



Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Sipil S1

Disusun oleh ;

Vina Fadilah 5113416020

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

▲ PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Vina Fadilah

NIM : 5113416020

Prodi : Teknik Sipil, S1

Judul : Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel

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

Dosen Pembimbing



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

NIP. 197809212003012001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel” telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 10 bulan Juni tahun 2020

Oleh

Nama : Vina Fadilah

NIM : 5113416020

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



Ir. Agung Sutarto, M.T.,

NIP. 196104081991021007

Penguji III/Pembimbing



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

NIP.197809212005012001

Mengesahkan :

Dean Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qadus, M.T.

NIP.196911301994031001

LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vina Fadilah

NIM : 5113416020

Tempat Tanggal Lahir: Brebes, 14 Juni 1998

Dengan ini saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan dari karya tulis orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Semarang, 18 Mei 2019



Vina Fadilah

5113416020

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi “Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan motivasi dari berbagai pihak, maka dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang
3. Aris Widodo, S. Pd, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
4. Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., selaku Dosen pembimbing yang berkenan memberikan bimbingan, pengarahan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Untoro Nugroho, S.T., M.T., Dosen penguji 1 yang telah memberikan masukan dan kritik kepada penulis
6. Ir. Agung Sutarto, M.T., Dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staff Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis selama menimba ilmu di Universitas Negeri Semarang
8. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daop 4 Semarang yang telah memberikan izin selama penelitian berlangsung dan unit jalan rel dan jembatan JJ 4.10 dan JJ 4.11 yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
9. Orang tua yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman seperjuangan penelitian (Meri Afriansyah, Bangun Marpaung dan Adib Maulana) atas kerjasamanya dan menyelesaikan penelitian
11. Seluruh teman mahasiswa Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang angkatan 2016 yang telah persatu yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan kepada penulis selama belajar di Universitas Negeri Semarang.
12. Semua pihak yang telah membantu yang penulis tidak dapat sebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Oleh karena itu penulis akan senang hati dalam menerima kritik dan saran yang membangun demi kepentingan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Semarang, 30 Mei 2020

Penulis

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO:

“If you want to find the secret of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration.” (Nikola Tesla)

Maka apabila kamu sudah selesai (dari satu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh(urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap (QS Al-Insyirah: 7-8)

There is no ‘Next Time’, it is Now or Never. (Penulis)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

- Keluarga tercinta yang selalu membimbing, menyayangi dan mendukung penulis.
- Dosen pembimbing (Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.) yang telah membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini
- Untuk dosen penguji skripsi (Untoro Nugroho, S.T, M.T dan Ir. Agung Sutarto, M.T.) yang telah memberikan banyak arahan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
- Untuk PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daop 4 Semarang yang telah memberikan izin dan membantu kelancaran penelitian selama berlangsung.
- Teman-teman Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang selalu menyemangati dan memberikan motivasi

ABSTRAK

Vina Fadilah, 2020. “Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc.

Dalam mendesain infrastruktur kereta api dirancang secara khusus dengan mempertimbangkan beban kereta api yang sangat besar dan kecepatan tinggi yang dimilikinya. Beban kereta api yang melintas rel dapat menyebabkan getaran pada struktur jalan rel tersebut. Getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan sekitar rel, kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kondisi tanah di bawah konstruksi rel. Berkembangnya teknologi transportasi menyebabkan peningkatan kecepatan kendaraan dan kendaraan berat telah menghasilkan getaran yang lebih tinggi (Shih, 2018). Dari getaran tanah akibat beban kereta api yang melintas akan didapat dampak yang ditimbulkan terhadap struktur jalan rel yang dilewati kereta api.

Untuk mengetahui besarnya getaran yang ditimbulkan, pada penelitian ini di gunakan dua alat yaitu *accelerometer* dan *seismic monitoring*. Kedua sensor tersebut diletakkan di bantalan pada saat yang sama untuk hasil yang lebih optimal. Data yang telah didapat selanjutnya akan diolah menggunakan software Geopsy dengan menggunakan standar metode HSVR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo.

Penelitian ini dilakukan di KM 3 + 4/5 dan Stasiun Jerakah (KM 5 + 8/9) untuk mendapat kecepatan kereta yang berbeda pada tiap lokasi. Kereta api yang melintasi kedua lokasi terdiri dari kereta barang dan kereta penumpang dengan kecepatan sebesar 59-94 km/jam dengan nilai percepatan $0,566-1,27 \text{ m/s}^2$ untuk arah X, $0,4-1,34 \text{ m/s}^2$ untuk arah Y, $0,86-1,27 \text{ m/s}^2$ untuk arah Z. Nilai percepatan yang didapat dari *accelerometer* lebih tinggi dari *seismic monitoring*. Tegangan maksimal di bawah bantalan yang terjadi sebesar $5,357 \text{ kg/cm}^2$. Frekuensi getaran pada bantalan yang terjadi sebesar 8,5-19,2 Hz. Gaya getaran yang dihasilkan sebesar 8,5-19,1 kN. Besarnya frekuensi dan gaya getaran akan bertambah saat percepatan getaran lebih besar. didapatkan frekuensi natural sebesar 0,9 Hz -1,99 Hz di KM 5+8/9 dan 0,8 Hz – 15,9 Hz di KM 3+4/5 dengan nilai amplitude tertinggi 1888,9. Besarnya frekuensi natural bergantung pada percepatan getaran dimana semakin besar percepatan getaran maka frekuensi natural akan semakin meningkat. Dari nilai frekuensi natural didapat jenis tanah pada KM 3+4/5 adalah tanah lumpur, sedangkan di KM 5+8/9 adalah batuan keras.

Kata kunci: accelerometer, getaran, kereta api, percepatan, frekuensi

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Getaran Dan Gelombang	5
2.2 <i>Accelerometer</i>	5
2.3 Tipe Respon Getaran	6
2.4 Getaran Tanah Akibat Beban Kereta Api	8
2.5 Frekuensi Natural	9
2.6 Amplifikasi	11

2.7	<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HSVR)</i>	11
2.8	Tegangan Dan Regangan	12
2.9	Struktur Rel Kereta Api	12
2.10	Beban Kereta Api.....	20
2.11	Analisis Beban Dinamik Kereta.....	21
BAB III METODE PENELITIAN		24
3.1.	Tempat Penelitian	24
3.2.	Data-data Penelitian	26
3.3.	Flow Chart Penelitian	27
3.4.	Prosedur Penelitian	28
3.5.	Pengolahan Data	33
BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA		40
4.1.	Spesifikasi Struktur Rel	40
4.2.	Beban Kereta Api.....	41
4.3.	Kecepatan Kereta Api.....	42
4.4.	Beban Dinamis Kereta Api	42
4.5.	Frekuensi Getaran Bantalan dan Roda Kereta	45
4.6.	Getaran Pada Bantalan Rel	46
4.7.	Perbandingan Nilai Percepatan Getaran Pada Bantalan dari <i>Accelerometer</i> dan <i>Seismic Monitoring</i>	49
4.8.	Gaya Getaran Akibat Beban Dinamis Kereta Api	51
4.9.	Frekuensi Dan Amplitudo Getaran	52
4.10.	Perbandingan Nilai Frekuensi, Percepatan Getaran, Beban Kereta, dan Kecepatan Kereta.	58
BAB V PENUTUP		60
5.1.	Kesimpulan	60
5.2.	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe respon getaran.....	6
Gambar 2.2 Ilustrasi getaran akibat kereta api	8
Gambar 2.3 Grafik H/V pada software Geopsy	9
Gambar 2.4 Hasil analisis getaran pada tiga arah menggunakan software Geopsy	11
Gambar 2.5 Grafik H/V	12
Gambar 2.6 Komponen struktur jalan rel	13
Gambar 2.7 Potongan melintang rel	14
Gambar 2.8 Penambat kaku.....	15
Gambar 2.9 Penambat Tipe E-Clips	15
Gambar 2.10 Penambat tipe <i>Doorcken</i>	16
Gambar 2.11 Penambat tpe DE-clips	16
Gambar 2.12 Bantalan Kayu	17
Gambar 2.13 Bantalan beton	18
Gambar 2.14 Bantalan besi.....	19
Gambar 2.15 Dinding penahan tanah	20
Gambar 2.16 Pembebanan pada struktur jalan rel.....	23
Gambar 3.1 Kondisi topografi titik KM 3+4/5.....	24
Gambar 3.2 Lokasi Jalur perlintasan rel di Jalan Mukti Harjo Raya	25
Gambar 3.3 Kondisi topografi titik KM 5+8/9.....	25
Gambar 3.4 Lokasi Stasiun Jerakah	25
Gambar 3.5 Alur penelitian	27

Gambar 3.6 Seismic Monitoring	29
Gambar 3.7 Pemasangan sensor pada bantalan rel.....	29
Gambar 3.8 Persiapan alat recorder.....	30
Gambar 3.9 Posisi perletakan kedua sensor di bantalan.....	30
Gambar 3.10 Pemasangan recorder	31
Gambar 3.11 Pemasangan sensor dengan arah X menghadap ke timur.....	31
Gambar 3.12 Penggunaan speed gun.....	32
Gambar 3.13 Pengukuran dimensi rel	32
Gambar 3.14 Getaran arah X, Y dan Z menggunakan software GeoDAS.....	33
Gambar 3.15 Tampilan software geopsy	34
Gambar 3.16 Mengimport sinyal menggunakan software geopsy	34
Gambar 3.17 Getaran arah X, Y dan Z menggunakan software geopsy	35
Gambar 3.18 Setting software geopsy	35
Gambar 3.19 Data percepatan getaran pada software geopsy	36
Gambar 3.20 grafik H/V pada software geopsy	36
Gambar 3.21 grafik H/V pada software geopsy	37
Gambar 3.22 Data frekuensi dan amplitude	37
Gambar 3.23 software DsAcc.....	38
Gambar 3.24 pengolahan data pada software DsAcc	38
Gambar 3.25 Meng-convert data percepatan di Microsoft Excel.....	39
Gambar 3.26 Meng-convert data percepatan di Microsoft Excel.....	39
Gambar 4.1 Distribusi tegangan di bawah bantalan akibat beban gandar.....	44
Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan dengan frekuensi roda dan frekuensi bantalan	46
Gambar 4.3 Grafik percepatan getaran kereta barang	47
Gambar 4.4 Grafik percepatan getaran kereta penumpang kamandaka	47

Gambar 4.5 Grafik percepatan getaran kereta penumpang argo anggrek	48
Gambar 4.6 Grafik percepatan getaran kereta penumpang kedung sepur	48
Gambar 4.7 Grafik perbandingan percepatan pada arah X	50
Gambar 4.8 Grafik perbandingan percepatan pada arah Y	50
Gambar 4.9 Grafik perbandingan percepatan pada arah Z.....	50
Gambar 4.10 Grafik hubungan gaya getaran dan percepatan getaran.....	52
Gambar 4.11 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta barang	53
Gambar 4.12 Grafik H/V yang di olah pada software Geopsy.....	53
Gambar 4.13 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang kamandaka	54
Gambar 4.14 Grafik H/V yang di olah pada software Geopsy.....	55
Gambar 4.15 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang kedung sepur	55
Gambar 4.16 Grafik H/V yang di olah pada software Geopsy.....	55
Gambar 4.17 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang argo anggrek	56
Gambar 4.18 Grafik H/V yang di olah pada software Geopsy.....	56
Gambar 4.19 Grafik hubungan amplitude dan frekuensi selama kereta melintas	57
Gambar 4.20 Grafik hubungan kecepatan kereta, beban kereta, percepatan getaran frekuensi natural.	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel jenis klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi natural oleh Kanai.....	10
Tabel 2.2 Tabel karakteristik rel menurut Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986.....	14
Tabel 4.1 Spesifikasi struktur jalan rel	40
Tabel 4.2 Data beban kereta api yang melintasi lokasi penelitian.....	41
Tabel 4.3 Data kecepatan kereta api yang melintasi lokasi penelitian	42
Tabel 4.4 Frekuensi natural dan frekuensi roda	46
Tabel 4.5 Percepatan getaran pada arah X, Y, dan Z menggunakan sensor accelerometer	51
Tabel 4.6 Percepatan getaran pada arah X, Y, dan Z menggunakan sensor seismic monitoring	51
Tabel 4.7 Besar gaya getar pada kereta api	53
Tabel 4.8 Data frekuensi natural pada kecepatan tertentu.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data percepatan getaran pada bantalan akibat beban kereta yang melintasi lokasi penelitian.
2. Data frekuensi dan amplitude getaran

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi jumlah peningkatan kendaraan pribadi adalah dengan adanya peningkatan kualitas moda transportasi umum. Namun dalam pelaksanaannya sarana transportasi umum saat ini masih banyak memiliki kendala. Salah satunya ialah kereta api, pada saat ini banyak terjadi kecelakaan kereta api yang disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah banyaknya bantalan rel yang sudah rapuh, pencurian baut pada rel kereta api, serta longgarnya baut yang mengikat rel dengan bantalan rel yang mengurangi daya tahan rel pada saat dilewati oleh roda kereta api. Dari banyaknya faktor penyebab kecelakaan kereta api tersebut dapat diduga bahwa buruknya kondisi rel kereta api merupakan salah satu faktor penyebab tingginya angka kecelakaan kereta api di Indonesia.

Di dalam UU No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian disebutkan bahwa Kereta api sebagai salah satu moda transportasi dalam sistem transportasi nasional perlu dikembangkan potensinya dan ditingkatkan peranannya sebagai penghubung wilayah, baik nasional maupun internasional, untuk menunjang, mendorong, dan menggerakkan pembangunan nasional guna meningkatkan kesejahteraan rakyat. Dalam mendesain infrastruktur kereta api dirancang secara khusus dengan mempertimbangkan beban kereta api yang sangat besar dan kecepatan tinggi yang dimilikinya. Desain infrastruktur yang dimaksud salah satunya adalah struktur jalan rel. Struktur jalan rel dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur bagian atas (*super-structure*) yang meliputi rel (*rail*), penambat (*fastening*), dan bantalan (*sleeper*), untuk struktur bagian bawah (*sub-structure*) meliputi balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*). Dalam merancang struktur jalan rel, perlu diperhitungkan rancangan struktur jalan rel yang mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi, agar tidak mengalami penurunan tanah yang ekstrim akibat beban dan kecepatan yang membahayakan pengguna kereta api.

Getaran adalah gerakan bolak-balik suatu massa melalui keadaan seimbang terhadap titik acuan, sedangkan getaran mekanik adalah getaran yang ditimbulkan oleh sarana dan peralatan kegiatan manusia (Kep.MENLH No: KEP-49/MENLH/11/1996). Getaran tanah adalah getaran yang terjadi pada tanah akibat kegiatan manusia seperti pemancangan pondasi tiang pancang, beban lalu lintas kendaraan, beban kereta api dan lain-lain (Zelin,2019). Getaran tanah yang di sebabkan oleh aktivitas lalu lintas menyebabkan kondisi tanah dasar mengalami defleksi vertical (Zelin,2019). Beban kereta api yang melintas rel dapat menyebabkan getaran pada struktur jalan rel tersebut. Getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan sekitar rel, kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kondisi tanah di bawah konstruksi rel. Berkembangnya teknologi transportasi menyebabkan peningkatan kecepatan kendaraan dan kendaraan berat telah menghasilkan getaran yang lebih tinggi (Shih, 2018). Dari getaran tanah akibat beban kereta api yang melintas akan didapat dampak yang ditimbulkan terhadap struktur jalan rel yang dilewati beban.

