sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* di letakkan tengah-tengah antara jalan rel bagian hulu dan hilir bertujuan untuk mendeteksi getaran akibat kereta api yang melintasi jalan rel tersebut.

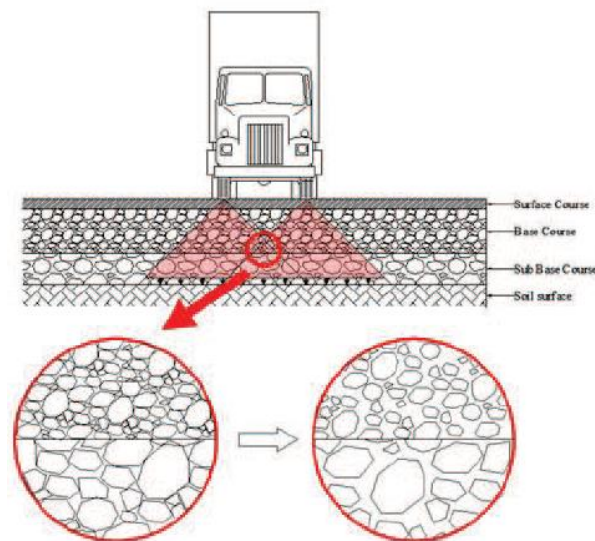


Gambar 2.10 Grafik percepatan getaran sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* (Zelin, 2018).

Gambar 2.10 menjelaskan tentang grafik percepatan getaran kereta api yang terjadi dengan tiga arah sumbu x, y, dan z. Masing-masing nilai percepatannya sebesar 1,27 arah x, 0,7 arah y, dan 1 pada arah z.

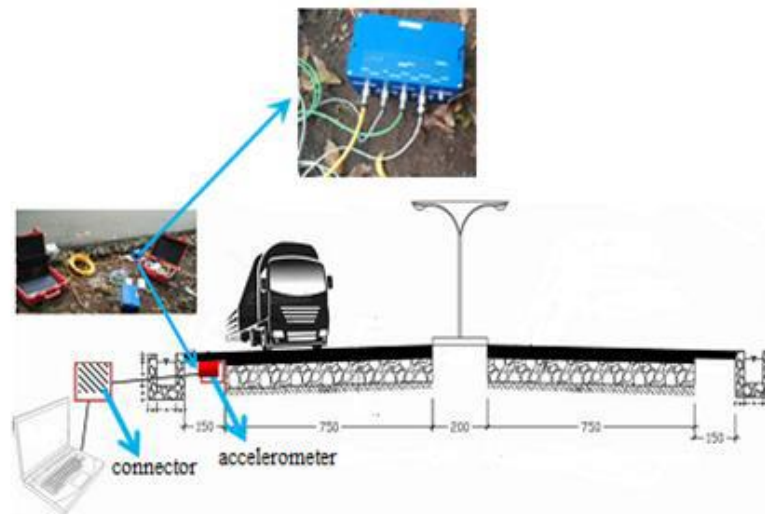
2. Getaran tanah akibat beban lalu lintas kendaraan di jalan raya

Getaran tanah akibat beban lalu lintas kendaraan di jalan raya disebabkan oleh kendaraan ringan maupun berat seperti motor, mobil, bus dan truk-truk yang melintas di atas jalan raya. Perubahan perilaku percepatan partikel tanah disebabkan beban kendaraan yang melintas mempengaruhi kinerja sistem perkerasan pada jalan. Getaran tanah yang disebabkan oleh lalu lintas, industri, dan aktivitas manusia dipermukaan bumi disebut getaran mikrotremor. Data mikrotremor dapat dianalisis menggunakan metode HVSR (Horizontal ke Vertikal Spectral Ratio) (Kusumawardani, 2018).



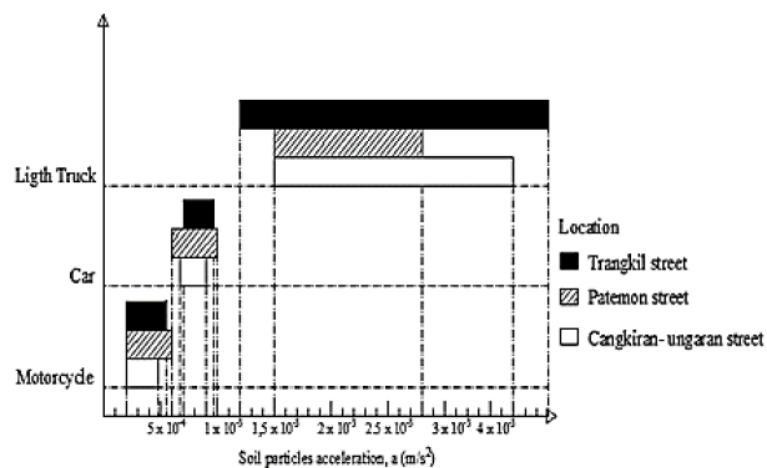
Gambar 2.11 Ilustrasi Getaran Partikel Tanah Akibat Kendaraan Lalu Lintas (Kusumawardani, 2018)

Kusumawardani (2018) melakukan penelitian pengaruh percepatan getaran partikel tanah di jalan raya Cangkiran, jalan Trangkil, dan jalan Patemon, Kota Semarang. Penelitian yang dilakukan menggunakan alat sensor *accelerometer*, dimana alat di pasang di tiga kedalaman 0 cm, 7 cm dan 14 cm, data yang di dapat berupa percepatan getaran partikel tanah dari tiga arah sumbu x, y dan z.

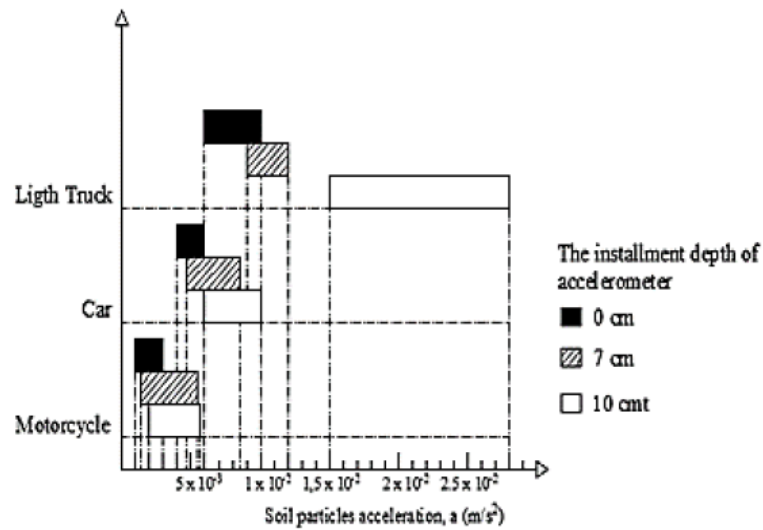


Gambar 2.12 Posisi perletakan sensor *accelerometer*
(Kusumawardani, 2018)

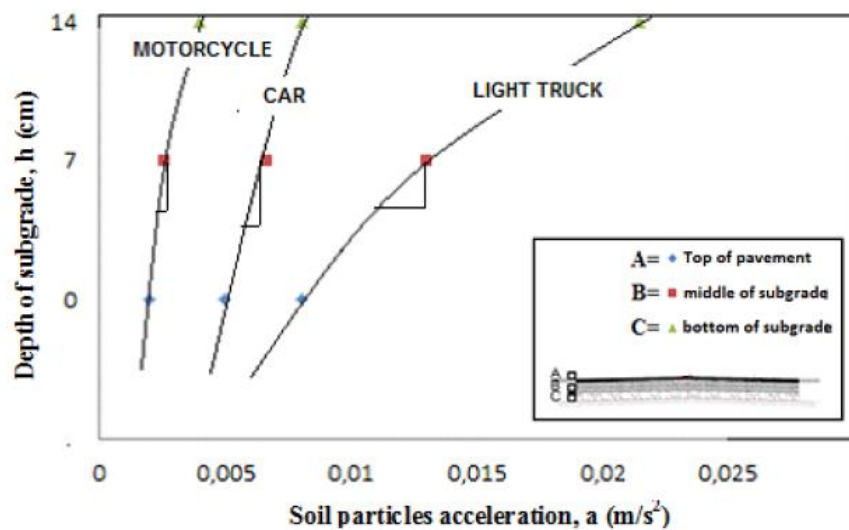
Gambar 2.12 menjelaskan tentang posisi perletakan alat *seismic monitoring* di lokasi penelitian. Alat sensor *accelerometer* di letakkan dipinggir jalan raya di bawah lapis perkerasan sedangkan *recorder* di letakkan di permukaan tanah di tepi jalan. Sensor *accelerometer* di letakkan di bawah lapis perkerasan bertujuan untuk mendeteksi getaran akibat kendaraan yang melewati jalan tersebut. Getaran yang di hasilkan truk-truk besar memiliki kecepatan getaran yang cenderung lebih besar dari pada jenis kendaraan lainnya.



Gambar 2.13 Nilai Percepatan Berdasarkan Lokasi Penelitian
(Kusumawardani, 2018)



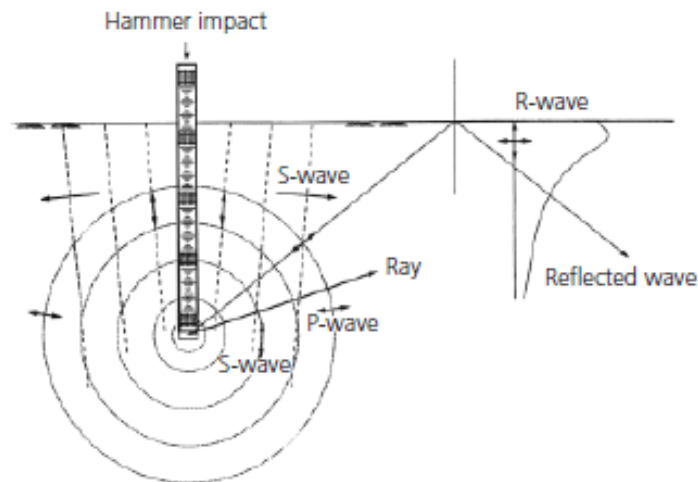
Gambar 2.14 Nilai Percepatan Berdasarkan Kedalaman yang Berbeda (Kusumawardani, 2018)



Gambar 2.15 Grafik Hubungan Percepatan dan Jenis Kendaraan Berdasarkan Kedalaman Perletakan Sensor (Kusumawardani, 2018)

3. Getaran tanah akibat konstruksi bangunan

Getaran tanah yang di akibatkan pembangunan konstruksi biasanya berupa pemancangan tiang pondasi, pemadatan tanah, dan pengoprasian alat berat dapat menimbulkan getaran yang bisa mempengaruhi struktur bangunan di sekitarnya. Dampak dari pemancangan tiang pondasi berupa kerusakan struktural dan gangguan kebisingan (Khoubani, 2014).



Gambar 2.16 Ilustrasi Gelombang Akibat Pemancangan Tiang Pondasi
(Khoubani, 2014)

2.3 Accelerometer, HVSR, Frekuensi Natural (F_0) dan Amplifikasi

1. Sensor Accelerometer dan seismic monitoring

Sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* digunakan selama pengujian. Peralatan ini adalah satu set investigasi lapangan getaran yang digunakan untuk merekam berbagai jenis getaran seperti gempa bumi, beban kendaraan dan objek lain yang dapat menyebabkan adanya getaran dinamis, serta mendeteksi besarnya getaran yang terjadi akibat beban kereta api yang melintas. Keuntungan dari sistem peralatan ini terdiri dari accelerometer yang dapat menghitung partikel perpindahan di tiga instrumen sumbu, dengan rentang pengukuran standar $\pm 2g$, bandwidth yang sampai 100 Hz dan rentang dinamis hingga > 120 dB. Selanjutnya, data dari investigasi lapangan disampaikan melalui saluran komunikasi serial langsung ke komputer portabel. accelerometer ini dapat menghasilkan fungsi real time dari waktu dan percepatan data karena dilengkapi dengan akuisisi data otomatis (Kusumawardani, 2017).

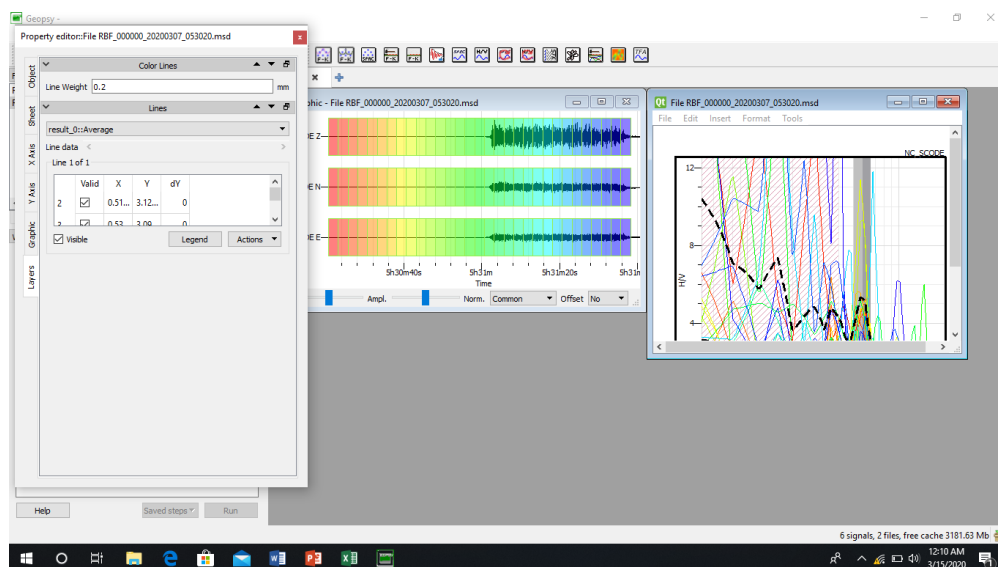


Gambar 2.17 Sensor *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*

Nugroho (2016) melakukan sebuah penelitian di jalan lingkar Weleri Kendal menggunakan alat seismic monitoring. Dimana alat di letakkan di bawah perkerasan untuk mendeteksi adanya getaran akibat kendaraan yang melintas. Alat *seismic* yang terdiri dari sensor *accelerometer* dan *recorder* di letakkan dipinggir jalan raya di bawah lapis perkerasan sedangkan *recorder* di letakkan di permukaan tanah di tepi jalan. Sensor *accelerometer* di letakkan di bawah lapis perkerasan bertujuan untuk mendeteksi getaran akibat kendaraan yang melewati jalan tersebut. Getaran yang di dihasilkan truk-truk besar memiliki kecepatan getaran yang cenderung lebih besar daripada jenis kendaraan lainnya.

2. Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Getaran yang terjadi dapat di ketahui dengan pengukuran mikrotemor. Mikrotremor atau yang biasa disebut dengan *ambient vibration* adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan (Setiawati, 2016).



Gambar 2.18 Tampilan Menu Toolbox H/V

Nakamura (2018) menyampaikan bahwa metode HVSr yang diaplikasikan pada *ambient vibrations* dapat digunakan untuk memperkirakan frekuensi natural dan amplifikasi. HVSr adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spectrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan (Setiawati, 2016).

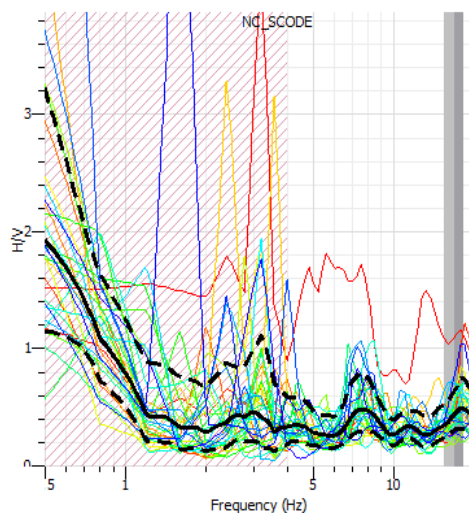
Fananda (2017) melakukan penelitian menggunakan metode HVSr untuk mengetahui frekuensi natural (f_0), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan tanah (K_g) dan hubungannya dengan potensi likuifaksi pada perkerasan lentur akibat beban kendaraan yang melintas. Hasil pengolahan data menggunakan software geopsy berupa spektrum HVSr. Salah satu hasilnya menunjukkan garis putus-putus paling atas dan bawah merupakan standar deviasi untuk semua nilai rasio spektrum yang dihasilkan. Garis tanpa putus yang berada di tengah merupakan nilai rata-rata yang dihasilkan oleh analisis FFT dari seluruh nilai rasio H/V, sedangkan garis berwarna-warni merupakan kurva H/V dari masing-masing window. Frekuensi natural diketahui dari puncak HVSr, dan nilai puncak HVSr adalah amplifikasi. Spektrum hasil analisa HVSr (Maulidya, 2017).

3. Frekuensi Natural (F_0) dan Amplifikasi (A_0)

Frekuensi natural merupakan frekuensi dominan yang terdapat pada suatu sistem saat menerima getaran pemicu tanpa adanya redaman. Jika frekuensi saat bergetar sama atau mendekati frekuensi natural sistem maka akan didapat resonansi dan osilasi yang besar dan berbahaya yang mungkin terjadi. Nilai frekuensi natural merupakan parameter yang sangat berguna dalam perencanaan dan pembangunan yang rentan terhadap gangguan vibrasi seperti gempa bumi, angin, kendaraan atau pun aktifitas manusia (Maulidiya, 2017). Nilai frekuensi natural juga dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah. Berikut klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi:

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Natural Oleh Kanai (Arifin et al, 2012)

| Jenis tanah | Frekuensi natural (Hz) | Klarifikasi menurut kanai |
|-------------|------------------------|---|
| Jenis IV | 6,667 - 20 | Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan hard sandy, gravel dll. |
| Jenis III | 4 - 10 | Batuan alluvial dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari batuan hard sandy, gravel dll. |
| Jenis II | 2,5 - 4 | Batuan alluvial dengan ketebalan >5 mter. Terdiri dari sandy-gravel, sandy hard clay, loam dll. |
| Jenis I | < 2,5 | Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur dll. Dengan kedalaman 30 meter atau lebih. |



Gambar 2.19 Grafik H/V pada *Software Geopsy*

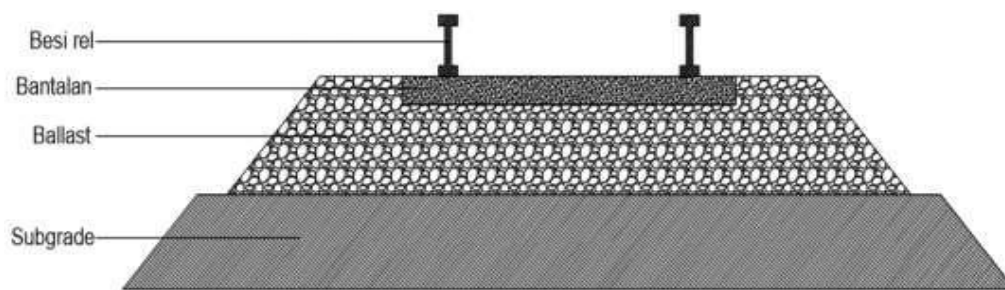
Amplifikasi merupakan gambaran perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke lapisan permukaan (Setiawati, 2016). Amplifikasi yaitu proses untuk meningkatkan kekuatan sinyal melalui amplitudo. Amplifikasi gelombang mengakibatkan kerusakan pada lapisan tanah, hal ini karena adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak, jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi resonansi. Faktor amplifikasi dipengaruhi oleh densitas material dan kecepatan gelombang geser.

2.4 Struktur Rel

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Secara umum, pada teknologi konvensional berupa Teknologi Dua Rel Sejajar, jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja diletakkan di atas balok-balok melintang. Balok-balok melintang ini disebut dengan bantalan. Untuk menjaga agar supaya rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel-bantalan-penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh. Rangka yang kokoh tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur

yang disebut dengan sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas yang disebut balas (*balast*), yang selanjutnya di bawah balas terdapat lapisan tanah dasar (*subgrade*) (Utomo, 2013). Komponen-komponen struktur jalan rel tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai berikut:

- a. Struktur bagian atas, yaitu bagian lintasan, terdiri atas rel, bantalan dan penambat rel.
- b. Struktur bagian bawah, yaitu bagian pondasi, terdiri atas balas dan tanah dasar.



Gambar 2.20 Struktur Rel (Zelin, 2018)

1. Rel

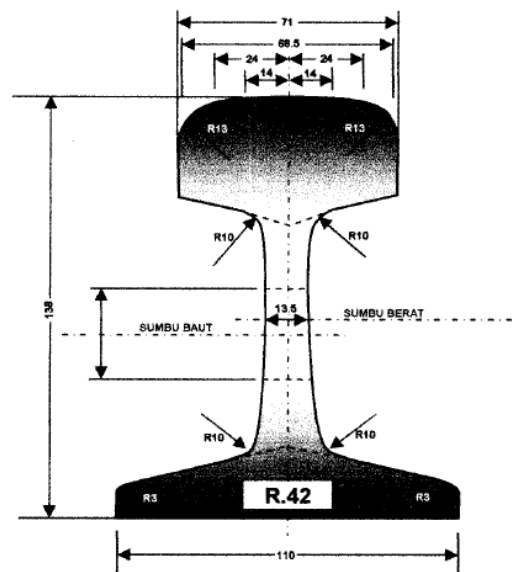
Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Rel merupakan besi yang di pasang di atas bantalan sebagai jalur jalannya kereta. Rel merupakan batang baja longitudinal yang berhubungan secara langsung dan memadu serta memberikan tumpuan terhadap pergerakan roda kereta api secara berterusan. Oleh karena itu, rel juga harus memiliki nilai kekakakuan tertentu untuk menerima dan mendistribusikan beban dari kereta api dengan baik. Rel harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Minimum perpanjangan 10%
2. Kekuatan Tarik minimum 1175 N/mm^2
3. Kekerasan kepala rel tidak boleh dari 320 BHN.

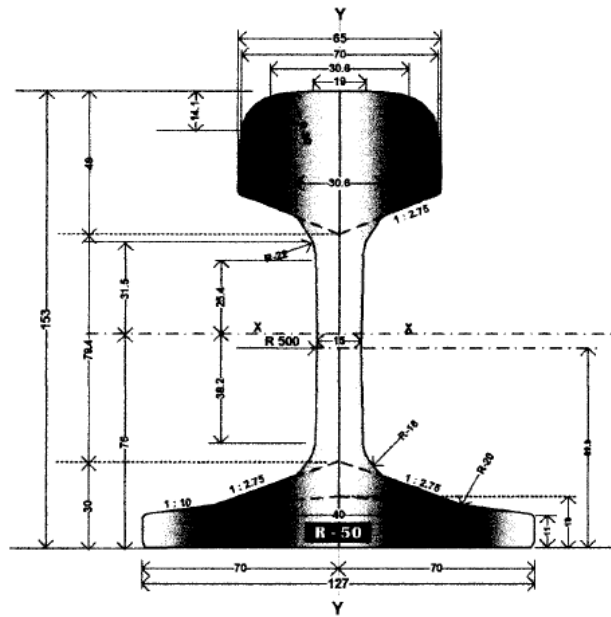
Tabel 2.2 Kelas Jalan dan Tipe Rel (PM. No 60. Tahun 2012)

| Kelas Jalan | Daya Angkut Lintas (ton/tahun) | V maks (km/jam) | P maks gandar (ton) | Tipe Rel | Jenis Bantalan | Jenis Penambat | Tebal Balas Atas (cm) | Lebar Bahu Balas (cm) |
|-------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | Jarak antar sumbu bantalan (cm) | | | |
| I | $> 20 \cdot 10^6$ | 120 | 18 | R.60/R.54 | Beton 60 | Elastis Ganda | 30 | 60 |
| II | $10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$ | 110 | 18 | R.54/R.50 | Beton/Kayu 60 | Elastis Ganda | 30 | 50 |
| III | $5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$ | 100 | 18 | R.54/R.50/R.42 | Beton/Kayu/Baja 60 | Elastis Ganda | 30 | 40 |
| IV | $2,5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$ | 90 | 18 | R.54/R.50/R.42 | Beton/Kayu/Baja 60 | Elastis Ganda/Tunggal | 25 | 40 |
| V | $< 2,5 \cdot 10^6$ | 80 | 18 | R.42 | Kayu/Baja 60 | Elastis Tunggal | 25 | 35 |

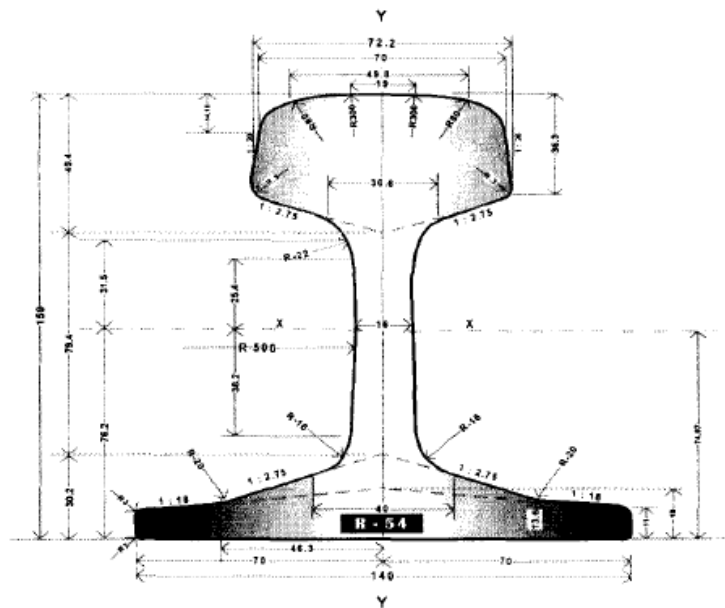
Menurut PT. Kereta Api Indonesia (Persero) rel di Indonesia menggunakan tipe rel R.54 (UIC) dengan panjang setiap relnya 25 m. Penampang rel harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti pada tabel berikut:



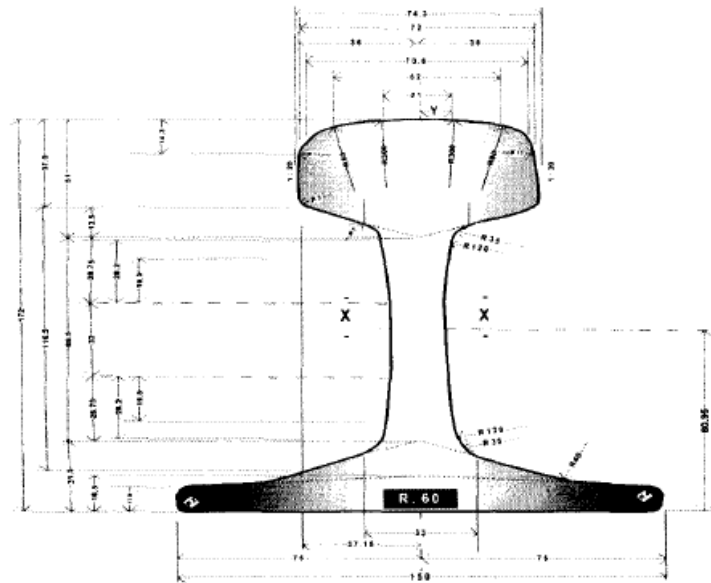
Gambar 2.21 Dimensi Penampang Rel R.42



Gambar 2.22 Dimensi Penampang Rel R.50



Gambar 2.23 Dimensi Penampang Rel R.54



Gambar 2.24 Dimensi Penampang Rel R.60

Tabel 2.3 Dimensi Penampang Rel (PM. No 60. Tahun 2012)

| Besaran Geometri Rel | Tipe Rel | | | |
|-----------------------------------|--|--------|--------|--------|
| | R 42 | R 50 | R 54 | R 60 |
| H (mm) | 138,00 | 153,00 | 159,00 | 172,00 |
| B (mm) | 110,00 | 127,00 | 140,00 | 150,00 |
| C (mm) | 68,50 | 65,00 | 70,00 | 74,30 |
| D (mm) | 13,50 | 15,00 | 16,00 | 16,50 |
| E (mm) | 40,50 | 49,00 | 49,40 | 51,00 |
| F (mm) | 23,50 | 30,00 | 30,20 | 31,50 |
| G (mm) | 72,00 | 76,00 | 74,79 | 80,95 |
| R (mm) | 320,00 | 500,00 | 508,00 | 120,00 |
| A (cm ²) | 54,26 | 64,20 | 69,34 | 76,86 |
| W (kg/m) | 42,59 | 50,40 | 54,43 | 60,34 |
| I _x (cm ⁴) | 1369 | 1960 | 2346 | 3055 |
| Y _b (mm) | 68,50 | 71,60 | 76,20 | 80,95 |
| A | = luas penampang | | | |
| W | = berat rel permeter | | | |
| I _x | = momen inersia terhadap sumbu x | | | |
| Y _b | = jarak tepi bawah rel ke garis netral | | | |

2. Bantalan

Adapun bantalan jalan rel mempunyai fungsi sebagai berikut:

- 1) Mendukung rel dan meneruskan beban dari rel ke Ballas dengan bidang sebaran. Mengikat dan memegang rel (dengan penambat rel), sehingga gerakan rel arah horizontal tegak lurus sumbu rel.

- 2) Memberikan stabilitas kedudukan rel didalam Ballas.
- 3) Menghindar kontak langsung antara rel dan air tanah.

Struktur pada rel kereta api terdapat Bantalan. Ada tiga macam jenis bantalan antara lain sebagai berikut:

a. Bantalan Baja

Dimensi bantalan baja pada jalur lurus untuk lebar sepur 2067 mm ialah: panjang 2000 mm, lebar atas 144 mm, lebar bawah 232 mm, tebal baja minimum 7 mm. Bantalan baja minimal harus mampu menahan momen sebesar 650 kg-m, baik pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rel. Tegangan ijin minimal bantalan baja adalah 1600 kg/cm² (Utomo, 2013). Adapun keunggulan dan kelemahan bantalan baja adalah sebagai berikut:

Keunggulan bantalan baja:

- a) Ringan dan mudah diangkut
- b) Tidak mudah lapu dan tidak diserang oleh binatang-binatang kecil.
- c) Elastisitas yang lebih besar sehingga retak-retak seperti yang terjadi dibantalan kayu dan bantalan beton dapat dihindari.
- d) Mudah dan relatif murah dalam pembuatannya'nilai sisa relatif lebih tinggi dibandingkan bantalan kayu.

Kelemahan bantalan baja:

- a) Dapat terkorosi dan mudah berkarat.
- b) Bersifat konduktor sehingga mudah menghantarkan listrik, tidak cocok untuk kereta listrik yang alirannya dibawah.



Gambar 2.25 Bantalan Baja (Zelin, 2018)

b. Bantalan Kayu

Bantalan kayu digunakan pada jalan rel di Indonesia karena selain mudah dibentuk bahannya mudah didapat. Agar supaya dapat memenuhi fungsinya maka bantalan kayu harus cukup keras sehingga mampu menahan tekanan, penambat rel yang dipasang pada bantalan tidak mudah lepas dan harus tahan lama (Utomo, 2013). Untuk itu maka bahan kayu yang digunakan selain harus kuat menahan beban yang bekerja padanya, juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Utuh dan padat (tidak terdapat mata kayu)
- b) Tidak ada lubang akibat binatang, ulat dll
- c) Tidak lapuk dan tidak pecah
- d) Jika terjadi pengawetan, maka pengawetannya harus merata.

Keunggulan bantalan kayu:

- a) Elastik baik, mampu meredam getaran, sentakan dan bisikan
- b) Mudah dibentuk sesuai ukuran yang dikehendaki
- c) Pergantian bantalan kayu mudah pergantiaanya

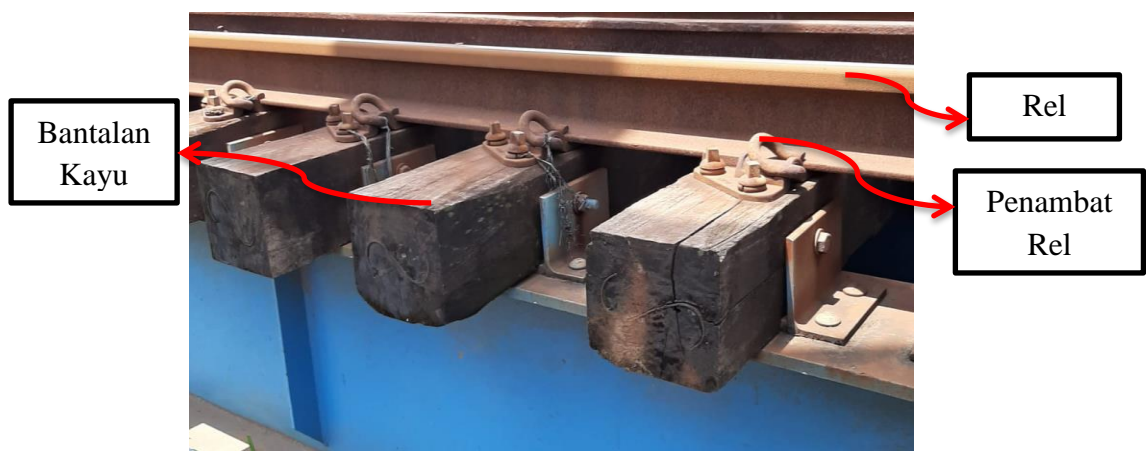
Kelemahan bantalan kayu:

- a) Mudah terbakar

- b) Mudah terjadi pelapukan
- c) Nilai sisa rendah (nilai jual setelah tidak dipakai).