Salah satu dampak yang ditimbulkan oleh getaran tanah tersebut adalah terjadinya tegangan pada struktur jalan rel kereta. Tegangan adalah perbandingan gaya tarik atau tekan terhadap luas permukaan benda yang menerima gaya. Dengan terjadinya getaran pada rel kereta api, struktur rel yang bergetar akan mengalami tegangan sebagai respon dari beban yang melintas. Getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan sekitar rel, kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kerusakan struktur jalan rel. Berkembangnya teknologi transportasi menyebabkan peningkatan kecepatan kendaraan dan kendaraan berat telah menghasilkan getaran yang lebih tinggi (Shih, 2018).

Untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan getaran akibat beban kereta dilakukan pengujian menggunakan alat bernama sensor *accelerometer*. Sensor *accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinasi) (Alma, 2011). *Accelerometer* dapat digunakan untuk mendeteksi gempa bumi, jembatan, bendungan dan lainnya. Pemantauan seismik menggunakan sensor *Accelerometer* tipe AC-73 memiliki beberapa keunggulan seperti dapat digunakan untuk pemantauan dan pemantauan dan pengukuran struktur bangunan dan gempa bumi (Kusumawardani, 2017). *Accelerometer* dapat mendeteksi gelombang getaran yang disebabkan oleh kendaraan dari tiga arah yaitu, longitudinal (L), vertikal (V) dan traverse (T) (Kusumawardani, 2018). Untuk aplikasi *accelerometer* pada struktur jalan rel alat *accelerometer* diletakkan pada jarak yang sama dari posisi saat kereta melintas. Dari sistem ini,

besarnya percepatan dapat diidentifikasi dalam setiap detik pemantauan waktu sebenarnya (Kusumawardani, 2017). *Accelerometer* akan mencatat frekuensi gelombang getaran yang timbul akibat beban yang melintas di lintasan rel kereta api.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut didapat identifikasi masalah sebagai berikut.

1. Dampak beban kereta api terhadap bantalan rel
2. Besarnya percepatan dan gaya getaran akibat beban dinamis kereta api.
3. Besarnya nilai tegangan di bantalan akibat beban yang melintasi bantalan rel.
4. Besarnya nilai frekuensi dan gaya getaran yang terjadi akibat beban kereta.
5. Bagaimana hubungan antara kecepatan, beban kereta, percepatan getaran, serta frekuensi natural pada jalan rel.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana akibat yang ditimbulkan ketika beban kereta api yang melintasi jalan rel?
2. Berapa besarnya percepatan dan gaya getaran akibat beban dinamis kereta api?
3. Bagaimana perbandingan percepatan getaran pada bantalan dengan menggunakan sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*?
4. Berapa besarnya tegangan akibat beban dinamis kereta di bantalan rel?
5. Berapa besarnya frekuensi dan gaya getaran yang terjadi?
6. Bagaimana hubungan beban dan kecepatan dengan percepatan dan frekuensi getaran akibat kereta api yang melintasi rel?

1.4. Batasan Masalah

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

1. Data yang diambil berupa data getaran kereta api yang melintasi rel pada Jalur Semarang-Solo dan Semarang-Jakarta.
2. Lokasi penelitian yang ini adalah Stasiun Jerakah pada titik KM 5 +8/9 dan Jalan Muktiharjo Raya pada titik KM 3 + 4/5.
3. Alat yang digunakan merupakan sensor *accelometer* dan *seismic monitoring*.
4. Data yang di dapat dari aplikasi DsAcc akan di olah menggunakan aplikasi Geopsy dan GeoDAS.

5. Output alat pendeteksi getaran sensor *accelerometer* berupa percepatan getaran.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui akibat beban pada rel pada saat kereta melintas pada bantalan rel.
2. Mengetahui besar percepatan getaran yang diakibatkan beban saat kendaraan melintasi struktur jalan rel.
3. Mengetahui besarnya tegangan pada bantalan akibat beban kereta api yang melintas.
4. Mengetahui besarnya frekuensi pada bantalan dan gaya getaran yang terjadi.
5. Mengetahui hubungan kecepatan beban kereta, percepatan getaran dan frekuensi natural pada struktur rel kereta.

1.6. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat member manfaat, antara lain:

1. Manfaat Akademis

Manfaat penelitian ini di bidang akademis adalah untuk mengetahui perbandingan regangan dan tegangan pada struktur jalan rel yang timbul akibat beban yang melintas, selanjutnya data tersebut akan diolah untuk mendapat umur dan kualitas jalan rel.

2. Manfaat Teoritis

Diharapkan penelitian ini bisa digunakan sebagai bahan masukan bagi ilmu pengetahuan dan pengetahuan tentang struktur jalan rel pada khususnya. Hasil penelitian ini juga bisa digunakan untuk referensi bagi mahasiswa sebagai pedoman penelitian lebih lanjut.

3. Manfaat Praktis

Dalam bidang sosial diharapkan penelitian ini memberikan pemecahan masalah akibat kondisi bantalan yang sudah rapuh, pencurian baut sambungan rel kereta serta longgarnya baut yang mengikat rel yang dapat mengurangi daya tahan rel saat kereta api melintas dengan alat *accelerometer* sehingga tidak diperlukan lagi pengecekan rel secara manual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Getaran Dan Gelombang

Getaran adalah gerakan bolak-balik suatu massa melalui keadaan seimbang terhadap suatu titik acuan (Kep.Menteri Lingkungan Hidup No: KEP-49/MENLH/11/1996). Sebuah benda dikatakan bergetar jika benda tersebut melakukan suatu gerak osilasi terhadap suatu posisi setimbang (Suwandi,2009). Timbulnya getaran pada umumnya disebabkan oleh adanya efek dinamis, seperti terjadinya kerenggangan antara komponen mekanik yang bergerak atau adanya gaya-gaya yang menimbulkan ketidak seimbangan pada bagian yang berputar dan lain sebagainya.

Ketika dihadapkan dengan masalah getaran, para insinyur umumnya memulai dengan membuat beberapa pengukuran untuk mencoba mengisolasi penyebab masalahnya. Ada dua cara umum untuk mengukur getaran:

- a. *accelerometer* adalah perangkat elektro-mekanis kecil yang memberikan sinyal listrik sebanding dengan akselerasinya.
- b. *Displacement Transducer* mirip dengan *accelerometer*, tetapi memberikan sinyal listrik sebanding dengan perpindahannya.

Displacement Transducer umumnya lebih disukai untuk pengukuran getaran frekuensi rendah, sedangkan *accelerometer* digunakan pada frekuensi tinggi.

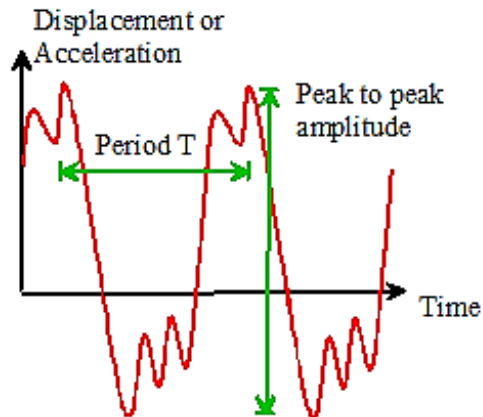
2.2 Accelerometer

Sensor *accelerometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinasi) (Alma, 2011). *Accelerometer* dapat digunakan untuk mendeteksi gempa bumi, jembatan, bendungan dan lainnya. Pemantauan seismik menggunakan sensor *Accelerometer* tipe AC-73 memiliki beberapa keunggulan seperti dapat digunakan untuk pemantauan dan pengukuran struktur bangunan dan gempa bumi (Kusumawardani, 2017). *Accelerometer* dapat mendeteksi gelombang getaran yang disebabkan oleh kendaraan dari tiga arah yaitu, longitudinal (L), vertikal (V) dan traverse (T) (Kusumawardani, 2018). Untuk aplikasi *accelerometer* pada struktur jalan rel alat *accelerometer* diletakkan pada jarak yang sama dari

posisi saat kereta melintas. Dari sistem ini, besarnya percepatan dapat diidentifikasi dalam setiap detik pemantauan waktu sebenarnya (Kusumawardani, 2017).

2.3 Tipe Respon Getaran

Dibawah ini merupakan tipe respon getaran yang dapat ditangkap oleh alat *accelerometer* dan *transducer displacement*.



Gambar 2.1 Tipe respon getaran yang dihasilkan oleh *accelerometer* atau *displacement transducer* (School of Brown Engineering University, 2020)

2.3.1. Periode (T)

Periode adalah waktu yang di perlukan benda setiap satu getaran (Kartono,2007). Periode di hitung menggunakan persamaan

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } T = \frac{1}{N} \dots\dots\dots(1)$$

dengan: T = periode getarann (s);

f = frekuensi getaran (Hz);

t = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s);

N = jumlah getaran.

2.3.2 Frekuensi (f)

Frekuensi adalah banyaknya getaran tiap satu detik.

$$f = \frac{N}{t} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2)$$

dengan: f = frekuensi getaran (Hz);

T = periode getarann (s);

t = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s);

N = jumlah getaran (n).

2.3.3 Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan gelombang yang paling besar. Besarnya amplitude selalu bernilai positif dengan satuan SI amplitudo adalah meter (m).

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(3)$$

2.3.4 Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut atau frekuensi angular adalah kecepatan benda yang bergerak melingkar. Kecepatan sudut dapat didefinisikan sebagai

$$\omega = 2\pi f \text{ atau } \omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots(4)$$

dengan: ω = Kecepatan sudut (rad/s²)

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (s)

2.3.5 Percepatan Getaran

Percepatan atau akselerasi adalah perubahan kecepatan dalam kurun waktu tertentu. Percepatan suatu benda bisa semakin cepat atau semakin lambat. Apabila kecepatan suatu objek bertambah atau semakin cepat maka nilainya positif, sebaliknya ketika suatu objek semakin lambat maka nilai percepatannya akan bernilai negatif. Percepatan merupakan besaran vector yaitu memiliki nilai besaran dan arah.

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t - kx) \dots\dots\dots(5)$$

2.3.6 Kecepatan Gelombang Getaran

Kecepatan gelombang adalah jarak yang ditempuh gelombang tiap satu satuan waktu. Cepat rambat gelombang dinyatakan sebagai berikut.

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(6)$$

dengan: v = kecepatan getaran (m/s);

s = jarak yang ditempuh gelombang (m);

t = waktu yang ditempuh gelombang (s);

λ = panjang gelombang (m);

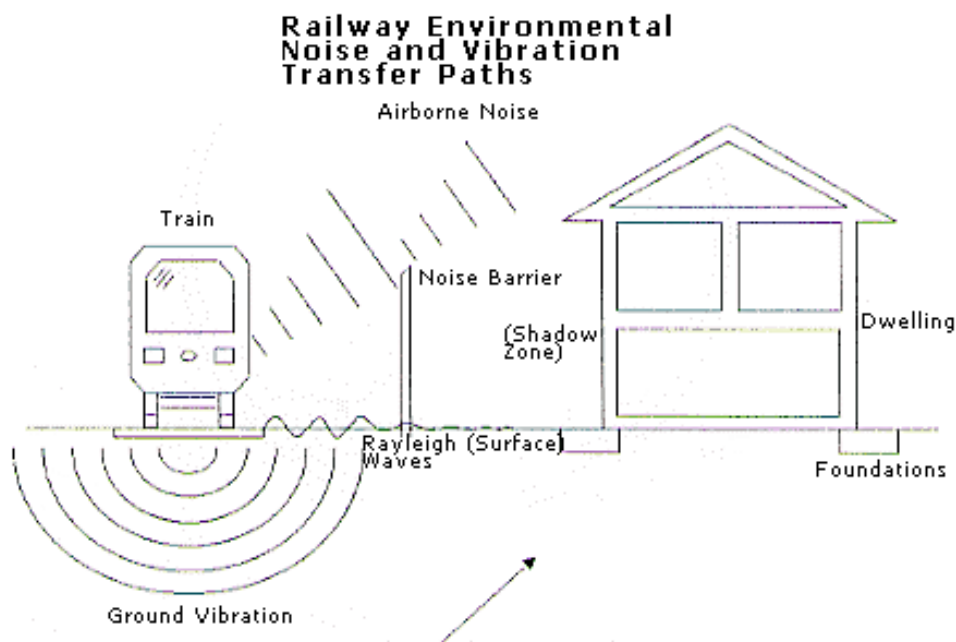
T = periode (s);

f = frekuensi (Hz).

2.4 Getaran Tanah Akibat Beban Kereta Api

Getaran tanah adalah getaran yang terjadi pada tanah akibat kegiatan manusia seperti pemancangan pondasi tiang pancang, beban lalu lintas kendaraan, beban kereta api dan lain-lain (Zelin,2019).

Kereta yang melintasi jalan rel menciptakan beban bergerak pada lintasan struktur rel yang membentuk pola. Pola tersebut berbentuk getaran yang akan merambat melalui struktur jalan rel di bawahnya. Getaran yang diterima oleh struktur jalan rel selanjutnya akan membentuk gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Rayleigh* memiliki kecepatan yang relatif lambat di tanah dan panjang gelombang yang panjang tergantung pada kondisi tanah.



Gambar 2.2 Ilustrasi getaran akibat kereta api (Suhairy, 2000)

Untuk menggunakan *Badhwith spectrum* pada kereta api yaitu dengan melihat sifat geometris kereta dengan kecepatannya. kereta dengan kecepatan 25 m / s (90 km / jam) mungkin diharapkan menghasilkan frekuensi di kisaran 2,5 Hz hingga 12,5 Hz. Jika roda kereta api berdiameter 0,75-1,0 m, dengan tipe roda tunggal dipertimbangkan, frekuensi roda tersebut dapat bervariasi antara sekitar 8 Hz dan 11 Hz. Roda kereta yang melewati bantalan yang sama

dapat menghasilkan frekuensi bantalan. Untuk kereta api di Swedia, di mana jarak nominal pusat ke pusat bantalan adalah 0,65 m, frekuensi bantalan yang sesuai untuk kereta api dengan kecepatan 25 m / s (90 km / jam) menjadi sekitar 38,5 Hz. (Suhairy, 2000). Dengan menerapkan persamaan di bawah ini, rentang frekuensi dari kereta api dapat dihitung.

- a. Frekuensi pada bantalan, merupakan frekuensi yang terjadi pada bantalan selama beban kereta melintas.

$$f_s = \frac{v}{l_s} \dots \dots \dots (7)$$

- b. Frekuensi pada roda kereta api, merupakan besarnya frekuensi pada roda saat melintasi rel.

$$f_a = \frac{v}{a} \dots \dots \dots (8)$$

dengan: f_s = Frekuensi bantalan (Hz);

f_a = Frekuensi roda kereta (Hz);

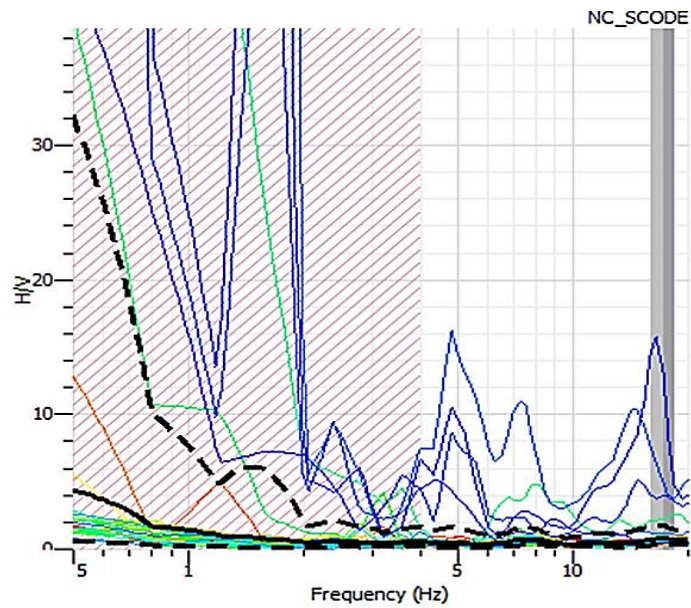
v = Kecepatan kereta (m/s);

l_s = Jarak antar bantalan (m);

a = Jak antara dua roda ada bogie (m).

2.5 Frekuensi Natural

Frekuensi natural merupakan frekuensi dominan yang terjadi ketika benda menerima getaran tanpa adanya redaman (Zelin, 2019). Besarnya frekuensi natural yang bergetar secara transversal dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan, dimensi/geometri (luas penampang, panjang), density, dan gaya aksi yang bekerja pada bahan (Maulidiya, 2017).



Gambar 2.3 Grafik H/V pada software Geopsy

Gambar 2.10 merupakan contoh grafik hasil pengolahan data menggunakan metode HSVR dengan software geopsy. Pada grafik tersebut terdapat kurva hitam yang menunjukkan rata-rata dari kurva berwarna. Dua garis terpotong menunjukkan standard deviasi dan area berwarna abu-abu sebagai frekuensi puncak rata-rata. (Wijayanti, 2013)

Jika suatu struktur memiliki frekuensi paksa sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi amplitude yang jauh lebih besar daripada amplitude gaya paksa selanjutnya struktur tersebut akan mungkin mengalami resonansi (Tipler, 1991). Selain digunakan untuk menentukan terjadinya resonansi atau tidak, frekuensi natural juga bisa digunakan menentukan jenis klasifikasi tanah berdasarkan tabel berikut.

Tabel 2.1 Tabel jenis klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi natural oleh Kanai (Arifin et al,2012)

Jenis Tanah	Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi 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, engan ketebalan >5 meter. 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.

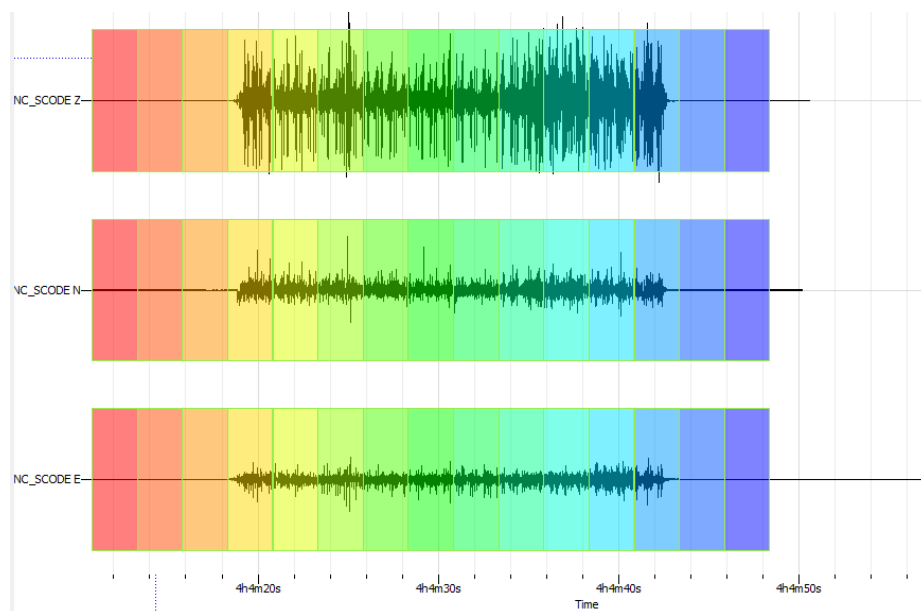
2.6 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan proses peningkatan percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke lapisan permukaan (Partono, 2013). Amplifikasi diketahui melalui metode HVSR pada software Geopsy. Nilai puncak grafik HVSR adalah amplifikasi. Amplifikasi gelombang dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan tanah karena gelombang yang terjebak di lapisan lunak. Jika gelombang tersebut memiliki frekuensi yang sama, maka akan terjadi resonansi yang dapat mengakibatkan kerusakan struktur tanah dan bangunan di atasnya

2.7 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HSVR)

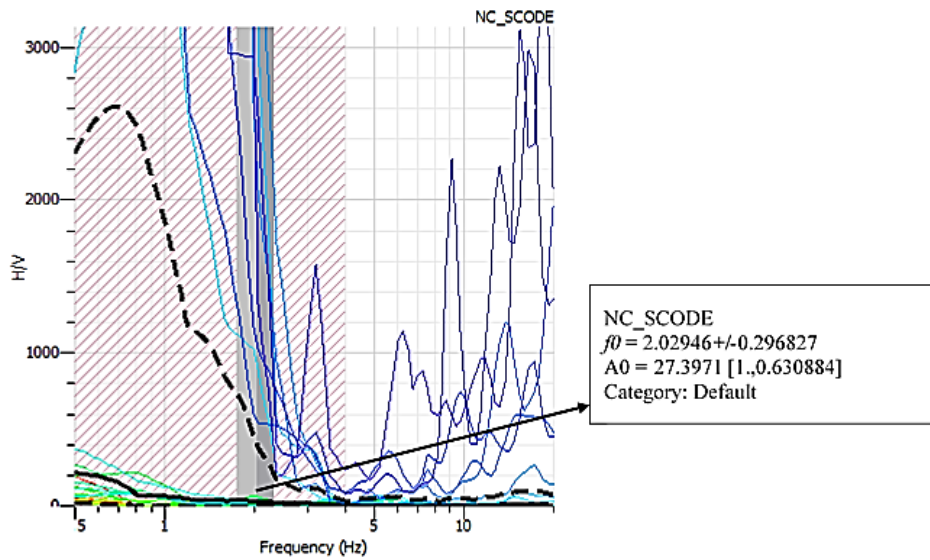
Frekuensi natural diketahui dari puncak HVSR, dan nilai puncak HVSR adalah amplifikasi (Maulidya, 2017). Metode HVSR merupakan metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spectrum horizontal dan vertical dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan (Setiawati, 2016).

Metode HVSR digunakan 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. Data mikroseismik tersebut selanjutnya akan di olah menggunakan software Geopsy.



Gambar 2.4 Hasil analisis getaran padah tiga arah menggunakan *software* Geopsy

Data yang didapat pada software GeoDAS selanjutnya akan di olah menggunakan software geopsy untuk menentukan frekuensi natural dan amplitudonya.



Gambar 2.5 Grafik H/V

2.8 Tegangan Dan Regangan

Tegangan adalah perbandingan gaya tarik atau tekan terhadap luas permukaan benda yang menerima gaya. Regangan adalah perubahan relative ukuran benda yang terjadi karena adanya gaya atau beban pada benda (Kurniawan, 2014).

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (9)$$

dengan: σ = Tegangan (MPa)

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

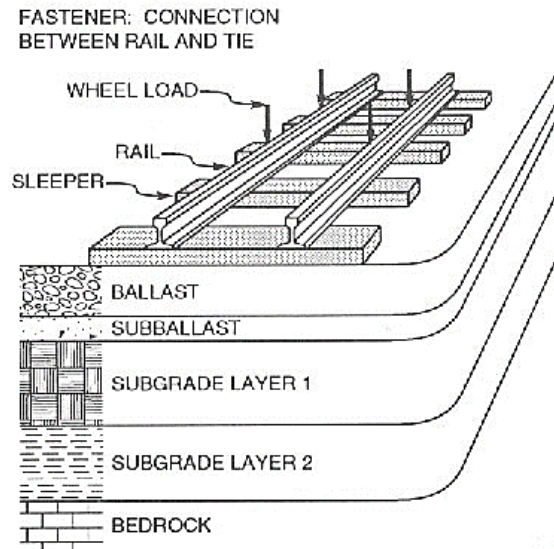
A = Luas penampang benda (m²)

2.9 Struktur Rel Kereta Api

Secara umum jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja yang diletakkan di atas balok-balok melintang. Balok-balok melintang ini disebut bantalan. Untuk menjaga agar rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Struktur rel, bantalan dan penambat rel tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut dengan lintasan (*track*). *Track* diletakkan di suatu alas yang disebut balas (*ballast*), yang selanjutnya dibawah balas terdapat lapisan tanah dasar (*subgrade*). (Utomo, 2009)

Selanjutnya komponen-komponen struktur jalan rel tersebut di atas dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai berikut:

- Struktur bagian atas, yaitu bagian lintasan (*track*), terdiri dari atas rel, bantalan dan penambat rel
- Struktur bagian bawah, yaitu bagian pondasi, terdiri atas balas dan tanah dasar.



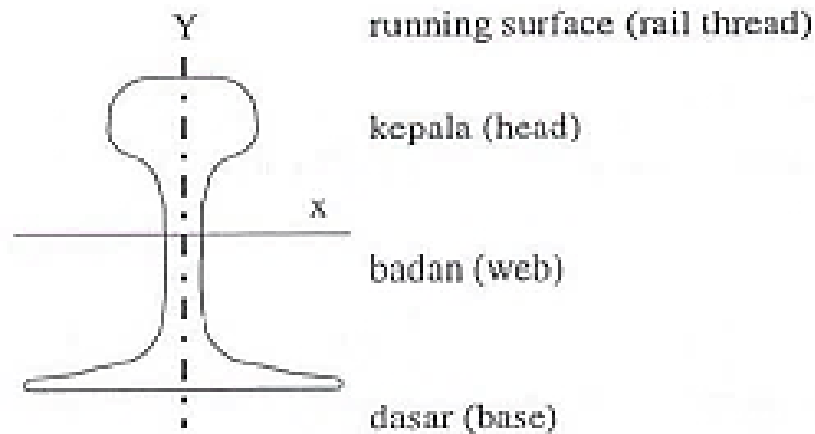
Gambar 2.6 Komponen struktur jalan rel (Rosyidi, 2015)

2.8.1 Rel (*Rail*)

Rel merupakan baja yang diletakkan searah horizontal digunakan sebagai penerima beban roda kereta api. Rel ditumpu oleh bantalan-bantalan, sehingga pada saat kereta api melintasi jalan rel tekanan tegak lurus dari roda akan menyebabkan momen lentur pada rel di antara bantalan-bantalan.

Suatu komponen rel dapat dibagi menjadi beberapa bagian berikut

- Permukaan rel (*running surface*), yaitu bagian dari rel yang berfungsi sebagai tempat untuk pergerakan kereta api.
- Kepala rel (*head*), keausan rel biasanya terjadi pada bagian kepala karena sering bergesekan dengan roda, untuk mendapatkan umur rencana yang Panjang bagian kepala rel akan diperbesar.
- Badan rel (*web*), ditentukan dengan tebal yang memadai untuk dapat menahan beban dan momen akibat pergerakan kereta api dan mempunyai daya tahan terhadap korosi.
- Kaki rel (*foot*), harus dirancang selebar mungkin sehingga kedudukan rel menjadi stabil terhadap dorongan maupun puntiran akibat pergerakan kereta api, dan mampu mendistribusikan beban yang diterima kepada bantalan dengan baik.



Gambar 2.7 Potongan melintang rel (Rosyidi,2015)

Karakteristik penampang rel kereta api diatur dalam Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10) dijelaskan pada Tabel berikut.

Tabel 2.2 Tabel karakteristik rel menurut Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986.

Karakteristik Rel		Tipe Rel			
Karakteristik	Notasi dan satuan	R.42	R.50	R.54	R.60
Tinggi Rel	H (mm)	138	153	159	172
Lebar kaki	B (mm)	110	127	140	150
Lebar Kepala	C (mm)	68.5	65	70	74.3
Tebal badan	D (mm)	13.5	15	16	16.5
Tinggi kepala	E (mm)	40.5	49	49.4	51
Tinggi Kaki	F (mm)	23.5	30	30.2	31.5
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis horizontal dan pusat kelengkungan badan rel	G (mm)	72	76	74.97	80.95
Jari-jari kelengkungan badan rel	R (mm)	320	500	508	120
Luas penampang	A (cm ²)	54.26	64.2	69.34	76.86
Berat rel	W (kg/m)	42.59	50.4	54.43	60.34
Momen inersia terhadap sumbu X	I _x (cm ⁴)	1.369	1.96	2.346	3.055
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis netral	Y _b (mm)	68.5	71.6	76.2	80.95

2.8.2 Penambat (*Fastening System*)

Penambat rel adalah suatu komponen yang berfungsi mengikat rel pada bantalan. Penambat rel terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Penambat Kaku

Penambat kaku umumnya digunakan pada jalur rel kereta tua. Penambat kaku biasanya terdiri dari paku rel, mur, baut atau menggunakan *tirefond* yang dipasang atau tanpa pelat landas.



Gambar 2.8 Penambat kaku (Wikipedia, 2020)

2. Penambat Elastis

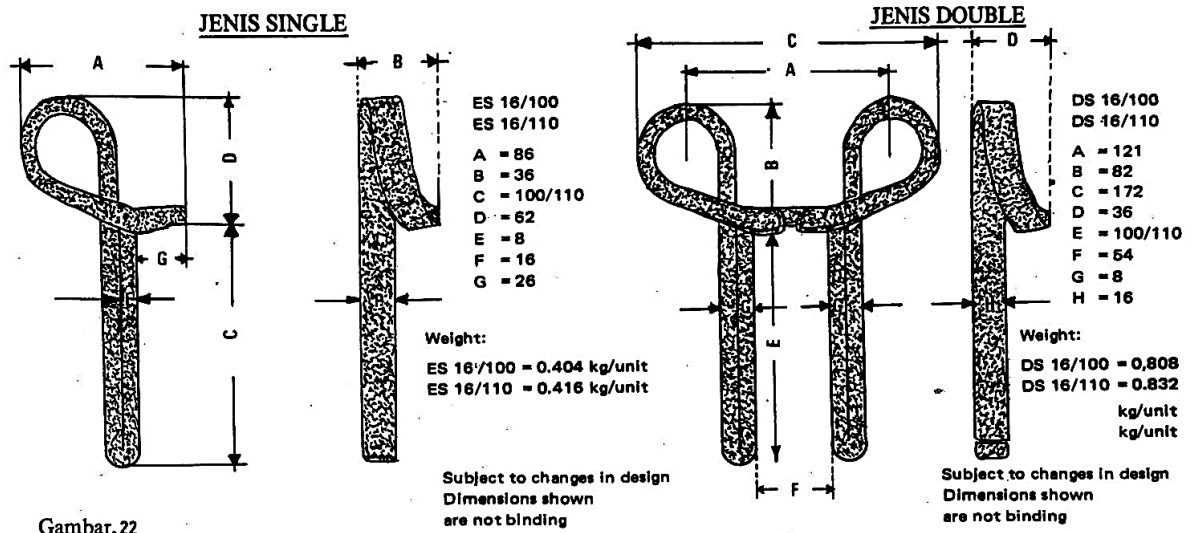
Penambat elastis digunakan untuk rel yang memiliki beban dan kecepatan kereta yang tinggi karena mempunyai kemampuan mengurangi pengaruh getaran pada rel terhadap bantalan, serta memberikan kuat jepit (*clamping force*) yang tinggi. Berikut merupakan jenis-jenis penambat rel elastis

- a. Penambat pandrol elastik, berupa batangan baja dengan diameter 19 mm dan dibentuk spiral. Kuat jepit yang di hasilkan penambat ini dapat mencapai 600 kgf.



Gambar 2.9 Penambat tipe *E-clips*

- b. Alat penambat Doorcken, dibedakan menjadi dua yaitu jenis tunggal (*Single Rail Spike*) dan jenis ganda (*Double Rail Spike*), dengan nilai clamping force masing-masing sebesar 475 kgf (tunggal) dan 850 kgf (ganda).



Gambar. 22

(a) *Single Rail Spike*

(b) *Double Rail Spike*

Gambar 2.10 Penambat tipe Doorcken

- c. Penambat DE-Clips, penambat jenis ini digunakan luas di perlintasan kereta api Indonesia. Keuntungan dari penambat ini adalah *clamping forces* yang mencapai 1000 kgf dan dapat melawan gaya puntiran.