Kerusakan pada bantalan rel Kereta api :

- a) Tekanan rel (beban dinamis)
- b) Penambat rel
- c) Pelapukan.



Gambar 2.26 Bantalan Kayu

c. Bantalan Beton

Bantalan beton, dibagi menjadi dua yaitu : Bantalan beton blok ganda (*bi-block*) dan bantalan beton blok tunggal (*monolithic/pretension*). Bantalan beton mempunyai berat 160 - 200 kg (Utomo, 2013). Adapun keunggulan dan kelemahan bantalan beton adalah sebagai berikut:

Pada bantalan beton mempunyai keunggulan, sebagai berikut :

- 1) Stabilitas baik, dapat menjaga lebar rel/sepur dengan baik
- 2) Umur konstruksi panjang, karena baru digunakan maka belum ada yang memberi umur pada bantalan beton.
- 3) Tidak dapat terbakar.
- 4) Pengendalian mutu bahan mudah dilaksanakan (laboratorium).
- 5) Bukan sebagai konduktor listrik, sehingga dapat digunakan pada rel yang elektrifikasi.

Adapun Kekurangan dari bantalan beton :

- 1) Kurang elastis dibanding bantalan kayu
- 2) Karena berat, maka sulit melakukan pemasangan manual
- 3) Kemungkinan kerusakan pada proses pengangkutan atau pengangkatan
- 4) Tidak meredam getaran dan kebisingan (perlu konstruksi tambahan untuk meredam)
- 5) Nilai sisa sangat kecil.



Gambar 2.27 Bantalan Beton

3. Ballast

Balast merupakan struktur pada jalan rel kereta api yang berupa batu pecah yang terletak di atas lapisan tanah dasar, dibawah bantalan dan rel (Utomo, 2013). Adapun fungsi dari ballast adalah:

- a. Meneruskan dan menyebarkan beban yang diterima dari bantalan ke dasar tanah
- b. Mencegah dan menahan bergesernya bantalan rel kereta api baik arah membujur maupun melintang. Bergesernya membujur akibat gaya rem, jejakan pada rel, kembang susut rel akibat suhu, dll. Untuk melintang akibat gaya-gaya lateral
- c. Mencegah genangan air disekitar bantalan rel
- d. Mendukung bantalan (distribusi gaya dinamis)

Lapisan balas pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar, dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih (Putra, 2017).

Tegangan (*Stress*) sendiri adalah gaya persatuan luas (Kurniawan, 2014). Besarnya tegangan (σ) adalah gaya yang bekerja pada benda (P) dibagi dengan luas penampang (A). Secara sederhana dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan,

σ = Tegangan (Mpa)

P = Beban atau gaya yang bekerja pada benda (N)

A = Luas penampang melintang benda (mm²)

Dibawah ini merupakan rumus untuk mencari tegangan yang terjadi dibawah dua bantalan:

$$x = \frac{b}{2 \times h} \times \tan \alpha \times P \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan,

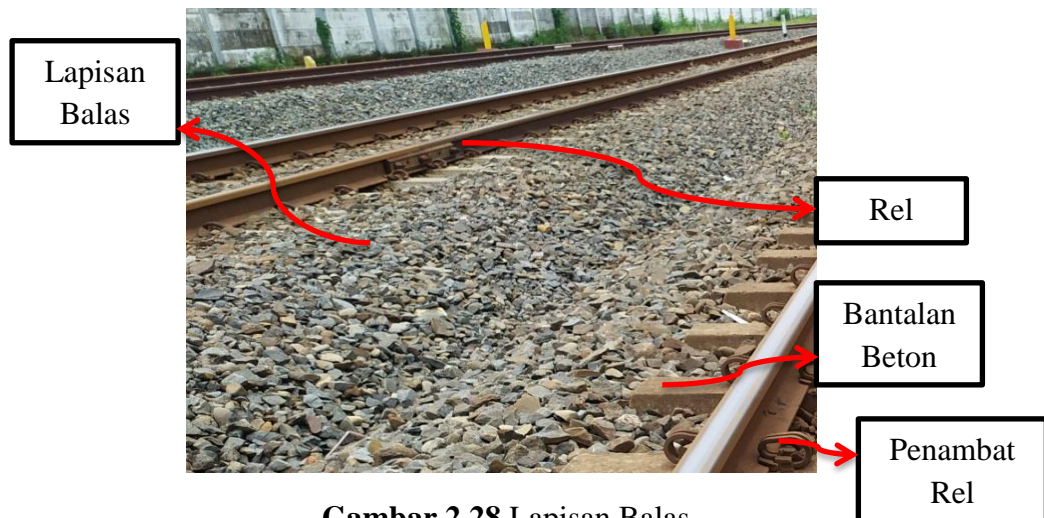
x = Tegangan yang terjadi (kg/cm²)

b = Lebar bantalan (cm)

h = Tebal balas rencana (cm)

α = Sudut penyebaran tekanan (batu pecah = 60°)

P = Tekanan gandar kereta api (kg)



Gambar 2.28 Lapisan Balas

Ballast terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan bawah dan lapisan atas.

1. Lapisan balas bawah

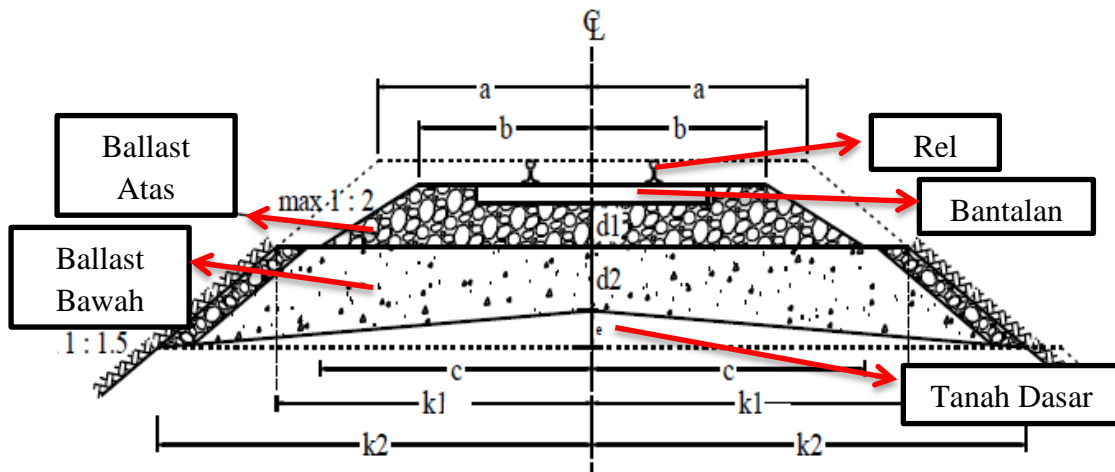
Bahan yang digunakan tidak sebaik balas atas, yang berfungsi sebagai filter antara tanah dasar dengan balas atas. Lapisan balas bawah menggunakan bahan kerikil sedang atau pasir kasar dengan ukuran 0,75-1 inch. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5 %.

2. Lapisan balas atas

Akan mengalami tegangan sangat besar dibandingkan balas bawah, material pembentuk balas atas harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Balas harus terdiri dari batu pecah (25 - 60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
- b. Material balas harus bersudut banyak dan tajam
- c. Porositas maksimum 3%
- d. Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm^2
- e. *Specific gravity* minimum 2,6
- f. Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%
- g. Kandungan minyak maksimum 0,2%
- h. Keausan balas sesuai dengan *test Los Angeles* tidak boleh lebih dari 25%

- i. Berat isi lebih dari 1400 kg/cm^2
- j. Ketahanan terhadap cuaca kurang dari 7%



Gambar 2.29 Potongan Penampang Melintang Jalan Rel (PM. No 60. Tahun 2012)

4. Penambat Rel

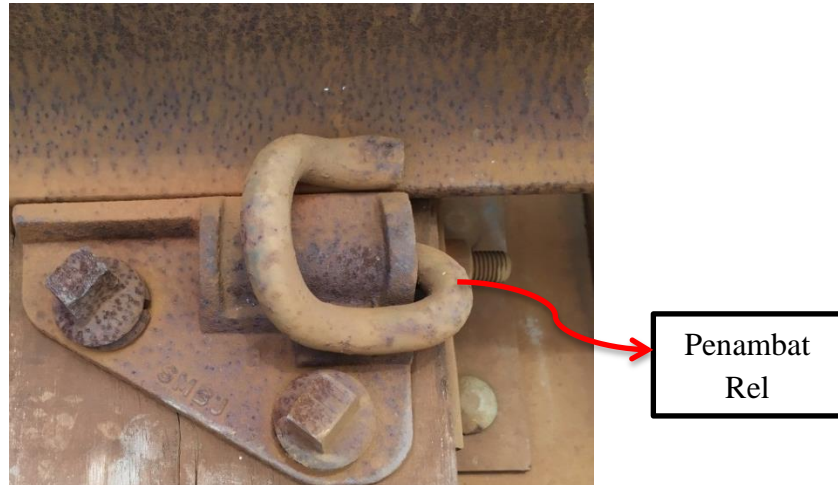
Penambat yang digunakan adalah alat penambat jenis elastis yang terdiri dari sistem elastis tunggal dan sistem elastis ganda. Pada bantalan beton terdiri dari *Shoulder/insert, clip, insulator* dan *rail pad*. Pada bantalan kayu dan baja terdiri dari pelat landas, *clip*, tirpon/baut dan cincin per. Penambat harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Harus mampu menjaga kedudukan kedua rel agar tetap dan kokoh berada diatas bantalan.
- b. Clip harus mempunyai gaya jepit 900-1100 kgf
- c. Pelat landas harus mampu memikul beban yang ada dengan ukuran sesuai jenis rel yang digunakan. Pelat landas terbuat dari baja dengan komposisi kimia sebagai berikut:

| | |
|---------------------------|----------------|
| Carbon (c) | : 0,15 - 0,30% |
| Silicon (s _i) | : 0,35% max |
| Manganese (Mg) | : 0,40 – 0,80% |
| Phospor (P) | : 0,050% max |

Sulphur (S) : 0,05%

- d. Alas rel (*rail pad*) dapat terbuat dari bahan *High Density Poly Ethylene* (HDPE) dan karet (*Rubber*) atau *Poly Urethane* (PU).



Gambar 2.30 Jenis Penambat *Clip* Yang Digunakan

2.5 Beban Kereta Api

Beban kereta api di asumsikan sebagai beban merata yang terpusat pada roda-roda kereta. Beban akibat kereta di distribusikan melalui besi rel untuk di teruskan ke bantalan (*sleeper*) melalui *railpad* yang elastis sehingga mempertahankan bentuk rel pada keadaan semula. Beban getaran dari bantalan di teruskan ke ballast yang berfungsi sebagai peredam getaran sehingga beban getaran yang mengenai tanah dasar tidak terlalu besar. Beban kereta api yang di tinjau adalah beban kereta yang melintasi lokasi penelitian yang di dapat dengan menghitung jumlah rangkaian kereta yang melintas.

1) Beban Lokomotif

Lokomotif yang sekarang digunakan PT. Kereta Api (persero) ialah lokomotif dengan ditumpu dua bogie. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, beban gandar untuk lebar jalur 1067 mm adalah maksimum 18 ton. Beban lokomotif kereta bergantung pada tipe lokomotif yang di gunakan pada kereta. Untuk kereta dengan tipe lokomotif CC 206 memiliki berat kosong sebesar 90 ton. Untuk kereta

dengan tipe lokomotif BB memiliki berat kosong sebesar 54 ton.

2) Beban Kereta

Beban kereta di gunakan untuk kereta penumpang. Satu gerbong kereta beserta penumpangnya memiliki berat maksimum 40 ton dengan asumsi berat satu penumpang 100 kg dan barang bawaan maksimum 40 kg (PT. KAI (Persero)). Gerbong kereta di tumpu oleh dua bogie. Tiap bogie di tumpu dua gandar dan tiap gandar terdiri dari dua roda.

3) Beban Gerbong

Beban gerbong di gunakan untuk angkutan barang. Menurut PT KAI (Persero) berat muatan satu gerbong maksimum sebesar 54 ton untuk gerbong datar dan 50 ton untuk gerbong terbuka maupun tertutup.

2.6 Gaya-Gaya yang Ditimbulkan Kereta Api saat Melintas

1. Gaya Vertikal

Gaya vertikal berasal dari berat kereta api dan merupakan beban yang paling besar yang diterima struktur jalan rel, terjadi akibat adanya beban kereta saat melintas. Gaya ini menyebabkan defleksi vertikal. Menurut PT. KAI Lokomotif pada kereta berjenis CC-206 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

| | |
|--------------------|------------|
| Berat (W) | = 90 Ton |
| Jarak antar gandar | = 8,687 mm |
| Tinggi | = 3695 mm |
| Lebar | = 2743 mm |
| Panjang | = 15849 mm |

Sehingga dapat dihitung:

- a) Ditumpu oleh 2 bogie yang masing-masing terdiri dari 3 gandar dan masing-masing gandar terdiri dari 2 roda.

| | |
|------------------------|------------------------|
| Berat lokomotif (Wlok) | = 90 Ton |
| Gaya kepada bogie (Pb) | = $W_{lok}/2 = 45$ Ton |
| Gaya gandar (Pg) | = $Pb/3 = 15$ Ton |
| Gaya roda statis (Ps) | = $Pg/2 = 7,5$ Ton |

- b) Faktor dinamis (I_p) dan beban dinamis (P_d). Jika menggunakan lokomotif CC-206 dengan V_{maks} 140 km/jam, maka:

$$V_{renc} = 1,25 \times V_{maks} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$I_p = 1 + 0,01 \times \left(\frac{v_{renc}}{1,609} - 5 \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$P_d = P_s \times I_p \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan,

V_{renc} = kecepatan rencana (km/jam)

I_p = faktor dinamis

P_d = gaya dinamis (Ton)

P_s = gaya statis (Ton)

2. Gaya transversal (lateral)

Gaya transversal pada rel disebabkan oleh gaya angin, goyangan kereta api dan gaya sentrifugal saat kereta api melintasi tikungan (Putra, 2017). Gaya ini disebabkan adanya gaya sentrifugal, ‘snake motion’, dan ketidakrataan geometrik jalan rel, bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal di rel. Gaya ini menyebabkan tercabutnya ‘teppon’ dan geseran pelat landas (base plate) pada bantalan kayu, sehingga dapat mengubah geometrik jalan rel, dan pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan loncatnya roda ke luar rel (Nugroho, 2011).

3. Gaya Longitudinal

Gaya ini disebabkan oleh perubahan suhu pada rel (‘thermal stress’), gaya ini sangat memegang peranan penting. Gaya ini adalah akibat gesekan roda kereta api dengan kepala rel yang terjadi saat pengereman (Nugroho, 2011).

BAB III

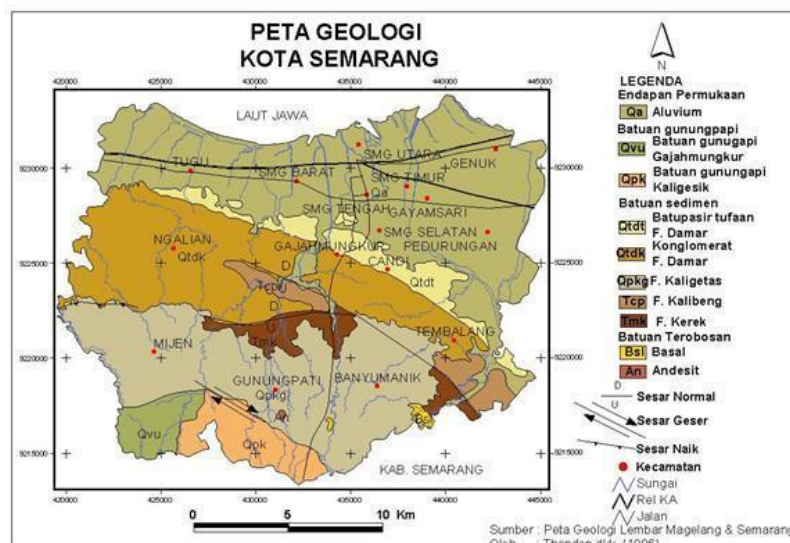
METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Geografis Kota Semarang

Kota Semarang merupakan Ibukota Provinsi Jawa Tengah, berada pada pelintasan Jalur Jalan Utara Pulau Jawa yang menghubungkan Kota Surabaya dan Jakarta. Secara geografis, terletak diantara $109^{\circ} 35' - 110^{\circ} 50'$ Bujur Timur dan $6^{\circ} 50' - 7^{\circ} 10'$ Lintang Selatan. Dengan luas $373,70 \text{ KM}^2$, Kota Semarang memiliki batas-batas wilayah administrasi sebagai berikut :

- Sebelah utara : Laut Jawa
- Sebelah Selatan : Kabupaten Semarang
- Sebelah Timur : Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan
- Sebelah Barat : Kabupaten Kendal

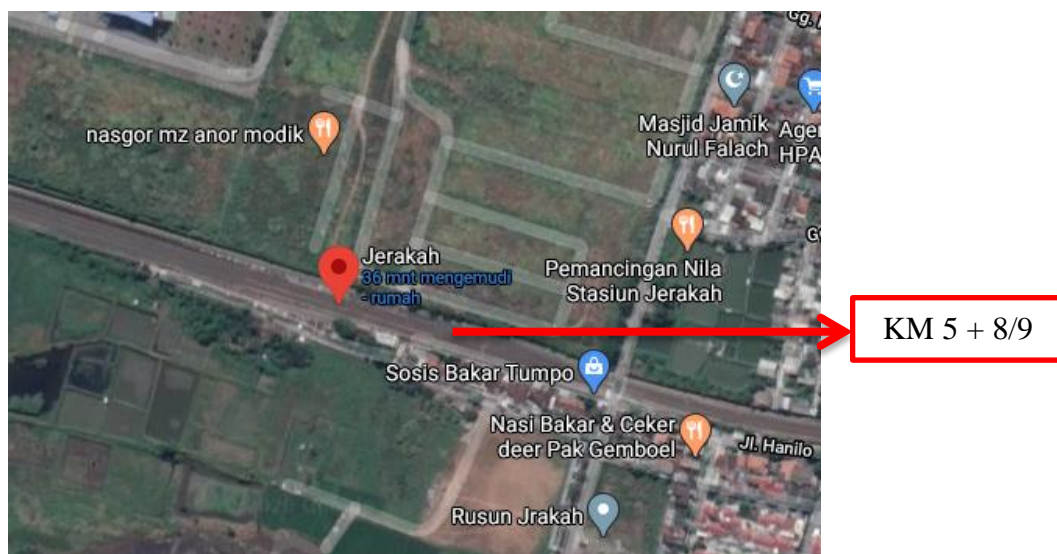
Secara topografi terdiri atas daerah pantai, dataran rendah dan perbukitan. Daerah pantai merupakan kawasan di bagian Utara yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa dengan kemiringan antara 0% sampai 2%, daerah dataran rendah merupakan kawasan di bagian Tengah, dengan kemiringan antara 2 – 15 %, daerah perbukitan merupakan kawasan di bagian Selatan dengan kemiringan antara 15 – 40% dan beberapa kawasan dengan kemiringan diatas 40% (>40%).



Gambar 3.1 Peta Geologi Kota Semarang

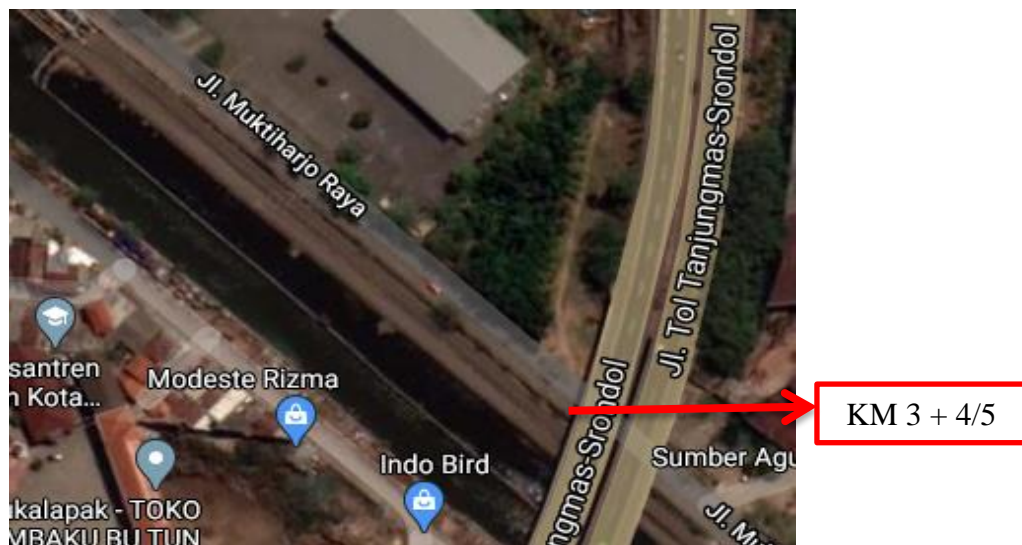
3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi yang pertama terletak di Stasiun Jerakah di jalur pelintasan Semarang-Jakarta titik KM 5+8/9 ($6^{\circ}58'50''S$ $110^{\circ}21'46''E$). Daerah ini terletak pada wilayah datar dengan kelandaian 0 - 2 %. Kondisi geografis lokasi penelitian ini yaitu sebelah utara dekat dengan garis pantai dan sebelah barat merupakan Kawasan Industri. Stasiun Jerakah merupakan stasiun kelas 2. Pada lokasi penelitian ini jarang terjadi banjir karena masih banyak daerah resapan.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian 1

Lokasi yang kedua terletak di Jalan Mukti Harjo Raya yaitu jalur perlintasan Semarang-Surabaya di titik KM 3+4/5 ($6^{\circ}57'46''S$ $110^{\circ}27'04''E$) daerah ini terletak pada wilayah datar dengan kelandaian 0 - 2%. Kondisi geografis dari lokasi penelitian ini yaitu sebelah utara merupakan daerah hulu kota semarang yang dekat dengan garis pantai. Jalur perlintasan kereta api ini terletak pada wilayah padat penduduk. Jalur kereta api ini melewati sungai besar yaitu sungai. Pada lokasi penelitian ini masih sering terjadi banjir akibat banjir rob karena terletak dekat dengan jalur pantai.



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian 2

3.3 Survey dan perizinan

Tahap pertama yang dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah survey lokasi yang akan digunakan untuk penelitian. Survey ini bertujuan untuk melihat kondisi perlintasan jalan rel yang akan diteliti, setelah dilakukan survey selanjutnya ke tahap berikutnya yaitu perizinan. Perizinan penelitian ditujukan pada PT. Kereta Api Indonesia tepatnya ke PT KAI DAOP 4 Semarang. Perizinan ini sangat perlu untuk dilakukan supaya kegiatan selama penelitian dapat berjalan dengan lancar dan tidak ada kendala.

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah:

1. Sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* yang akan di gunakan untuk mendeteksi getaran akibat kereta api yang melintasi rel.





Gambar 3.4 Sensor *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*

2. Laptop digunakan untuk memonitoring data hasil getaran yang diperoleh dari alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*.
3. *Speed gun* digunakan untuk mendeteksi kecepatan kereta api yang melintas.



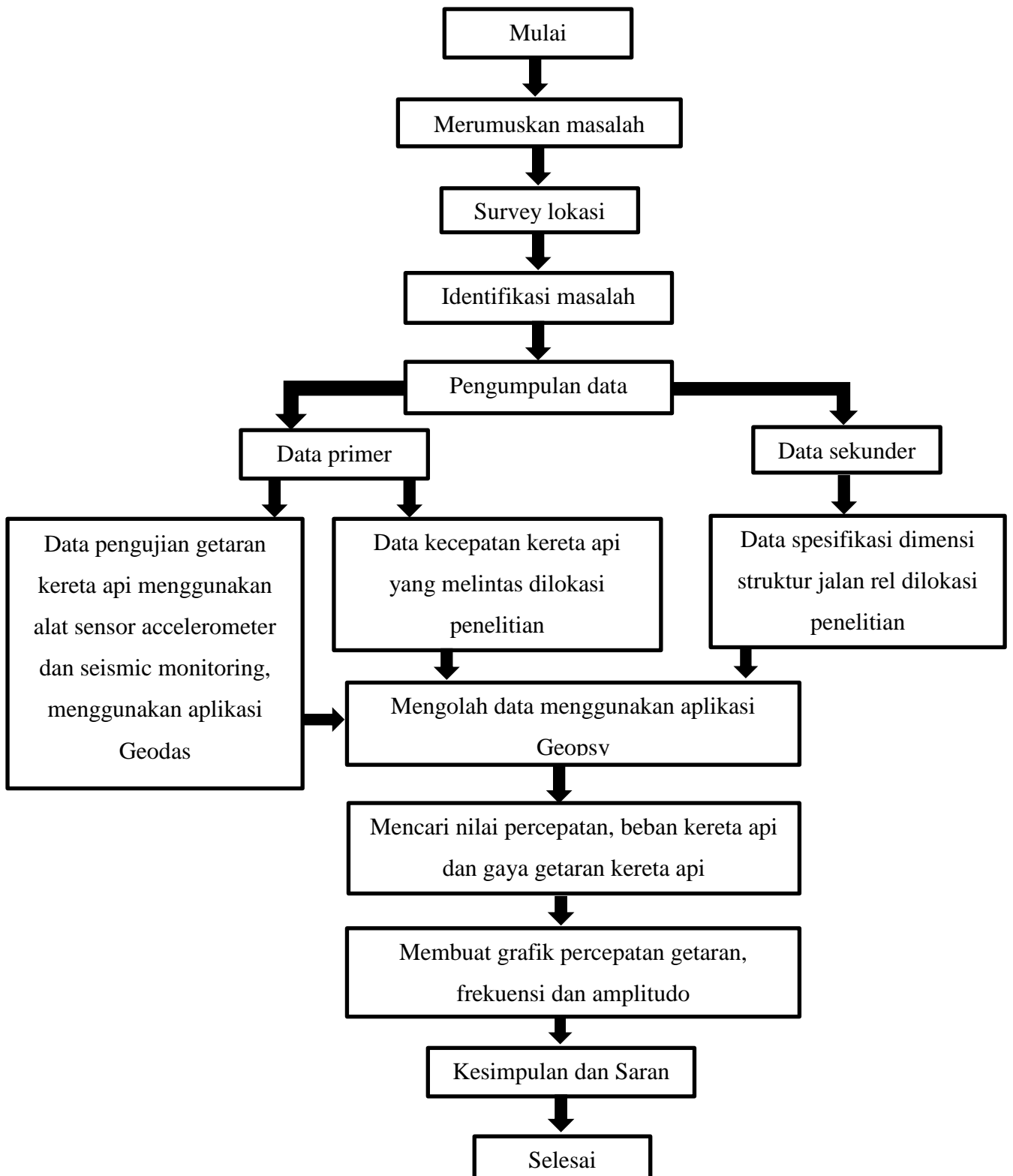
Gambar 3.5 *Speedgun*

4. Meteran digunakan untuk mengukur dimensi jalan rel.



Gambar 3.6 Pengukuran Dimensi Rel

3.5 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.7 Flow Chart Penelitian

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode Pengumpulan Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Metode Penelitian dan Observasi

Metode penelitian dan observasi dilakukan dengan cara pengamatan langsung melalui penelitian terhadap media utama dalam penelitian ini.

2) Metode Interview

Metode interview yaitu metode yang digunakan dengan cara melakukan wawancara dengan pihak yang menguasai permasalahan yang ada.

3) Metode Literatur

Metode literatur merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis dan metode kerja yang digunakan.

Dalam pengumpulan data terkait dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan dua tahap, yaitu berupa data primer dan data sekunder.

A. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil atau diamati langsung terhadap suatu objek. Dalam penelitian ini yang termasuk data primer adalah:

1. Data percepatan getaran

Data percepatan getaran akibat beban kereta api yang melintas diperoleh dari alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* yang dipasang dilokasi penelitian. Penelitian ini dilakukan di dua tempat yang berbeda guna untuk mengetahui perbedaan percepatan getaran, karena perbedaan kecepatan kereta api saat melintasi jalan rel. Beberapa langkah-langkah.

a) *Alat seismic monitoring*

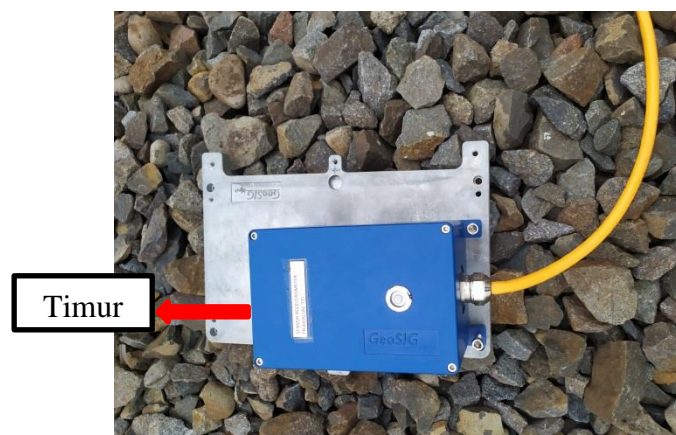
Langkah-langkah:

- 1) Siapkan alat terlebih dahulu di lokasi penelitian, sebelum itu kondisi batrai alat dan laptop di haruskan penuh terlebih dahulu.



Gambar 3.8 Proses Menyiapkan Alat

- 2) Kemudian letakkan alat sensor di ballast rel kereta api, sebelum itu konfirmasi ke bagian pengawas, kereta yang lewat bagian hulu atau hilir.
- 3) Pastikan arah x pada sensor menghadap ke arah timur.



Gambar 3.9 Meletakkan Alat Sensor Di Ballast dan Pastikan Posisi Sensor Ke Arah Timur

- 4) Selanjutnya siapkan *recorder* untuk di hubungkan ke laptop. Kemudian nyalakan laptop dan sambungkan beberapa kabel ke *recorder* dan ke laptop untuk memperoleh data percepatan getaran.



Gambar 3.10 Menghubungkan *Recorder* Ke Laptop

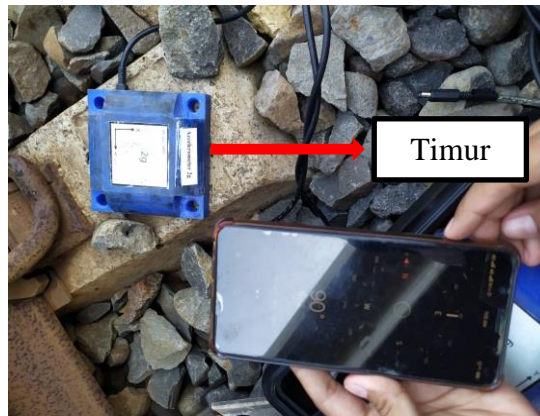
- 5) Setelah alat sudah terhubung semua, buka *software Geodas* dan pastikan stasiun untuk arah X Y Z terpasang normal (berlogo tanda panah dan berwarna biru apabila sudah terkoneksi) untuk merekam dan menampilkan getarannya.
- 6) Data getaran otomatis akan tersimpan.
- b) *Sensor Accelerometer*

Langkah-langkah:

- 1) Siapkan alat terlebih dahulu di lokasi penelitian dan pastikan alat dalam kondisi baik.
- 2) Letakkan sensor *accelerometer* di *ballast* di samping alat *seismic monitoring*. Pastikan arah x pada sensor menghadap ke arah timur.



Gambar 3.11 Menyiapkan Alat Sensor *Accelerometer*



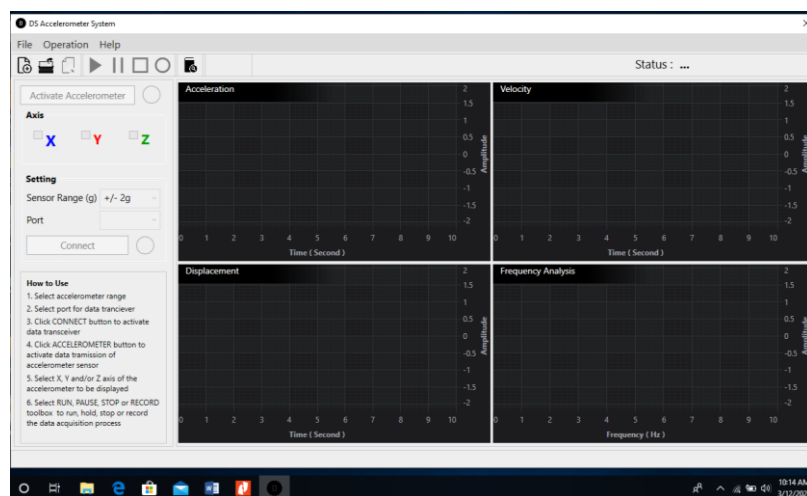
Gambar 3.12 Pastikan Posisi Sensor *Accelerometer* Ke Arah Timur

- 3) Selanjutnya hubungkan sensor dengan alat penghubung dan sambungkan ke laptop.



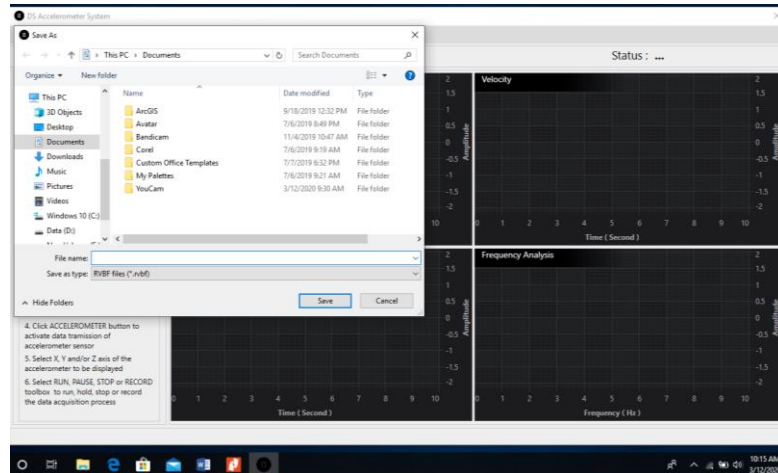
Gambar 3.13 Menghubungkan *Recorder* Ke Laptop

- 4) Setelah semua kabel terhubung, buka aplikasi DsACC pada laptop,



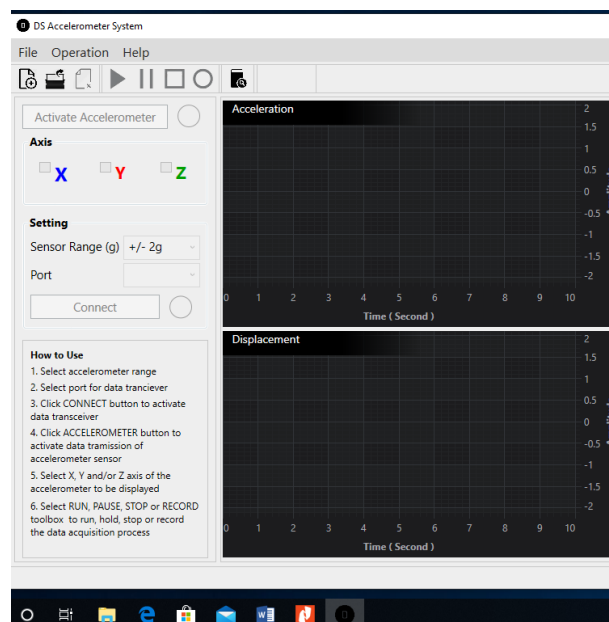
Gambar 3.14 Tampilan Aplikasi DsACC

- 5) Pilih menu add data pada toolbar, simpan file penelitian di memory card.



Gambar 3.15 Pemilihan Data Getaran Alat Sensor Accelerometer

- 6) pastikan *activate accelerometer* di aktifkan terlebih dahulu, centang tombol X, Y dan Z, Selanjutnya setting port dan jenis sensor yang digunakan lalu klik *CONNECT*,
- 7) Pada saat getaran mulai dirasakan, Klik Record pada toolbar.



Gambar 3.16 Menu Setting Alat Sensor Accelerometer

- 8) Setelah getaran kembali normal, klik Stop pada toolbar. Lalu close software DsACC.

9) Data otomatis akan tersimpan.

10) Untuk mendapat variasi nilai percepatan getaran dan pengaruh perletakan, di lakukan penelitian dengan menempatkan sensor di lokasi penelitian yang berbeda.

2. Data kecepatan kereta

Pengambilan data kecepatan dilakukan dengan cara manual yaitu dengan cara menghitung kecepatan kereta api saat melintas, dengan menggunakan alat *speed gun* dan dengan cara di video. Data kecepatan kereta api sendiri sangat berpengaruh pada percepatan dan frekuensi getaran.

3. Data beban kereta api

Beban kereta api yang di tinjau adalah beban kereta yang melintasi lokasi penelitian yang di dapat dengan menghitung jumlah rangkaian kereta yang melintas.

a) Beban Lokomotif

Lokomotif yang sekarang digunakan PT. Kereta Api (persero) ialah lokomotif dengan ditumpu dua bogie. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, beban gandar untuk lebar jalur 1067 mm adalah maksimum 18 ton. Beban lokomotif kereta bergantung pada tipe lokomotif yang di gunakan pada kereta. Untuk kereta dengan tipe lokomotif CC 206 memiliki berat kosong sebesar 90 ton. Untuk kereta dengan tipe lokomotif BB memiliki berat kosong sebesar 54 ton.

b) Beban Kereta

Beban kereta di gunakan untuk kereta penumpang. Satu gerbong kereta beserta penumpangnya memiliki berat maksimum 40 ton dengan asumsi berat satu penumpang 100 kg dan barang bawaan maksimum 40 kg (PT. KAI (Persero)). Gerbong kereta di tumpu oleh dua bogie. Tiap bogie di tumpu dua gandar dan tiap gandar terdiri dari dua roda.

c) Beban Gerbong

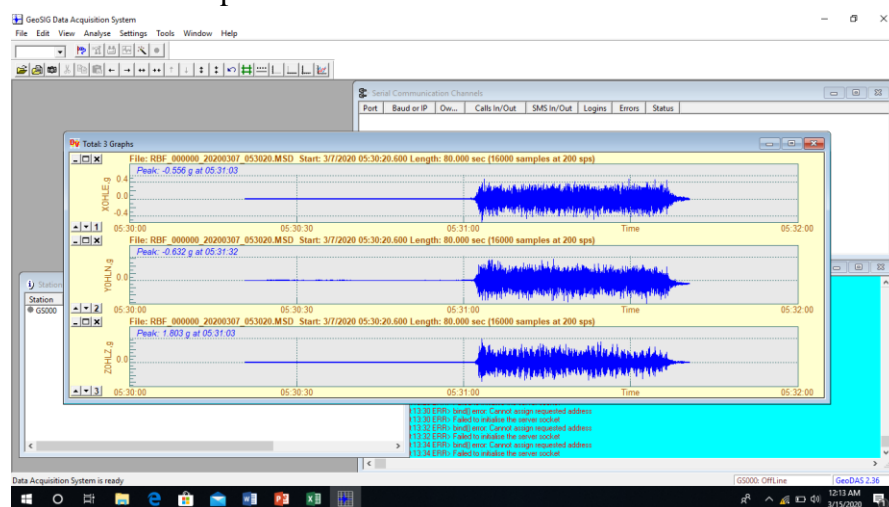
Beban gerbong di gunakan untuk angkutan barang. Menurut PT KAI (Persero) berat muatan satu gerbong maksimum sebesar 54 ton untuk gerbong datar dan 50 ton untuk gerbong terbuka maupun tertutup.

4. Pengolahan data

Setelah mendapatkan data penelitian berupa percepatan getaran, kecepatan dan beban kereta, selanjutnya data di olah menggunakan aplikasi *GeoDAS* dan *Geopsy*.

1) *Software GeoDAS*

Pada saat penelitian alat *seismic monitoring* di hubungkan dengan laptop yang sudah terinstal aplikasi *GeoDAS*. Data yang sudah terekam otomatis akan tersimpan.



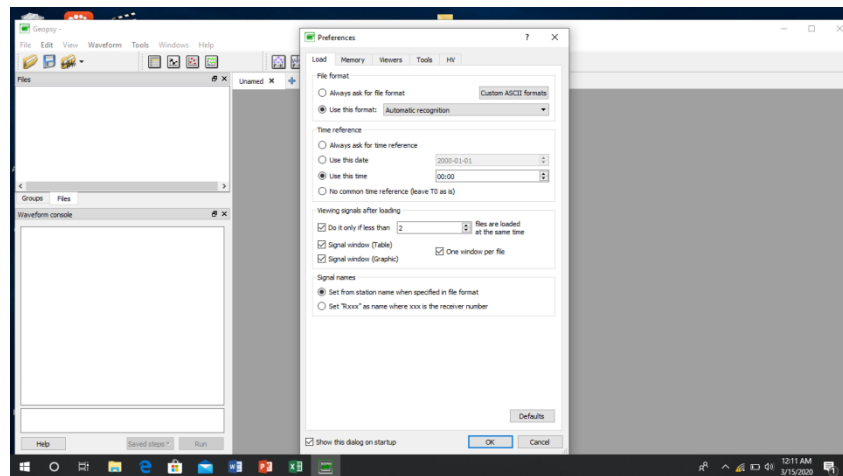
Gambar 3.17 Tampilan Grafik Getaran di Aplikasi *Geodas*

Data mikrotemor pada software *GeoDas* kemudian di ubah ke format ASCII agar bisa di olah menggunakan software *Geopsy*.

2) *Software Geopsy*

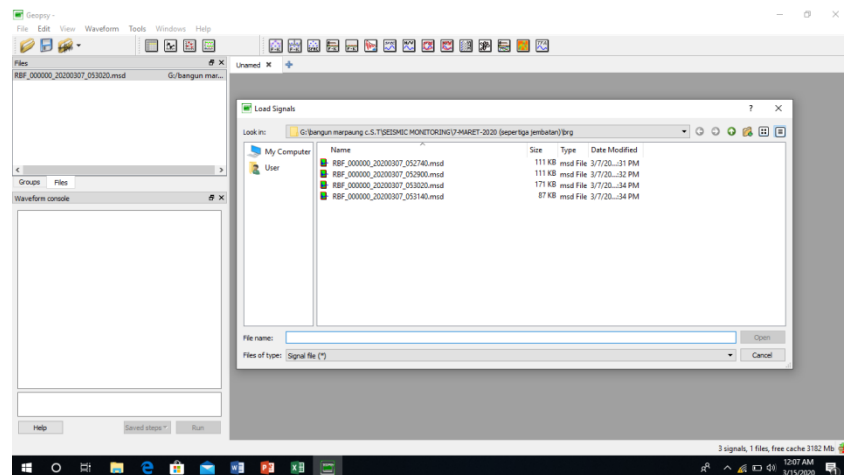
Setelah mendapatkan data percepatan dari alat *seismic monitoring*, data kemudian di olah menggunakan *software Geopsy* untuk mendapatkan data frekuensi (f) dan amplitudo (A). Adapun langkah-langkahnya antara lain:

- a) Membuka aplikasi *Geopsy*, klik ok pada kotak preferences



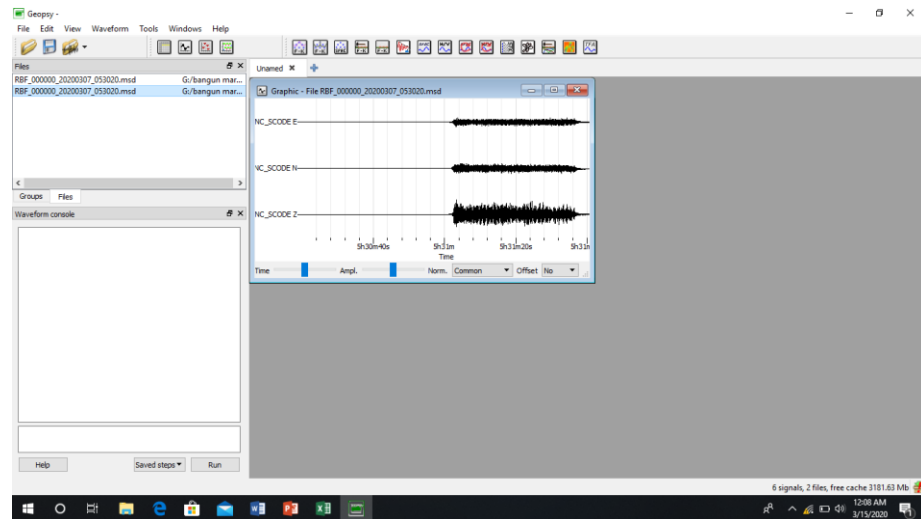
Gambar 3.18 Tampilan aplikasi *Geopsy*

- b) Kemudian klik file - import signal - dan pilih data mikrotremor sesuaikan dengan jenis kereta api saat melintas, lalu klik open.



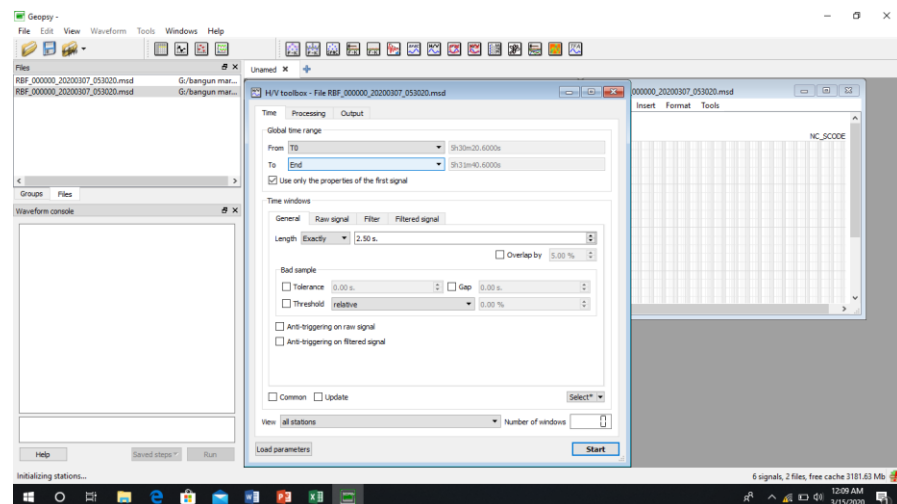
Gambar 3.19 Tampilan Input data Getaran di aplikasi *Geopsy* (.msd)

- c) Setelah itu akan muncul grafik percepatan getaran dengan tiga buah sinyal arah x, y dan z.



Gambar 3.20 Grafik Percepatan Getaran dengan Tiga Buah Sinyal Arah x, y dan z.

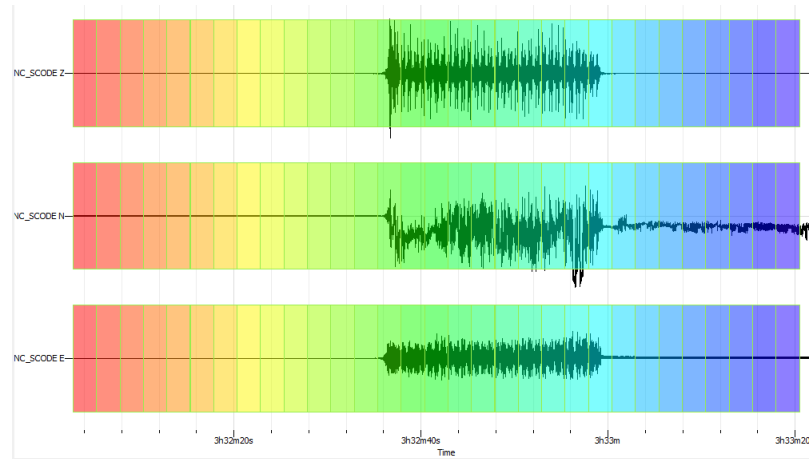
- d) Kemudian pilih kotak H/V pada menu *toolbar*, maka akan muncul *toolbox* H/V.



Gambar 3.21 Tampilan Menu *Toolbox* H/V

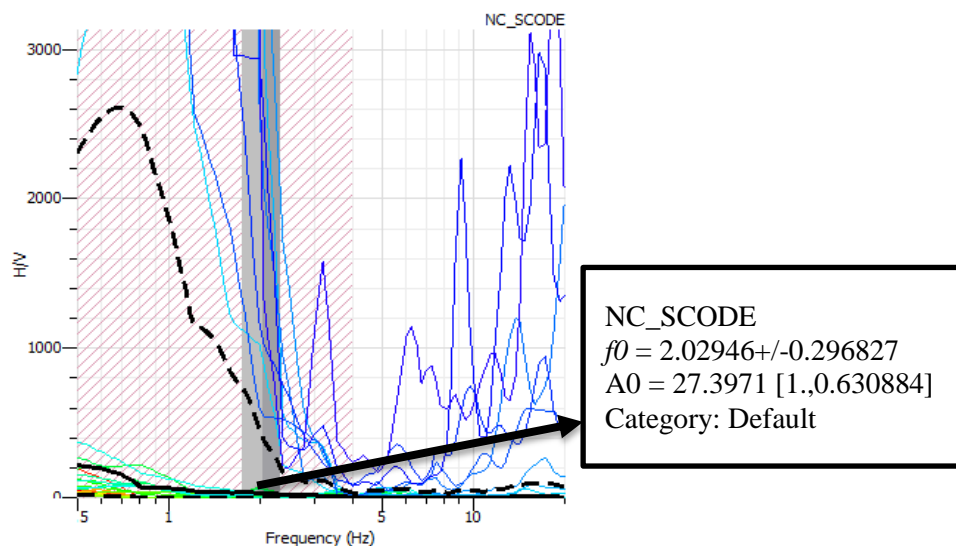
Pada *toolbox* H/V terdapat beberapa pilihan yaitu Time, Processing, dan Output. Pada menu Time pilih pengaturan length windows 2,5 s dan pilih Auto supaya dalam pemilihan sinyal tanpa noise bisa secara otomatis terpilih. Kemudian jumlah sinyal yang terpilih dapat di lihat pada Number of Windows. Untuk menu Processing pilih Smoothing type Konno & Ohmachi. Untuk menu

Output atur Frequency sampling 0,5 Hz sampai 20,00 Hz dengan number of samples 100.



Gambar 3.22 Tampilan Setelah Pemilihan Sinyal

- e) Setelah selesai klik star pada toolbox H/V, maka akan muncul grafik H/V. Dari grafik H/V tersebut akan mendapatkan nilai frekuensi natural (f_0) dan nilai amplitudonya (A_0).



Gambar 3.23 Tampilan Grafik H/V

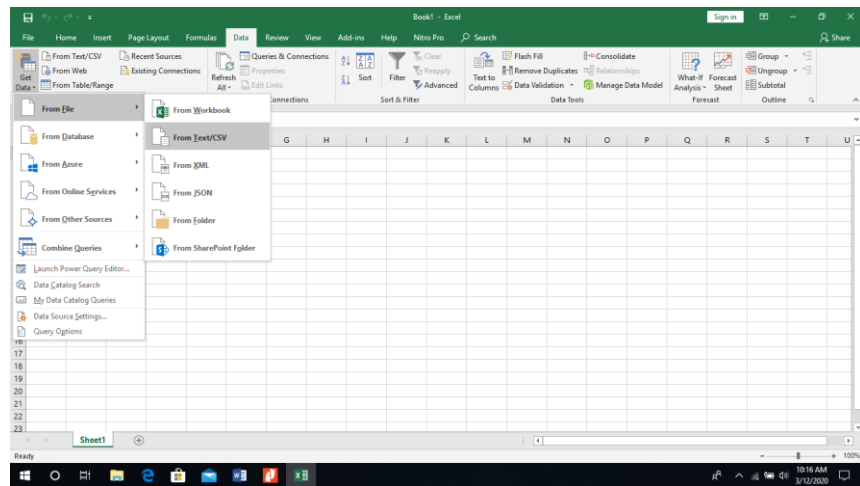
- f) Untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudonya dalam bentuk tabel, maka klik kanan pada grafik H/V kemudian pilih Propertiese-Action- dan pilih save.

g) Selanjutnya buka Ms. Excel dan pilih file tersimpan pada point f.

3) Data sesnsor *accelorometer*

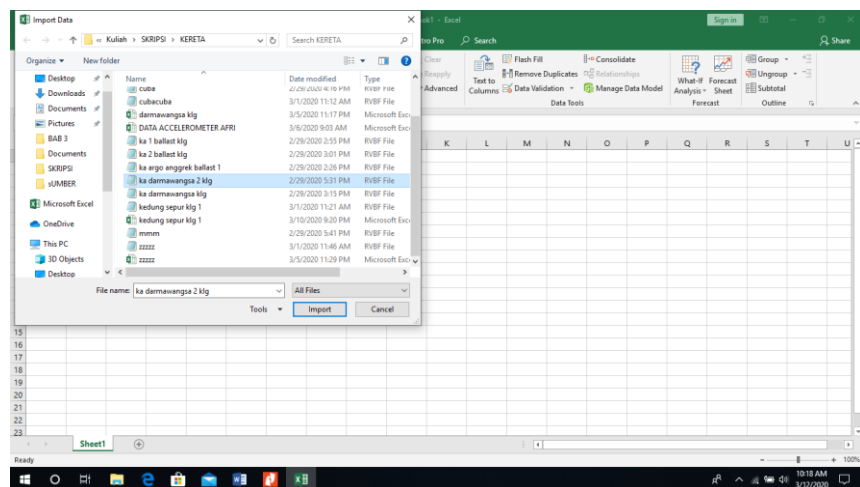
Setelah mendapatkan data percepatan dari alat sesnsor *accelorometer*, data kemudian di olah menggunakan aplilaksi Ms. Excel untuk mendapatkan data percepatan. Adapun langkah-langkahnya antara lain:

- a) Buka aplikasi Ms. Excel
- b) Kemudian klik data pada menu toolbox - gate data - from Text/CSV.



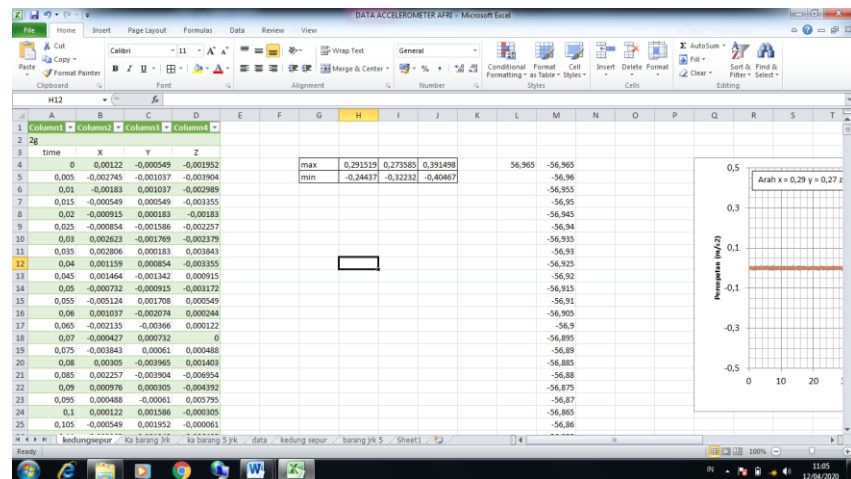
Gambar 3.24 Tampilan Ms. Exel

- c) pilih data mikrotremor sesuaikan dengan jenis kereta api saat melintas, pilih import.



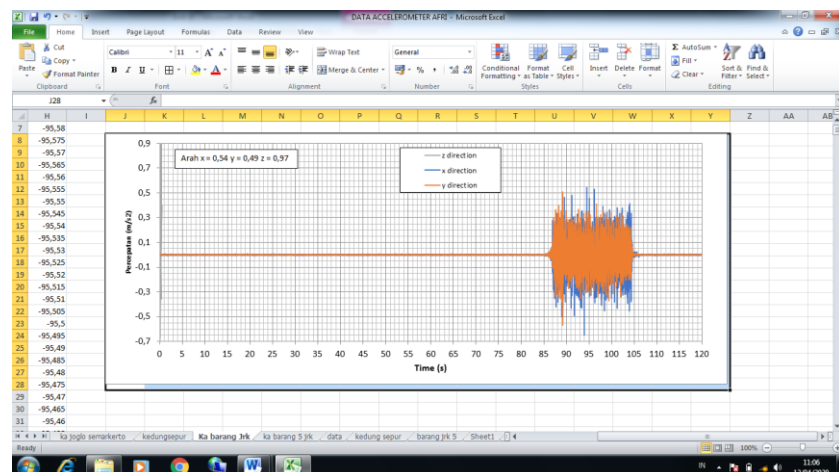
Gambar 3.25 Import Data Accelerometer

- d) Setelah itu akan muncul data percepatan getaran dengan tiga buah sinyal arah x, y dan z.



Gambar 3.26 Data Percepatan Getaran Dengan Tiga Buah Sinyal Arah x, y dan z.

- e) Ubah time pada data percepatan supaya waktunya di mulai dari 0.
 f) kemudian pilih menu insert pada toolbox, klik chart-pilih scatter untuk membuat grafik percepatan, klik kanan pada grafik, pilih select data- lalu klik add data, input data percepatan dari time, lalu pilih data percepatan arah x, lakukan hal yang sama pada arah y dan z.



Gambar 3.27 Grafik Percepatan Getaran

- g) Setelah grafik terbentuk, cari data maksimum dan minimum percepatan getaran yang terjadi pada arah x, y dan z.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan secara rinci mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini menganalisis percepatan getaran kereta api menggunakan alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* yang dilakukan di jalur Semarang – Jakarta di Jl. Stasiun Jerakah di titik KM 5 + 8/9 dan di jalur kereta api Semarang - Surabaya di Jl. Muktiharjo Raya di titik KM 3 + 4/5 Kaligawe, Kota Semarang, Jawa Tengah.

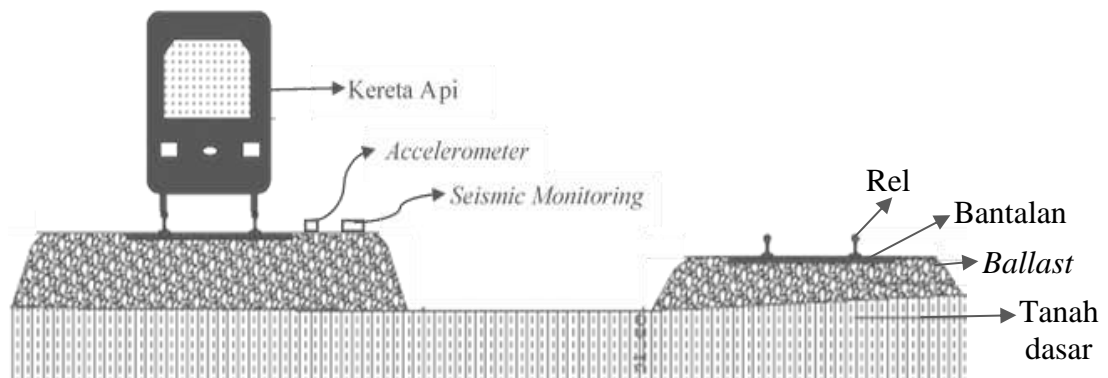


(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Lokasi Penelitian di Jerakah (b) Lokasi Penelitian di Kaligawe



Gambar 4.2 Lokasi Perletakan Sensor

4.1 Data Spesifikasi Rel

Berdasarkan data spesifikasi teknis komponen rel dari PT. Kereta Api Indonesia (Persero) didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Spesifikasi Struktur Rel (PT. KAI (Persero))

| No | Komponen | Keterangan | |
|----|----------|---|--|
| | | Struktur Rel Pada KM 3+4/5 | Struktur Rel Pada KM 5+8/9 |
| 1 | Rel | Rel di Indonesia menggunakan tipe rel R.54 (UIC54) dengan panjang setiap relnya 25 m dan lebar 1067 mm. | Rel di Indonesia menggunakan tipe rel R.54 (UIC54) dengan panjang setiap relnya 25 m dan lebar 1067 mm. |
| 2 | Bantalan | Bantalan yang di gunakan pada rel di lokasi penelitian adalah bantalan beton dengan lebar 14 cm | Bantalan yang di gunakan pada rel di lokasi penelitian adalah bantalan beton dengan lebar 15 cm |
| 3 | Penambat | Penambat yang di gunakan adalah penambat E-clip. | Penambat yang di gunakan adalah penambat E-clip.dan D-clip |
| 4 | Ballast | <i>Ballast</i> pada lokasi penelitian terbuat dari batu kricak dengan ketebalan antara 29-59 cm dengan lebar ballast ke ujung bantalan adalah 94-154 cm | <i>Ballast</i> pada lokasi penelitian terbuat dari batu kricak dengan ketebalan antara 29-59 cm dengan lebar ballast ke ujung bantalan adalah 124 cm |



Gambar 4.3 Pengukuran Dimensi Rel



Gambar 4.4 Pengukuran Dimensi Bantalan



Gambar 4.5 Pengukuran Dimensi *Ballast*

4.2 Data Beban Dinamis Kereta dan Gaya Yang Bekerja Pada Rel

1. Data beban kereta

Data beban kereta api yang di tinjau adalah beban kereta yang melintasi lokasi penelitian yang di dapat dengan menghitung jumlah rangkaian kereta yang melintas. Beban kereta api dihitung dengan menjumlahkan beban gandar, beban lokomotif, dan beban gerbong. Beban gandar maksimal menurut Peraturan Dinas No 60 ialah 18 ton, beban lokomotif sebesar 90 ton dan beban gerbong untuk kereta barang maksimum 54 ton dan beban gerbong untuk kereta penumpang termasuk penumpangnya maksimal sebesar 40 ton.

Pada penelitian ini didapat 2 kereta barang yang melintasi titik sensor di Stasiun Jerakah. Beban pada kereta bervariasi tergantung jenis dan jumlah rangkaian kereta. Adapun data beban kereta yang melintas adalah sebagai berikut:

a. Kereta Barang 1

Kereta barang 1 memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif, 28 gerbong penuh dan 2 gerbong kosong.

$$\begin{aligned}\text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (27 \times (54 + 18)) + (2 \times 18) \\ &= 2070 \text{ ton}\end{aligned}$$

b. Kereta Barang 2

Kereta barang 2 memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif, 2 gerbong penuh dan 13 gerbong kosong

$$\begin{aligned}\text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (2 \times (54 + 18)) + (13 \times 18) \\ &= 468 \text{ ton}\end{aligned}$$

Sedangkan di Jl Muktiharjo Kaligawe terdapat 2 kereta penumpang yang melintasi titik sensor. Adapun data beban kereta yang melintas adalah sebagai berikut:

a. Joglosemarkerto

Kereta joglosemarkerto memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif, 12 gerbong penumpang

$$\begin{aligned}\text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (12 \times (40 + 18)) \\ &= 786 \text{ ton}\end{aligned}$$

b. Kedungsepur

Kereta kedungsepur memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif, 3 gerbong penumpang

$$\begin{aligned}\text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (3 \times (40 + 18)) \\ &= 264 \text{ ton}\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Data Beban Kereta Api Yang Melintasi di Lokasi Penelitian

| Nama Kereta | Lokasi Penelitian | Keterangan | Beban (Ton) |
|----------------------------------|-------------------|---|-------------|
| Kereta Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 1 Lokomotif, 27 Gerbong isi, 2 Gerbong Kosong | 2268 |
| Kereta Barang 2 | | 2 Lokomotif, 2 Gerbong isi, 13 Gerbong Kosong | 468 |
| Kereta Penumpang Joglosemarkerto | KM 3 + 4/5 | 1 lokomotif, 12 gerbong penumpang | 786 |
| Kereta Penumpang Kedungsepur | | 1 lokomotif, 3 gerbong penumpang | 264 |

2. Gaya yang bekerja pada rel

a. Gaya Vertikal

Gaya vertikal berasal dari berat kereta api dan merupakan beban yang paling besar yang diterima struktur jalan rel, terjadi akibat adanya beban kereta saat melintas. Gaya ini menyebabkan defleksi vertikal. Menurut PT. KAI (Persero) jenis kereta api yang digunakan adalah tipe Lokomotif CC-206 memiliki spesifikasinya sebagai berikut:

$$\text{Berat (W)} = 90 \text{ Ton}$$

$$\text{Jarak antar gandar} = 8,687 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi} = 3695 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar} = 2743 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang} = 15849 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung:

- a) Ditumpu oleh 2 bogie yang masing-masing terdiri dari 3 gandar dan masing-masing gandar terdiri dari 2 roda.

$$\text{Berat lokomotif (Wlok)} = 90 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya kepada bogie (Pb)} = \text{Wlok}/2 = 45 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya gandar (Pg)} = \text{Pb}/3 = 15 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya roda statis (Ps)} = \text{Pg}/2 = 7,5 \text{ Ton}$$

- b) Faktor dinamis (I_p) dan beban dinamis (P_d). Jika menggunakan lokomotif CC-206 dengan V_{maks} 110 km/jam, maka:

$$V_{\text{renc}} = 1,25 \times V_{\text{maks}}$$

$$= 1,25 \times 110 = 137,5 \text{ km/jam}$$

$$= 38,19 \text{ m/det}$$

$$P_s = 7,5 \text{ Ton}$$

$$I_p = 1 + 0,01 \times \left(\frac{v_{\text{renc}}}{1,609} - 5 \right)$$

$$= 1 + 0,01 \times \left(\frac{137,5}{1,609} - 5 \right)$$

$$= 2,36$$

$$P_d = P_s \times I_p$$

$$= 7,5 \times 2,36$$

$$= 17,69 \text{ Ton}$$

4.3 Data Kecepatan Kereta

Data kecepatan kereta api yang di tinjau yaitu kecepatan kereta saat melintasi sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*. Pada penelitian yang dilakukan di Stasiun Jerakah pada tanggal 18 Februari 2020, kereta yang melintas meliputi dua kereta barang (2 Kereta Api) Sedangkan di Jl Muktiharjo Kaligawe di dapat Kereta Penumpang Joglosemarkerto dan Kedungsepur. Data kecepatan kereta yang didapat adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Kecepatan Kereta Berdasarkan Lokasi Penelitian