Gambar 2.11 Penambat tipe DE-clips

2.8.3. Bantalan (*Sleeper*)

Bantalan merupakan balok melintang yang terdapat dibawah rel yang berfungsi sebagai penerima beban dari rel. Selain itu bantalan mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Menerima beban vertikal dan lateral yang disebabkan oleh beban statis rel dan beban dinamis akibat pergerakan kereta.
2. Mendistribusikan beban yang di terima bantalan ke ballast dengan tekanan vertical lebih merata
3. Menstabilisasikan struktur jalan rel terhadap gaya lateral yang memaksa rel untuk bergeser ke arah luar (penyimpangan arah lateral).
4. Menghindari kontak langsung antara rel dengan air tanah.

Adapun jenis-jenis bantalan dapat dibagi sesuai dengan bahan penyusunnya, yaitu:

a. Bantalan Kayu

Bantalan kayu adalah bantalan yang terbuat dari kayu dengan mutu A kelas satu. Modulus elastis (E) minimumnya 125.000 kg/cm^2 . Bantalan kayu harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kg-m , lentur absolute tidak boleh kurang dari 46 kg/cm^2 . Berat jenis kayu minimum = 0.9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu. Bantalan kayu di gunakan pada rel dan jembatan karena kayu lebih elastis daripada beton.



Gambar 2.12 Bantalan kayu

b. Bantalan Beton

Bantalan beton adalah bantalan yang terbuat dari beton prategang. Bantalan beton merupakan jenis bantalan yang paling umum digunakan di Indonesia karena harganya lebih ekonomis disbanding bantalan baja, dan lebih awet daripada bantalan kayu.



Gambar 2.13 Bantalan beton

Bantalan beton terbagi menjadi dua jenis menurut Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012, yaitu:

1. Untuk rel dengan lebar 1067 mm, kuat tekan karakteristik beton tidak boleh kurang dari 500 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar $+1500 \text{ kg m}$ pada bagian dudukan rel dan -930 kg m pada bagian tengah bantalan. Dengan dimensi beton sebagai berikut.

Panjang : 2.000 mm

Lebar maksimum 260 mm

Tinggi maksimum : 220 mm

2. Untuk rel dengan lebar 1435 mm, kuat tekan karakteristik beton tidak boleh kurang dari 600 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan. Dengan dimensi beton sebagai berikut

Panjang : 2.440 mm untuk beban gandar sampai dengan 22,5 ton

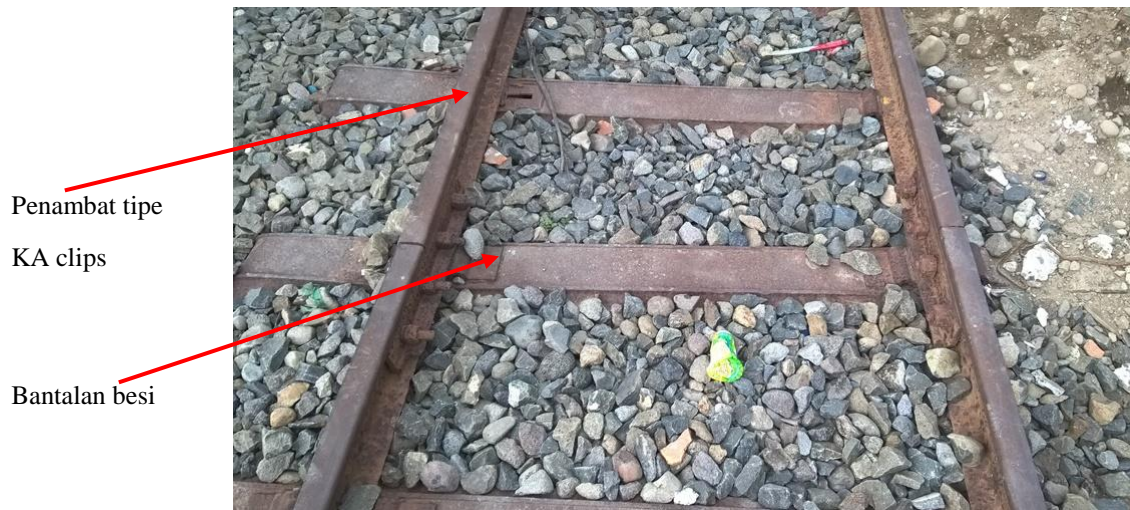
2740 mm untuk beban gandar di atas 22,5 ton

Lebar maksimum : 330 mm

Tinggi di bawah dudukan rel : 220 mm

c. Bantalan Besi

Bantalan besi harus memiliki kandungan Carbon Manganese Steel Grade 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rei, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kg m, tegangan tarik 88 - 103 kg m, dan Elongation A1 > 10%.



Gambar 2.13 Bantalan besi (Wikipedia, 2020)

2.8.4. *Ballast*

Lapisan *ballast* adalah terusan dari lapisan tanah dasar. *Ballast* merupakan area yang mengalami konsentrasi tegangan paling besar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih.

Untuk menghemat biaya pembangunan jalan rel, *ballast* biasanya dibuat menjadi dua lapis. Lapisan atas dengan material yang sangat baik dan lapisan alas bawah dengan material pembentuk yang tidak sebaik material pembentuk lapisan balas atas namun masih bias menopang beban.

a. Lapisan *Ballast* Atas

Lapisan balas atas terdiri dari batu pecah yang keras, dengan bersudut tajam dengan ukurannya antara 2-6 cm serta memenuhi syarat-syarat lain yang tercantum dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia (PBJRI). Lapisan ini harus dapat meneruskan air dengan baik. Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas atas adalah:

$$b > \frac{1}{2} L+x \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan : L = panjang bantalan (cm)

X = 50 cm untuk kelas I dan II, 40 cm untuk kelas III dan IV ,
35 cm untuk kelas V

b. Lapisan Ballast Bawah

Lapisan balas bawah terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (*filter*) antara tanah dasar dan lapisan balas atas dan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Tebal minimum lapisan *ballast* bawah adalah 15 cm.

2.8.5. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah berfungsi untuk menahan tanah dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kekuatannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri (Putra, 2017). Tanah yang tertahan dinding akan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan terguling atau akan tergeser.



Gambar 2.15 Dinding penahan tanah pada jalan rel

2.10 Beban Kereta Api

Beban kereta api adalah beban yang akan diterima struktur jalan rel selama rel tersebut masih digunakan. Beban vertical dari bantalan akan diteruskan dari bantalan ke lapisan balas dan sub balas menjadi beban lebih merata dan lebih kecil.

2.10.1 Beban Lokomotif

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 ditentukan beban gandar maksimum untuk lebar jalur kereta 1067 mm adalah 18 ton. Beban lokomotif bergantung pada tipe lokomotif yang dipakai. Jenis lokomotif CC206 merupakan lokomotif yang digunakan untuk kereta penumpang dan kereta barang di Jawa, sedangkan di Sumatra Selatan lokomotif ini diperuntukkan khusus untuk angkutan barang. Untuk kereta dengan lokomotif tipe ini memiliki berat sebesar 90 ton dengan beban gandar sebesar 15 ton.

2.10.2 Beban Kereta

Beban kereta digunakan pada kereta penumpang. Menurut PT KAI (Persero) Satu gerbong kereta beserta penumpangnya memiliki berat maksimum 40 ton dengan perkiraan berat satu penumpang 100 kg dengan barang bawaan maksimum 40 kg. Gerbong kereta di tumpu oleh dua bogie, setiap bogie di tumpu oleh dua gandar dan tiap gandar terdiri dari dua roda.

2.10.3 Beban Gerbong

Beban gerbong digunakan untuk kereta barang. Berat muatan satu gerbong maksimum sebesar 54 ton untuk gerbong datar dan 50 ton untuk gerbong terbuka maupun tertutup (PT. KAI (Persero)).

2.11 Analisis Beban Dinamik Kereta

Beban static adalah beban yang dihasilkan oleh beban lokomotif, beban kereta atau beban gerbong. Sedangkan pada realitanya beban yang terjadi pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor aerodinamik (hambatan udara dan beban angin), kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api. Beban dinamik merupakan beban yang terjadi akibat adanya beban yang melintas di atas struktur perlintasan rel. Nilainya bisa diukur langsung melalui pengujian getaran dan biasanya melibatkan kecepatan kereta api.

Oleh karena itu, diperlukan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis. Menurut Rosyidi (2015), berikut merupakan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis dengan menggunakan persamaan TALBOT yang digunakan pada standar perancangan struktur jalan kereta api di Indonesia (Peraturan Dinas No. 10 tahun 1986, dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012).

$$P_d = P_s \times I_p \dots\dots\dots(11)$$

$$I_p = 1 + 0,01 \times \left(\frac{V_{renc}}{1,609} - 5 \right) \dots \dots \dots (12)$$

Dengan:

P_d = beban roda dinamik rencana (kN/kg);

P_s = beban roda statik dari kereta api (kN/kg);

I_p = faktor atau indek beban dinamik dimesnsionless (nilainya > 1);

V = kecepatan rencana (dalam km/jam)

Desain rel yang digunakan ialah konsep “beam on elastic foundation model” yaitu dengan mengasumsikan bahwa setiap rel akan berperilaku sebagai balok menerus (infinite beam) yang diletakkan di atas tumpuan elastic linier (Rosyidi, 2015). Saat beban eksternal (beban dari roda kendaraan) disalurkan di atas balok (rel) yang diletakkan di atas fondasi elastic linier, maka gaya reaksi pada fondasi nilainya adalah proporsional terhadap nilai defleksi yang terjadi pada setiap titik pada balok tersebut. Asumsi ini menjadi dasar perhitungan model beam on elastic foundation (BoEF). Distribusi beban ke bantalan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q = 0,786 \times \frac{P_d \times S}{X_1} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{Dimana } \lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I_x}}, X_1 = \frac{\pi}{4 \times \lambda}$$

Dengan,

Q_1 = Distribusi beban ke bantalan (kg);

P_d = Beban roda dinamik rencana (kN/kg);

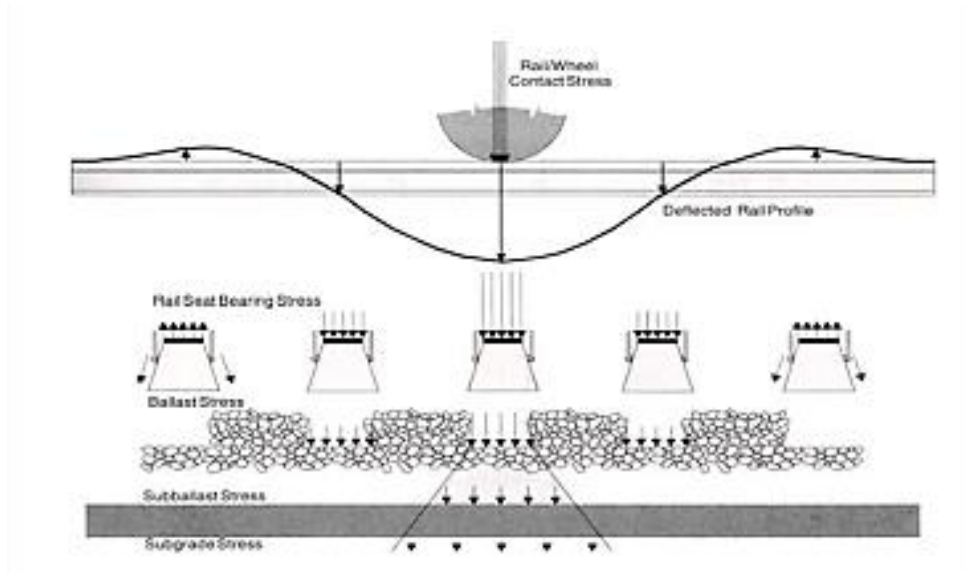
S = Jarak bantalan (cm);

X_1 = Jarak momen 0 ke momen maksimal (cm);

E = Modulus elastisitas jalan rel (kg/cm²);

I = Momen Inersia (cm⁴);

K = Modulus jalan rel (MPa);



Gambar 2.16 Pembebanan pada struktur jalan rel (Rosyidi, 2015)

Distribusi pembebanan kereta api pertama kali akan diterima oleh rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet. Dalam prosesnya Getaran yang di hasilkan kereta api mempunyai arah getaran vertikal dan lateral yang akan diteruskan ke tanah dasar melalui bantalan menuju ballast. Gaya getaran yang terjadi dapat di hitung dengan persamaan

$$F_t = m \cdot a \dots \dots \dots (14)$$

dengan:

F_t = Gaya akibat beban dinamis kereta tanpa redaman (kN);

m_R = massa (kg);

a = percepatan (m/s^2).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

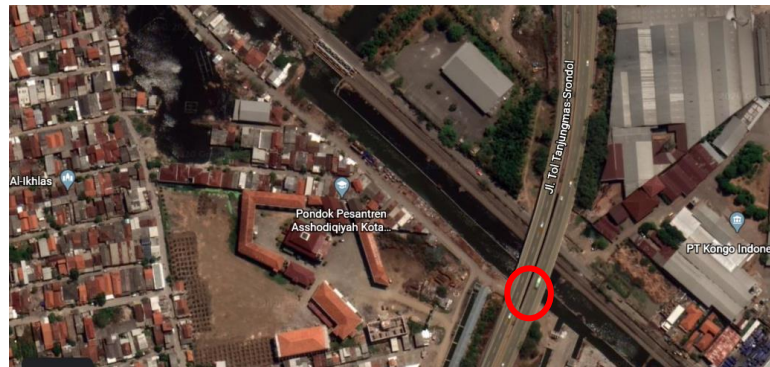
Lokasi penelitian ini dilakukan pada dua lokasi berbeda. Tujuannya adalah untuk memperoleh data dengan kecepatan maksimal berbeda. Di Jalan Mukti Harjo Raya kecepatan maksimal kereta yang diijinkan adalah 60 km/jam, sedangkan di Stasiun Jerakah kecepatan maksimal kereta yang diijinkan oleh PT. KAI adalah 90 km/jam.

a. Titik KM 3+4/5

Lokasi yang pertama terletak di Jalan Mukti Harjo Raya yaitu jalur perlintasan Semarang Surabaya di titik KM 3+4/5 ($6^{\circ}57'46''\text{S}$ $110^{\circ}27'04''\text{E}$) 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 Kaligawe. Pada lokasi penelitian ini masih sering terjadi banjir akibat banjir rob karena terletak dekat dengan jalur pantai dan terletak di tengah lokasi padat penduduk.