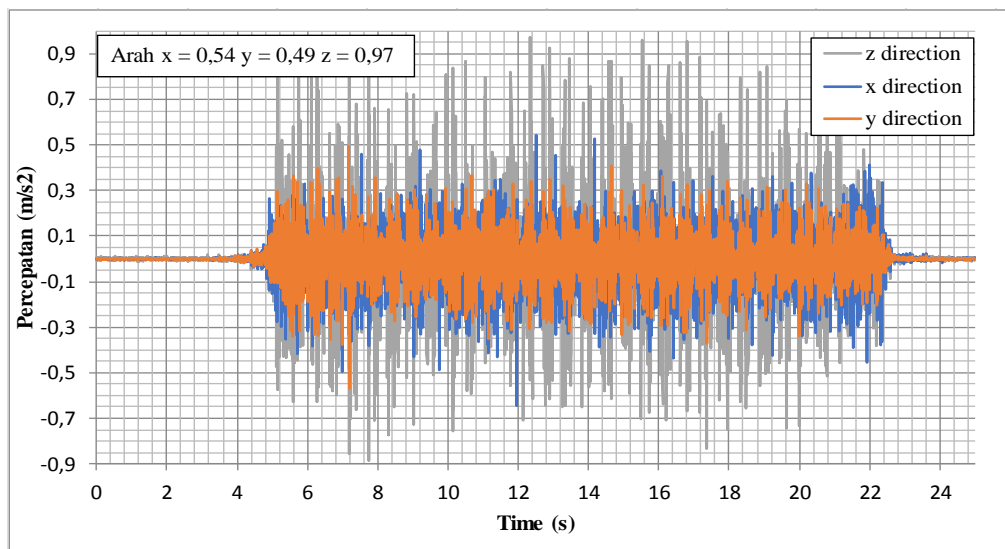
| No | Jenis Kereta | Lokasi Penelitian | Kecepatan (Km/Jam) |
|----|-----------------|-------------------|--------------------|
| 1 | Ka Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 64.37 |
| 2 | Ka Barang 2 | | 59.55 |
| 3 | Joglosemarkerto | KM 3 + 4/5 | 77.25 |
| 4 | Kedungsepur | | 69.89 |

4.4 Data Percepatan Getaran

Getaran kereta api adalah getaran yang diakibatkan oleh beban kereta api saat melintasi rel. Getaran tersebut akan di distribusikan ke bantalan dan di teruskan ke ballasrt, fungsi dari ballast ialah untuk meredam getaran yang yang terjadi sehingga getaran yang terjadi di tanah dasar tidak terlalu besar. Pada penelitian ini menggunakan alat sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring* dimana output dari alat ini berupa data percepatan getaran dari tiga arah yaitu x, y dan z. Berikut merupakan data percepatan getaran yang di peroleh berdasarkan lokasi penelitian yang terjadi:

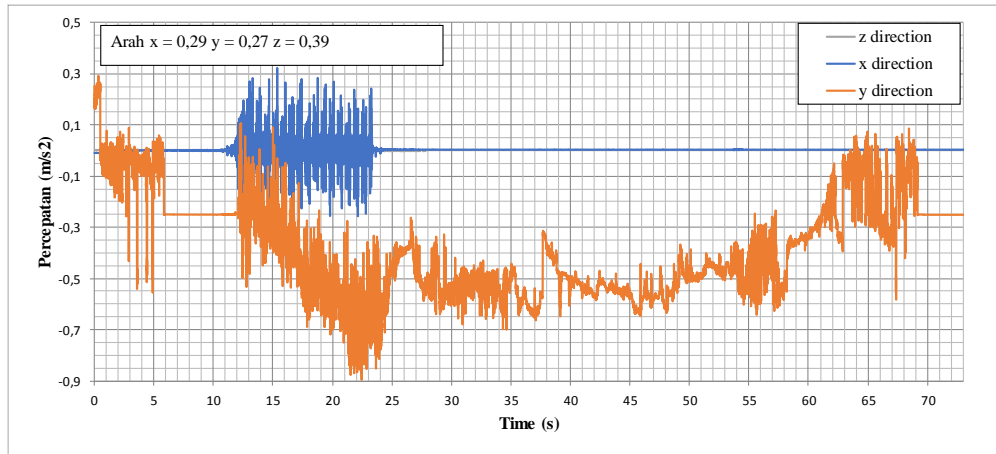
1. Titik KM 5 + 8/9

a) Kereta Barang 1



Gambar 4.6 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 dari Alat Sensor *Accelerometer*

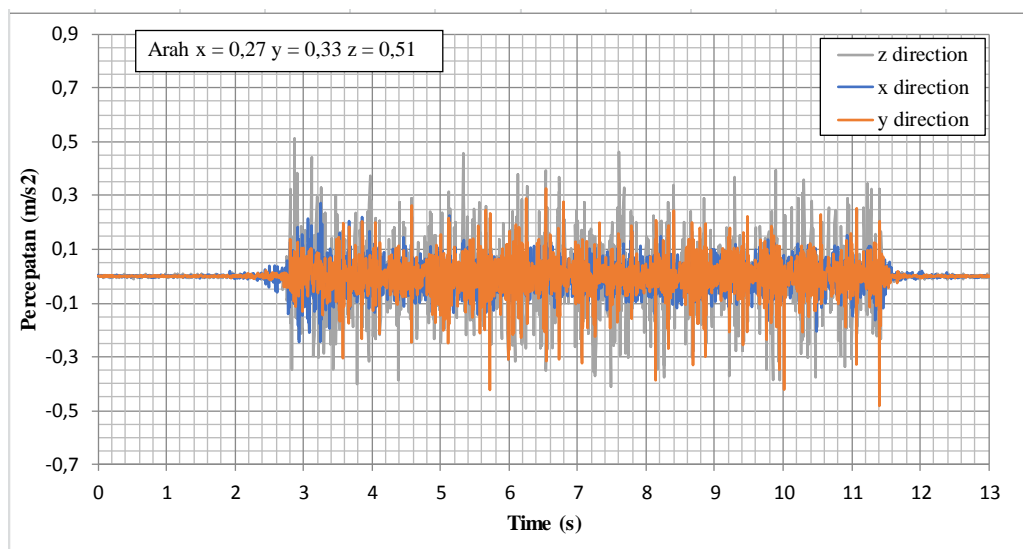
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat sensor *accelerometer* dengan percepatan maksimum sebesar $0,54 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,49 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,97 \text{ m/s}^2$ dari arah z.



Gambar 4.7 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 dari Alat *Seismic Monitoring*

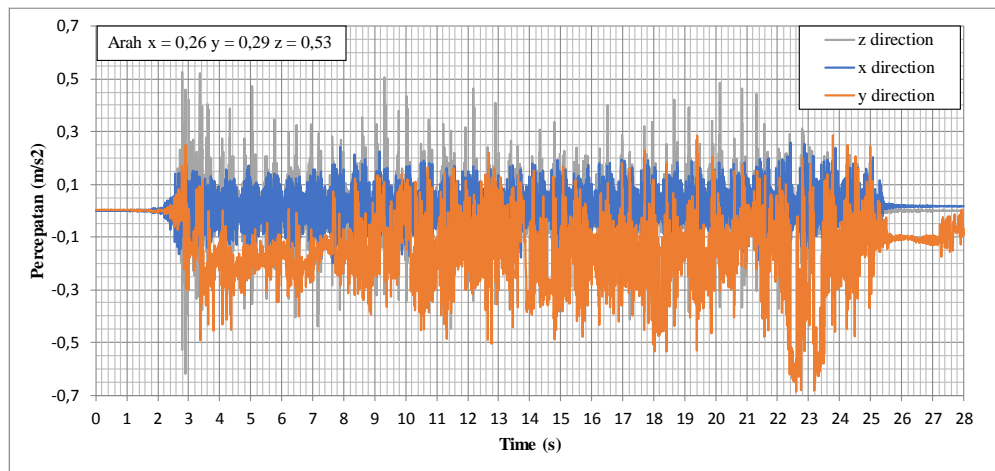
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat *seismic monitoring* dengan percepatan maksimum sebesar $0,32 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,29 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,15 \text{ m/s}^2$ dari arah z

b) Kereta Barang 2



Gambar 4.8 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 dari Alat Sensor *Accelerometer*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat sensor *accelerometer* dengan percepatan maksimum sebesar $0,27 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,33 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,51 \text{ m/s}^2$ dari arah z.

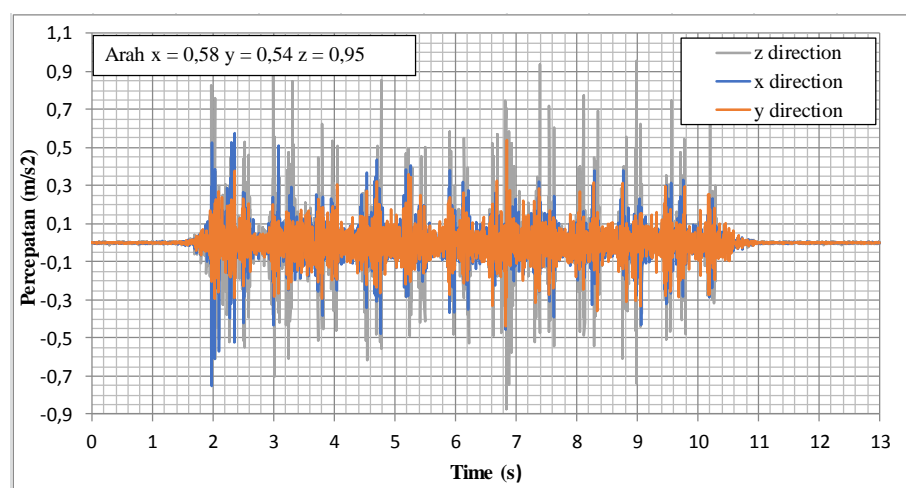


Gambar 4.9 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 dari Alat *Seismic Monitoring*

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat *seismic monitoring* dengan percepatan maksimum sebesar $0,26 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,29 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,53 \text{ m/s}^2$ dari arah z.

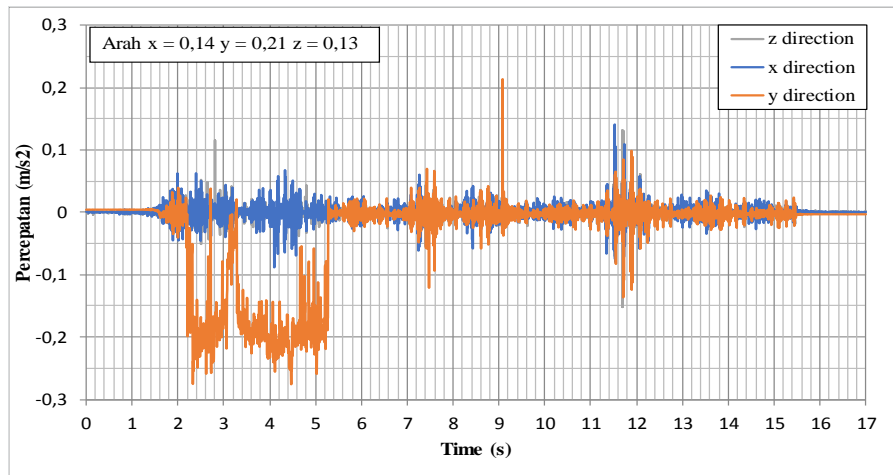
2. Titik KM 3+4/5

a) Joglosemarkerto



Gambar 4.10 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Joglosemarkerto dari Alat Sensor *Accelerometer*

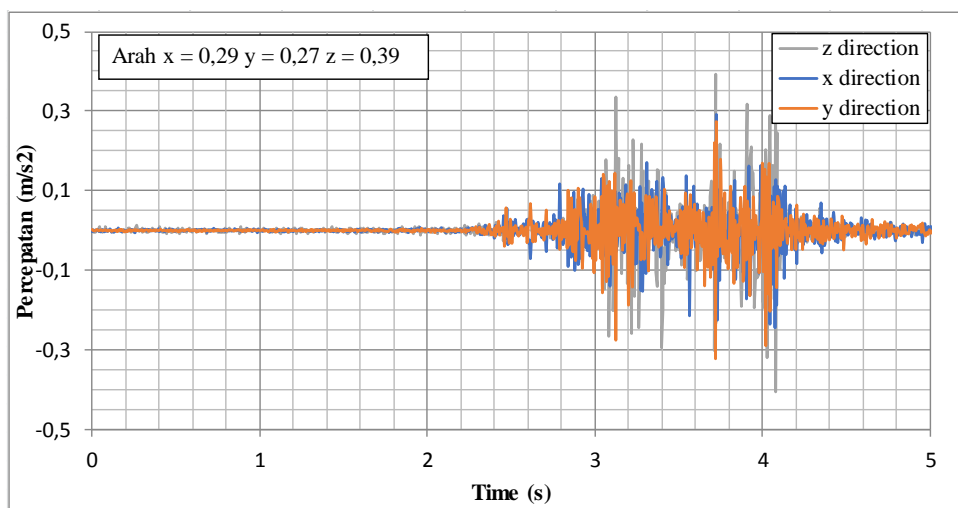
Gambar 4.10 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat sensor *accelerometer* dengan percepatan maksimum sebesar $0,58 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,54 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,95 \text{ m/s}^2$ dari arah z.



Gambar 4.11 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Joglosemarkerto dari Alat *Seismic Monitoring*

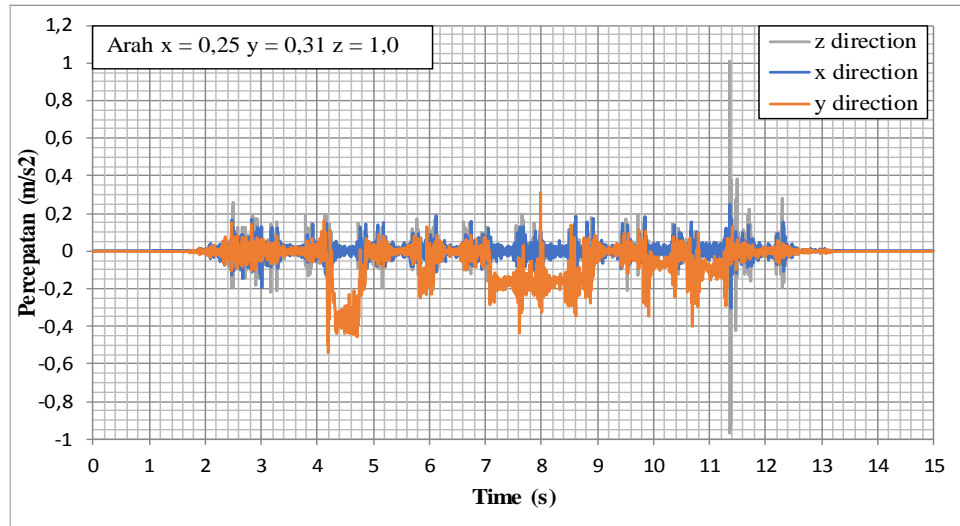
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat *seismic monitoring* dengan percepatan maksimum sebesar $0,14 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,21 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,13 \text{ m/s}^2$ dari arah z.

b) Kedungsepur



Gambar 4.12 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Kedungsepur dari Alat Sensor *Acclerometer*

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat sensor *accelerometer* dengan percepatan maksimum sebesar $0,29 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,27 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $0,39 \text{ m/s}^2$ dari arah z.



Gambar 4.13 Grafik Percepatan Getaran Kereta Penumpang Kedungsepur dari Alat *Seismic Monitoring*

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa data percepatan getaran dari alat *seismic monitoring* dengan percepatan maksimum sebesar $0,25 \text{ m/s}^2$ dari arah x, $0,31 \text{ m/s}^2$ dari arah y dan $1,0 \text{ m/s}^2$ dari arah z.

Tabel 4.4 Kecepatan Kereta Api dan Percepatan Getaran Dari Alat Sensor *Accelerometer* Berdasarkan Lokasi Penelitian

| No | Jenis Kereta | Lokasi Penelitian | Kecepatan (Km/Jam) | Percepatan | | |
|----|-----------------|-------------------|--------------------|------------|----------|----------|
| | | | | Arah X | Arah Y | Arah Z |
| 1 | Ka Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 64,3738 | 0,543144 | 0,493673 | 0,972706 |
| 2 | Ka Barang 2 | | 59,5457 | 0,272182 | 0,326167 | 0,511363 |
| 3 | Joglosemarkerto | KM 3 + 4/5 | 77,25 | 0,576023 | 0,53985 | 0,964471 |
| 4 | Kedungsepur | | 69,89 | 0,291519 | 0,273585 | 0,391498 |

Tabel 4.5 Kecepatan Kereta Api dan Percepatan Getaran Dari Alat *Seismic Monitoring* Berdasarkan Lokasi Penelitian

| No | Jenis Kereta | Lokasi Penelitian | Kecepatan (Km/Jam) | Percepatan | | |
|----|--------------|-------------------|--------------------|------------|------------|------------|
| | | | | Arah X | Arah Y | Arah Z |
| 1 | Ka Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 64,3738 | 0,3220103 | 0,29152162 | 0,1479179 |
| 2 | Ka Barang 2 | | 59,5457 | 0,2589098 | 0,28603172 | 0,52534664 |

| | | | | | | |
|---|-----------------|------------|-------|-----------|------------|------------|
| 3 | Joglosemarkerto | KM 3 + 4/5 | 77,25 | 0,1408384 | 0,21351194 | 0,13160212 |
| 4 | Kedungsepur | | 69,89 | 0,248294 | 0,31045118 | 1,0077535 |

Berdasarkan lokasi penelitian di titik KM 5 + 8/9 data percepatan getaran yang didapat berupa: Kereta barang 1 dengan kecepatan 64,3738 km/jam memiliki jumlah gerbong 1 Lokomotif, 27 Gerbong isi, 2 Gerbong Kosong dengan beban sebesar 2070 Ton, menghasilkan data percepatan getaran sebesar $0,543144 \text{ m/s}^2$ dan $0,3220103 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,493673 \text{ m/s}^2$ dan $0,29152162 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,972706 \text{ m/s}^2$ dan $0,1479179 \text{ m/s}^2$. Kereta barang 2 dengan kecepatan 64,3738 km/jam memiliki jumlah gerbong 1 Lokomotif, 2 Gerbong isi dan 13 Gerbong Kosong dengan beban sebesar 468 Ton, menghasilkan data percepatan getaran sebesar $0,272182 \text{ m/s}^2$ dan $0,2589098 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,326167 \text{ m/s}^2$ dan $0,286603172 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,511363 \text{ m/s}^2$ dan $0,52534664 \text{ m/s}^2$.

Berdasarkan lokasi penelitian di titik KM 3 + 4/5 data percepatan getaran yang didapat berupa: Kereta penumpang Joglosemarkrto dengan kecepatan 77,25 km/jam memiliki jumlah gerbong 1 lokomotif, 12 gerbong penumpang isi dengan beban sebesar 786 Ton, menghasilkan data percepatan getaran sebesar $0,576023 \text{ m/s}^2$ dan $0,1408384 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,53985 \text{ m/s}^2$ dan $0,21351194 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,964471 \text{ m/s}^2$ dan $0,13160212 \text{ m/s}^2$. Kereta penumpang Kedungsepur dengan kecepatan 69,89 km/jam memiliki jumlah gerbong 1 lokomotif, 3 gerbong penumpang dengan beban sebesar 264 Ton, menghasilkan data percepatan getaran sebesar $0,291519 \text{ m/s}^2$ dan $0,248294 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,273585 \text{ m/s}^2$ dan $0,31045118 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,391498 \text{ m/s}^2$ dan $1,0077535 \text{ m/s}^2$. Besarnya percepatan getaran kereta api di pengaruhi oleh beberapa hal yaitu: kecepatan kereta saat melintas, perletakan sensor *accelerometer*, jenis kereta dan beban kereta api.

4.5 Gaya Getara Akibat Beban Kereta Api

Beban kereta api yang di terima rel merupakan beban dinamis yang menghasilkan gelombang permukaan (*Rayleigh wave*). Gaya getaran yang terjadi dapat di hitung dengan persamaan 2.10 antara lain sebagai berikut:

$$F = m_R \cdot a$$

m_R = massa satu set roda kereta = 1500 kg = 15 kN

1. Titik KM 5 + 8/9

a) Kereta barang 1

$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0,54314 \\ &= 8,14716 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Kereta Barang 2

$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0,27218 \\ &= 4,08273 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Titik KM 3+4/5

a) Joglosemarkerto

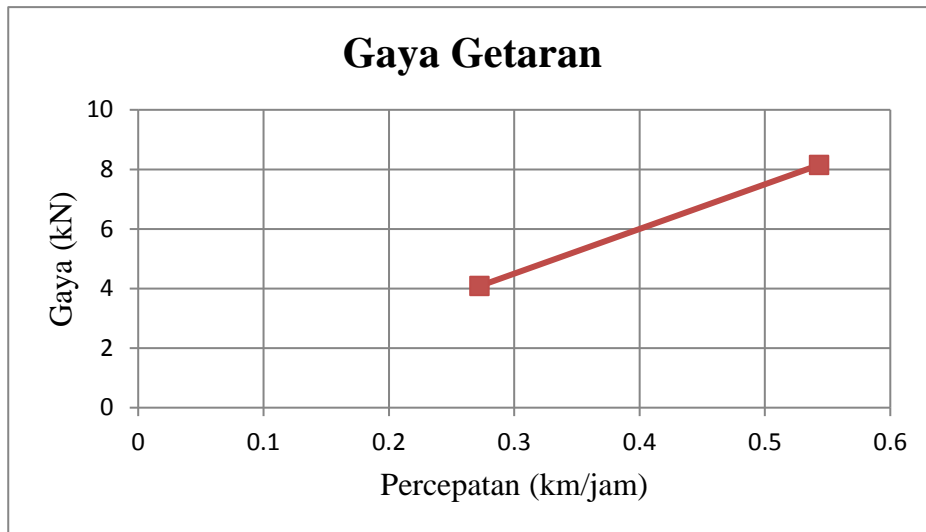
$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0,57602 \\ &= 8,64035 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Kedungsepur

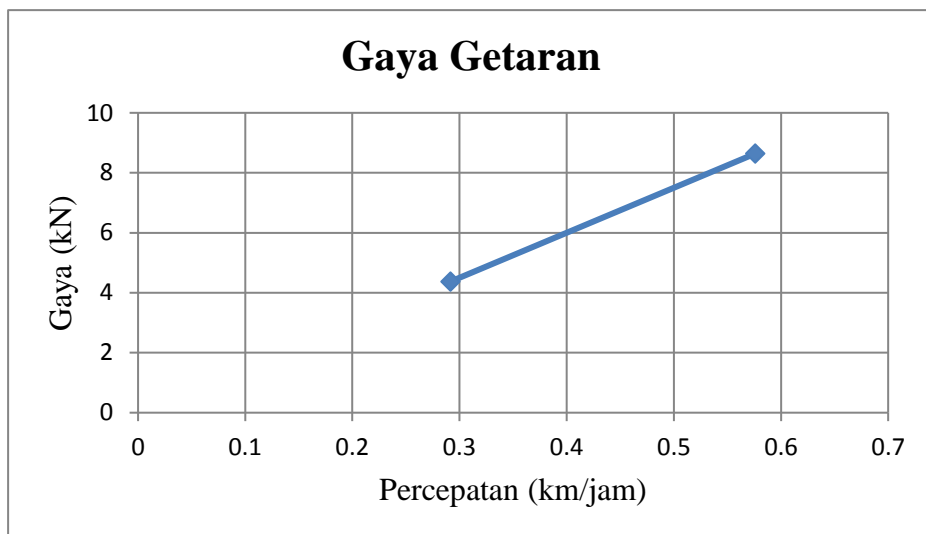
$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0,29152 \\ &= 4,37279 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Percepatan dan Gaya Getaran Kereta Api Berdasarkan Lokasi Penelitian

| Nama Kereta | Lokasi Penelitian | Percepatan m/s | Gaya (kN) |
|-----------------|-------------------|----------------|-----------|
| Ka Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 0.543144 | 8.14716 |
| Ka Barang 2 | | 0.272182 | 4.08273 |
| JogloSemarkerto | KM 3 + 4/5 | 0.576023 | 8.640345 |
| Kedungsepur | | 0.291519 | 4.372785 |



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Percepatan dengan Gaya Getaran Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Percepatan dengan Gaya Getaran Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 + 4/5

Berdasarkan lokasi penelitian di titik KM 5 + 8/9 pada Tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa gaya getaran yang terjadi untuk kereta barang 1 sebesar 8,14716 kN dengan percepatan 0,543144 m/s². Kereta barang 2 sebesar 4,08273 kN dengan percepatan sebesar 0,272182 m/s². Sedangkan lokasi penelitian di titik KM 3 + 4/5 gaya getaran yang terjadi pada Kereta penumpang Joglosemarkerto

sebesar 8,640345 kN dengan percepatan sebesar 0,576023 m/s². Kereta penumpang kedungsepur sebesar 4,372785 kN dengan percepatan 0,291519 m/s².

Dari data diatas diketahui bahwa percepatan getaran yang terjadi mempengaruhi besarnya gaya getaran kereta. Semakin besar percepatan yang terjadi maka semakin besar pula gaya getaran kereta yang terjadi dan sebaliknya jika semakin kecil percepatan yang terjadi gaya getaran yang terjadi juga akan semakin kecil.

4.6 Nilai Frekuensi Pada Rel Akibat Kereta Yang Melintas

Menurut Suhairy (2000) kereta api melaju melewati rel dengan kecepatan tertentu akan mengakibatkan frekuensi yang di bebaskan pada roda kereta, besi rel dan bantalan. Besarnya nilai frekuensi di pengaruhi oleh kecepatan kereta dan jarak antar roda dan antar bantalan pada rel. Berdasarkan persamaan 2.8 dan 2.9 dengan memasukkan kecepatan dan jarak bantalan dan jarak antar roda kereta besarnya frekuensi pada rel dapat dihitung sebagai berikut:

1. Titik KM 5 + 8/9

a) Kereta Barang 1

$$V = 14,66 \text{ m/s}$$

$$I_s = 0,43 \text{ meter}$$

$$a = 8,687 \text{ meter}$$

$$f_s = \frac{v}{I_s} = \frac{14,66}{0,43} = 34,103 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{14,66}{8,687} = 1,69 \text{ Hz}$$

b) Kereta Barang 2

$$V = 13,57 \text{ m/s}$$

$$I_s = 0,43 \text{ meter}$$

$$a = 8,687 \text{ meter}$$

$$f_s = \frac{v}{I_s} = \frac{13,57}{0,43} = 31,55 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{13,57}{8,687} = 1,56 \text{ Hz}$$

2. Titik KM 3+4/5

a) Joglosemarkerto

$$V = 17,597 \text{ m/s}$$

$$I_s = 0,42 \text{ meter}$$

$$a = 8,687 \text{ meter}$$

$$f_s = \frac{v}{I_s} = \frac{17,597}{0,42} = 41,899 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{17,597}{8,687} = 2,026 \text{ Hz}$$

b) Kedungsepur

$$V = 15,921 \text{ m/s}$$

$$I_s = 0,42 \text{ meter}$$

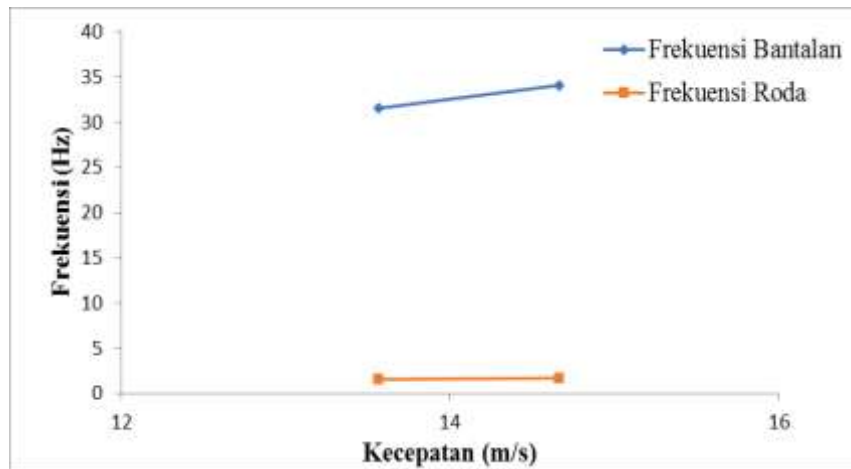
$$a = 8,687 \text{ meter}$$

$$f_s = \frac{v}{I_s} = \frac{15,921}{0,42} = 37,907 \text{ Hz}$$

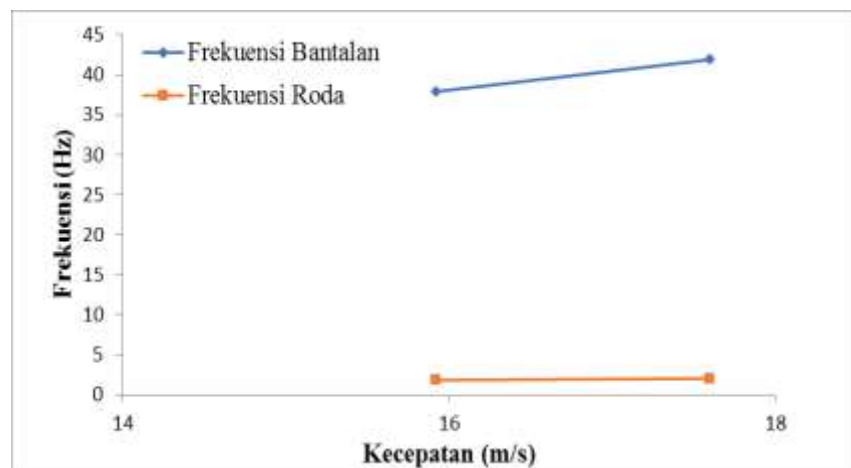
$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{15,921}{8,687} = 1,83 \text{ Hz}$$

Tabel 4.7 Frekuensi Bantalan Dan Frekuensi Roda Kereta Berdasarkan Lokasi Penelitian

| No | Jenis Kereta | Lokasi Penelitian | Kecepatan (m/s) | Jarak Bantalan (m) | Frekuensi Bantalan (Hz) | Frekuensi Roda (Hz) |
|----|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | Ka Barang 1 | KM 5 + 8/9 | 14.664 | 0.43 | 34.103 | 1.688 |
| 2 | Ka Barang 2 | | 13.565 | 0.43 | 31.545 | 1.561 |
| 3 | Joglosemarkerto | KM 3 + 4/5 | 17.598 | 0.42 | 41.899 | 2.026 |
| 4 | Kedungsepur | | 15.921 | 0.42 | 37.907 | 1.833 |



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kecepatan dan Frekuensi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9



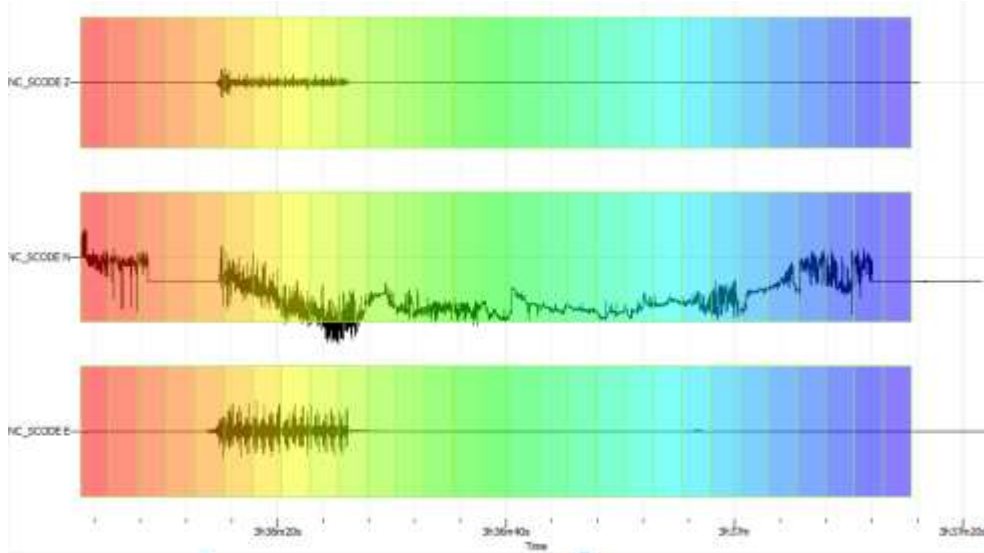
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Kecepatan dan Frekuensi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 + 4/5