Gambar 3.1 Kondisi Topografi titik 3+4/5



Gambar 3.2 Lokasi titik 3+4/5 (jalur perlintasan kereta Semarang- Surabaya)

b. Titik KM 5+8/9

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 3.3 Kondisi Topografi titik 5 + 8/9



Gambar 3.4 Lokasi titik 5 + 8/9 (jalur perlintasan kereta Semarang- Jakarta)

3.2. Data-data Penelitian

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini secara garis besar terbagi menjadi dua, yaitu:

3.2.1.Data Primer

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

1. Data getaran akibat beban rel kereta api.
2. Data kecepatan kereta
3. Data dimensi rel kereta api
4. Data tanah

3.2.2.Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari sumber lain, dengan kata lain menggunakan data yang telah ada. Adapun data sekunder pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peta lokasi
2. Spesifikasi kualitas rel

Adapun metode yang digunakan untuk pengumpulan data, yaitu:

1) Metode Penelitian dan Observasi

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

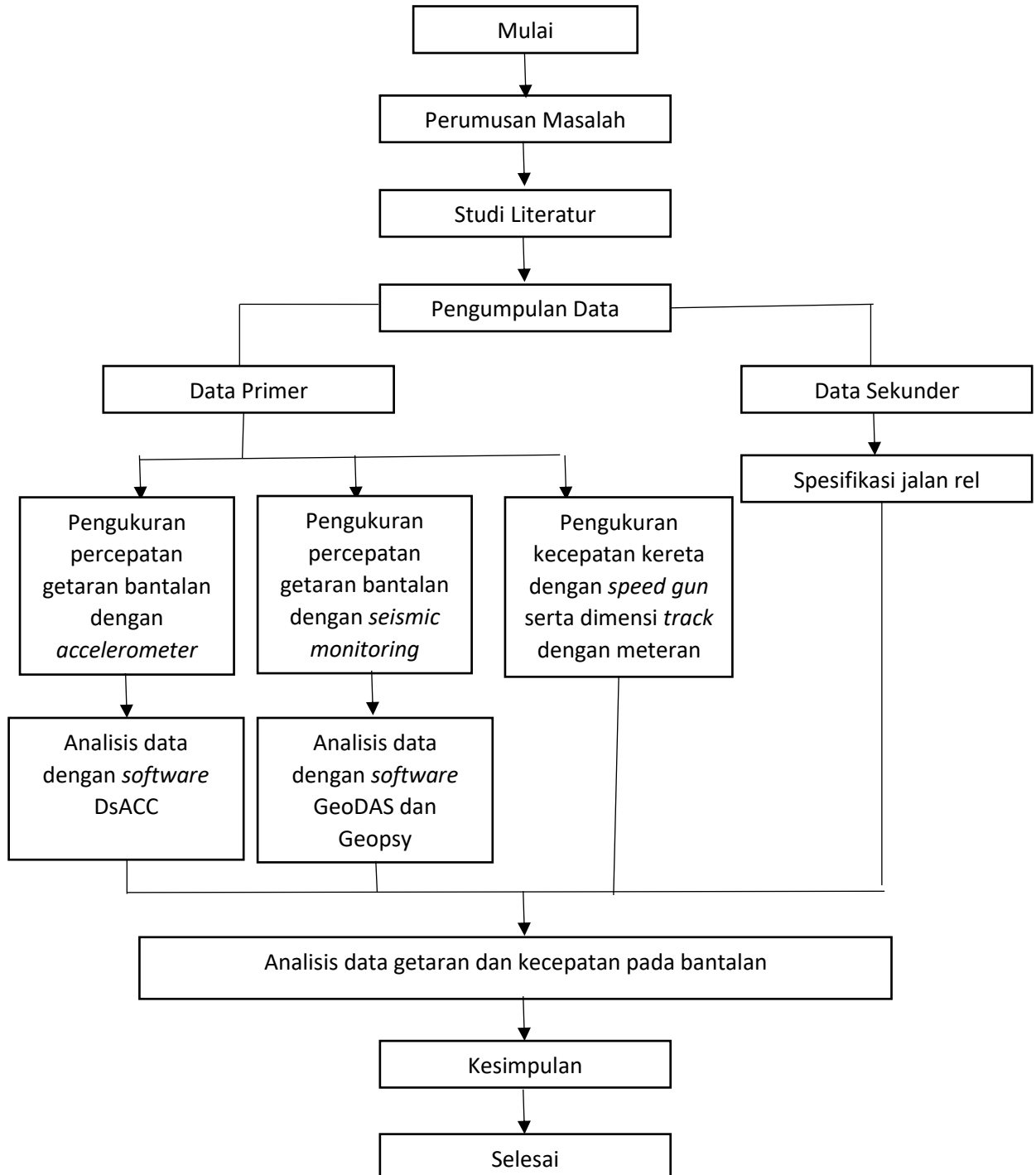
2) Metode Interview

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.

3.3. Flow Chart Penelitian



Gambar 3.5 Alur penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

Penulis menempuh prosedur penelitian berikut agar dapat memperoleh hasil yang optimal. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

3.4.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi:

1. Observasi pada lokasi yang akan dilakukan penelitian bertujuan untuk melihat kondisi perlintasan rel yang akan diteliti. Observasi awal sangat penting untuk mengetahui variabel yang akan didapatkan saat penelitian.
2. Setelah lokasi penelitian telah ditetapkan, dilanjutkan ke tahap perizinan. Perizinan penelitian ditunjukkan ke PT. Kereta Api Indonesia, sehingga kegiatan penelitian dapat berjalan lancar dan aman.
3. Persiapan Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat atau fasilitas yang digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data penelitian agar pekerjaannya menjadi lebih mudah dan baik, dalam arti lebih cermat, lengkap sistematis sehingga lebih mudah untuk diolah. Berikut instrument penelitian yang digunakan, yaitu:

- a. Accelerometer
- b. Seismic Monitoring
- c. Laptop
- d. Meteran
- e. Aplikasi GeoDas & Geopsy
- f. DsAcc
- g. Perlengkapan K3

3.4.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Setelah lokasi telah ditentukan maka tahap selanjutnya adalah mengurus perizinan penelitian. Tahap perizinan sangat penting guna memastikan keamanan dan keselamatan saat perizinan berlangsung. Selanjutnya penelitian akan dilaksanakan pada waktu dan tempat yang telah ditentukan. Pada penelitian ini menggunakan alat seismic monitoring dan sensor *accelerometer* yang dipasang pada bantalan rel di jalan rel lokasi penelitian. Seismic monitoring dan sensor accelerometer diletakkan bersebelahan agar data getaran yang di dapat lebih akurat.

1. Penggunaan Alat *Seismic Monitoring*

- a. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu memastikan semua perangkat alat seismic monitoring (GMSPlus + AC 73 dengan cable LAN, laptop, dan seial coble) dalam kondisi baik serta lengkap.



Gambar 3.6 *Seismic Monitoring* (www.geosig.com)

- b. Setelah itu, letakan alat seismic monitoring di bantalan rel kereta dengan arah X menghadap ke timur. Cek kembali ketinggian sensor tersebut, supaya tidak mengganggu perlintasan kereta api sesuai intruksi pengawas lapangan.



Gambar 3.7 Pemasangan sensor pada bantalan rel

- c. Setelah sensor siap hubungkan semua kabel dengan *recorder* dan laptop. Buka software GEODAS, lalu pastikan semua *station* untuk arah X, Y dan Z terpasang (berlogo panah dan berwarna biru) untuk merekam dan menampilkan getaran nya.



Gambar 3.8 Persiapan alat *recorder*

- d. Rekam getaran selama beban melintas di rel yang sudah terpasang sensor.
 - e. Data yang didapat akan berupa file dalam bentuk txt
2. Penggunaan Sensor Accelerometer
 - a. Pastikan semua alat (Sensor accelerometer, kabel power, connector, dan baterai aki) dalam kondisi baik.
 - b. Letakan accelerometer di samping seismic monitoring untuk mendapatkan perbandingan data getaran yang diperoleh masing-masing alat.



Gambar 3.9 Posis perletakan kedua sensor di bantalan saat kereta melintas

- c. Hubungkan sensor dengan laptop melalui tombol on/off.



Gambar 3.10 Pemasangan *recorder*

- d. Buka software DsAcc untuk menghubungkan sensor dengan laptop. Pilih Activate Accelerometer, lalu centang semua arah X, Y, dan Z untuk mendapat data getaran.



Gambar 3.11 Pemasangan sensor dengan arah X menghadap ke arah timur

- e. Pilih sensor 2g, lalu tekan *connect*. Rekam getaran selama beban melintasi rel yang terpasang accelerometer.
3. Pengambilan Data Kecepatan Kereta Api
- Pengambilan data kecepatan kereta menggunakan alat *speed gun*. Ketika kereta api melintas di atas rel di mana sensor diletakan, arahkan speed gun ke kereta lalu tekan tombol speed gun untuk menganalisis kecepatan kereta ketika melintasi sensor. Angka yang muncul pada alat adalah nilai kecepatan dengan satuan mil/jam.



Gambar 3.12 Penggunaan *speed gun*

4. Dimensi Jalan Rel

Untuk pengukuran dimensi rel kereta api digunakan meteran. Data dimensi kereta api digunakan untuk mengetahui struktur rel kereta tersebut.



Gambar 3.13 Pengukuran dimensi rel

5. Data Tanah

Data tanah digunakan untuk mengklasifikasikan jenis dan sifat-sifat tanah di bawah lapisan rel kereta api

3.4.3 Tahap Analisis Data

Setelah penelitian di lapangan selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pengolahan data. Data yang di dapat akan di olah menggunakan software GEODAS dan geopsy untuk alat seismic monitoring. Sementara untuk accelerometer digunakan software Microsoft excel dan DsAcc.

3.4.4 Tahap Kesimpulan (*Finishing*)

Setelah dilakukan pengolahan dan analisis data penelitian dapat ditarik kesimpulan mengenai hubungan getaran dengan kualitas jalan rel.

3.5. Pengolahan Data

Setelah di dapatkan data hasil penelitian berupa data primer dan data sekunder, maka langkah selanjutnya ialah mengolah data masing masing alat menggunakan software berikut:

3.5.1. Menggunakan Software GeoDAS

Software GeoDAS berfungsi sebagai perekam data saat penelitian dilakukan. Data yang didapat berupa percepatan getaran arah X, Y dan Z. Selanjutnya Data tersebut akan diubah kedalam bentuk ASCII untuk diolah ke *software* Geopsy. Cara mengubah data GeoDAS ke dalam bentuk ASCII adalah dengan memilih menu file lalu klik convert kemudian pilih menu comvert ke ASCII. Selanjutnya data tersebut akan diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk mendapat nilai percepatan maksimal tiap arah.



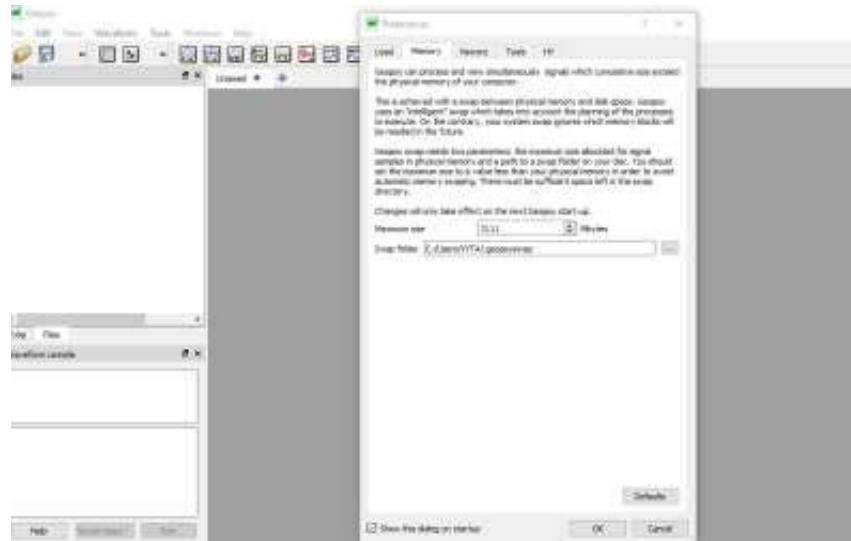
Gambar 3.14 Getaran arah X, Y dan Z menggunakan software GeoDAS

3.5.2. Menggunakan Software Geopsy

Setelah percepatan getaran bantalan sudah di temukan dari software GeoDAS, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai frekuensi dan amplitude dari bantalan tersebut.

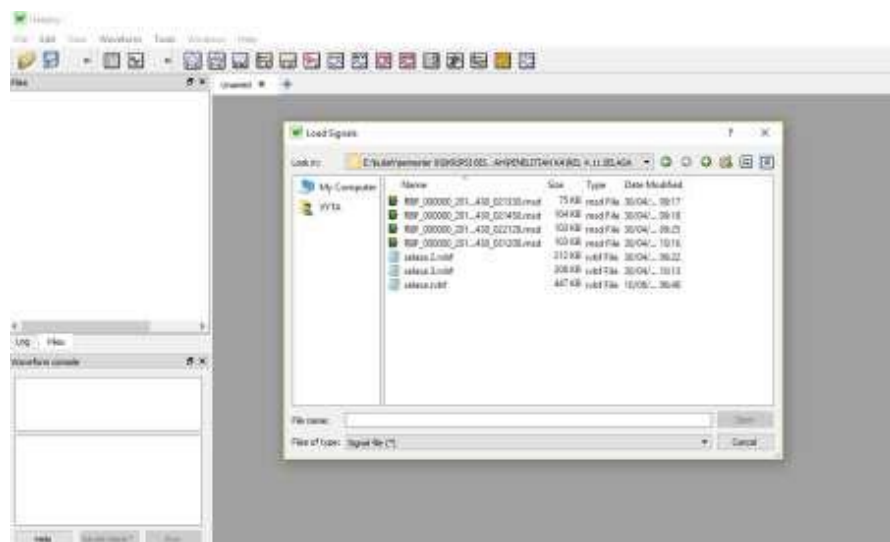
Langkah-langkah menentukan frekuensi dan amplitudo menggunakan software geopsy ialah sebagai berikut.

- a. Buka software geopsy, ketika preference muncul klik “ok”.



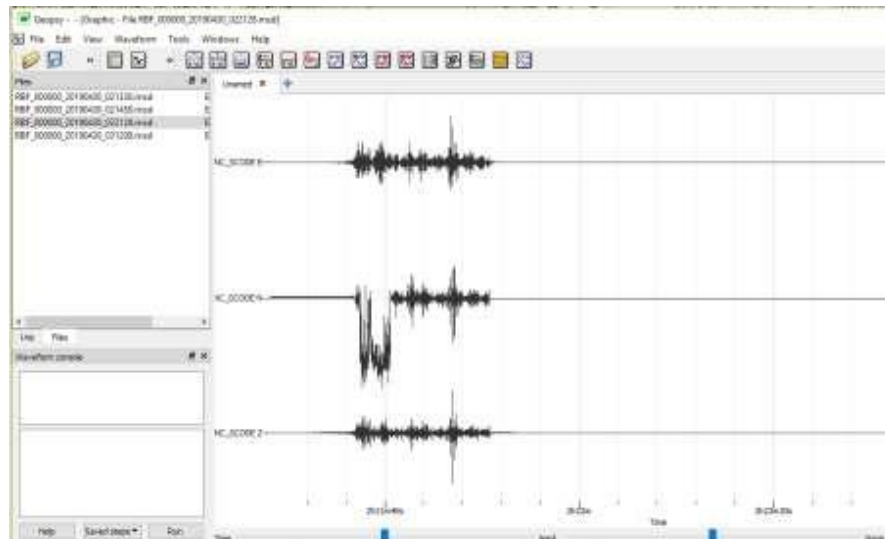
Gambar 3.15 Tampilan software geopsy

- b. Kemudian klik File-Import Signal-File, pilih data mikrotremor yang tersimpan dan klik Open.



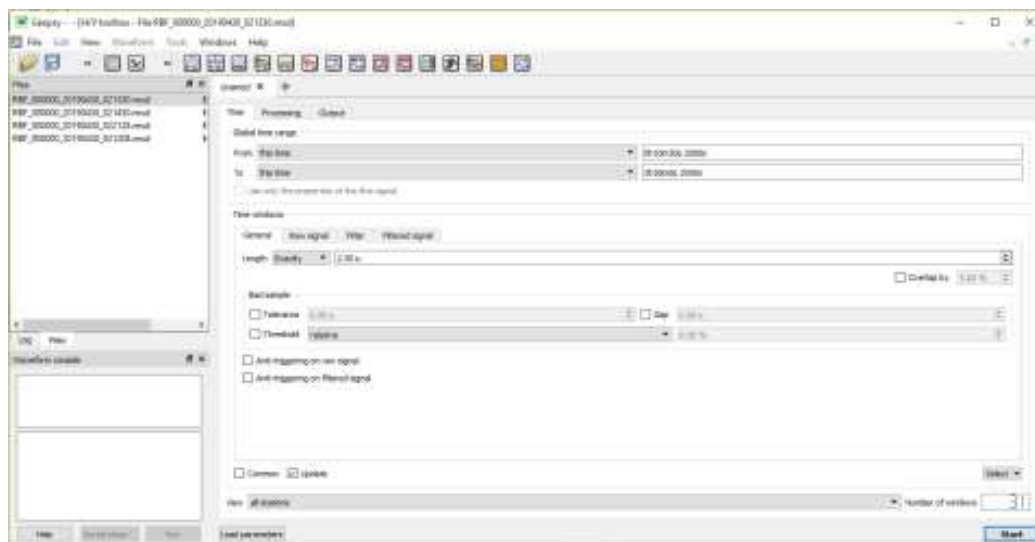
Gambar 3.16 Mengimport sinyal menggunakan software geopsy

- c. Setelahnya akan muncul tiga sinyal grafik nilai percepatan getaran arah x, y, dan z.

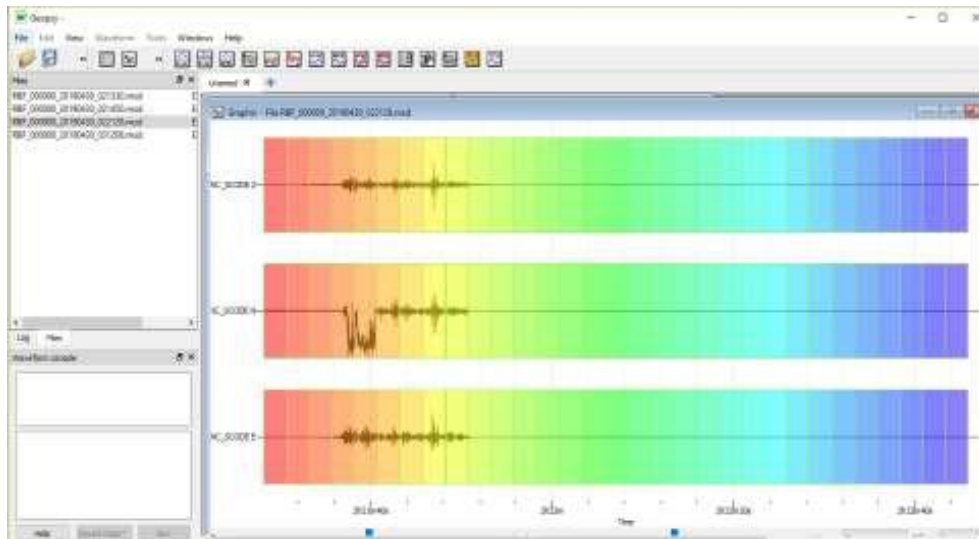


Gambar 3.17 Getaran arah X, Y dan Z menggunakan software geopsy

- d. Pilih Ikon H/V pada toolbar, maka akan muncul toolbox dengan menu time, processing dan Output. Pada menu Time pilih pengaturan length windows 2,5 s dan pilih Auto untuk 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.

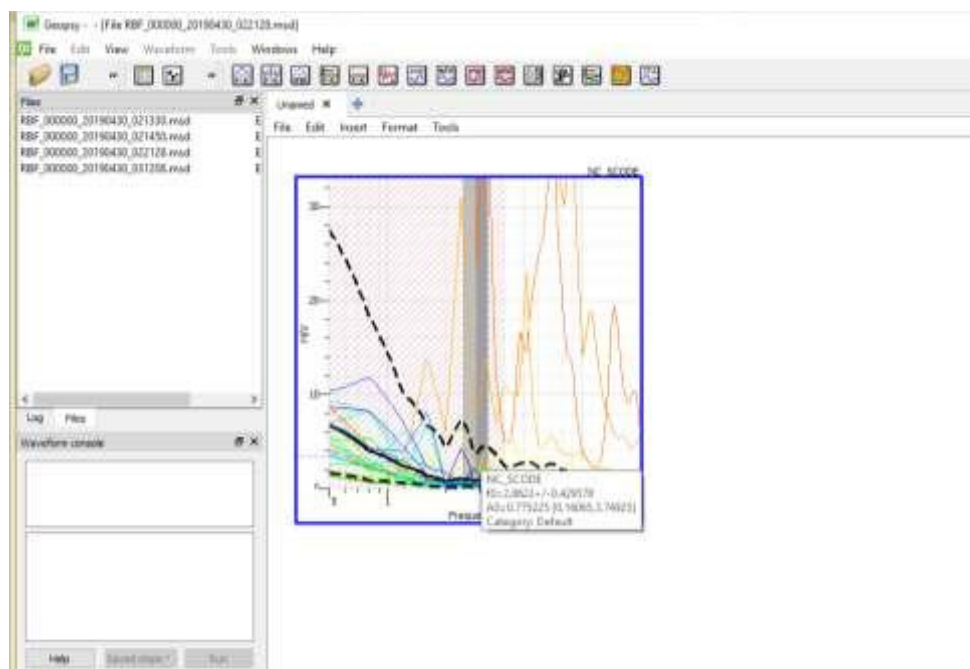


Gambar 3.18 Setting *software geopsy*



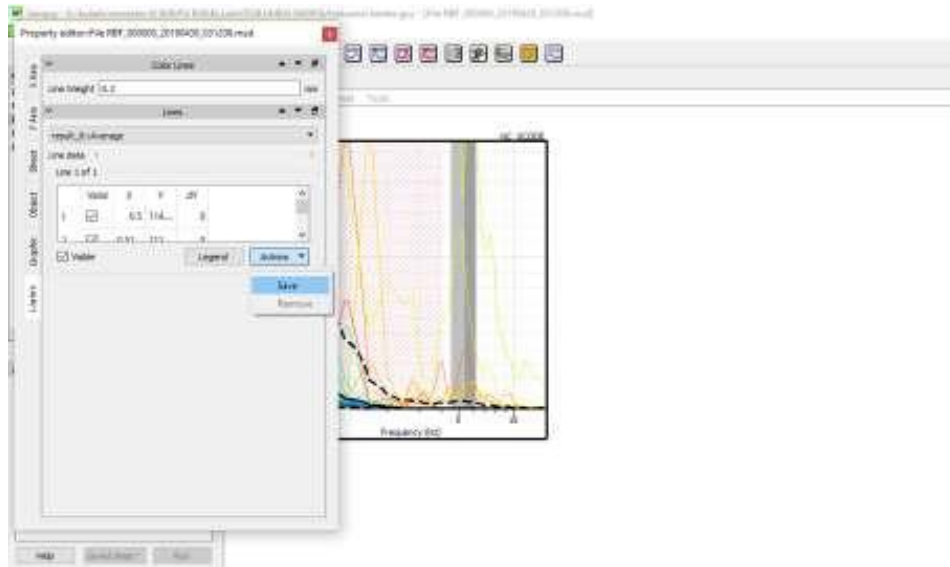
Gambar 3.19 Data percepatan getaran pada *software geopsy*

- e. Lalu klik start maka akan muncul grafik H/V. Dari grafik H/V tersebut dapat di peroleh nilai frekuensi natural (f_0) dan amplitudonya (A_0).



Gambar 3.20 grafik H/V pada *software geopsy*

- f. Untuk mendapatkan tabel nilai frekuensi dan amplitudo, klik kanan pada grafik kemudian klik Properties-Action-Save.



Gambar 3.21 grafik H/V pada *software geopsy*

- g. Kemudian buka Ms. Excel dan pilih file tersimpan pada point f.

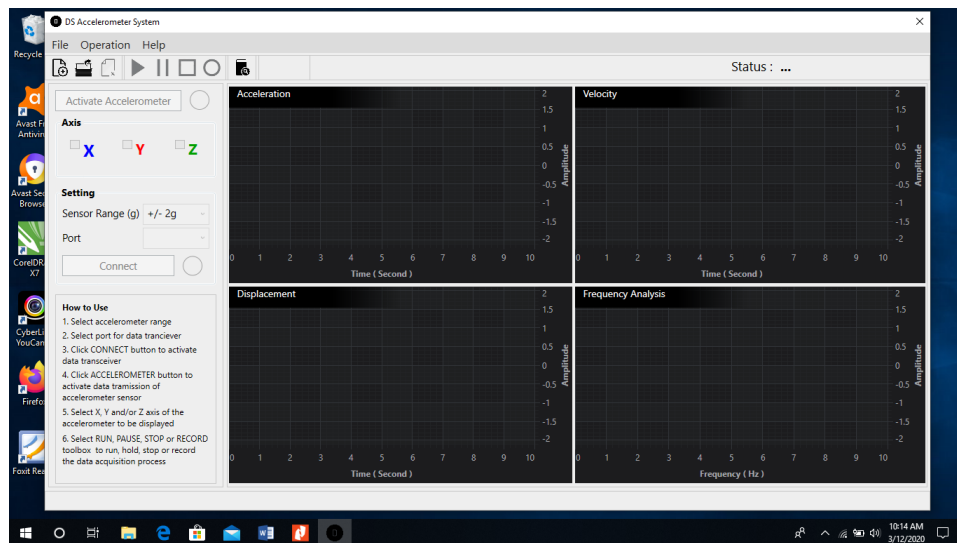
Frequency (Hz)	Amplitude
0.3	22.8468
0.519478	22.4798
0.555905	21.9703
0.588228	21.8884
0.617828	20.8032
0.650707	20.2286
0.684838	19.7267
0.720816	19.8007
0.759262	18.8174
0.800778	17.7008
0.845078	18.9221
0.892816	18.6680
0.943518	18.2808
0.997512	18.2208
1.055227	15.8793
1.117088	18.8807
1.182517	18.8152
1.251018	12.5401
1.323079	12.0901
1.399211	12.8028
1.479982	11.8476
1.564871	10.408
1.654488	8.80118
1.748389	8.12808

Gambar 3.22 Data frekuensi dan amplitude

3.5.3. Menggunakan Software DsACC dan Microsoft Excel

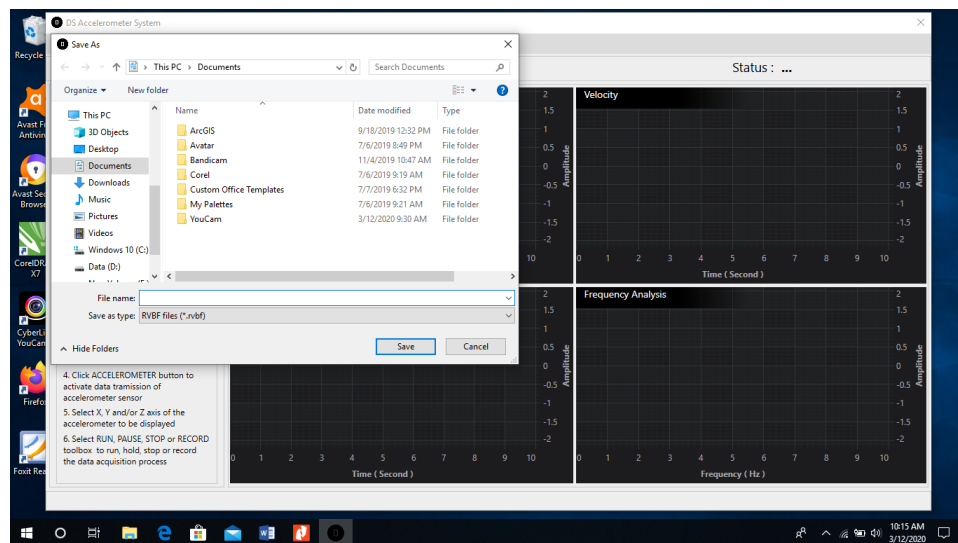
Software DsACC digunakan untuk merekam data saat penelitian berlangsung. Berikut merupakan langkah-langkah merekam percepatan getaran menggunakan software DsACC.

- a. Ketika semua alat sudah terpasang dan siap digunakan, buka software DsACC.



Gambar 3.23 software DsAcc

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

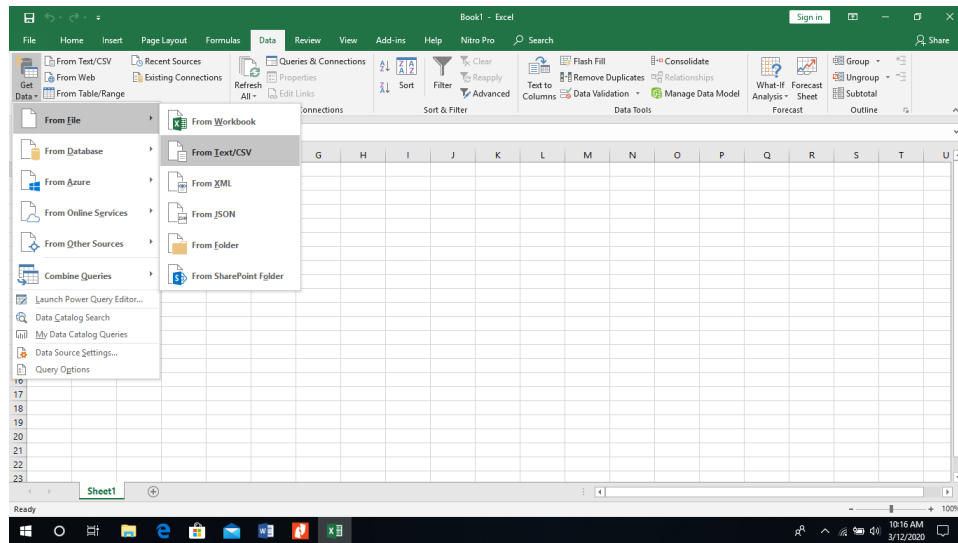


Gambar 3.24 pengolahan data pada software DsAcc

- c. Klik Activate Accelerometer dan centang semua axis X, Y, dan Z.
 d. Selanjutnya setting port dan jenis sensor yang digunakan, lalu klik Connect
 e. Pada saat getaran mulai dirasakan, Klik Record pada toolbar.
 f. Setelah getaran kembali normal, klik Stop pada toolbar. Lalu close software DsACC

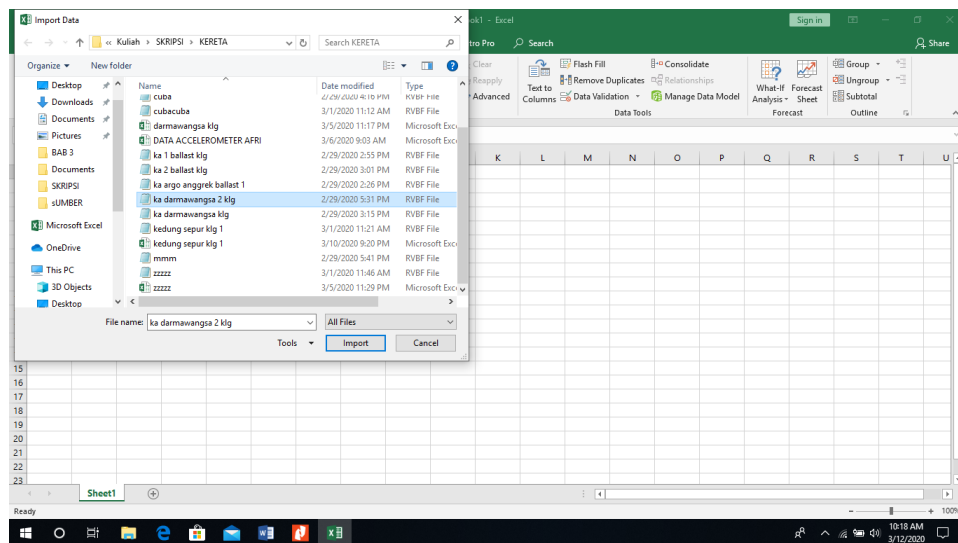
Setelah selesai, akan di dapat data waktu dan percepatan dari arah X, Y, dan Z. Langkah-langkah mengolah data di Microsoft Excel

- a. Membuka software Microsoft excel, lalu buka menu Data, pilih Get Data pada toolbar lalu klik From Text/CSV.