4.7 Frekuensi Dan Amplitudo Getaran

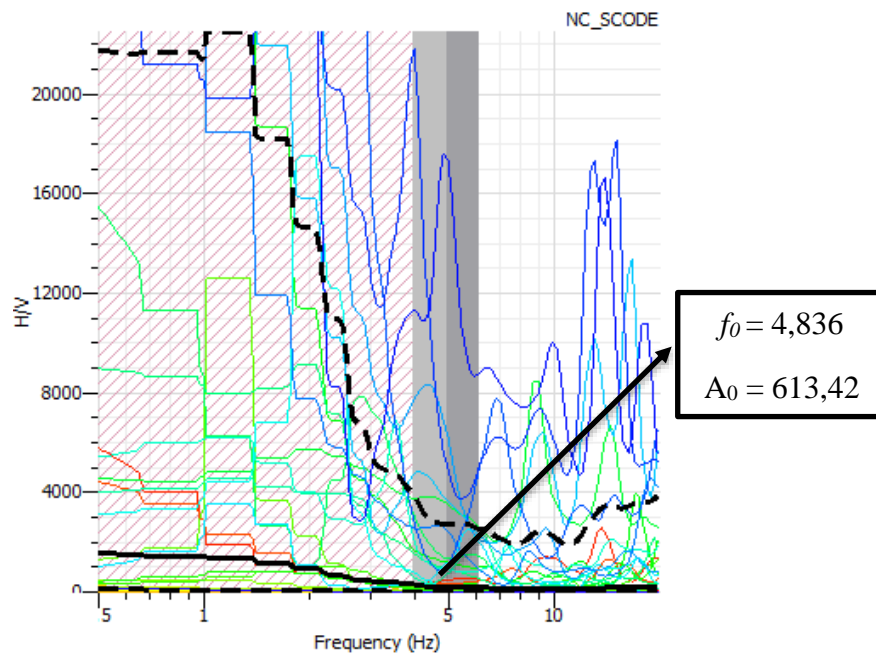
Dari hasil penelitian, data dari alat *Seismic Monitoring* kemudian di olah menggunakan *software Geopsy* untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi pada saat struktur rel mendapat beban kereta api yang melintas. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software geopsy* dimana pengolahan data menggunakan metode HVSR didapat nilai frekuensi natural dan amplifikasi sesuai dengan lokasi penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Titik KM 5 + 8/9

a) Kereta Barang 1

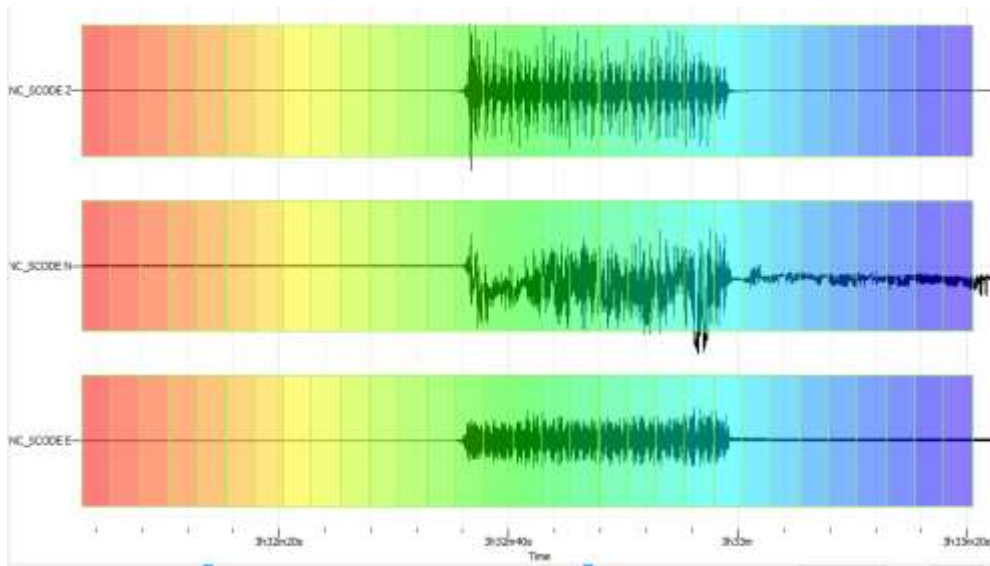


Gambar 4.18 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 1 Arah x, y dan z

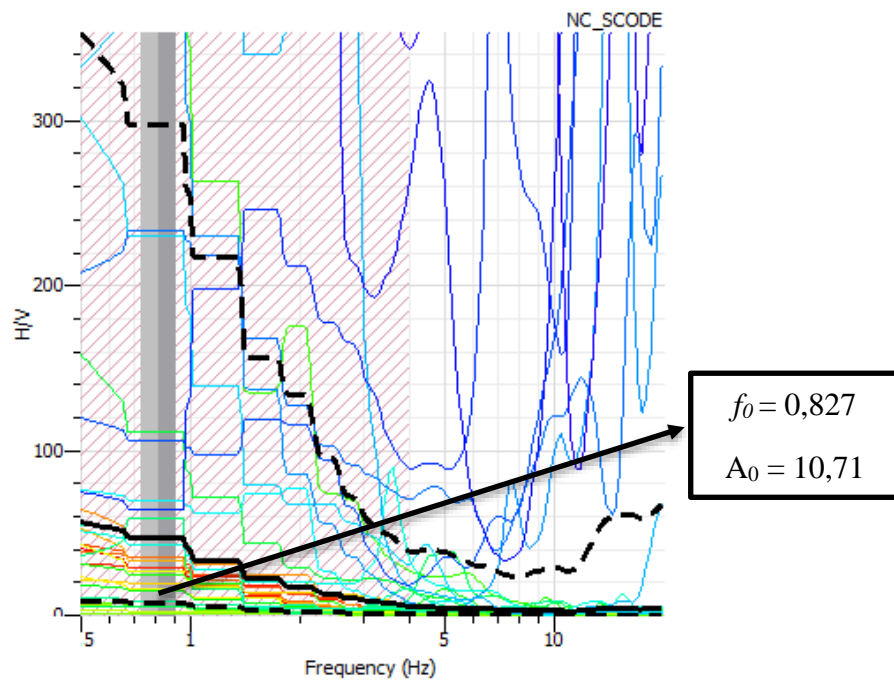


Gambar 4.19 Grafik H/V dari *Software Geopsy*

b) Kereta Barang 2



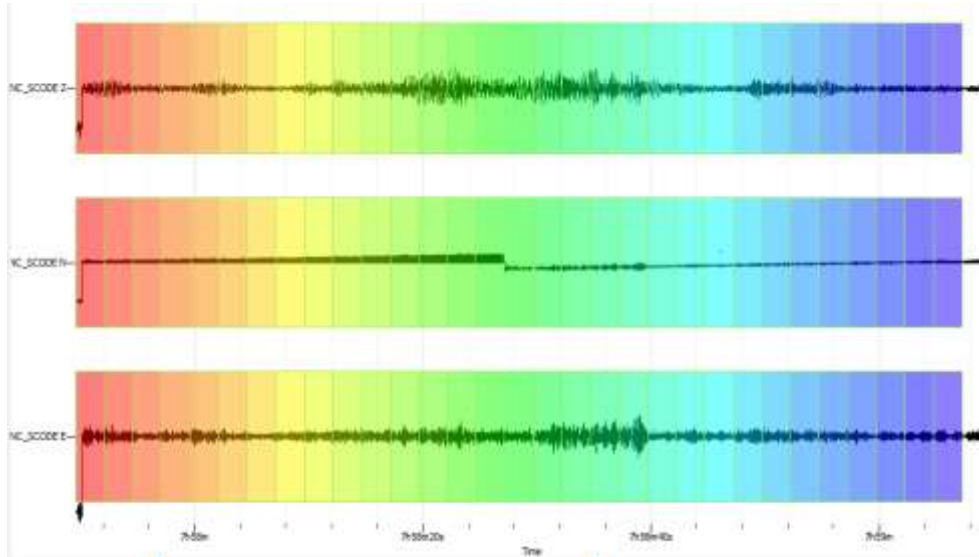
Gambar 4.20 Grafik Percepatan Getaran Kereta Barang 2 Arah x, y dan z



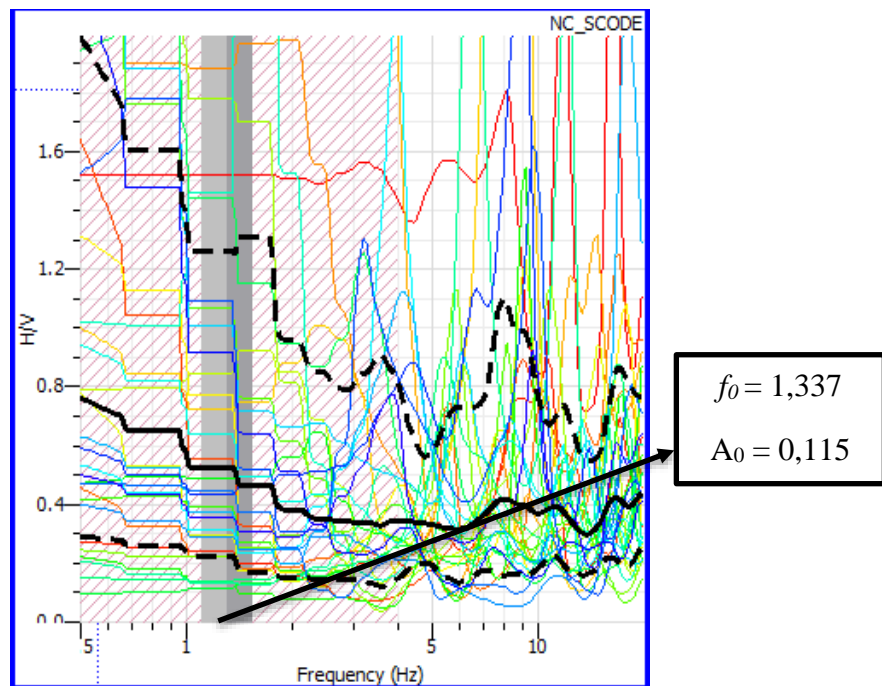
Gambar 4.21 Grafik H/V dari Software Geopsy

2. Titik KM 3+4/5

a) Joglosemarkerto

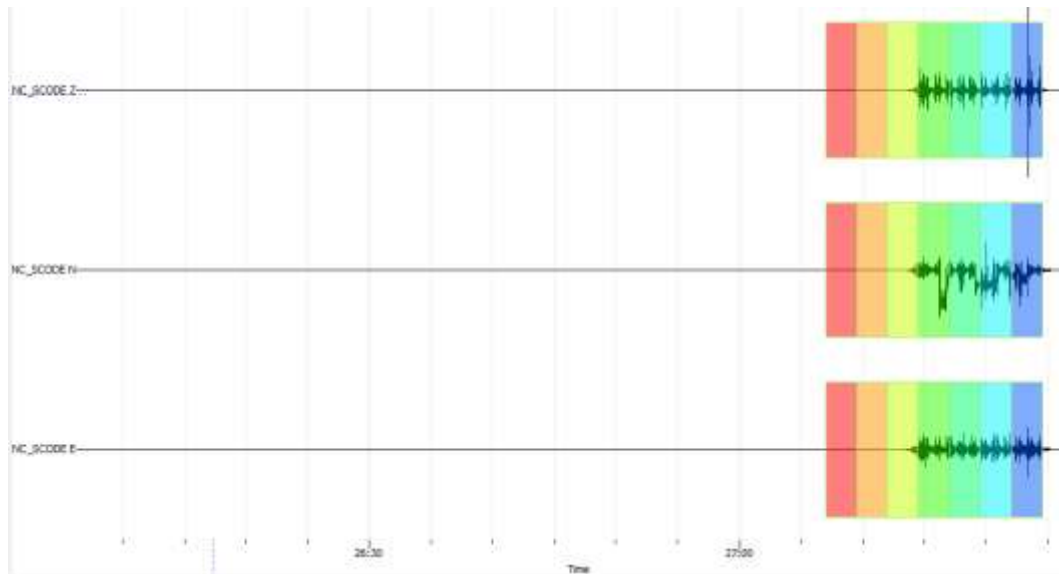


Gambar 4.22 Grafik Percepatan Getaran Kereta Joglosemarkerto Arah x, y dan z

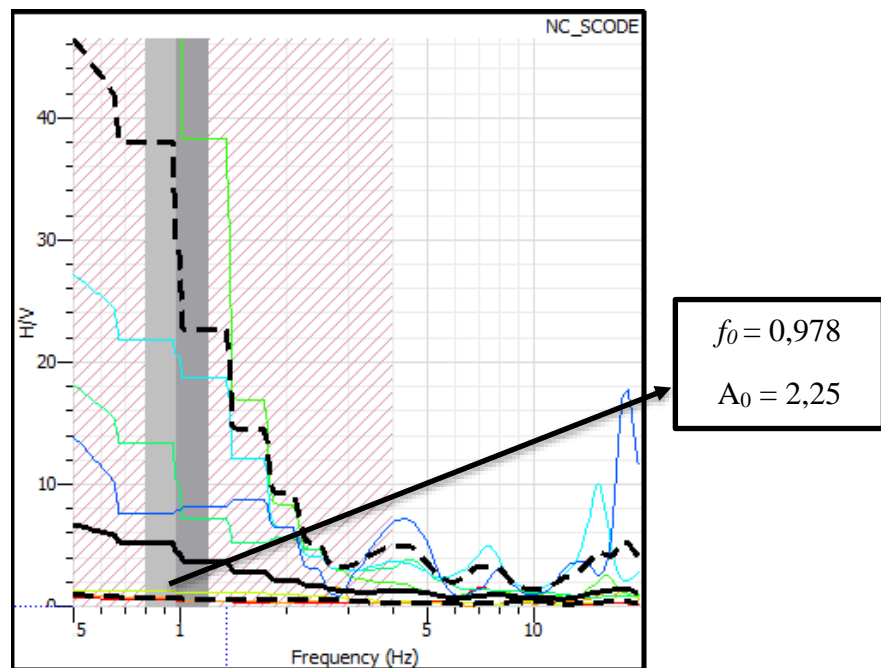


Gambar 4.23 Grafik H/V dari *Software Geopsy*

b) Kedungsepur



Gambar 4.24 Grafik Percepatan Getaran Kereta Kedungsepur Arah x, y dan z



Gambar 4.25 Grafik H/V dari Software Geopsy

Berdasarkan pengolahan data menggunakan aplikasi *Geopsy* didapat nilai frekuensi natural yang berbeda di setiap kereta. Untuk lokasi penelitian di titik KM 5+8/9 kereta barang 1 mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 4,836 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 613,42. Kereta barang 2 mempunyai nilai frekuensi

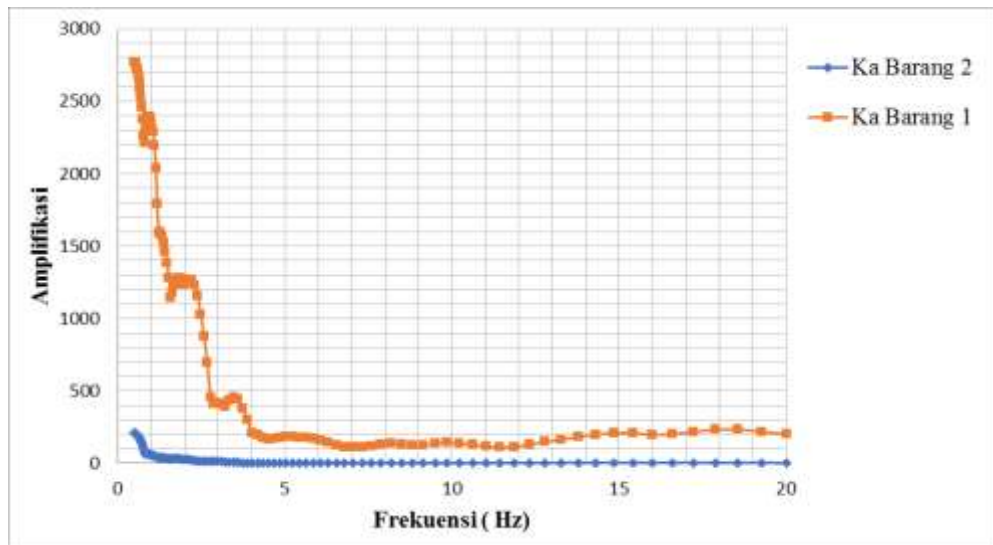
natural sebesar 0,827 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 10,71. Sedangkan lokasi penelitian di titik KM 3+4/5 Kereta penumpang joglosemarkerto mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 1,337 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 0,115. Kereta penumpang kedungsepur mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 0,978 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 2,25.

Untuk lokasi penelitian di titik KM 5+8/9 kereta barang 1 memiliki potensi yang dapat menyebabkan kerusakan pada jalan rel karena memiliki frekuensi natural paling besar, kereta barang 2 memiliki frekuensi natural yang lebih kecil dibandingkan kereta barang 1. Sedangkan lokasi penelitian di titik KM 3+4/5 Kereta penumpang joglosemarkerto memiliki potensi yang dapat menyebabkan kerusakan pada jalan rel karena memiliki frekuensi natural paling besar, Kereta penumpang kedungsepur memiliki frekuensi natural lebih kecil dibandingkan Kereta penumpang joglosemarkerto. Perbedaan nilai frekuensi natural di pengaruhi oleh kecepatan kereta, beban kereta, jenis kereta dan lokasi perletakan sensor.

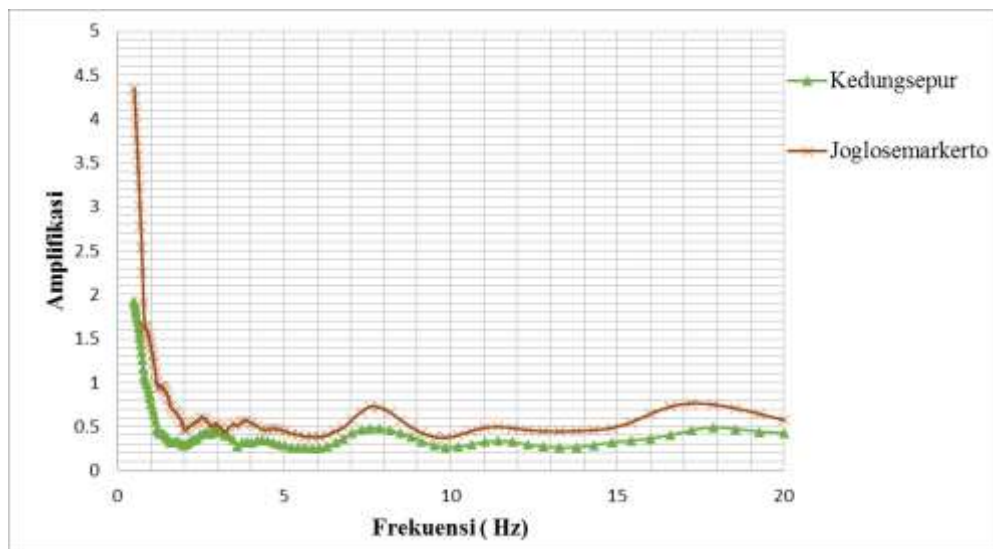
Tabel 4.8 Percepatan Getaran, Kecepatan Keretan, Beban Kereta Dan Frekuensi Natural

| Nama Kereta | Lokasi Penelitian | Percepatan (m/s) | kecepatan (Km/Jam) | Beban (Ton) | frekuensi natural (Hz) |
|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------|------------------------|
| Ka Barang 1 | KM 5+8/9 | 0,543144 | 64,3738 | 2268 | 4,836 |
| Ka Barang 2 | | 0,272182 | 59,5457 | 468 | 0,827 |
| Joglosemarkerto | KM 3+4/5 | 0,576023 | 77,25 | 786 | 1,337 |
| Kedungsepur | | 0,291519 | 69,89 | 264 | 0,978 |

Berdasarkan tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa kereta yang memiliki kecepatan yang paling besar akan menghasilkan frekuensi natural paling besar pula. Karena kecepatan kereta sangat berpengaruh pada frekuensi natural dan percepatan getaran dibandingkan dengan beban kereta, sebab beban pada kereta api merupakan beban merata.



Gambar 4.26 Grafik H/V Hubungan Frekuensi Dengan Amplifikasi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 5 + 8/9



Gambar 4.27 Grafik H/V Hubungan Frekuensi Dengan Amplifikasi Berdasarkan Lokasi Penelitian di Titik KM 3 + 4/5

4.8 Perhitungan Tegangan Pada Balas di bawah dua Bantalan

Beban lokomotif kereta tergantung pada jenis tipe lokomotif yang digunakan pada kereta. Untuk kereta dengan tipe lokomotif CC 206 memiliki berat kosong sebesar 90 ton. Untuk kereta dengan tipe lokomotif BB memiliki berat kosong sebesar 54 ton.

Berdasarkan perhitungan subbab (4.2. 2.a) kereta api yang digunakan PT KAI (Persero) merupakan jenis kereta CC-206 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Berat lokomotif (Wlok) = 90 Ton

Maka,

Gaya Kepada Bogie (Pb) = Wlok/2 = 45 Ton

Gaya Gandar (Pg) = Pb/3 = 15 Ton

Gaya Roda Statis (Ps) = Pg/2 = 7,5 Ton

Dimana tegangan dibawah dua bantalan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = P_0 = \frac{P}{A}$$

dengan,

P = Tekanan gandar kereta api (kg)

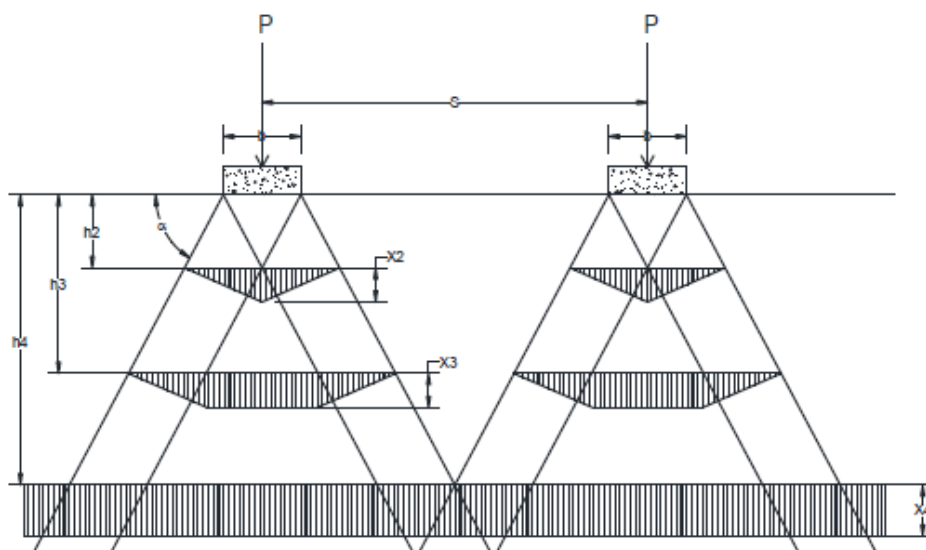
b = Lebar bantalan (cm)

S = Jarak antar bantalan (cm)

α = Sudut penyebaran tekanan (untuk batu pecah = 60° dan untuk pasir = 45°)

h = Tebal alas balas (cm)

x = Tegangan maksimal yang terjadi pada kedalaman h (kg/cm^2)



Gambar 4.28 Ilustrasi Tegangan Pada Balas dibawah dua Bantalan

1. Titik KM 5+8/9

Tegangan maksimal langsung dibawah bantalan

$$\begin{aligned}\sigma &= P_0 = \frac{P}{A} \\ &= \frac{P_g}{b \times \text{panjang bantalan}} \\ &= \frac{15000}{15 \times 200} \\ &= 5 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Sampai pada kedalaman h_2 tegangan maksimal tetap $P_0 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned}h_2 &= \frac{1}{2} \times b \times \tan \alpha \\ &= \frac{1}{2} \times 15 \times \tan 60^\circ \\ &= 12,99 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$x_1 = P_0 \quad \text{dan} \quad x_2 = P_0$$

Untuk kedalaman h_3

$$h_3 = 30 \text{ cm (Tebal balas minimal untuk kelas jalan II)}$$

$$\begin{aligned}x_3 &= \frac{b}{2 \times h_3} \times \tan \alpha \times P_0 \\ &= \frac{15}{2 \times 30} \times \tan 60^\circ \times 5 \\ &= 2,16 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Jika $h_3 > h_2$ atau dengan kata lain h_3 lebih dalam dari pada h_2 , maka $x_3 = 2,16 \text{ kg/cm}^2 < x_2 = 5 \text{ kg/cm}^2$, tegangan maksimal yang terjadi pada kedalaman h_3 akan lebih kecil dari pada tegangan maksimal pada kedalaman h_2 .

$$\begin{aligned}\text{Tebal balas maksimal } h_4 &= \frac{1}{2} \times S \times \tan \alpha \\ &= \frac{1}{2} \times 42 \times \tan 60^\circ \\ &= 36,37 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan yang terjadi } x_4 &= \frac{b}{2 \times h_4} \times \tan \alpha \times P_0 \\ &= \frac{15}{2 \times 36,37} \times \tan 60^\circ \times 5\end{aligned}$$

$$= 1,79 \text{ kg/cm}^2$$

Pada ketebalan balas h_4 , terlihat bahwa tegangan yang terjadi telah tersebar merata (tidak ada tegangan maksimal sebagaimana pada kedalaman h_2 dan h_3). Oleh sebab itu tidak perlu mempertebal alas balas lebih dari h_4 lagi.

2. Titik KM 3+4/5

Tegangan maksimal langsung dibawah bantalan

$$\begin{aligned} \sigma &= P_0 = \frac{P}{A} \\ &= \frac{P_g}{b \times \text{panjang bantalan}} \\ &= \frac{15000}{14 \times 200} \\ &= 5,36 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Sampai pada kedalaman h_2 tegangan maksimal tetap $P_0 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{1}{2} \times b \times \tan \alpha \\ &= \frac{1}{2} \times 14 \times \tan 60^\circ \\ &= 12,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = P_0 \quad \text{dan} \quad x_2 = P_0$$

Untuk kedalaman h_3

$$h_3 = 30 \text{ cm (Tebal balas minimal untuk kelas jalan II)}$$

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{b}{2 \times h_3} \times \tan \alpha \times P_0 \\ &= \frac{14}{2 \times 30} \times \tan 60^\circ \times 5,36 \\ &= 2,17 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Jika $h_3 > h_2$ atau dengan kata lain h_3 lebih dalam dari pada h_2 , maka $x_3 = 2,17 \text{ kg/cm}^2 < x_2 = 5,36 \text{ kg/cm}^2$, tegangan maksimal yang terjadi pada kedalaman h_3 akan lebih kecil dari pada tegangan maksimal pada kedalaman h_2

$$\text{Tebal balas maksimal } h_4 = \frac{1}{2} \times S \times \tan \alpha$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times 43 \times \tan 60^\circ \\
 &= 37 \text{ cm} \\
 \text{Tegangan yang terjadi } \times 4 &= \frac{b}{2 \times h_4} \times \tan \alpha \times P_0 \\
 &= \frac{14}{2 \times 37} \times \tan 60^\circ \times 5,36 \\
 &= 1,76 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Pada ketebalan balas h_4 , terlihat bahwa tegangan yang terjadi telah tersebar merata (tidak ada tegangan maksimal sebagaimana pada kedalaman h_2 dan h_3). Oleh sebab itu tidak perlu mempertebal alas balas lebih dari h_4 lagi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Setelah menganalisis hasil penelitian yang dilakukan dan beberapa pengkajian maka dapat di simpulkan bahwa:

1. Kereta api yang melintasi jalan rel merupakan beban dinamis yang dapat menghasilkan percepatan getaran dan tegangan yang diakibatkan oleh beban kereta, beban kereta akan diteruskan ke rel melalui bantalan dan diterima lapisan balas. Balas sendiri berperan sebagai peredam getaran kereta api agar getaran yang terjadi di dasar tanah lebih kecil sehingga terjadinya kelongsoran dan penurunan tanah lebih kecil untuk terjadi, selain itu juga balas menjaga struktur rel dan bantalan agar tetap berada pada posisinya agar tidak terjadi kegeseran, serta mencegah genangan air di sekitar rel dan bantalan supaya tidak terjadi banjir.
2. Besarnya percepatan getaran dari kedua alat berdasarkan lokasi penelitian di titik KM 5 + 8/9 Kereta barang 1 sebesar $0,32 - 0,54 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,29 - 0,49 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,15 - 0,97 \text{ m/s}^2$. Kereta barang 2 sebesar $0,25 - 0,27 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,28 - 0,32 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,51 - 0,53 \text{ m/s}^2$. Sedangkan lokasi penelitian di titik KM 3 + 4/5 data percepatan getaran Kereta penumpang Joglosemarkrto sebesar $0,14 - 0,58 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,21 - 0,54 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,13 - 0,96 \text{ m/s}^2$. Kereta penumpang Kedungsepur sebesar $0,24 - 0,29 \text{ m/s}^2$ arah x, untuk arah y sebesar $0,27 - 0,31 \text{ m/s}^2$, dan untuk arah z sebesar $0,39 - 1,0 \text{ m/s}^2$. Besarnya percepatan getaran kereta api di pengaruhi oleh beberapa hal yaitu: kecepatan kereta saat melintas, perletakan sensor *accelerometer*, jenis kereta dan beban kereta api.
3. Gaya getaran yang dihasikan pada lapisan balas di lokasi penelitian KM 5 + 8/9 untuk kereta barang 1 sebesar 8,147 kN. Kereta barang 2 sebesar

4,083 kN. Sedangkan di lokasi penelitian KM 3 + 4/5 gaya getaran yang terjadi pada Kereta penumpang Joglosemarkerto sebesar 8,640 kN. Kereta penumpang kedungsepur sebesar 4,373 kN. Percepatan getaran yang terjadi mempengaruhi besarnya gaya getaran kereta. Semakin besar percepatan yang terjadi maka semakin besar pula gaya getaran kereta yang terjadi dan sebaliknya jika semakin kecil percepatan yang terjadi gaya getaran yang terjadi juga semakin kecil.

4. Besar tegangan pada lapisan balas dibawah dua bantalan di lokasi KM 5+8/9 adalah sebesar 5 kg/cm^2 , pada kedalaman h_2 besar tegangan yang terjadi masih sama dengan besar tegangan di bawah bantalan, tegangan (X_3) pada kedalaman h_3 sebesar $2,16 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan (X_4) pada kedalaman h_4 sebesar $1,79 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan di lokasi KM 3+4/5 sebesar $5,36 \text{ kg/cm}^2$, pada kedalaman h_2 besar tegangan yang terjadi masih sama dengan besar tegangan di bawah bantalan, tegangan (X_3) pada kedalaman h_3 sebesar $2,17 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan (X_4) pada kedalaman h_4 sebesar $1,76 \text{ kg/cm}^2$. Pola distribusi yang melebar menghasilkan tegangan yang lebih kecil, beban kereta api sendiri merupakan beban merata. Pada saat kedalaman h_4 tegangan yang terjadi sudah merata jadi tidak perlu menambah kedalaman lapisan balas, karena semakin tebal balas tegangan yang terjadi akan semakin kecil dan terjadinya kerusakan juga akan semakin kecil.
5. Kereta barang 1 mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 4,836 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 613,42. Kereta barang 2 mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 0,827 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 10,71. Kereta penumpang joglosemarkerto mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 1,337 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 0,115. Kereta penumpang kedungsepur mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 0,978 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 2,25.

5.2 SARAN

1. Perlunya pemahaman penggunaan alat terutama *seismic monitoring* karena pada saat melakukan penelitian sering terjadi kendala saat perekaman sehingga banyak data kereta yang tidak terekam pada saat penelitian.
2. Pada saat melakukan penelitian perletakan jarak sensor *accelerometer* dengan *seismic monitoring* di usahakan sama supaya nilai hasil percepatan getaran tidak terpaut jauh.
3. Untuk penelitian selanjutnya pengaturan lama perekaman pada *software GeoDAS* disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dengan durasi saat kereta melintas, sehingga data getaran satu rangkaian agar tidak terpisah menjadi dua data yang berbeda.
4. Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan agar lebih memperdalam pembahasan mengenai tegangan dan regangan pada *ballast* yang di akibatkan beban kereta api dan melakukan pengujian daya dukung tanah untuk mengetahui kekuatan tanah di lokasi penelitian. Serta lebih memperbanyak data sampel kereta supaya data yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2020. *Ground Vibration on Railway*. Diakses pada tanggal 15 Maret 2020 Pukul 20.35 WIB. Aetherforce.com.
- Anonim. 2020. *Kondisi Geografis Kota Semarang*. Diakses pada tanggal 14 April 2020. https://bappeda.semarangkota.go.id/uploaded/publikasi/BAB_II.pdf.
- Anonim. 2020. *Lokomotif Tipe CC-206*. Diakses pada tanggal 17 April 2020 Pukul 14.01 WIB. https://id.wikipedia.org/wiki/Lokomotif_CC206.
- Aulia, Selly. 2017. *Implementasi Peta Konsep Untuk Menganalisis Miskonsepsi Siswa Kelas Viii Smp Pgri 6 Bandar Lampung Pada Materi Getaran Dan Gelombang*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Raden Intan Bandar Lampung.
- Alma, Vidi Rahman. Wahyudi. Setiawan, Iwan. 2011. *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*. Jurnal Teknik Universitas Diponegoro.
- Auersch, Lutz. Said, Samir. Muller, Roger. 2017. *Measurements On The Vehicle-Track Interaction and the Excitation Of Railway-Induced Ground Vibration*. Federal Institute of Material Research and Testing. Berlin, Germany.
- Arifin, S.S, B.S. Mulyanto, Marjiyono, R. Setianegara. 2012. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2, No.1.
- Avisena, Novi. 2011. *Analisis Data Seismik Di Pedukuhan Nyamplu Akibat Kereta Api*. Jurnal Neutrino vol. 3, No 2.
- Fananda, M A. 2017. *Analisi Potensi Likuifaksi pada Perkerasan Lentur dengan Alat Seismic Monitoring Berada di Bawah Perkerasan*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.
- Kurniawan, Anggi. 2014. *Analisa Kekuatan Struktur Crane Hook Dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga Untuk Pembebanan 20 Ton*. Skripsi. Universitas Bengkulu.

- Kusumawardani, R. Nugroho, U. Yuniarti, W. Hilmi A, S. Fansuri, M, H. Mindastiwi. T. 2017. *“Investigation of Subgrade Particles Acceleration due to Dynamic Loading”*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.
- Kusumawardani, R. Nugroho, U. Yuniarti, W. Hilmi A, S. Fansuri, M, H. Mindastiwi. T. 2018. *The Impact Of Vehicle Load Inducing Vibrations On The Subgrade Soil Particle Acceleration*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.
- Kartono. 2007. *Seribu pena Fisika SMP Kelas VIII Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Khoubani. All, M.Ahmadi Muhammad. 2014. Numerical study of ground vibration due to impact pile driving. University of Technology, Tehran, Iran.
- Maulidiya S, Rusli. *Penentuan Frekuensi Natural dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang)*. UIN Maulana Malik Ibrahim: Indonesia.
- Nugroho, U. Kusumawardani, R. Yuniarti, W. and Hilmi, A, S. 2016. *Analysis of ESAL Factor on Flexible Pavement at Weleri Ring Road Indonesia*. Universitas Negeri Semarang, Indonesia.
- Nakamura, Yutaka. 2018. *On The H/V Spectrum*. Tokyo Institute of Technology. Japan.
- Nugroho, Yogi. 2016. *Perencanaan Jalan Rel*. Universitas Tadulako: Indonesia.
- Peraturan Menteri Perhubungan (Permenhub) No 60. Tahun 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*.
- Pasang, Joris. 2013. *Analisis Pengaruh Pola Rangkaian Peledakan Terhadap Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) Pada Pt. Cipta Kridatama Jobsite Pt. Multi Harapan Utama, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur*. Skripsi. Universitas Mulawarman.
- Putra, Pratama Dwiki. 2017. *Desain Geometrik, Struktur, Beserta Metode Pelaksanaan Pembangunan Jalur Rel Ganda (Double Track) Trase Banyuwangi Baru – Kalibaru, Kab. Banyuwangi*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Rosadi, Rifehi Sulistia. Kartika, Anak Agung Gde. 2013. *Perencanaan Geometrik Jalan Rel*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan Institusi Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Shih J.Y, Thomson D.J, Ntotsios. E. 2018. “*Analysis of resonance effect for railway track on a layered ground*”. University of Southampton , UK.
- Suhairy S. 2000. “*Prediction of Ground Vibration from Railways*”. SP Swedish National Testing and Research Institute: Swedish.
- Setiawati, Yuni. 2016. *Analisis GSS (Ground Sear Strain) Dengan Metode HVSR Menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak*. Universitas Negeri Yogyakarta: Indonesia.
- Utomo, Suryo Hapsoro Tri. 2013. *Jalan rel*. Yogyakarta
- Zelin, Mufita Aulia. 2018. *Analisis Getaran Akibat Beban Dinamis Kereta Api Terhadap Struktur Rel*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.