Gambar 3.25 Meng-convert data percepatan di *Microsoft Excel*

- b. Pilih file data *accelerometer* yang akan di olah, klik *Import*.



Gambar 3.26 Meng-convert data percepatan di *Microsoft Excel*

- c. Sel selanjutnya akan muncul data waktu dan percepatan dari arah X,Y, dan

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1. Spesifikasi Struktur Rel

Pada lokasi KM 5+8/9 terdiri dari 3 jalur perlintasan kereta dengan satu jalur yang jarang digunakan. Sedangkan pada titik KM 3+4/5 terdapat dua jalur perlintasan kereta dan terdapat dinding penahan. Dinding penahan di titik KM 3+4/5 berfungsi sebagai penahan saat terjadi banjir karena daerah tersebut merupakan daerah rawan banjir. Spesifikasi struktur jalan rel pada lokasi penelitian yang kami tinjau adalah sebagai berikut

Tabel 4.1 Spesifikasi struktur jalan rel

No	Komponen	Struktur Rel Pada KM 3+4/5	Struktur Rel Pada KM 5+8/9
1	Rel	Rel yang digunakan adalah tipe R54 dengan lebar rel 1067 mm	Rel yang digunakan ialah tipe R54 dengan lebar rel 1067 mm
2	Penambat	E-clip	E-clips dan D-eclip
3	Bantalan	Bantalan yang digunakan ialah bantalan beton dengan lebar 14 cm dan 17 cm	Bantalan yang digunakan ialah bantalan beton dengan lebar 15 cm
4	<i>Ballast</i>	Ballast yang digunakan ialah menggunakan batu kricak dengan ketebalan 33-55 cm dengan lebar ballast ke ujung bantalan adalah 94-154 cm	Ballast pada lokasi penelitian ini ialah menggunakan batu kricak dengan ketebalan 33cm dengan lebar ballast ke ujung bantalan adalah 124 cm

4.2. Beban Kereta Api

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.

Terdapat empat data kereta yang diambil pada dua lokasi berbeda. Dua kereta di titik KM 3 + 4/5 berjenis kereta penumpang, sedangkan dua kereta yang diambil di titik KM 5 + 8/9 berjenis satu kereta barang dan satu kereta penumpang. Beban kereta tersebut bergantung pada jumlah gerbong dan jenis kereta. Adapun data beban yang didapat adalah sebagai berikut

1. Kereta Barang

Kereta barang 4 memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif, 20 gerbong penuh dan 10 gerbong kosong.

$$\begin{aligned} \text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (20 \times (54 + 18)) + (10 \times 18) \\ &= 1710 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Kereta Penumpang Kamandaka

Kereta penumpang Kamandaka memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif dan 10 gerbong penumpang

$$\begin{aligned} \text{Beban kereta} &= (1 \times 90) + (10 \times (40 + 18)) \\ &= 670 \text{ ton} \end{aligned}$$

3. Kereta Penumpang Kedung Sepur

Kereta penumpang Kedung Sepur memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif dan 3 gerbong penumpang.

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

4. Kereta Penumpang Argo Anggrek

Kereta penumpang Argo Anggrek memiliki rangkaian gerbong 1 lokomotif dan 12 gerbong penumpang.

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

Tabel 4.2 Data beban kereta api yang melintasi lokasi penelitian

Nama Kereta	Keterangan	Beban (Ton)
Kereta Barang	1 Lokomotif, 20 Gerbong isi, 10 Gerbong Kosong	1710
Kereta Penumpang Kamandaka	1 Lokomotif, 10 gerbong penumpang	670
Kereta Penumpang Kedung Sepur	1 lokomotif, 3 gerbong penumpang	264
Kereta Penumpang Argo Anggrek	1 lokomotif, 12 gerbong penumpang	786

4.3. Kecepatan Kereta Api

Kecepatan kereta yang ditinjau ialah saat kereta melintasi sensor dengan menggunakan *speed gun*. Data kecepatan kereta yang didapat adalah sebagai berikut

Tabel 4.3 Data kecepatan kereta api yang melintasi lokasi penelitian

Nama Kereta	Kecepatan km/jam
Kereta Barang	64.3738
Kereta Penumpang Kamandaka	88.5139
Kereta Penumpang Kedung Sepur	59.5475
Kereta Penumpang Argo Anggrek	94.9513

4.4. Beban Dinamis Kereta Api

Pada saat kereta melintasi jalan rel, beban kereta akan memberikan beban dinamis kepada rel. Gaya ini dapat menyebabkan defleksi vertikal pada struktur jalan rel. Berikut merupakan perhitungan beban dinamis kereta menggunakan persamaan TALBOT berdasarkan Peraturan Dinas No 60.

4.4.1 Gaya Vertikal Kereta

Menurut PT. KAI Lokomotif pada kereta berjenis CC-206 memiliki spesifikasi:

Berat (W) = 90 Ton

Jarak antar gandar = 8,687 mm

Tinggi = 3695 mm

Lebar = 2743 mm

Panjang = 15849 mm

Sehingga dapat dihitung: •

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

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

$$\text{Gaya kepada bogie } (P_b) = \frac{W_{lok}}{2} = 45 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya gandar } (P_g) = \frac{P_b}{3} = 15 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya roda statis } (P_s) = \frac{P_g}{2} = 7,5 \text{ Ton}$$

2. Faktor dinamis (I_p) dan beban dinamis (P_d).

Jika menggunakan lokomotif CC-206 dengan V_{maks} 140 km/jam, maka:

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

$$= 1,25 \times 140$$

$$= 175 \text{ km/jam}$$

$$= 48,61 \text{ m/s}$$

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

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

$$= 1 + 0,01 \times \left(\frac{140}{1,609} - 5 \right)$$

$$= 1,82$$

$$P_d = P_s \times I_p$$

$$= 7,5 \times 1,82$$

$$= 13,65 \text{ Ton}$$

4.4.2 Pembebanan Pada Bantalan

$$\text{Beban gandar } (P_g) = 15 \text{ Ton (perhitungan sub-bab 4.4.1)}$$

$$\text{Kecepatan kereta } (V_{renc}) = 175 \text{ km/jam}$$

$$\text{Lebar sepur } (s) = 1067 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak pasang bantalan} = 44 \text{ cm}$$

$$\text{Tipe rel} = R.54$$

$$\text{Tipe bantalan} = N-67$$

$$\text{Mutu beton } f_c' = 500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Factor dumping} = \lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I_x}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1.10^6 \times 2364}} \\ &= 0,00978 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

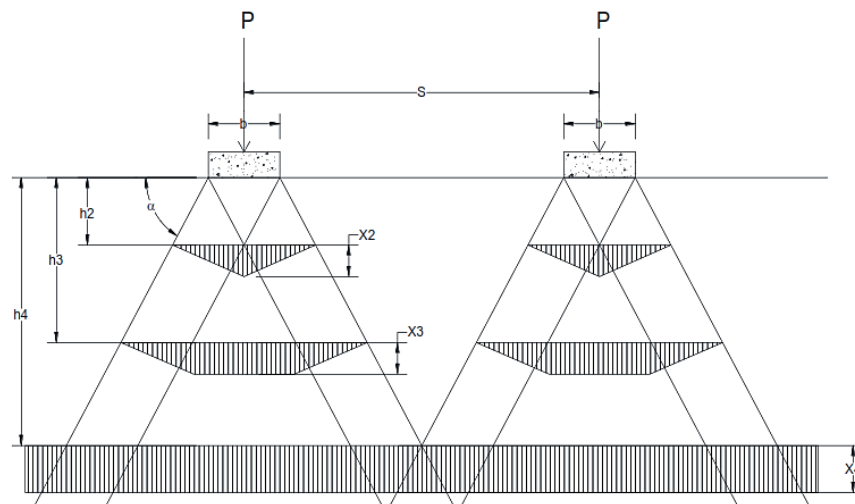
$$\begin{aligned} \text{Jarak momen 0 ke momen maksimal} = X_1 &= \frac{\pi}{4 \times \lambda} \\ &= \frac{3,14}{4 \times 0,00978} \\ &= 80,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Distribusi beban ke bantalan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 0,786 \times \frac{P_d \times S}{X_1} \\ Q &= 0,786 \times \frac{13,65 \times 44}{80,3} \\ &= 5,87 \text{ ton} \approx 43 \% P_d \end{aligned}$$

4.4.3 Tegangan di Bawah Bantalan

Tegangan dibawah bantalan terjadi karena adanya beban dinamis pada bantalan yang menyebabkan bantalan menekan ke tanah di bawahnya.



Gambar 4.1 Distribusi tegangan di bawah bantalan akibat beban gandar (Putra, 2017)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P_g}{b \times \text{panjang bantalan}}$$

$$= \frac{15000}{17 \times 200}$$

$$= 4,41 \text{ kg/cm}^2$$

4.5. Frekuensi Getaran Bantalan dan Roda Kereta

Ketika kereta melewati jalan rel maka akan menghasilkan getaran pada roda dan bantalan. Besarnya frekuensi getaran yang terjadi dipengaruhi oleh jarak antar bantalan dan jarak antar roda kereta. Dengan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8 maka nilai frekuensi pada bantalan dan roda dapat dihitung.

1. Kereta Barang

$$v = 17,88 \text{ m/s}$$

$$l_s = 0,48 \text{ meter}$$

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

$$f_s = \frac{v}{l_s} = \frac{17,88}{0,48} = 37,25 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{17,88}{8,687} = 2,05 \text{ Hz}$$

2. Kereta Penumpang Kamandaka

$$v = 24,58 \text{ m/s}$$

$$l_s = 0,48 \text{ m}$$

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

$$f_s = \frac{v}{l_s} = \frac{24,58}{0,48} = 51,22 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{24,58}{8,687} = 2,83 \text{ Hz}$$

3. Kereta Penumpang Kedung Sepur

$$v = 16,54 \text{ m/s}$$

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

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

$$f_s = \frac{v}{l_s} = \frac{16,54}{0,48} = 38,47 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{16,54}{8,687} = 1,90 \text{ Hz}$$

4. Kereta Penumpang Argo Anggrek

$$v = 26,375 \text{ m/s}$$

$$l_s = 0,445 \text{ meter}$$

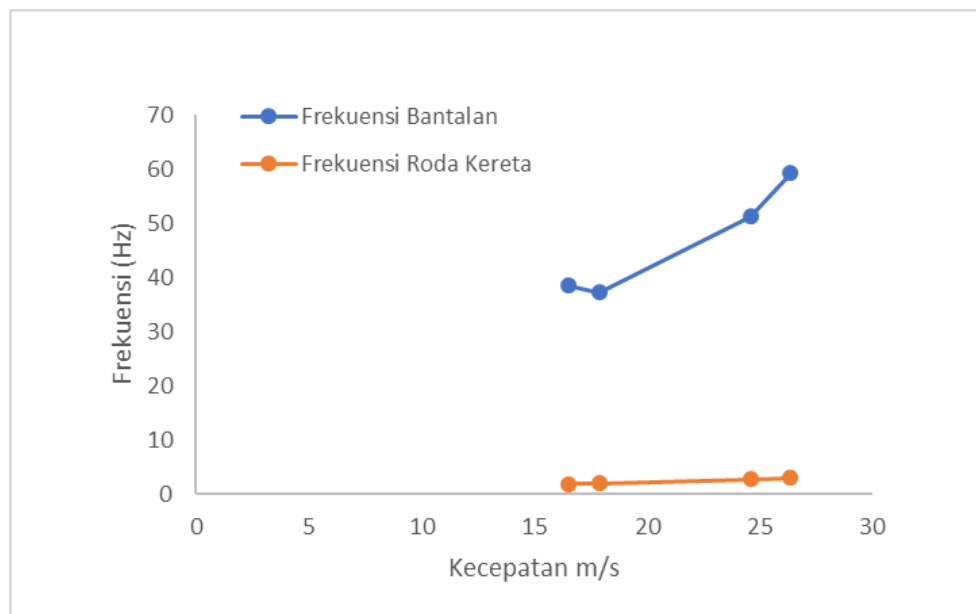
$$a = 8,687 \text{ meter}$$

$$f_s = \frac{v}{l_s} = \frac{26,375}{0,48} = 59,03 \text{ Hz}$$

$$f_a = \frac{v}{a} = \frac{26,375}{8,687} = 3,03 \text{ Hz}$$

Tabel 4.3 Frekuensi natural dan frekuensi roda

Nama Kereta	Kecepatan	Jarak Bantalan	Frekuensi Bantalan	Frekuensi Roda
	m/s	m	Hz	Hz
Kereta Barang	17.882	0.48	37.2534	2.058435066
Kereta Penumpang Kamandaka	24.587	0.48	51.2234	2.830345817
Kereta Penumpang Kedung Sepur	16.541	0.43	38.4674	1.904107915
Kereta Penumpang Argo Anggrek	26.375	0.445	59.2705	3.036189963



Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan dengan frekuensi roda dan frekuensi bantalan

4.6. Getaran Pada Bantalan Rel

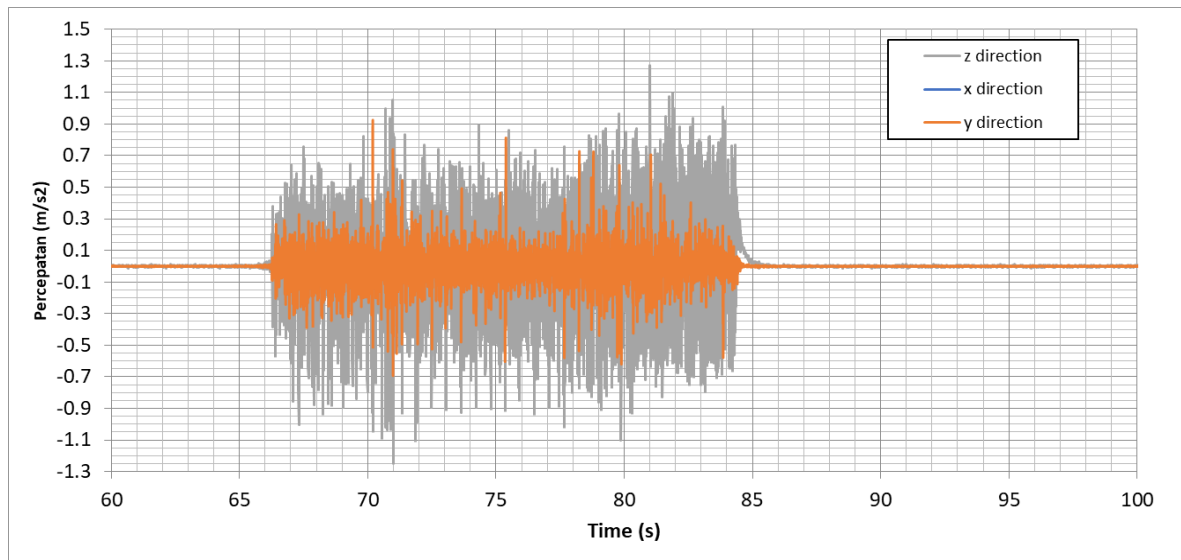
Getaran kereta api ialah getaran yang dihasilkan beban kereta api yang melintasi rel. Getaran tersebut pertama kali diterima oleh besi rel lalu akan disalurkan ke ballast melalui bantalan. Pada penelitian ini digunakan dua alat perekam getaran, yaitu *seismic monitoring* dan *accelerometer*. Kedua alat tersebut akan merekam percepatan getaran sewaktu kereta melintas

pada jalan rel yang sudah dipasang kedua sensor. Data yang didapat berupa nilai percepatan getaran dengan arah X, Y dan Z. Berikut data percepatan kereta yang didapat menggunakan sensor *accelerometer*.