LAMPIRAN



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : JOGLOSEMARKERTO
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | | No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | | No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|----|---------------|--------------------------------|----------|----------|----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z | | | Arah x | Arah y | Arah z | | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 62.325 | 0,163175 | 0,056547 | -0,15342 | 41 | 62.525 | 0,261324 | 0,1769 | -0,54748 | 81 | 63.045 | -0,11212 | -0,05167 | 0,028 |
| 2 | 62.330 | -0,020618 | 0,018971 | 0,063684 | 42 | 62.530 | -0,15433 | -0,00769 | -0,10541 | 82 | 63.050 | 0,096319 | 0,045384 | 0,07418 |
| 3 | 62.335 | -0,144143 | -0,11974 | 0,134566 | 43 | 62.535 | -0,122 | -0,00329 | 0,23912 | 83 | 63.055 | -0,14469 | -0,11352 | -0,04484 |
| 4 | 62.340 | 0,11041 | -0,10815 | 0,188551 | 44 | 62.540 | 0,184464 | -0,05319 | -0,25138 | 84 | 63.060 | -0,14408 | -0,14756 | 0,26114 |
| 5 | 62.345 | -0,084119 | -0,06954 | 0,049105 | 45 | 62.545 | -0,07064 | 0,092659 | 0,190869 | 85 | 63.065 | 0,161955 | 0,083997 | -0,19032 |
| 6 | 62.350 | 0,291153 | 0,218807 | -0,39351 | 46 | 62.550 | 0,124867 | -0,02965 | -0,16019 | 86 | 66.345 | 0,109068 | -0,08137 | -0,08991 |
| 7 | 62.355 | -0,522953 | -0,28963 | 0,32629 | 47 | 62.555 | -0,1217 | -0,05734 | 0,065026 | 87 | 66.350 | 0,024766 | -0,00445 | 0,02141 |
| 8 | 62.360 | 0,576023 | 0,378383 | -0,41541 | 48 | 62.560 | 0,114924 | 0,114253 | 0,168909 | 88 | 66.355 | -0,08589 | -0,00506 | 0,07643 |
| 9 | 62.365 | -0,188917 | -0,18959 | -0,00482 | 49 | 62.565 | 0,124013 | -0,06606 | 0,322507 | 89 | 66.360 | 0,069479 | -0,05813 | -0,01171 |
| 10 | 62.370 | 0,045201 | -0,07253 | 0,031903 | 50 | 62.570 | 0,151463 | -0,07741 | 0,251686 | 90 | 66.365 | 0,031171 | -0,05435 | -0,03306 |
| 11 | 62.375 | 0,080764 | 0,08479 | 0,053497 | 51 | 62.575 | 0,168177 | 0,045201 | -0,25565 | 91 | 66.370 | -0,00415 | 0,011102 | 0,05472 |
| 12 | 62.380 | 0,066551 | -0,05374 | -0,12468 | 52 | 62.580 | -0,18654 | -0,02696 | 0,464149 | 92 | 66.375 | -0,02538 | 0,061 | 0,02416 |
| 13 | 62.385 | -0,033855 | -0,02605 | -0,03465 | 53 | 62.585 | 0,172508 | -0,00305 | -0,29402 | 93 | 66.380 | 0,02318 | -0,00988 | -0,02965 |
| 14 | 62.390 | -0,081008 | 0,060634 | -0,00067 | 54 | 62.590 | 0,003416 | 0,206363 | 0,168116 | 94 | 66.385 | -0,01824 | -0,04807 | 0,06265 |
| 15 | 62.395 | -0,019276 | 0,003355 | 0,021777 | 55 | 62.915 | -0,00573 | -0,05264 | 0,034953 | 95 | 66.390 | -0,0266 | 0,02745 | 0,03142 |
| 16 | 62.400 | -0,031537 | 0,012688 | -0,02702 | 56 | 62.920 | 0,103212 | 0,05185 | -0,18526 | 96 | 66.395 | 0,013725 | -0,01861 | -0,03282 |
| 17 | 62.405 | -0,01281 | -0,00781 | -0,01196 | 57 | 62.925 | -0,05941 | -1,68E-02 | 0,134261 | 97 | 66.400 | 0,036295 | -4,50E-02 | -0,00378 |
| 18 | 62.410 | 0,044835 | 0,016653 | 0,1403 | 58 | 62.930 | -0,05789 | 0,081618 | 0,054351 | 98 | 66.405 | -0,112 | 0,051362 | 0,01989 |
| 19 | 62.415 | -0,030561 | -0,00939 | 0,041236 | 59 | 62.935 | 0,055754 | -0,00317 | -0,14847 | 99 | 66.410 | 0,097722 | -0,08327 | -0,01818 |
| 20 | 62.420 | -0,02928 | -0,04014 | -0,04636 | 60 | 62.940 | -0,08876 | 0,053497 | 0,026108 | 100 | 66.415 | -0,01342 | 0,05063 | 0,00098 |
| 21 | 62.425 | 0,005063 | 0,076616 | 0,093635 | 61 | 62.945 | 0,095099 | 0,005185 | -0,16171 | 101 | 66.420 | -0,04874 | -0,03056 | 0,0535 |
| 22 | 62.430 | 0,071675 | 0,064172 | -0,1902 | 62 | 62.950 | 0,006649 | -0,04459 | 0,080215 | 102 | 66.425 | -0,02684 | 0,050386 | -0,0061 |
| 23 | 62.435 | -0,014152 | -0,00342 | 0,066612 | 63 | 62.955 | -0,06515 | 0,055327 | 0,014945 | 103 | 66.430 | 0,066307 | -0,01068 | 0,03178 |
| 24 | 62.440 | -0,053131 | -0,08168 | -0,0302 | 64 | 62.960 | -0,06783 | -0,09699 | 0,16165 | 104 | 66.435 | 0,005734 | 0,063135 | 0,00366 |
| 25 | 62.445 | -0,057645 | 0,130662 | 0,080886 | 65 | 62.965 | 0,111142 | 0,042029 | 0,023424 | 105 | 66.440 | 0,047946 | -0,10089 | 0,02776 |
| 26 | 62.450 | 0,063501 | -0,08815 | -0,05478 | 66 | 62.970 | 0,111752 | 0,039528 | -0,32397 | 106 | 66.445 | -0,07265 | 0,017934 | 0,10248 |
| 27 | 62.455 | -0,065514 | 0,025864 | 0,0671 | 67 | 62.975 | 0,105408 | 0,104737 | 0,073749 | 107 | 66.450 | 0,001464 | 0,014213 | 0,0025 |
| 28 | 62.460 | 0,018056 | -0,04392 | 0,049959 | 68 | 62.980 | 0,030378 | 0,014884 | -0,24858 | 108 | 66.770 | -0,02019 | 0,069906 | -0,13548 |
| 29 | 62.465 | -0,040077 | 0,083387 | 0,08174 | 69 | 62.985 | -0,20295 | -0,14097 | 0,34282 | 109 | 66.775 | 0,035197 | -0,01415 | -0,33013 |
| 30 | 62.470 | -0,084058 | -0,08436 | 0,054168 | 70 | 62.990 | 0,240828 | 0,202032 | -0,37979 | 110 | 66.780 | -0,10327 | 0,059719 | -0,07491 |
| 31 | 62.475 | 0,024949 | 0,074786 | -0,00366 | 71 | 62.995 | -0,35545 | -0,20734 | 0,440237 | 111 | 66.785 | 0,057828 | -0,09211 | -0,11261 |
| 32 | 62.480 | 0,106567 | 0,062281 | -0,19056 | 72 | 63.000 | -0,43286 | -0,08388 | 0,964471 | 112 | 66.790 | -0,13713 | 0,086376 | 0,07052 |
| 33 | 62.485 | 0,14969 | 0,18056 | -0,01903 | 73 | 63.005 | 0,075091 | 0,053253 | -0,70455 | 113 | 66.795 | 0,09333 | -0,00854 | 0,03062 |
| 34 | 62.490 | 0,000671 | -0,03849 | -0,24412 | 74 | 63.010 | 0,083814 | -0,28255 | 0,260836 | 114 | 66.800 | 0,071431 | -0,01196 | -0,08674 |
| 35 | 62.495 | -0,225639 | -0,10541 | 0,438895 | 75 | 63.015 | -0,07277 | -0,00488 | 0,55449 | 115 | 66.805 | -0,00909 | -0,0011 | 0,01537 |
| 36 | 62.500 | 0,266326 | 0,232471 | -0,37741 | 76 | 63.020 | 0,143899 | 0,137189 | -0,64221 | 116 | 66.840 | -0,27535 | -0,28841 | 0,70711 |
| 37 | 62.505 | -0,421449 | -0,22729 | 0,396683 | 77 | 63.025 | -0,11712 | -0,04179 | 0,239913 | 117 | 66.845 | -0,06399 | -0,09687 | -0,87285 |
| 38 | 62.510 | 0,261568 | 0,189588 | -0,51228 | 78 | 63.030 | 0,118889 | -0,00531 | -0,30372 | 118 | 66.850 | 0,272731 | 0,53985 | -0,40144 |
| 39 | 62.515 | -0,285419 | -0,05307 | -0,03532 | 79 | 63.035 | -0,00555 | -0,0352 | 0,196603 | 119 | 66.855 | -0,07473 | -0,1145 | -0,23412 |
| 40 | 62.520 | 0,037942 | -0,12786 | 0,532103 | 80 | 63.040 | 0,080947 | 0,107909 | -0,08028 | 120 | 66.860 | 0,130418 | 0,088633 | -0,68656 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KEDUNGSEPUR
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 135,545 | 0,137616 | 0,040748 | -0,05661 |
| 2 | 135,550 | -0,028365 | -0,06051 | 0,057889 |
| 3 | 135,555 | 0,012871 | 0,059109 | -0,12365 |
| 4 | 135,560 | 0,049654 | -0,01915 | -0,06161 |
| 5 | 135,565 | -0,214354 | 0,021899 | 0,040321 |
| 6 | 135,570 | 0,002501 | 0,090097 | 0,018361 |
| 7 | 135,575 | -0,025742 | -0,04404 | 0,04416 |
| 8 | 135,580 | -0,015372 | 0,052216 | -0,03495 |
| 9 | 135,585 | 0,024644 | -0,00512 | 0,049471 |
| 10 | 135,590 | 0,11163 | -0,00525 | -0,0061 |
| 11 | 135,595 | -0,009028 | 0,066002 | 0,07198 |
| 12 | 135,600 | -0,041114 | -0,02373 | -0,0097 |
| 13 | 135,605 | -0,0183 | 0,044835 | -0,09992 |
| 14 | 135,610 | 0,064355 | -0,09589 | 0,054412 |
| 15 | 135,615 | 0,038796 | -0,04587 | 0,003599 |
| 16 | 135,620 | -0,002684 | 0,047519 | -0,01757 |
| 17 | 135,625 | -0,030622 | 0,050081 | 0,00671 |
| 18 | 135,630 | -0,019215 | -0,03001 | -0,07595 |
| 19 | 135,635 | -0,010431 | 0,019703 | -0,00037 |
| 20 | 135,640 | -0,016226 | -0,0402 | -0,02678 |
| 21 | 135,645 | -0,027999 | 0,04514 | -0,01013 |
| 22 | 135,650 | 0,035502 | 0,037271 | -0,07357 |
| 23 | 135,655 | 0,008967 | -0,1392 | 0,061793 |
| 24 | 135,660 | 0,001464 | 0,016043 | 0,024705 |
| 25 | 135,665 | 0,056913 | -0,04118 | 0,038857 |
| 26 | 135,670 | -0,011895 | -0,02288 | -0,03648 |
| 27 | 135,675 | -0,023607 | -0,09254 | 0,057218 |
| 28 | 135,680 | 0,046909 | 0,032818 | -0,07796 |
| 29 | 135,685 | -0,033245 | 0,023058 | -0,08394 |
| 30 | 135,690 | 0,007137 | -0,11773 | 0,08479 |
| 31 | 135,695 | -0,007564 | -0,03373 | 0,124806 |
| 32 | 135,700 | 0,057889 | 0,044591 | -0,07948 |
| 33 | 135,705 | -0,09717 | -0,08546 | 0,102236 |
| 34 | 135,710 | 0,019459 | -0,01348 | -0,08808 |
| 35 | 135,715 | 0,055144 | 0,217404 | -0,30043 |
| 36 | 135,720 | -0,220393 | -0,32232 | 0,391498 |
| 37 | 135,725 | 0,291519 | 0,273585 | -0,23467 |
| 38 | 135,730 | -0,212524 | -0,06143 | -0,1841 |
| 39 | 135,735 | -0,060329 | -0,01909 | 0,073566 |
| 40 | 135,740 | 0,102236 | -0,0405 | -0,05228 |
| 41 | 135,745 | -0,12542 | -0,04008 | 0,216428 |
| 42 | 135,750 | 0,067954 | 0,179157 | -0,08058 |
| 43 | 135,755 | 0,082167 | 0,062769 | -0,04392 |
| 44 | 135,760 | 0,02928 | -0,03135 | 0,021106 |
| 45 | 135,765 | 0,05978 | -0,0588 | 0,057157 |
| 46 | 135,770 | -0,04264 | -0,05069 | -0,06216 |
| 47 | 135,775 | 0,003538 | 0,094672 | -0,06917 |
| 48 | 135,780 | -0,02629 | -0,06076 | -0,00726 |
| 49 | 135,785 | -0,06021 | -0,08174 | 0,036661 |
| 50 | 135,790 | -0,00256 | -0,02635 | -0,00726 |
| 51 | 135,795 | -0,00421 | -0,09614 | 0,07076 |
| 52 | 135,800 | 0,047519 | -0,05307 | -0,02037 |
| 53 | 135,805 | -0,0144 | 0,016348 | 0,001769 |
| 54 | 135,810 | -0,0391 | 0,111386 | 0,021289 |
| 55 | 135,815 | 0,027694 | -0,02721 | 0,055449 |
| 56 | 135,820 | 0,041358 | -0,0549 | 0,020221 |
| 57 | 135,825 | 0,089609 | 5,60E-02 | -0,10199 |
| 58 | 135,830 | -0,10352 | -0,13298 | 0,150243 |
| 59 | 135,835 | 0,125965 | 0,024583 | -0,07607 |
| 60 | 135,840 | -0,1231 | -0,03697 | 0,057401 |
| 61 | 135,845 | 0,01952 | -0,00994 | 0,033001 |
| 62 | 135,850 | 0,036112 | -0,09394 | 0,043249 |
| 63 | 135,855 | -0,079 | 0,012688 | -0,03745 |
| 64 | 135,860 | -0,04587 | -0,01348 | -0,0241 |
| 65 | 135,865 | 0,00854 | 0,028914 | -0,06545 |
| 66 | 135,870 | -0,01074 | 0,083448 | -0,06454 |
| 67 | 135,875 | -0,01049 | 0,044164 | -0,1891 |
| 68 | 135,880 | -0,00012 | 0,051606 | -0,05124 |
| 69 | 135,885 | -0,1059 | -0,12566 | 0,020374 |
| 70 | 135,890 | 0,040931 | -0,10035 | 0,024217 |
| 71 | 135,895 | 0,07503 | 0,110959 | -0,03989 |
| 72 | 135,900 | 0,074359 | -0,0039 | 0,075884 |
| 73 | 135,905 | -0,17196 | -0,07271 | 0,318176 |
| 74 | 135,910 | 0,073139 | 0,07137 | -0,12176 |
| 75 | 135,915 | 0,031476 | 0,028243 | 0,051484 |
| 76 | 135,920 | 0,160979 | 0,052094 | -0,15317 |
| 77 | 135,925 | -0,15372 | -0,16385 | 0,183122 |
| 78 | 135,930 | -0,08284 | -0,01507 | 0,211365 |
| 79 | 135,935 | -0,04233 | 0,024705 | 0,168177 |
| 80 | 135,940 | 0,016165 | -0,06021 | 0,102663 |
| 81 | 135,945 | -0,03849 | 0,08235 | 0,1461 |
| 82 | 135,950 | -0,0546 | 0,030195 | -0,03135 |
| 83 | 135,955 | 0,027023 | -0,02294 | -0,19331 |
| 84 | 135,960 | -0,02532 | 0,03782 | -0,11023 |
| 85 | 135,965 | 0,010736 | -0,00299 | -0,09809 |
| 86 | 135,970 | -0,04789 | -0,01086 | -0,11987 |
| 87 | 135,975 | -0,01543 | 0,006466 | -0,11072 |
| 88 | 135,980 | -0,10742 | -0,10632 | 6,1E-05 |
| 89 | 135,985 | -0,05899 | -0,03471 | 0,09547 |
| 90 | 135,990 | 0,163053 | 0,016958 | 0,0377 |
| 91 | 135,995 | 0,02989 | 0,027023 | 0,07778 |
| 92 | 136,000 | -0,0133 | 0,169336 | -0,18135 |
| 93 | 136,005 | 0,04697 | -0,10382 | -0,0427 |
| 94 | 136,010 | -0,00958 | 0,02989 | -0,03898 |
| 95 | 136,015 | 0,027328 | 0,139446 | -0,19337 |
| 96 | 136,020 | -0,05722 | -0,28951 | 0,20197 |
| 97 | 136,025 | -0,07521 | 1,28E-01 | 0,10199 |
| 98 | 136,030 | 0,069967 | 0,082899 | -0,31927 |
| 99 | 136,035 | 0,012078 | -0,15915 | 0,03105 |
| 100 | 136,040 | 0,025742 | 0,168543 | 0,04276 |
| 101 | 136,045 | -0,23552 | -0,20307 | 0,2881 |
| 102 | 136,050 | 0,083143 | 0,030988 | -0,08546 |
| 103 | 136,055 | -0,0499 | -0,04557 | 0,01757 |
| 104 | 136,060 | -0,13487 | 0,009699 | 0,16421 |
| 105 | 136,065 | -0,11926 | 0,071858 | 0,08766 |
| 106 | 136,070 | 0,110166 | -0,01318 | -0,17367 |
| 107 | 136,075 | -0,24437 | -0,04191 | 0,28469 |
| 108 | 136,080 | 0,127673 | 0,060207 | -0,40467 |
| 109 | 136,085 | -0,18776 | -0,14384 | 0,24644 |
| 110 | 136,090 | 0,111142 | 0,086071 | -0,09717 |
| 111 | 136,095 | -0,06411 | 0,080459 | 0,0965 |
| 112 | 136,100 | 0,096624 | 0,063318 | -0,07363 |
| 113 | 136,105 | 0,053009 | -0,03532 | -0,09858 |
| 114 | 136,110 | 0,026596 | -0,00397 | -0,01098 |
| 115 | 136,115 | -0,05838 | 0,052704 | 0,00214 |
| 116 | 136,120 | 0,088572 | -0,02123 | -0,03928 |
| 117 | 136,125 | 0,097844 | 0,000427 | -0,02983 |
| 118 | 136,130 | -0,12035 | 0,023119 | 0,04105 |
| 119 | 136,135 | 0,111752 | 0,015128 | -0,01928 |
| 120 | 136,140 | -0,05545 | 0,029829 | 0,06887 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARANG-JAKARTA TITIK KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KA BARANG I
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 89,135 | -0,015616 | -0,07027 | 0,049776 |
| 2 | 89,140 | -0,123403 | 0,041724 | -0,02233 |
| 3 | 89,145 | -0,005734 | 0,013847 | 0,014762 |
| 4 | 89,150 | -0,038064 | -0,01769 | 0,016043 |
| 5 | 89,155 | 0,089548 | 0,063745 | 0,074176 |
| 6 | 89,160 | -0,090707 | -0,14634 | -0,09803 |
| 7 | 89,165 | 0,101931 | 0,170556 | -0,08351 |
| 8 | 89,170 | 0,110837 | 0,493673 | 0,399733 |
| 9 | 89,175 | 0,049654 | -0,33373 | -0,48397 |
| 10 | 89,180 | -0,074481 | 0,077287 | -0,32324 |
| 11 | 89,185 | -0,017629 | 0,051606 | 0,932263 |
| 12 | 89,190 | 0,139202 | 0,017507 | -0,85333 |
| 13 | 89,195 | -0,425536 | -0,56852 | -0,14866 |
| 14 | 89,200 | 0,082289 | -0,0754 | -0,19801 |
| 15 | 89,205 | 0,005063 | -0,03642 | 0,53802 |
| 16 | 89,210 | 0,035441 | -0,09662 | -0,70217 |
| 17 | 89,215 | 0,041663 | 0,004941 | -0,26212 |
| 18 | 89,220 | 0,058856 | 0,045994 | 0,135481 |
| 19 | 89,225 | 0,184647 | 0,087047 | -0,03599 |
| 20 | 89,230 | -0,358863 | 0,039467 | 0,339343 |
| 21 | 89,235 | 0,00488 | -0,24784 | -0,46391 |
| 22 | 89,240 | -0,005063 | -0,10535 | -0,21405 |
| 23 | 89,245 | 0,155184 | 0,07137 | -0,66765 |
| 24 | 89,250 | -0,362401 | 0,1647 | 0,401746 |
| 25 | 89,255 | 0,1525 | -0,01336 | -0,1145 |
| 26 | 89,260 | -0,201056 | -0,07826 | 0,146827 |
| 27 | 89,265 | 0,106445 | 0,139019 | -0,272 |
| 28 | 89,270 | 0,123952 | -0,02263 | 0,17263 |
| 29 | 89,275 | 0,207339 | 0,206424 | -0,15311 |
| 30 | 89,280 | -0,240828 | -0,22948 | 0,082838 |
| 31 | 89,285 | 0,005673 | 0,317871 | 0,217099 |
| 32 | 89,290 | -0,169275 | -0,18343 | -0,01214 |
| 33 | 89,295 | -0,14097 | 0,111813 | 0,182817 |
| 34 | 89,300 | -0,043737 | -0,2196 | 0,098515 |
| 35 | 89,305 | 0,15738 | -0,01354 | -0,33288 |
| 36 | 89,310 | 0,242902 | 0,24522 | -0,08912 |
| 37 | 89,315 | -0,094184 | -0,03813 | 0,254309 |
| 38 | 89,320 | -0,174765 | -0,11675 | 0,245464 |
| 39 | 89,325 | -0,025315 | -0,07338 | 0,048312 |
| 40 | 89,330 | 0,026901 | 0,070699 | -0,01251 |
| 41 | 89,335 | 0,08418 | 0,074054 | -0,10577 |
| 42 | 89,340 | -0,08595 | -0,02757 | 0,000854 |
| 43 | 89,345 | -0,04898 | -0,07637 | -0,03642 |
| 44 | 89,350 | -0,07094 | -0,14677 | -0,59432 |
| 45 | 89,355 | -0,01305 | -0,16403 | -0,20514 |
| 46 | 89,360 | 0,131699 | 0,282552 | -0,06234 |
| 47 | 89,365 | -0,01495 | -0,04496 | 0,057462 |
| 48 | 89,370 | -0,11901 | 0,084119 | 0,072346 |
| 49 | 89,375 | 0,047214 | 0,135298 | 0,479094 |
| 50 | 89,380 | -0,25419 | 0,115595 | 0,602558 |
| 51 | 89,385 | 0,134871 | -0,01812 | -0,66075 |
| 52 | 89,390 | 0,179523 | 0,01159 | 0,677405 |
| 53 | 89,395 | -0,12127 | 0,02074 | -0,17147 |
| 54 | 89,400 | -0,0746 | -0,08693 | -0,54125 |
| 55 | 89,405 | 0,038064 | 0,135115 | -0,11614 |
| 56 | 89,410 | 0,096258 | -0,09272 | -0,06704 |
| 57 | 89,415 | 0,187026 | -3,04E-02 | -0,18526 |
| 58 | 89,420 | -0,30872 | 0,023729 | 0,499102 |
| 59 | 89,425 | 0,138043 | -0,00964 | -0,14018 |
| 60 | 89,430 | 0,127673 | 0,175497 | 0,408456 |
| 61 | 89,435 | -0,21978 | 0,130662 | 0,54351 |
| 62 | 89,440 | 0,159027 | -0,06002 | -0,32043 |
| 63 | 89,445 | -0,11651 | 0,059963 | 0,323971 |
| 64 | 89,450 | 0,001464 | -0,02672 | -0,12963 |
| 65 | 89,455 | -0,06966 | 0,123891 | 0,208742 |
| 66 | 89,460 | -0,08259 | -0,09583 | -0,18733 |
| 67 | 89,465 | 0,138714 | -0,03142 | 0,139934 |
| 68 | 90,910 | 0,07198 | 0,210694 | 0,447679 |
| 69 | 90,915 | -0,01824 | -0,09449 | -0,22436 |
| 70 | 90,920 | 0,064477 | 0,07259 | 0,199958 |
| 71 | 90,925 | -0,10126 | -0,13609 | -0,20734 |
| 72 | 90,930 | -0,09242 | -0,01501 | -0,05807 |
| 73 | 90,935 | 0,290238 | 0,235887 | 0,061366 |
| 74 | 90,940 | -0,20026 | -0,1098 | 0,132492 |
| 75 | 90,945 | -0,1328 | -0,01647 | 0,033123 |
| 76 | 90,950 | 0,075457 | 0,029158 | 0,061427 |
| 77 | 90,955 | -0,00397 | -0,11785 | 0,045384 |
| 78 | 90,960 | 0,214293 | 0,08784 | -0,04831 |
| 79 | 90,965 | 0,218136 | 0,160735 | -0,01232 |
| 80 | 90,970 | -0,00817 | 0,036844 | 0,122 |
| 81 | 90,975 | -0,08235 | -0,08223 | -0,03922 |
| 82 | 90,980 | 0,22143 | -0,05112 | -0,03776 |
| 83 | 90,985 | -0,03325 | 0,041602 | 0,11517 |
| 84 | 90,990 | -0,04099 | -0,09254 | 0,0241 |
| 85 | 90,995 | 0,054229 | 0,004148 | -0,08741 |
| 86 | 92,300 | 0,007076 | 0,091073 | -0,03331 |
| 87 | 92,305 | 0,064172 | -0,08723 | -0,11242 |
| 88 | 94,325 | 0,195017 | -0,09986 | -0,29585 |
| 89 | 94,330 | 0,033062 | 0,062037 | -0,30512 |
| 90 | 94,335 | 0,056364 | -0,11041 | -0,12566 |
| 91 | 94,340 | -0,10437 | -0,26919 | -0,24626 |
| 92 | 94,345 | 0,102602 | 0,025071 | -0,46653 |
| 93 | 94,350 | -0,00927 | 0,212768 | 0,97271 |
| 94 | 94,355 | -0,02153 | -0,18861 | -0,53332 |
| 95 | 94,360 | 0,037454 | 0,038857 | 0,46464 |
| 96 | 94,365 | 0,044591 | 0,341112 | 0,60536 |
| 97 | 94,370 | 0,005734 | -1,90E-01 | -0,28194 |
| 98 | 94,375 | -0,00653 | 0,182695 | 0,03764 |
| 99 | 94,380 | 0,19032 | -0,06631 | -0,22143 |
| 100 | 94,385 | 0,239547 | -0,04331 | -0,25376 |
| 101 | 94,390 | -0,14939 | -0,10431 | -0,023 |
| 102 | 94,450 | -0,07204 | -0,09437 | 0,08449 |
| 103 | 94,455 | 0,099552 | -0,01 | 0,24955 |
| 104 | 94,460 | -0,04965 | -0,10962 | 0,12688 |
| 105 | 94,465 | -0,03855 | -0,00403 | -0,0574 |
| 106 | 94,470 | 0,04392 | 0,121146 | 0,04191 |
| 107 | 94,475 | -0,23595 | -0,20594 | -0,00061 |
| 108 | 94,480 | 0,020374 | 0,018178 | -0,14884 |
| 109 | 94,485 | -0,01659 | -0,00311 | -0,04081 |
| 110 | 94,490 | -0,0108 | -0,12261 | -0,02568 |
| 111 | 94,495 | 0,040016 | 0,029829 | -0,04246 |
| 112 | 94,500 | -0,06863 | -0,05941 | 0,02037 |
| 113 | 94,505 | 0,146095 | -0,00598 | 0,05014 |
| 114 | 94,510 | 0,543144 | 0,05978 | -0,1428 |
| 115 | 94,515 | -0,01019 | -0,0388 | -0,07338 |
| 116 | 94,520 | -0,23241 | -0,01708 | 0,18678 |
| 117 | 94,525 | -0,19032 | -0,028 | 0,07094 |
| 118 | 94,530 | 0,111264 | 0,032757 | -0,07991 |
| 119 | 94,535 | 0,09638 | -0,00421 | -0,09242 |
| 120 | 94,540 | 0,009028 | 0,066429 | 0,02086 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARANG-JAKARTA TITIK KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KA BARANG 2
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 2.830 | -0.024644 | -0.00537 | -0.12536 |
| 2 | 2.835 | -0.088084 | -0.06161 | -0.34733 |
| 3 | 2.840 | -0.046787 | 0.033672 | -0.01043 |
| 4 | 2.845 | 0.096441 | -0.01519 | 0.148352 |
| 5 | 2.850 | 0.040443 | 0.001708 | 0.023058 |
| 6 | 2.855 | 0.09272 | 0.069723 | 0.137189 |
| 7 | 2.860 | -0.102114 | -0.09382 | -0.05435 |
| 8 | 2.865 | 0.034038 | 0.092964 | -0.04691 |
| 9 | 2.870 | 0.04697 | 0.031659 | 0.511363 |
| 10 | 2.875 | 0.021655 | 0.038979 | 0.104493 |
| 11 | 2.880 | -0.021655 | 0.02318 | -0.01568 |
| 12 | 2.885 | 0.02623 | -0.11346 | -0.1051 |
| 13 | 2.890 | -0.096319 | -0.04935 | -0.15634 |
| 14 | 2.895 | 0.024644 | 0.015982 | -0.05563 |
| 15 | 2.900 | -0.009211 | -0.03392 | -0.16061 |
| 16 | 2.905 | -0.050386 | 0.029646 | 0.067161 |
| 17 | 2.910 | 0.080825 | 0.018788 | 0.258213 |
| 18 | 2.915 | 0.182695 | 0.127368 | 0.382043 |
| 19 | 2.920 | -0.183305 | -0.04953 | -0.02477 |
| 20 | 2.925 | 0.0915 | 0 | -0.23076 |
| 21 | 2.930 | 0.138836 | -0.07479 | -0.20539 |
| 22 | 2.935 | -0.245037 | 0.065636 | 0.087047 |
| 23 | 2.940 | 0.087779 | -0.04221 | 0.077043 |
| 24 | 2.945 | -0.150304 | -0.04325 | -0.1705 |
| 25 | 2.950 | -0.022143 | -0.00573 | -0.01305 |
| 26 | 2.955 | 0.040382 | -0.01244 | -0.00427 |
| 27 | 2.960 | -0.054168 | 0.009577 | -0.21429 |
| 28 | 2.965 | -0.068015 | -0.01629 | -0.04429 |
| 29 | 2.970 | -0.03782 | 0.10492 | -0.03715 |
| 30 | 2.975 | -0.037271 | -0.00677 | 0.186111 |
| 31 | 2.980 | 0.155367 | -0.05948 | -0.18776 |
| 32 | 2.985 | -0.146461 | -0.13164 | -0.07863 |
| 33 | 2.990 | 0.11730 | 0.005673 | -0.10492 |
| 34 | 2.995 | 0.019947 | -0.00885 | -0.01116 |
| 35 | 3.000 | 0.078568 | 0.105164 | 0.165798 |
| 36 | 3.005 | 0.081557 | -0.03074 | 0.033855 |
| 37 | 3.010 | 0.053985 | -0.02989 | 0.031598 |
| 38 | 3.015 | -0.114619 | -0.02092 | 0.171532 |
| 39 | 3.020 | 0.027145 | -0.0097 | 0.130174 |
| 40 | 3.025 | 0.014213 | 0.060512 | 0.144692 |
| 41 | 3.030 | 0.019215 | 0.039345 | 0.092415 |
| 42 | 3.035 | -0.0233 | -0.01013 | 0.016653 |
| 43 | 3.040 | -0.01055 | -0.02117 | 0.013664 |
| 44 | 3.045 | 0.055815 | 0.074603 | -0.01122 |
| 45 | 3.050 | 0.030622 | -0.04502 | -0.08863 |
| 46 | 3.055 | -0.15714 | 0.054839 | -0.08296 |
| 47 | 3.060 | -0.05252 | -0.07277 | 0.114924 |
| 48 | 3.065 | 0.214232 | -0.07466 | -0.14176 |
| 49 | 3.070 | -0.17214 | -0.01617 | -0.07094 |
| 50 | 3.075 | -0.01129 | -0.01257 | -0.20856 |
| 51 | 3.080 | 0.080703 | 0.093696 | -0.0075 |
| 52 | 3.085 | -0.20984 | 0.009333 | 0.148291 |
| 53 | 3.090 | 0.137372 | 0.021594 | 0.099796 |
| 54 | 3.195 | 0.090524 | 0.006832 | 0.295545 |
| 55 | 3.200 | -0.00866 | 0.088206 | 0.092659 |
| 56 | 3.205 | 0.037881 | -0.05173 | 0.017507 |
| 57 | 3.210 | -0.03373 | -6.31E-02 | -0.24424 |
| 58 | 3.215 | 0.15799 | -0.03928 | -0.30238 |
| 59 | 3.220 | 0.03782 | 0.072346 | 0.017263 |
| 60 | 3.225 | 0.007015 | 0.085095 | 0.153598 |
| 61 | 3.230 | 0.042822 | -0.04831 | 0.063562 |
| 62 | 3.235 | -0.17745 | 0.008235 | -0.18562 |
| 63 | 3.240 | 0.052155 | 0.01647 | 0.069418 |
| 64 | 3.245 | -0.24418 | -0.04734 | 0.140544 |
| 65 | 3.250 | 0.272182 | 0.056669 | -0.03752 |
| 66 | 3.255 | 0.103334 | 0.033916 | 0.134566 |
| 67 | 3.260 | -0.16153 | 0.046726 | 0.328729 |
| 68 | 3.265 | 0.014579 | -0.03062 | -0.05905 |
| 69 | 3.420 | 0.046848 | -0.01629 | 0.14335 |
| 70 | 3.425 | -0.03044 | -0.02245 | -0.18337 |
| 71 | 3.430 | 0.011468 | 0.023912 | -0.03666 |
| 72 | 3.435 | -0.06198 | 0.050569 | -0.06692 |
| 73 | 3.440 | -0.11572 | -0.04484 | -0.34727 |
| 74 | 3.445 | -0.01299 | -0.00848 | -0.13396 |
| 75 | 3.450 | -0.05636 | -0.01726 | -0.17501 |
| 76 | 3.455 | -0.02483 | -0.00409 | -0.04728 |
| 77 | 3.460 | -0.00842 | -0.02605 | -0.00268 |
| 78 | 3.465 | -0.08266 | 0.022631 | 0.057706 |
| 79 | 3.470 | 0.055205 | 0.075945 | -0.00415 |
| 80 | 3.475 | 0.050264 | -0.09571 | 0.297924 |
| 81 | 3.480 | 0.013786 | 0.137677 | -0.25199 |
| 82 | 3.485 | 0.076006 | -0.01385 | 0.05319 |
| 83 | 3.490 | -0.05722 | 0.028792 | 0.21557 |
| 84 | 3.495 | 0.069845 | -0.00994 | 0.23034 |
| 85 | 3.500 | 0.105713 | -0.03331 | -0.0111 |
| 86 | 3.505 | -0.10144 | 0.111447 | -0.04685 |
| 87 | 3.510 | -0.06314 | 0.041297 | -0.06039 |
| 88 | 3.515 | 0.042639 | 0.145119 | -0.13865 |
| 89 | 3.520 | -0.02019 | -0.12902 | -0.19709 |
| 90 | 3.525 | -0.10785 | 0.131394 | -0.03855 |
| 91 | 3.530 | 0.161772 | -0.16781 | 0.05051 |
| 92 | 3.535 | -0.09113 | 0.011773 | -0.04551 |
| 93 | 3.540 | 0.003416 | -0.01147 | -0.02922 |
| 94 | 3.545 | -0.03562 | -0.00116 | -0.05704 |
| 95 | 3.550 | -0.07204 | 0.003904 | -0.05313 |
| 96 | 3.555 | 0.018117 | 0.007503 | -0.03166 |
| 97 | 3.560 | -0.0169 | -3.65E-02 | 0.01793 |
| 98 | 3.565 | 0.060268 | 0.012749 | 0.03941 |
| 99 | 3.570 | 0.054778 | 0.020984 | 0.16574 |
| 100 | 3.575 | -0.04465 | -0.30506 | 0.03459 |
| 101 | 3.580 | 0.034465 | 0.197518 | 0.15659 |
| 102 | 3.585 | 0.099857 | 0.071431 | 0.01922 |
| 103 | 3.590 | -0.05338 | -0.11273 | -0.20032 |
| 104 | 3.645 | -0.03526 | 0.009516 | 0.03935 |
| 105 | 3.650 | 0.09333 | -0.02056 | 0.01501 |
| 106 | 3.655 | -0.12889 | -0.02544 | -0.1453 |
| 107 | 3.660 | -0.05606 | -0.17562 | 0.01793 |
| 108 | 3.665 | 0.205021 | 0.183915 | 0.14811 |
| 109 | 3.670 | -0.12255 | 0.052216 | 0.04642 |
| 110 | 6.515 | 0.029768 | 0.037454 | 0.11108 |
| 111 | 6.520 | -0.03361 | -0.20771 | -0.12651 |
| 112 | 6.525 | 0.088816 | 0.090158 | -0.00397 |
| 113 | 6.530 | -0.03154 | 0.124379 | 0.39546 |
| 114 | 6.535 | 0.015616 | 0.22082 | 0.08571 |
| 115 | 6.540 | 0.125233 | 0.326167 | -0.03544 |
| 116 | 6.545 | -0.13536 | -0.3158 | -0.35215 |
| 117 | 6.550 | 0.0122 | 0.055449 | -0.03129 |
| 118 | 6.555 | 0.106201 | -0.00519 | 0.25724 |
| 119 | 6.560 | 0.010248 | -0.03404 | -0.18782 |
| 120 | 6.565 | 0.018544 | 0.005002 | -0.27352 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : JOGLOSEMARKERTO
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 16,030 | 0,015231 | -0,00452 | -0,00737 |
| 2 | 16,035 | -0,01819 | -0,00343 | 0,007373 |
| 3 | 16,040 | 0,012279 | 0,000178 | -0,00232 |
| 4 | 16,045 | 0,001699 | -0,01079 | -0,01019 |
| 5 | 16,050 | -0,002284 | -0,00015 | 0,010791 |
| 6 | 16,055 | 0,004558 | 0,001586 | -0,02056 |
| 7 | 16,060 | 0,004829 | 5,28E-05 | 0,02250 |
| 8 | 16,065 | -0,012523 | 0,010936 | 0,01314 |
| 9 | 16,070 | -0,006267 | -0,03357 | -0,0215 |
| 10 | 16,075 | 0,028976 | 0,000974 | 0,002416 |
| 11 | 16,080 | -0,021924 | 0,213512 | -0,00295 |
| 12 | 16,085 | -0,001482 | 0,002165 | 0,019835 |
| 13 | 16,090 | 0,013403 | 0,000888 | 0,002711 |
| 14 | 16,095 | -0,004523 | -0,03746 | -0,01198 |
| 15 | 16,100 | 0,005602 | 0,002221 | -0,01196 |
| 16 | 16,105 | -0,006859 | 0,033538 | -0,01274 |
| 17 | 16,110 | 0,005703 | 0,023656 | 0,02256 |
| 18 | 16,115 | 0,000309 | -0,00345 | 0,002016 |
| 19 | 16,120 | -0,00285 | -0,02081 | 0,005641 |
| 20 | 16,125 | -0,004355 | 0,014478 | 0,000105 |
| 21 | 16,130 | -0,004374 | -0,02497 | -0,0027 |
| 22 | 16,135 | 0,005703 | 0,009556 | 0,009208 |
| 23 | 16,140 | 0,002458 | -0,01209 | -0,01622 |
| 24 | 16,145 | 0,006543 | -0,0027 | 0,009527 |
| 25 | 16,150 | -0,000627 | 0,012143 | -0,00285 |
| 26 | 16,155 | -0,002147 | -0,02399 | -0,00888 |
| 27 | 16,160 | -0,003539 | 0,021448 | 0,009154 |
| 28 | 16,165 | 0,000524 | -0,01271 | -0,00764 |
| 29 | 16,170 | 0,006639 | -0,00622 | 0,007148 |
| 30 | 16,175 | -0,005307 | 0,005449 | -0,00342 |
| 31 | 16,180 | 0,0086 | -0,02016 | -0,00077 |
| 32 | 16,185 | -0,001649 | 0,012821 | 0,013903 |
| 33 | 16,190 | -0,01056 | -0,01539 | -0,01229 |
| 34 | 16,195 | 0,011565 | 0,000387 | 0,004102 |
| 35 | 16,200 | -0,002716 | 0,01147 | 0,004614 |
| 36 | 16,205 | -0,004001 | -0,01755 | -0,00609 |
| 37 | 16,210 | 0,007062 | 0,006587 | 0,004075 |
| 38 | 16,215 | -0,001466 | -0,00723 | -0,00649 |
| 39 | 16,220 | 0,002916 | -0,00345 | 0,004923 |
| 40 | 16,225 | 0,001241 | 0,002418 | 0,001348 |
| 41 | 16,230 | -0,0021 | -0,01067 | 0,002709 |
| 42 | 16,235 | -0,00116 | 0,005629 | 0,006764 |
| 43 | 16,240 | -0,00127 | -0,01212 | -0,00669 |
| 44 | 16,245 | 0,00401 | -0,00168 | 0,000898 |
| 45 | 16,250 | -0,00466 | 0,008542 | -0,00162 |
| 46 | 16,255 | 0,003421 | -0,01344 | -0,00047 |
| 47 | 16,260 | 0,001936 | 0,008437 | 0,001503 |
| 48 | 16,265 | -0,00246 | -0,0122 | 0,004327 |
| 49 | 16,270 | 0,001503 | -0,00645 | 0,000355 |
| 50 | 16,275 | 0,000779 | 0,002738 | -0,00633 |
| 51 | 16,280 | 0,001993 | -0,00787 | 0,005517 |
| 52 | 16,285 | -0,00793 | 0,010121 | -0,00421 |
| 53 | 16,530 | 0,008857 | -0,00373 | -0,00097 |
| 54 | 16,535 | -0,01082 | -0,00466 | 0,002755 |
| 55 | 16,540 | 0,001561 | -0,00308 | -0,00177 |
| 56 | 16,545 | 0,001736 | -0,00431 | -0,00023 |
| 57 | 16,550 | 0,00041 | -2,47E-03 | 0,000888 |
| 58 | 16,555 | 0,005113 | -0,00474 | -0,00428 |
| 59 | 16,560 | -0,00284 | -0,00092 | 0,001811 |
| 60 | 16,565 | 0,005179 | -0,00769 | 0,001158 |
| 61 | 16,570 | -0,00053 | -0,00311 | -0,00077 |
| 62 | 16,600 | -0,00074 | -0,0091 | 0,008426 |
| 63 | 16,605 | -0,00618 | -0,01778 | -0,00611 |
| 64 | 16,610 | 0,015595 | -0,01038 | -0,02106 |
| 65 | 16,615 | -0,00588 | 0,000658 | -0,00202 |
| 66 | 16,620 | -0,00044 | 0,012405 | 0,011963 |
| 67 | 16,625 | -0,00053 | -0,00213 | 0,005642 |
| 68 | 18,440 | -0,00023 | 0,000471 | -0,00396 |
| 69 | 18,445 | 0,01099 | -0,00354 | -0,00161 |
| 70 | 18,450 | -0,00024 | -0,00196 | 0,005756 |
| 71 | 18,455 | -0,00752 | -0,00766 | 0,005285 |
| 72 | 18,460 | 0,013823 | 0,000256 | -0,00202 |
| 73 | 18,465 | -0,01439 | -0,00704 | -0,00221 |
| 74 | 18,470 | 0,006706 | -0,00447 | 0,007104 |
| 75 | 18,475 | 0,008918 | 0,003299 | -0,00623 |
| 76 | 18,480 | -0,02208 | -0,01322 | -0,00244 |
| 77 | 18,485 | 0,019283 | 0,006157 | 0,005796 |
| 78 | 18,490 | -0,01472 | -0,00403 | -0,01642 |
| 79 | 18,495 | 0,008091 | -0,00074 | 0,026124 |
| 80 | 18,500 | 0,038081 | -0,00082 | -0,01793 |
| 81 | 18,505 | -0,06048 | -0,00438 | 0,00868 |
| 82 | 18,510 | 0,041679 | -0,00781 | 0,04407 |
| 83 | 18,515 | -0,01553 | 0,001722 | -0,07057 |
| 84 | 18,520 | -0,06157 | -0,00733 | 0,01826 |
| 85 | 18,525 | 0,140838 | -0,02063 | 0,00983 |
| 86 | 18,530 | -0,07487 | 0,0608 | -0,01859 |
| 87 | 18,535 | -0,05275 | -0,0592 | 0,04276 |
| 88 | 18,540 | 0,105633 | -0,01479 | -0,0287 |
| 89 | 18,545 | -0,08008 | 0,065269 | 0,00603 |
| 90 | 18,550 | 0,006067 | -0,08278 | 0,00875 |
| 91 | 18,555 | 0,042091 | 0,055993 | -0,02348 |
| 92 | 18,560 | -0,01603 | 0,003091 | 0,02009 |
| 93 | 18,565 | 0,004932 | -0,04875 | 0,00968 |
| 94 | 18,570 | -0,03723 | 0,036808 | -0,01521 |
| 95 | 18,575 | 0,030475 | -0,03885 | -0,0017 |
| 96 | 18,580 | 0,024598 | 0,036929 | -0,00192 |
| 97 | 18,585 | -0,03139 | -1,28E-02 | 0,01569 |
| 98 | 18,590 | 0,007481 | -0,02712 | 0,01223 |
| 99 | 18,595 | -0,01335 | 0,026538 | -0,02431 |
| 100 | 18,600 | 0,01926 | -0,02375 | -0,00514 |
| 101 | 18,605 | 0,013894 | 0,023162 | 0,01323 |
| 102 | 18,610 | -0,03555 | -0,01554 | 0,00316 |
| 103 | 18,615 | 0,023618 | -0,01358 | -0,01028 |
| 104 | 18,620 | 0,006757 | 0,027713 | 0,0089 |
| 105 | 18,660 | 0,014045 | -0,00495 | 0,01157 |
| 106 | 18,665 | -0,00422 | -0,00085 | -0,01349 |
| 107 | 18,670 | -0,0106 | -0,01009 | -0,01663 |
| 108 | 18,675 | 0,027735 | 0,021241 | 0,04759 |
| 109 | 18,680 | -0,00299 | 0,002372 | -0,05099 |
| 110 | 18,685 | -0,00896 | -0,03538 | 0,04391 |
| 111 | 18,690 | -0,01006 | 0,01667 | 0,0401 |
| 112 | 18,695 | -0,02229 | -0,04707 | -0,15155 |
| 113 | 18,700 | 0,047096 | 0,051827 | 0,1316 |
| 114 | 18,705 | 0,023204 | 0,04953 | -0,01998 |
| 115 | 18,710 | -0,06338 | -0,13642 | -0,0752 |
| 116 | 18,715 | 0,002995 | 0,084841 | 0,12927 |
| 117 | 18,720 | 0,07865 | 0,023319 | -0,09229 |
| 118 | 18,725 | -0,07157 | -0,1087 | 0,01828 |
| 119 | 18,730 | -0,03929 | 0,053314 | 0,02532 |
| 120 | 18,735 | 0,109352 | 0,01825 | -0,05172 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KEDUNGSEPUR
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 72,950 | -0,058684 | -0,07518 | -0,03323 |
| 2 | 72,955 | -0,003547 | -0,20051 | 0,053005 |
| 3 | 72,960 | 0,01273 | -0,22281 | -0,07552 |
| 4 | 72,965 | 0,047461 | -0,29307 | 0,113521 |
| 5 | 72,970 | -0,098538 | -0,10134 | 0,032204 |
| 6 | 72,975 | -0,028262 | -0,11286 | -0,0688 |
| 7 | 72,980 | 0,08746 | -0,12091 | 0,05481 |
| 8 | 72,985 | -0,031298 | 0,310451 | -0,02139 |
| 9 | 72,990 | 0,104175 | -0,17649 | 0,042834 |
| 10 | 72,995 | 0,007259 | -0,304 | 0,006497 |
| 11 | 73,000 | -0,025104 | 0,0045 | 0,041708 |
| 12 | 73,005 | 0,049959 | -0,32609 | 0,024805 |
| 13 | 73,010 | -0,065645 | -0,23213 | -0,0485 |
| 14 | 73,015 | 0,055905 | -0,19271 | 0,056635 |
| 15 | 73,020 | 0,016173 | -0,1114 | -0,05387 |
| 16 | 73,025 | -0,085373 | 0,042606 | -0,00982 |
| 17 | 73,030 | 0,051675 | -0,16722 | 0,029469 |
| 18 | 73,035 | 0,047162 | -0,19303 | 0,001076 |
| 19 | 73,040 | -0,047286 | -0,24488 | 0,004436 |
| 20 | 73,045 | -0,02307 | -0,20874 | -0,03887 |
| 21 | 73,050 | 0,02124 | -0,0879 | 0,030355 |
| 22 | 73,055 | 0,005917 | -0,17549 | -0,02647 |
| 23 | 73,060 | -0,028137 | -0,17576 | -0,01623 |
| 24 | 73,065 | 0,008497 | -0,13717 | 0,037981 |
| 25 | 73,070 | 0,027201 | -0,17625 | -0,02345 |
| 26 | 73,075 | -0,016065 | -0,18573 | 0,00834 |
| 27 | 73,080 | -0,022866 | -0,1515 | -0,02253 |
| 28 | 73,085 | 0,007484 | -0,10107 | -0,0087 |
| 29 | 73,090 | 0,030942 | -0,1642 | 0,01062 |
| 30 | 73,095 | -0,021283 | -0,23425 | -0,01717 |
| 31 | 73,100 | -0,006999 | -0,15107 | 0,021505 |
| 32 | 73,105 | 0,014342 | -0,12471 | -0,03135 |
| 33 | 73,110 | -0,02623 | -0,1801 | 0,008601 |
| 34 | 73,115 | 0,016292 | -0,16289 | 0,011233 |
| 35 | 73,120 | -0,003891 | -0,15036 | -0,03395 |
| 36 | 73,125 | -0,001674 | -0,14385 | 0,033631 |
| 37 | 73,130 | 0,028471 | -0,13764 | -0,01058 |
| 38 | 73,135 | -0,044407 | -0,21536 | -0,02112 |
| 39 | 73,140 | 0,007433 | -0,18155 | 0,018259 |
| 40 | 73,145 | 0,029823 | -0,1298 | -0,02298 |
| 41 | 73,150 | -0,04204 | -0,17628 | 0,008329 |
| 42 | 73,155 | 0,031157 | -0,15585 | 0,007055 |
| 43 | 73,160 | 0,005832 | -0,16367 | -0,01877 |
| 44 | 73,165 | -0,04968 | -0,1775 | 0,013486 |
| 45 | 73,170 | 0,039844 | -0,14491 | 1,43E-05 |
| 46 | 73,175 | 0,003859 | -0,15242 | -0,01073 |
| 47 | 73,180 | -0,00841 | -0,18595 | -0,00908 |
| 48 | 73,185 | 0,017118 | -0,18108 | 0,012864 |
| 49 | 73,190 | -0,02135 | -0,17464 | 0,000471 |
| 50 | 73,195 | 0,018319 | -0,164 | 0,000833 |
| 51 | 73,200 | -0,01633 | -0,14836 | 0,007672 |
| 52 | 73,205 | -0,00349 | -0,19681 | -0,01834 |
| 53 | 73,210 | 0,018868 | -0,17003 | 0,016103 |
| 54 | 73,215 | -0,03813 | -0,14783 | -0,00893 |
| 55 | 73,220 | 0,02591 | -0,1839 | -0,00851 |
| 56 | 73,225 | 0,021568 | -0,1371 | 0,021551 |
| 57 | 73,230 | -0,02565 | -1,77E-01 | -0,01471 |
| 58 | 73,235 | -0,01514 | -0,19402 | 0,003396 |
| 59 | 73,240 | 0,023389 | -0,13599 | -0,01624 |
| 60 | 73,245 | 0,017245 | -0,16321 | -0,00528 |
| 61 | 73,250 | -0,03283 | -0,15642 | 0,023489 |
| 62 | 73,255 | 0,019657 | -0,14955 | -0,02476 |
| 63 | 73,260 | -0,004 | -0,16517 | 0,002134 |
| 64 | 73,265 | -0,01909 | -0,1539 | 0,007515 |
| 65 | 73,270 | 0,023251 | -0,15351 | -0,00757 |
| 66 | 73,275 | -0,0185 | -0,15794 | 0,001763 |
| 67 | 73,280 | 0,007418 | -0,17178 | -0,00603 |
| 68 | 73,345 | 0,017952 | -0,16864 | 0,010523 |
| 69 | 73,350 | -0,03238 | -0,16264 | -0,00211 |
| 70 | 73,355 | 0,003133 | -0,1554 | -0,01758 |
| 71 | 73,360 | 0,027476 | -0,15019 | 0,01619 |
| 72 | 73,365 | -0,02507 | -0,15948 | -0,01893 |
| 73 | 73,370 | 0,002456 | -0,16695 | 0,0166 |
| 74 | 73,375 | -0,00816 | -0,14283 | 0,002541 |
| 75 | 73,380 | -0,00334 | -0,14223 | -0,01557 |
| 76 | 73,385 | 0,025459 | -0,1639 | 0,004777 |
| 77 | 73,390 | 0,001463 | -0,17831 | -0,00933 |
| 78 | 73,395 | -0,00676 | -0,15325 | 0,003947 |
| 79 | 73,400 | 0,005378 | -0,13856 | -0,01043 |
| 80 | 73,405 | -0,01477 | -0,15497 | -0,00843 |
| 81 | 73,410 | 0,014918 | -0,16487 | 0,00963 |
| 82 | 73,415 | -0,01086 | -0,19123 | -0,01419 |
| 83 | 73,420 | -0,01822 | -0,12318 | -0,00723 |
| 84 | 73,425 | 0,022474 | -0,21014 | 0,01894 |
| 85 | 73,430 | -0,03039 | -0,27231 | -0,02384 |
| 86 | 73,435 | 0,010305 | -0,11355 | -0,01366 |
| 87 | 73,440 | 0,029961 | -0,22156 | -0,00854 |
| 88 | 73,445 | -0,01886 | -0,25102 | -0,01401 |
| 89 | 73,450 | 0,00161 | -0,17636 | 0,00705 |
| 90 | 73,455 | -0,00264 | -0,11412 | -0,01863 |
| 91 | 73,460 | -0,01228 | -0,13591 | 0,02001 |
| 92 | 73,465 | -0,00563 | -0,21013 | -0,01487 |
| 93 | 73,470 | 0,010362 | -0,10821 | -0,03057 |
| 94 | 73,475 | 0,000709 | -0,28878 | 0,03898 |
| 95 | 73,480 | -0,04985 | -0,17179 | -0,01538 |
| 96 | 73,485 | 0,036163 | -0,05026 | -0,00058 |
| 97 | 73,490 | -0,00642 | -2,93E-01 | 0,11074 |
| 98 | 73,495 | -0,12866 | -0,15918 | -0,03072 |
| 99 | 73,500 | 0,098123 | -0,11448 | -0,05031 |
| 100 | 73,505 | 0,047197 | -0,14988 | 0,06737 |
| 101 | 76,305 | -0,05026 | 0,018393 | 0,09919 |
| 102 | 76,310 | 0,02151 | -0,19948 | -0,11556 |
| 103 | 76,315 | -0,00501 | -0,01303 | 0,04587 |
| 104 | 76,320 | 0,040497 | 0,012052 | -0,02915 |
| 105 | 76,325 | 0,00265 | 0,022107 | -0,00839 |
| 106 | 76,330 | -0,03688 | 0,068682 | 0,02506 |
| 107 | 76,335 | 0,039673 | -0,0725 | -0,07155 |
| 108 | 76,340 | -0,01988 | -0,0535 | 0,12213 |
| 109 | 76,345 | -0,07484 | 0,046494 | -0,1718 |
| 110 | 76,350 | 0,088185 | -0,00301 | 0,16666 |
| 111 | 76,355 | -0,07446 | -0,02197 | -0,18803 |
| 112 | 76,360 | 0,009456 | -0,0337 | 0,22778 |
| 113 | 76,365 | 0,248294 | -0,07238 | 1,00775 |
| 114 | 76,370 | -0,06977 | -0,0597 | -0,97119 |
| 115 | 76,375 | -0,02583 | -0,0423 | -0,91028 |
| 116 | 76,380 | -0,1641 | 0,010206 | 0,20083 |
| 117 | 76,385 | -0,30445 | -0,0699 | 0,13275 |
| 118 | 76,390 | 0,128568 | -0,01888 | 0,37799 |
| 119 | 76,395 | 0,172973 | 0,062062 | 0,01996 |
| 120 | 76,400 | 0,170612 | -0,03855 | 0,03743 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARANG-JAKARTA TITIK KM 5+8/9
TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
JENIS KERETA : KA BARANG I
JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 0.325 | -0.010035 | 0.251068 | 0.00341 |
| 2 | 0.330 | -0.009991 | 0.272826 | 0.003398 |
| 3 | 0.335 | -0.010009 | 0.291522 | 0.003388 |
| 4 | 0.340 | -0.009925 | 0.244791 | 0.003393 |
| 5 | 0.345 | -0.009929 | 0.237251 | 0.003404 |
| 6 | 0.350 | -0.009908 | 0.243325 | 0.003387 |
| 7 | 0.355 | -0.009871 | 0.228122 | 0.00338 |
| 8 | 0.360 | -0.00987 | 0.245897 | 0.003395 |
| 9 | 0.365 | -0.009811 | 0.226721 | 0.003397 |
| 10 | 0.370 | -0.009808 | 0.218923 | 0.003424 |
| 11 | 0.375 | -0.009769 | 0.23155 | 0.003449 |
| 12 | 0.380 | -0.009737 | 0.214601 | 0.003433 |
| 13 | 0.385 | -0.00976 | 0.21211 | 0.003407 |
| 14 | 0.390 | -0.009713 | 0.20627 | 0.003408 |
| 15 | 0.395 | -0.009727 | 0.218316 | 0.003405 |
| 16 | 0.400 | -0.009758 | 0.236863 | 0.003407 |
| 17 | 0.405 | -0.009751 | 0.241314 | 0.003422 |
| 18 | 0.410 | -0.009785 | 0.246026 | 0.003407 |
| 19 | 0.415 | -0.009766 | 0.234419 | 0.003381 |
| 20 | 0.420 | -0.009833 | 0.233238 | 0.003375 |
| 21 | 0.425 | -0.009785 | 0.233504 | 0.003387 |
| 22 | 0.430 | -0.009763 | 0.236418 | 0.003381 |
| 23 | 0.435 | -0.009916 | 0.23734 | 0.00342 |
| 24 | 0.440 | -0.009768 | 0.222603 | 0.003422 |
| 25 | 0.445 | -0.009889 | 0.234395 | 0.003388 |
| 26 | 0.450 | -0.009961 | 0.227465 | 0.003426 |
| 27 | 0.455 | -0.009888 | 0.211454 | 0.003422 |
| 28 | 0.460 | -0.010121 | 0.224254 | 0.003439 |
| 29 | 0.465 | -0.009974 | 0.219257 | 0.003444 |
| 30 | 0.470 | -0.01009 | 0.243581 | 0.003385 |
| 31 | 0.475 | -0.010104 | 0.264857 | 0.003377 |
| 32 | 0.480 | -0.009994 | 0.230095 | 0.003382 |
| 33 | 0.485 | -0.01019 | 0.241275 | 0.003388 |
| 34 | 0.490 | -0.010006 | 0.2596 | 0.003401 |
| 35 | 0.495 | -0.000279 | -0.02643 | -2.1E-05 |
| 36 | 0.500 | -0.000275 | -0.01885 | -2.2E-05 |
| 37 | 0.505 | -0.000237 | -0.01691 | -2.6E-07 |
| 38 | 0.510 | -0.000408 | -0.03287 | 1.77E-05 |
| 39 | 0.515 | -0.000253 | 0.006129 | 2.73E-05 |
| 40 | 0.520 | -0.000363 | -0.00566 | 1.87E-05 |
| 41 | 0.525 | -0.00029 | -0.03951 | 2.05E-05 |
| 42 | 0.670 | 0.000173 | -0.09052 | -2.1E-05 |
| 43 | 0.675 | 0.000105 | -0.08676 | -5.7E-06 |
| 44 | 0.680 | 0.000136 | -0.05493 | -4.3E-05 |
| 45 | 0.685 | 0.00015 | 0.023932 | -5.7E-05 |
| 46 | 0.690 | 8.92E-05 | -0.02028 | -1.6E-05 |
| 47 | 0.695 | 0.000136 | -0.09498 | -1.3E-05 |
| 48 | 0.700 | 6.79E-05 | -0.06212 | -1.1E-05 |
| 49 | 0.705 | 4.86E-05 | -0.05502 | 5.46E-06 |
| 50 | 0.710 | 3.61E-05 | -0.06431 | -2.5E-05 |
| 51 | 0.715 | -5.2E-06 | -0.02214 | -5.6E-05 |
| 52 | 0.720 | -7.3E-05 | -0.03289 | -4.8E-05 |
| 53 | 0.725 | -0.00013 | -0.05986 | -1.2E-05 |
| 54 | 0.730 | -0.00013 | -0.01718 | 2.03E-05 |
| 55 | 0.735 | -0.00019 | -0.05494 | 3.69E-05 |
| 56 | 0.740 | -0.00018 | -0.07279 | 4.47E-05 |
| 57 | 0.745 | -0.0002 | -3.18E-02 | 4.03E-05 |
| 58 | 0.750 | -0.00026 | -0.07253 | 4.42E-05 |
| 59 | 0.755 | -0.00026 | -0.07366 | 2.42E-05 |
| 60 | 0.760 | -0.00031 | -0.049 | 1.9E-05 |
| 61 | 0.765 | -0.0004 | -0.07915 | 2.11E-05 |
| 62 | 0.770 | -0.00035 | -0.08018 | 0.000013 |
| 63 | 0.775 | -0.00038 | -0.04312 | 3.59E-05 |
| 64 | 0.780 | -0.0004 | -0.0737 | 4.68E-06 |
| 65 | 0.785 | -0.00032 | -0.10019 | -1.1E-05 |
| 66 | 0.790 | -0.0004 | -0.07979 | 3.3E-05 |
| 67 | 0.795 | -0.00035 | -0.07937 | 2.7E-05 |
| 68 | 0.800 | -0.0004 | -0.02419 | 3.82E-05 |
| 69 | 0.805 | -0.00044 | -0.01902 | 4.94E-05 |
| 70 | 0.810 | -0.00034 | -0.05057 | 2.13E-05 |
| 71 | 0.815 | -0.00039 | -0.02164 | 2.37E-05 |
| 72 | 0.820 | -0.00033 | -0.01479 | 2.83E-05 |
| 73 | 0.825 | -0.00031 | -0.02732 | 4.58E-05 |
| 74 | 0.830 | -0.00028 | -0.04621 | 3.77E-05 |
| 75 | 0.835 | -0.0002 | -0.03643 | 1.22E-05 |
| 76 | 0.840 | -0.00019 | -0.06897 | -1E-06 |
| 77 | 0.845 | -0.00016 | -0.05844 | 2.11E-05 |
| 78 | 0.850 | -0.00013 | 0.001455 | 4.91E-05 |
| 79 | 0.855 | -0.00013 | -0.03248 | -1E-06 |
| 80 | 0.860 | -1.2E-05 | -0.01998 | 4.5E-05 |
| 81 | 0.865 | -1.6E-05 | -0.01023 | 4.6E-05 |
| 82 | 0.870 | 8.32E-06 | 0.001877 | -3.4E-05 |
| 83 | 0.875 | 0.000178 | 0.027611 | 6.2E-05 |
| 84 | 0.880 | 1.17E-05 | 0.011184 | 3.4E-05 |
| 85 | 12.610 | -0.17749 | -0.25339 | 0.05277 |
| 86 | 12.615 | 0.091934 | -0.24988 | -0.10192 |
| 87 | 12.620 | 0.137812 | -0.29796 | 0.14792 |
| 88 | 12.625 | -0.1586 | -0.22707 | -0.01887 |
| 89 | 12.630 | 0.015854 | -0.13064 | -0.04324 |
| 90 | 12.635 | 0.059699 | -0.19664 | 0.01534 |
| 91 | 12.640 | -0.02114 | -0.05652 | -0.02371 |
| 92 | 12.645 | 0.043696 | -0.0634 | 0.03686 |
| 93 | 12.650 | -0.05472 | -0.11123 | -0.06392 |
| 94 | 12.655 | 0.108229 | -0.13464 | 0.06318 |
| 95 | 12.660 | 0.016751 | -0.12473 | 0.02574 |
| 96 | 12.665 | -0.0963 | 0.055928 | -0.06806 |
| 97 | 12.670 | 0.058832 | -1.73E-01 | 0.04067 |
| 98 | 12.675 | -0.00222 | -0.21057 | -0.04536 |
| 99 | 12.680 | 0.067049 | -0.12302 | 0.00979 |
| 100 | 12.685 | -0.01802 | -0.19977 | 0.01954 |
| 101 | 12.690 | -0.03607 | -0.12777 | 0.00953 |
| 102 | 12.695 | 0.052375 | -0.27965 | -0.015 |
| 103 | 12.700 | -0.04645 | -0.15282 | -0.01352 |
| 104 | 12.705 | 0.033278 | -0.19284 | 0.07215 |
| 105 | 12.710 | 0.013272 | -0.23786 | -0.07606 |
| 106 | 12.860 | 0.199405 | -0.33504 | -0.03995 |
| 107 | 12.865 | 0.000237 | -0.23058 | 0.03672 |
| 108 | 12.870 | -0.03511 | -0.13388 | 0.04439 |
| 109 | 15.320 | 0.047882 | -0.30822 | -0.00081 |
| 110 | 15.325 | -0.01145 | -0.2896 | 0.0022 |
| 111 | 15.330 | -0.01174 | -0.30977 | -0.01655 |
| 112 | 15.335 | 0.014021 | -0.28141 | 0.00152 |
| 113 | 15.340 | -0.03414 | -0.25794 | 0.01553 |
| 114 | 15.345 | 0.173556 | -0.36491 | 0.01884 |
| 115 | 15.350 | -0.20929 | -0.27819 | -0.01851 |
| 116 | 15.355 | -0.04679 | -0.22096 | 0.00428 |
| 117 | 15.360 | 0.32201 | -0.39866 | 0.02949 |
| 118 | 15.365 | -0.15787 | -0.17015 | -0.00404 |
| 119 | 15.370 | -0.06936 | -0.03057 | 0.00714 |
| 120 | 15.375 | 0.106899 | -0.2602 | -0.00792 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARANG-JAKARTA TITIK KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KA BARANG 2
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Waktu (detik) | Percepatan (m/s ²) | | |
|-----|---------------|--------------------------------|-----------|----------|
| | | Arah x | Arah y | Arah z |
| 1 | 33,780 | 0,025377 | 0,162485 | -0,27953 |
| 2 | 33,785 | -0,050427 | 0,169304 | 0,135332 |
| 3 | 33,790 | -0,096922 | 0,16455 | 0,026875 |
| 4 | 33,795 | 0,102754 | 0,100185 | -0,5278 |
| 5 | 33,800 | 0,047029 | 0,153255 | 0,525347 |
| 6 | 33,805 | -0,040145 | -0,0328 | -0,12168 |
| 7 | 33,810 | -0,061627 | 0,007645 | -0,17701 |
| 8 | 33,815 | 0,042178 | 0,101051 | 0,257737 |
| 9 | 33,820 | 0,053424 | -0,01957 | -0,12464 |
| 10 | 33,825 | -0,019483 | 0,08146 | 0,117328 |
| 11 | 33,830 | 0,070136 | -0,04001 | -0,22902 |
| 12 | 33,835 | -0,025182 | 0,09848 | 0,282303 |
| 13 | 33,840 | -0,019663 | 0,119728 | 0,072706 |
| 14 | 33,845 | 0,088201 | -0,22297 | -0,16267 |
| 15 | 33,850 | -0,018034 | -0,19088 | 0,156119 |
| 16 | 33,855 | -0,101054 | -0,14867 | -0,1895 |
| 17 | 53,390 | 0,2031 | -0,6217 | -0,28577 |
| 18 | 53,395 | 0,144117 | -0,55929 | 0,00114 |
| 19 | 53,400 | -0,07188 | -0,39039 | 0,288364 |
| 20 | 53,405 | -0,195875 | -0,11235 | -0,27514 |
| 21 | 53,410 | -0,015566 | -0,05416 | 0,038854 |
| 22 | 53,415 | 0,25891 | -0,39927 | 0,079307 |
| 23 | 53,420 | -0,06063 | -0,53232 | -0,08422 |
| 24 | 53,425 | -0,045036 | -0,55354 | 0,006063 |
| 25 | 53,430 | 0,102923 | -0,54267 | 0,022038 |
| 26 | 53,435 | -0,109885 | -0,51932 | 0,017592 |
| 27 | 53,440 | 0,043787 | -0,58432 | -0,03114 |
| 28 | 53,445 | 0,099927 | -0,55106 | 0,043659 |
| 29 | 53,450 | -0,062055 | -0,56237 | -0,01043 |
| 30 | 53,455 | 0,029634 | -0,61626 | -0,02414 |
| 31 | 53,460 | 0,069834 | -0,57037 | -0,05264 |
| 32 | 53,465 | -0,047417 | -0,52237 | 0,024272 |
| 33 | 53,470 | 0,07350 | -0,60623 | 0,0352 |
| 34 | 53,475 | -0,036866 | -0,59388 | -0,05865 |
| 35 | 53,480 | -0,074489 | -0,59629 | 0,067686 |
| 36 | 53,485 | 0,056776 | -0,63786 | -0,02659 |
| 37 | 53,490 | 0,012243 | -0,53314 | -0,03832 |
| 38 | 53,495 | 0,031045 | -0,59399 | 0,088364 |
| 39 | 53,500 | 0,033563 | -0,62702 | -0,06219 |
| 40 | 53,505 | 0,001291 | -0,62758 | -0,0305 |
| 41 | 53,510 | 0,028343 | -0,64605 | 0,055119 |
| 42 | 53,515 | -0,02337 | -0,59906 | -0,04525 |
| 43 | 53,520 | 0,01478 | -0,6182 | -0,01278 |
| 44 | 53,525 | 0,00108 | -0,57877 | 0,020804 |
| 45 | 53,530 | 0,059269 | -0,61816 | 0,011591 |
| 46 | 53,535 | 0,043577 | -0,62542 | -0,00674 |
| 47 | 53,540 | -0,05283 | -0,59248 | -0,04387 |
| 48 | 53,545 | 0,027726 | -0,6505 | 0,007138 |
| 49 | 53,550 | 0,001379 | -0,64873 | 0,041638 |
| 50 | 53,555 | 0,010651 | -0,63272 | -0,02037 |
| 51 | 53,560 | 0,047927 | -0,60994 | -0,03113 |
| 52 | 53,565 | 0,034741 | -0,6249 | 0,051804 |
| 53 | 53,570 | 0,032409 | -0,64853 | 0,014993 |
| 54 | 53,575 | -0,03751 | -0,64014 | -0,0441 |
| 55 | 53,580 | 0,018082 | -0,62151 | 0,017174 |
| 56 | 53,585 | 0,053451 | -0,62293 | 0,042762 |
| 57 | 53,590 | -0,00433 | -6,39E-01 | -0,03593 |
| 58 | 53,595 | 0,004195 | -0,63009 | -0,04496 |
| 59 | 53,600 | 0,014432 | -0,6869 | 0,011527 |
| 60 | 53,605 | 0,010159 | -0,63377 | -0,01548 |
| 61 | 53,610 | 0,014852 | -0,56182 | 0,007697 |
| 62 | 53,615 | 0,050829 | -0,6122 | -0,02296 |
| 63 | 53,620 | 0,021442 | -0,41834 | -0,00614 |
| 64 | 53,625 | -0,00446 | -0,09081 | 0,039497 |
| 65 | 53,630 | 0,031136 | -0,21715 | -0,05234 |
| 66 | 53,635 | 0,025409 | -0,52539 | 0,00959 |
| 67 | 53,640 | -0,00937 | -0,2733 | -0,00205 |
| 68 | 53,645 | -0,02285 | -0,02126 | -0,02973 |
| 69 | 53,650 | 0,071472 | -0,20702 | 0,034013 |
| 70 | 53,655 | 0,042991 | -0,43232 | -0,0176 |
| 71 | 53,660 | -0,0222 | -0,5669 | 0,035179 |
| 72 | 53,665 | 0,037934 | -0,62366 | -0,00919 |
| 73 | 53,670 | -0,04541 | -0,61145 | -0,06766 |
| 74 | 53,675 | 0,04496 | -0,61212 | 0,069261 |
| 75 | 53,680 | 0,095911 | -0,62998 | -0,0126 |
| 76 | 53,685 | -0,08106 | -0,43196 | -0,05933 |
| 77 | 53,690 | 0,027985 | -0,445 | -0,00176 |
| 78 | 53,695 | 0,045952 | -0,57289 | 0,053339 |
| 79 | 53,700 | 0,019358 | -0,58253 | 0,073456 |
| 80 | 53,705 | 0,05105 | -0,515 | -0,09777 |
| 81 | 53,710 | -0,02328 | -0,22107 | 0,06867 |
| 82 | 53,715 | 0,074551 | -0,35704 | 0,03583 |
| 83 | 53,720 | 0,021081 | -0,53267 | -0,08613 |
| 84 | 53,725 | -0,05604 | -0,54192 | -0,01334 |
| 85 | 53,730 | -0,04094 | -0,53535 | -0,05739 |
| 86 | 53,735 | 0,008062 | -0,37689 | 0,16543 |
| 87 | 53,740 | 0,161465 | -0,50078 | -0,11033 |
| 88 | 53,745 | -0,02323 | -0,43886 | 0,00521 |
| 89 | 53,750 | -0,03092 | -0,43304 | 0,2088 |
| 90 | 53,755 | 0,160759 | -0,68103 | -0,19919 |
| 91 | 53,760 | -0,05668 | -0,61265 | -0,13989 |
| 92 | 53,765 | -0,13575 | -0,55997 | 0,0744 |
| 93 | 53,770 | 0,124731 | -0,46049 | -0,13787 |
| 94 | 53,775 | 0,162143 | -0,40407 | -0,18471 |
| 95 | 53,780 | -0,10775 | -0,46507 | 0,08538 |
| 96 | 53,785 | -0,12696 | -0,16713 | 0,31288 |
| 97 | 53,790 | 0,092368 | 8,75E-02 | -0,43856 |
| 98 | 53,795 | 0,126289 | 0,201427 | 0,16195 |
| 99 | 53,800 | 0,006761 | 0,137534 | 0,24304 |
| 100 | 53,805 | -0,02766 | 0,029644 | -0,38117 |
| 101 | 53,810 | 0,003862 | 0,138425 | 0,28535 |
| 102 | 53,815 | 0,005486 | -0,14612 | -0,10506 |
| 103 | 53,820 | -0,04336 | -0,12663 | -0,12233 |
| 104 | 53,825 | 0,013306 | 0,090807 | 0,30365 |
| 105 | 53,830 | 0,156154 | -0,17672 | -0,22576 |
| 106 | 54,730 | -0,06954 | -0,14865 | 0,13362 |
| 107 | 54,735 | 0,0747 | -0,2508 | -0,01524 |
| 108 | 54,740 | -0,00958 | -0,05731 | 0,00247 |
| 109 | 54,745 | -0,03231 | 0,07922 | 0,07824 |
| 110 | 54,750 | 0,103742 | -0,1418 | 0,0049 |
| 111 | 54,755 | 0,077832 | -0,19496 | -0,24167 |
| 112 | 54,760 | 0,04359 | -0,43364 | -0,05431 |
| 113 | 54,765 | -0,11356 | -0,28267 | 0,18458 |
| 114 | 54,770 | -0,12815 | 0,138493 | -0,08072 |
| 115 | 54,775 | 0,1906 | -0,08306 | -0,11064 |
| 116 | 54,780 | 0,121284 | -0,06033 | 0,18822 |
| 117 | 54,785 | -0,1162 | 0,286032 | -0,02254 |
| 118 | 54,790 | 0,087128 | -0,03032 | -0,08108 |
| 119 | 54,795 | 0,054179 | -0,23743 | 0,14904 |
| 120 | 54,800 | -0,09606 | -0,1707 | -0,18605 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : JOGLOSEMARKERTO
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 0,5 | 4,34882 |
| 2 | 0,518982 | 4,21522 |
| 3 | 0,538685 | 4,07396 |
| 4 | 0,559136 | 3,92434 |
| 5 | 0,580363 | 3,7655 |
| 6 | 0,602396 | 3,59642 |
| 7 | 0,625266 | 3,41582 |
| 8 | 0,649003 | 3,22203 |
| 9 | 0,673642 | 3,01282 |
| 10 | 0,699217 | 2,78495 |
| 11 | 0,725762 | 2,53336 |
| 12 | 0,753315 | 2,24895 |
| 13 | 0,781914 | 1,91066 |
| 14 | 0,811599 | 1,6465 |
| 15 | 0,842411 | 1,62923 |
| 16 | 0,874392 | 1,59871 |
| 17 | 0,907588 | 1,5584 |
| 18 | 0,942044 | 1,50941 |
| 19 | 0,977808 | 1,45193 |
| 20 | 1,01493 | 1,38557 |
| 21 | 1,05346 | 1,30938 |
| 22 | 1,09345 | 1,22165 |
| 23 | 1,13497 | 1,11937 |
| 24 | 1,17806 | 0,996339 |
| 25 | 1,22278 | 0,94132 |
| 26 | 1,2692 | 0,957294 |
| 27 | 1,31739 | 0,956352 |
| 28 | 1,3674 | 0,942237 |
| 29 | 1,41931 | 0,91561 |
| 30 | 1,4732 | 0,875241 |
| 31 | 1,52912 | 0,817434 |
| 32 | 1,58718 | 0,731648 |
| 33 | 1,64743 | 0,696887 |
| 34 | 1,70998 | 0,677922 |
| 35 | 1,77489 | 0,650633 |
| 36 | 1,84228 | 0,613147 |
| 37 | 1,91222 | 0,560403 |
| 38 | 1,98481 | 0,469925 |
| 39 | 2,06017 | 0,460488 |
| 40 | 2,13838 | 0,492101 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 41 | 2,21956 | 0,518522 |
| 42 | 2,30382 | 0,539289 |
| 43 | 2,39129 | 0,55174 |
| 44 | 2,48207 | 0,593908 |
| 45 | 2,5763 | 0,599205 |
| 46 | 2,67411 | 0,572167 |
| 47 | 2,77563 | 0,505325 |
| 48 | 2,881 | 0,514139 |
| 49 | 2,99038 | 0,520429 |
| 50 | 3,10391 | 0,490674 |
| 51 | 3,22175 | 0,43615 |
| 52 | 3,34406 | 0,49111 |
| 53 | 3,47101 | 0,520005 |
| 54 | 3,60279 | 0,511977 |
| 55 | 3,73956 | 0,555175 |
| 56 | 3,88153 | 0,562905 |
| 57 | 4,02889 | 0,533115 |
| 58 | 4,18185 | 0,509999 |
| 59 | 4,34061 | 0,467318 |
| 60 | 4,5054 | 0,464106 |
| 61 | 4,67644 | 0,474617 |
| 62 | 4,85398 | 0,464432 |
| 63 | 5,03826 | 0,444717 |
| 64 | 5,22953 | 0,419581 |
| 65 | 5,42807 | 0,407875 |
| 66 | 5,63414 | 0,384219 |
| 67 | 5,84804 | 0,384001 |
| 68 | 6,07005 | 0,379216 |
| 69 | 6,3005 | 0,404283 |
| 70 | 6,53969 | 0,446544 |
| 71 | 6,78797 | 0,489113 |
| 72 | 7,04567 | 0,581352 |
| 73 | 7,31315 | 0,667632 |
| 74 | 7,59079 | 0,726857 |
| 75 | 7,87897 | 0,71507 |
| 76 | 8,17809 | 0,662348 |
| 77 | 8,48856 | 0,577018 |
| 78 | 8,81083 | 0,491538 |
| 79 | 9,14532 | 0,426622 |
| 80 | 9,49252 | 0,382375 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|-----|-----------|-----------|
| 81 | 9,8529 | 0,373245 |
| 82 | 10,227 | 0,401573 |
| 83 | 10,6152 | 0,448348 |
| 84 | 11,0182 | 0,486562 |
| 85 | 11,4365 | 0,497838 |
| 86 | 11,8707 | 0,481624 |
| 87 | 12,3214 | 0,459319 |
| 88 | 12,7891 | 0,446655 |
| 89 | 13,2747 | 0,44435 |
| 90 | 13,7786 | 0,448944 |
| 91 | 14,3017 | 0,459567 |
| 92 | 14,8447 | 0,484168 |
| 93 | 15,4082 | 0,547784 |
| 94 | 15,9932 | 0,642614 |
| 95 | 16,6004 | 0,728187 |
| 96 | 17,2306 | 0,764482 |
| 97 | 17,8847 | 0,749744 |
| 98 | 18,5637 | 0,707072 |
| 99 | 19,2685 | 0,644353 |
| 100 | 20 | 0,572248 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKTI HARJO RAYA, JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SURABAYA DI TITIK KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KEDUNGSEPUR
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 0,5 | 1,92465 |
| 2 | 0,518982 | 1,88363 |
| 3 | 0,538685 | 1,83968 |
| 4 | 0,559136 | 1,79262 |
| 5 | 0,580363 | 1,74222 |
| 6 | 0,602396 | 1,68825 |
| 7 | 0,625266 | 1,63037 |
| 8 | 0,649003 | 1,56818 |
| 9 | 0,673642 | 1,50118 |
| 10 | 0,699217 | 1,42865 |
| 11 | 0,725762 | 1,3496 |
| 12 | 0,753315 | 1,26243 |
| 13 | 0,781914 | 1,16433 |
| 14 | 0,811599 | 1,07918 |
| 15 | 0,842411 | 1,03329 |
| 16 | 0,874392 | 0,984932 |
| 17 | 0,907588 | 0,933907 |
| 18 | 0,942044 | 0,879956 |
| 19 | 0,977808 | 0,822766 |
| 20 | 1,01493 | 0,761926 |
| 21 | 1,05346 | 0,696875 |
| 22 | 1,09345 | 0,626781 |
| 23 | 1,13497 | 0,550246 |
| 24 | 1,17806 | 0,464385 |
| 25 | 1,22278 | 0,422932 |
| 26 | 1,2692 | 0,426696 |
| 27 | 1,31739 | 0,423839 |
| 28 | 1,3674 | 0,416114 |
| 29 | 1,41931 | 0,403727 |
| 30 | 1,4732 | 0,386041 |
| 31 | 1,52912 | 0,361179 |
| 32 | 1,58718 | 0,323235 |
| 33 | 1,64743 | 0,320833 |
| 34 | 1,70998 | 0,327199 |
| 35 | 1,77489 | 0,327949 |
| 36 | 1,84228 | 0,322617 |
| 37 | 1,91222 | 0,30922 |
| 38 | 1,98481 | 0,280779 |
| 39 | 2,06017 | 0,295123 |
| 40 | 2,13838 | 0,319544 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 41 | 2,21956 | 0,338838 |
| 42 | 2,30382 | 0,353265 |
| 43 | 2,39129 | 0,362046 |
| 44 | 2,48207 | 0,403469 |
| 45 | 2,5763 | 0,424424 |
| 46 | 2,67411 | 0,428745 |
| 47 | 2,77563 | 0,411797 |
| 48 | 2,881 | 0,435041 |
| 49 | 2,99038 | 0,45343 |
| 50 | 3,10391 | 0,448204 |
| 51 | 3,22175 | 0,408928 |
| 52 | 3,34406 | 0,390506 |
| 53 | 3,47101 | 0,34936 |
| 54 | 3,60279 | 0,279495 |
| 55 | 3,73956 | 0,31497 |
| 56 | 3,88153 | 0,325908 |
| 57 | 4,02889 | 0,322473 |
| 58 | 4,18185 | 0,342818 |
| 59 | 4,34061 | 0,347828 |
| 60 | 4,5054 | 0,339806 |
| 61 | 4,67644 | 0,322943 |
| 62 | 4,85398 | 0,299155 |
| 63 | 5,03826 | 0,282566 |
| 64 | 5,22953 | 0,263776 |
| 65 | 5,42807 | 0,264889 |
| 66 | 5,63414 | 0,259471 |
| 67 | 5,84804 | 0,255616 |
| 68 | 6,07005 | 0,255158 |
| 69 | 6,3005 | 0,273111 |
| 70 | 6,53969 | 0,314743 |
| 71 | 6,78797 | 0,366239 |
| 72 | 7,04567 | 0,424539 |
| 73 | 7,31315 | 0,464775 |
| 74 | 7,59079 | 0,47776 |
| 75 | 7,87897 | 0,475252 |
| 76 | 8,17809 | 0,458667 |
| 77 | 8,48856 | 0,426898 |
| 78 | 8,81083 | 0,384352 |
| 79 | 9,14532 | 0,328658 |
| 80 | 9,49252 | 0,283566 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|-----|-----------|-----------|
| 81 | 9,8529 | 0,262973 |
| 82 | 10,227 | 0,270101 |
| 83 | 10,6152 | 0,296004 |
| 84 | 11,0182 | 0,325065 |
| 85 | 11,4365 | 0,337371 |
| 86 | 11,8707 | 0,323381 |
| 87 | 12,3214 | 0,29456 |
| 88 | 12,7891 | 0,271025 |
| 89 | 13,2747 | 0,261063 |
| 90 | 13,7786 | 0,26565 |
| 91 | 14,3017 | 0,289654 |
| 92 | 14,8447 | 0,321211 |
| 93 | 15,4082 | 0,342697 |
| 94 | 15,9932 | 0,363857 |
| 95 | 16,6004 | 0,404756 |
| 96 | 17,2306 | 0,458197 |
| 97 | 17,8847 | 0,490326 |
| 98 | 18,5637 | 0,473835 |
| 99 | 19,2685 | 0,440933 |
| 100 | 20 | 0,429686 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARA
 JAKARTA TITIK KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KA BARANG 1
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 0,5 | 212,786 |
| 2 | 0,518982 | 209,955 |
| 3 | 0,538685 | 206,295 |
| 4 | 0,559136 | 201,766 |
| 5 | 0,580363 | 196,308 |
| 6 | 0,602396 | 189,834 |
| 7 | 0,625266 | 182,226 |
| 8 | 0,649003 | 173,322 |
| 9 | 0,673642 | 162,888 |
| 10 | 0,699217 | 150,57 |
| 11 | 0,725762 | 135,779 |
| 12 | 0,753315 | 117,358 |
| 13 | 0,781914 | 92,0756 |
| 14 | 0,811599 | 65,1248 |
| 15 | 0,842411 | 65,4333 |
| 16 | 0,874392 | 65,2001 |
| 17 | 0,907588 | 64,4929 |
| 18 | 0,942044 | 63,335 |
| 19 | 0,977808 | 61,7201 |
| 20 | 1,01493 | 59,6155 |
| 21 | 1,05346 | 56,9567 |
| 22 | 1,09345 | 53,6281 |
| 23 | 1,13497 | 49,4111 |
| 24 | 1,17806 | 43,7946 |
| 25 | 1,22278 | 40,1566 |
| 26 | 1,2692 | 39,9865 |
| 27 | 1,31739 | 39,4373 |
| 28 | 1,3674 | 38,5754 |
| 29 | 1,41931 | 37,4099 |
| 30 | 1,4732 | 35,9125 |
| 31 | 1,52912 | 34,0029 |
| 32 | 1,58718 | 31,4423 |
| 33 | 1,64743 | 32,8056 |
| 34 | 1,70998 | 33,8839 |
| 35 | 1,77489 | 34,0087 |
| 36 | 1,84228 | 33,3074 |
| 37 | 1,91222 | 31,6444 |
| 38 | 1,98481 | 28,2362 |
| 39 | 2,06017 | 26,82 |
| 40 | 2,13838 | 25,903 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 41 | 2,21956 | 24,1219 |
| 42 | 2,30382 | 21,3029 |
| 43 | 2,39129 | 16,5964 |
| 44 | 2,48207 | 16,1094 |
| 45 | 2,5763 | 15,811 |
| 46 | 2,67411 | 15,0231 |
| 47 | 2,77563 | 13,5733 |
| 48 | 2,881 | 14,3396 |
| 49 | 2,99038 | 14,7521 |
| 50 | 3,10391 | 14,1002 |
| 51 | 3,22175 | 12,1336 |
| 52 | 3,34406 | 10,9908 |
| 53 | 3,47101 | 9,07949 |
| 54 | 3,60279 | 5,99906 |
| 55 | 3,73956 | 5,15109 |
| 56 | 3,88153 | 4,12764 |
| 57 | 4,02889 | 3,12411 |
| 58 | 4,18185 | 3,22533 |
| 59 | 4,34061 | 3,10924 |
| 60 | 4,5054 | 3,40608 |
| 61 | 4,67644 | 3,73531 |
| 62 | 4,85398 | 3,81875 |
| 63 | 5,03826 | 3,88037 |
| 64 | 5,22953 | 3,80123 |
| 65 | 5,42807 | 4,01479 |
| 66 | 5,63414 | 4,14048 |
| 67 | 5,84804 | 4,56161 |
| 68 | 6,07005 | 4,5363 |
| 69 | 6,3005 | 3,90522 |
| 70 | 6,53969 | 3,34176 |
| 71 | 6,78797 | 2,87437 |
| 72 | 7,04567 | 3,18916 |
| 73 | 7,31315 | 3,50732 |
| 74 | 7,59079 | 3,84159 |
| 75 | 7,87897 | 3,52029 |
| 76 | 8,17809 | 3,2384 |
| 77 | 8,48856 | 3,11526 |
| 78 | 8,81083 | 3,31515 |
| 79 | 9,14532 | 3,65284 |
| 80 | 9,49252 | 3,69101 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|-----|-----------|-----------|
| 81 | 9,8529 | 3,49815 |
| 82 | 10,227 | 3,28993 |
| 83 | 10,6152 | 3,17901 |
| 84 | 11,0182 | 3,25868 |
| 85 | 11,4365 | 3,54003 |
| 86 | 11,8707 | 3,84943 |
| 87 | 12,3214 | 4,0069 |
| 88 | 12,7891 | 4,13789 |
| 89 | 13,2747 | 4,57835 |
| 90 | 13,7786 | 5,22115 |
| 91 | 14,3017 | 5,59927 |
| 92 | 14,8447 | 5,59706 |
| 93 | 15,4082 | 5,474 |
| 94 | 15,9932 | 5,3106 |
| 95 | 16,6004 | 5,3001 |
| 96 | 17,2306 | 5,43931 |
| 97 | 17,8847 | 5,41358 |
| 98 | 18,5637 | 5,01264 |
| 99 | 19,2685 | 4,57083 |
| 100 | 20 | 4,3014 |



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

JUDUL : DATA PENELITIAN PERCEPATAN GETARAN AKIBAT KERETA API
 LOKASI PENELITIAN : TERLETAK DI STASIUN JERAKAH DI JALUR PELINTASAN SEMARA
 JAKARTA TITIK KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : MERI AFRIHANSYAH
 JENIS KERETA : KA BARANG 2
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 0,5 | 2773,92 |
| 2 | 0,518982 | 2770,28 |
| 3 | 0,538685 | 2762,15 |
| 4 | 0,559136 | 2749,16 |
| 5 | 0,580363 | 2730,89 |
| 6 | 0,602396 | 2706,76 |
| 7 | 0,625266 | 2676,04 |
| 8 | 0,649003 | 2637,81 |
| 9 | 0,673642 | 2590,79 |
| 10 | 0,699217 | 2533,27 |
| 11 | 0,725762 | 2462,68 |
| 12 | 0,753315 | 2374,94 |
| 13 | 0,781914 | 2262,33 |
| 14 | 0,811599 | 2215,5 |
| 15 | 0,842411 | 2297,61 |
| 16 | 0,874392 | 2351,77 |
| 17 | 0,907588 | 2383,31 |
| 18 | 0,942044 | 2393,91 |
| 19 | 0,977808 | 2383,25 |
| 20 | 1,01493 | 2349,28 |
| 21 | 1,05346 | 2287,78 |
| 22 | 1,09345 | 2190,72 |
| 23 | 1,13497 | 2041,06 |
| 24 | 1,17806 | 1789,1 |
| 25 | 1,22278 | 1590,74 |
| 26 | 1,2692 | 1597,25 |
| 27 | 1,31739 | 1572,29 |
| 28 | 1,3674 | 1527,04 |
| 29 | 1,41931 | 1464,1 |
| 30 | 1,4732 | 1382,83 |
| 31 | 1,52912 | 1279,79 |
| 32 | 1,58718 | 1145,68 |
| 33 | 1,64743 | 1179,74 |
| 34 | 1,70998 | 1234,93 |
| 35 | 1,77489 | 1267,27 |
| 36 | 1,84228 | 1280,06 |
| 37 | 1,91222 | 1271,9 |
| 38 | 1,98481 | 1236,24 |
| 39 | 2,06017 | 1254,25 |
| 40 | 2,13838 | 1269,34 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|----|-----------|-----------|
| 41 | 2,21956 | 1260,91 |
| 42 | 2,30382 | 1226,02 |
| 43 | 2,39129 | 1153,35 |
| 44 | 2,48207 | 1026,81 |
| 45 | 2,5763 | 875,231 |
| 46 | 2,67411 | 693,17 |
| 47 | 2,77563 | 458,971 |
| 48 | 2,881 | 413,393 |
| 49 | 2,99038 | 420,473 |
| 50 | 3,10391 | 408,037 |
| 51 | 3,22175 | 391,014 |
| 52 | 3,34406 | 439,76 |
| 53 | 3,47101 | 456,965 |
| 54 | 3,60279 | 443,977 |
| 55 | 3,73956 | 380,558 |
| 56 | 3,88153 | 300,472 |
| 57 | 4,02889 | 211,595 |
| 58 | 4,18185 | 199,858 |
| 59 | 4,34061 | 174,762 |
| 60 | 4,5054 | 167,231 |
| 61 | 4,67644 | 171,95 |
| 62 | 4,85398 | 175,861 |
| 63 | 5,03826 | 182,846 |
| 64 | 5,22953 | 181,672 |
| 65 | 5,42807 | 180,823 |
| 66 | 5,63414 | 174,727 |
| 67 | 5,84804 | 168,928 |
| 68 | 6,07005 | 157,388 |
| 69 | 6,3005 | 143,565 |
| 70 | 6,53969 | 128,768 |
| 71 | 6,78797 | 113,437 |
| 72 | 7,04567 | 113,187 |
| 73 | 7,31315 | 114,937 |
| 74 | 7,59079 | 122,564 |
| 75 | 7,87897 | 134,572 |
| 76 | 8,17809 | 136,885 |
| 77 | 8,48856 | 132,047 |
| 78 | 8,81083 | 125,15 |
| 79 | 9,14532 | 128,893 |
| 80 | 9,49252 | 137,537 |

| No | Frekuensi | Amplitudo |
|-----|-----------|-----------|
| 81 | 9,8529 | 143,297 |
| 82 | 10,227 | 140,506 |
| 83 | 10,6152 | 130,429 |
| 84 | 11,0182 | 118,447 |
| 85 | 11,4365 | 111,412 |
| 86 | 11,8707 | 115,828 |
| 87 | 12,3214 | 131,025 |
| 88 | 12,7891 | 148,779 |
| 89 | 13,2747 | 165,589 |
| 90 | 13,7786 | 182,845 |
| 91 | 14,3017 | 200,258 |
| 92 | 14,8447 | 211,3 |
| 93 | 15,4082 | 208,363 |
| 94 | 15,9932 | 199,184 |
| 95 | 16,6004 | 202,09 |
| 96 | 17,2306 | 217,579 |
| 97 | 17,8847 | 234,389 |
| 98 | 18,5637 | 234,79 |
| 99 | 19,2685 | 219,698 |
| 100 | 20 | 201,061 |



Lokomotif CC-206

Data teknis

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Sumber tenaga | Diesel elektrik |
| Produsen | General Electric Transportation |
| Model | GE CM20EMP |
| Tanggal dibuat | 2012-2013, 2015-2016 |
| Jumlah dibuat | 150 buah |

Spesifikasi roda

| | |
|-------------------------|--|
| Notasi Whyte | 0-6-6-0 |
| Susunan roda AAR | C-C |
| Klasifikasi UIC | Co'Co' |
| Bogie | Fabricated Bogie (PT Barata Indonesia Persero) |

Dimensi

| | |
|------------------------|-----------|
| Lebar sepur | 1067 mm |
| Panjang | 15.849 mm |
| Lebar | 2.743 mm |
| Tinggi maksimum | 3.695 mm |
| Beban | 15 ton |

| | |
|---------------------------|---|
| gandar | |
| Berat | |
| Berat kosong | 88.2 ton |
| Berat siap | 90 ton |
| Bahan bakar | |
| Jenis bahan bakar | High-Speed Diesel |
| Sistem mesin | |
| Penggerak utama | GE 7FDL-8 |
| Jenis mesin | Diesel 4 langkah |
| Aspirasi | Turbocharger |
| Alternator | GE 761 |
| Generator | GE GT601 |
| Motor traksi | 6 |
| Sistem silinder | |
| Jumlah silinder | 8 buah |
| Kinerja | |
| Kecepatan maksimum | 120 km/jam |
| Daya mesin | 2.250 hp |
| Lain-lain | |
| Rem lokomotif | Westinghouse 26L (Terdiri atas: rem udara tekan dynamic brake, rem parkir) |
| Sistem keselamatan | <i>LOCOCOMM™, LOCOTROL® Distributed Power, Train Control/SCADA, Ultra Cab II Signaling, GE Integrated Function Display™, GE BrightStar™ Microprocessor and Computer System</i> Tipe bell: Graham White GW373 E-Bell Tipe klakson: Nathan P-2 horn |
| Karier | |
| Perusahaan pemilik | PT Kereta Api Indonesia |
| Julukan | <i>Si Puongs</i> |

| | |
|-----------------------|---|
| Daerah operasi | Pulau Jawa Sumatra Selatan Lampung |
| Mulai dinas | 2013 (generasi I) 2015 (generasi IIA) 2016 (generasi IIB) |
| Keadaan | Seluruhnya beroperasi |