- Percepatan getaran di titik KM 5+8/9

1. Kereta Barang

Data getaran yang di dapat adalah sebagai berikut

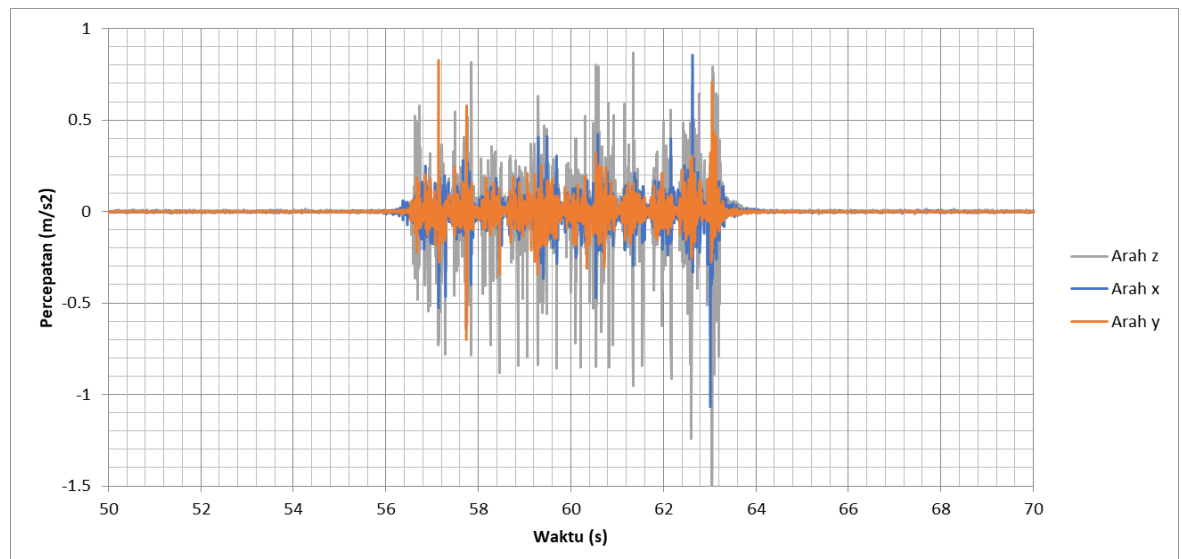


Gambar 4.3 Grafik percepatan getaran kereta barang

Pada grafik 4.2 menunjukkan percepatan yang dihasilkan sensor accelerometer dengan percepatan maksimal sebesar $0,842776 \text{ m/s}^2$ untuk arah X, $0,918721 \text{ m/s}^2$ untuk arah Y, dan $1,27124 \text{ m/s}^2$ pada arah Z.

2. Kereta Penumpang Kamandaka

Data getaran yang di dapat adalah sebagai berikut

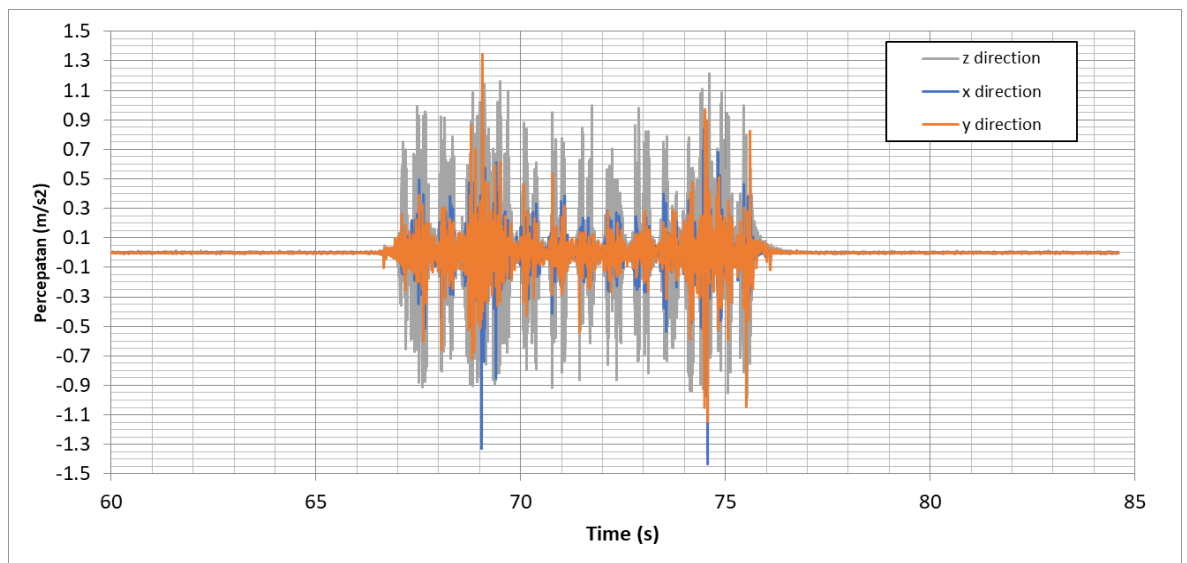


Gambar 4.4 Grafik percepatan getaran kereta penumpang kamandaka

Pada grafik di atas menunjukkan percepatan yang dihasilkan sensor accelerometer dengan percepatan maksimal sebesar $0,854915 \text{ m/s}^2$ untuk arah X, $0,82716 \text{ m/s}^2$ untuk arah Y, dan 0.868823 m/s^2 pada arah Z.

- Percepatan di Titik KM 3 + 4/5
3. Kereta Penumpang Agro Anggrek

Data percepatan yang didapat adalah sebagai berikut.

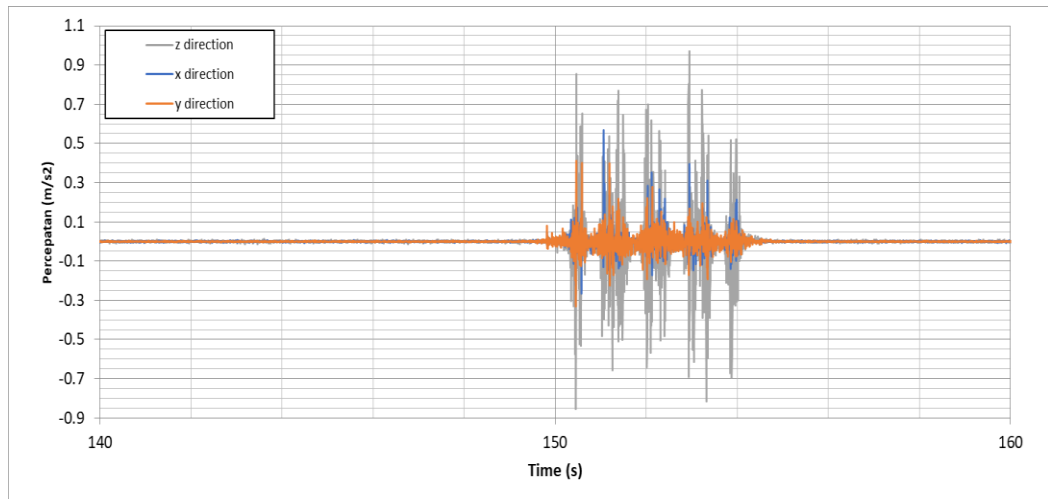


Gambar 4.5 Grafik percepatan getaran kereta penumpang argo anggrek

Pada grafik di atas menunjukkan percepatan yang dihasilkan sensor accelerometer dengan percepatan maksimal sebesar $1,279719 \text{ m/s}^2$ untuk arah X, $1,344745 \text{ m/s}^2$ untuk arah Y, dan $1,213046 \text{ m/s}^2$ pada arah Z

4. Kereta Penumpang Kedung Sepur

Data yang didapat adalah sebagai berikut



Gambar 4.6 Grafik percepatan getaran kereta penumpang kedung sepur

Pada grafik di atas menunjukkan percepatan yang dihasilkan sensor accelerometer dengan percepatan maksimal sebesar $0,566938 \text{ m/s}^2$ untuk arah X, $0,409249 \text{ m/s}^2$ untuk arah Y, dan $0,970571 \text{ m/s}^2$ pada arah Z.

4.7. Perbandingan Nilai Percepatan Getaran Pada Bantalan dari *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*

Pada penelitian ini digunakan dua alat yaitu *Accelerometer* dan *Seismic Monitoring*. Kedua alat tersebut akan diletakkan di bantalan pada saat yang sama ketika kereta melintasi jalan rel. Dari dua data yang dihasilkan akan dibandingkan untuk menentukan keakuratan data percepatan. Dari data percepatan pada sub-bab 4.6 dapat disimpulkan nilai percepatan berbagai jenis kereta yang direkam kedua sensor sebagai berikut.

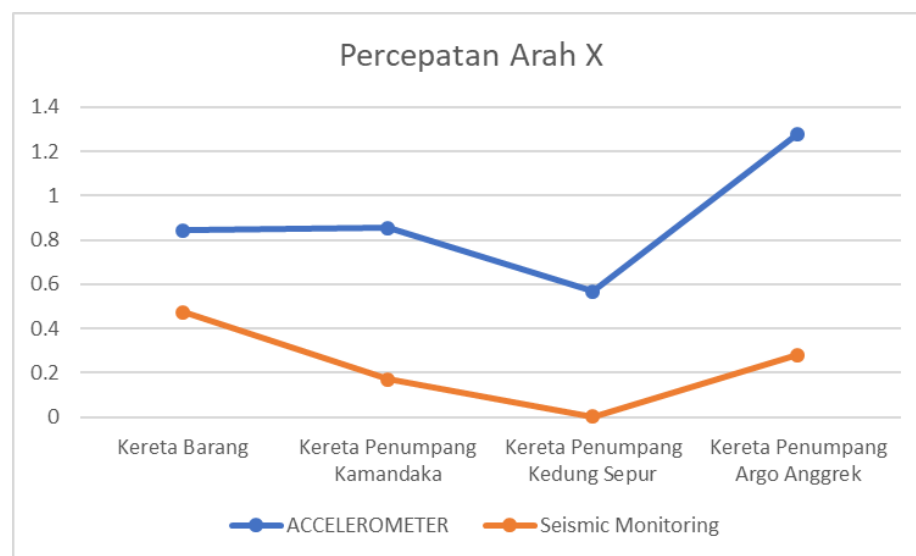
Tabel 4.4 Nilai percepatan getaran pada arah X, Y, dan Z menggunakan sensor *accelerometer*

Nama Kereta	Lokasi	Arah		
		X	Y	Z
Kereta Barang	KM 5 +8/9	0.842776	0.918721	1.27124
Kereta Penumpang Kamandaka		0.854915	0.82716	0.868823
Kereta Penumpang Kedung Sepur	KM 3+4/5	0.566934	0.409249	0.970571
Kereta Penumpang Argo Anggrek		1.279719	1.344745	1.213046

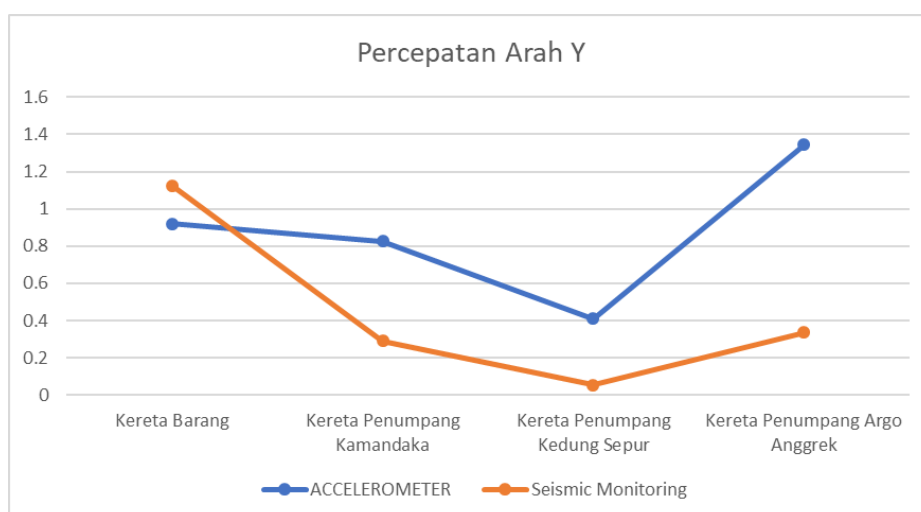
Tabel 4.5 Nilai percepatan getaran pada arah X, Y, dan Z menggunakan sensor *seismic monitoring*

Nama Kereta	Lokasi	Arah		
		X	Y	Z
Kereta Barang	KM 5 +8/9	0.47452	1.12452	1.98832
Kereta Penumpang Kamandaka		0.17005	0.29170	0.56639
Kereta Penumpang Kedung Sepur	KM 3+4/5	0.00089	0.05489	0.00059
Kereta Penumpang Argo Angrek		0.27964	0.33604	1.18872

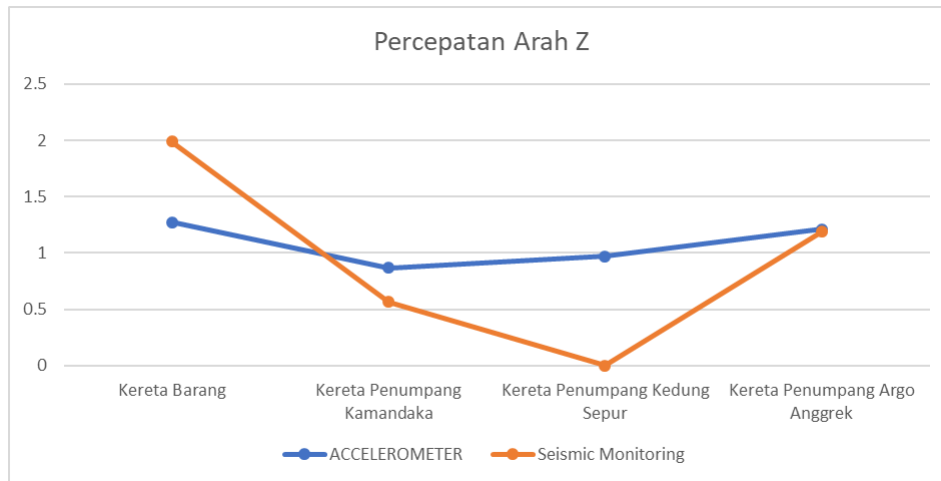
Dari tabel di atas dapat disimpulkan terdapat perbedaan besar nilai percepatan antara sensor *accelerometer* dan *seismic monitoring*. Pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 percepatan yang direkam menggunakan sensor *accelerometer* rata-rata lebih tinggi daripada percepatan getaran yang direkam sensor *seismic monitoring*. Hal tersebut bisa terjadi karena perbedaan perletakan sensor di bantalan yang berbeda.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan percepatan pada arah X



Gambar 4.8 Grafik perbandingan percepatan pada arah Y



Gambar 4.9 Grafik perbandingan percepatan pada arah Z

4.8. Gaya Getaran Akibat Beban Dinamis Kereta Api

Beban kereta api pada jalan rel akan menghasilkan getaran dalam bentuk gelombang *Rayleigh*. Gaya getaran yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11.

$$m_R = \text{massa satu set roda kereta} = 1500 \text{ kg} = 15 \text{ kN} \text{ (perhitungan sub bab 4.4.1)}$$

1. Kereta Barang

$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0.8428 \\ &= 12.64 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Kereta Penumpang Kamandaka

$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0.8549 \\ &= 12.82 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Kereta Penumpang Kedung Sepur

$$\begin{aligned} F &= m_R \cdot a \\ &= 15 \times 0.5669 \\ &= 8.50 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Kereta Penumpang Argo Anggrek

$$F = m_R \cdot a$$

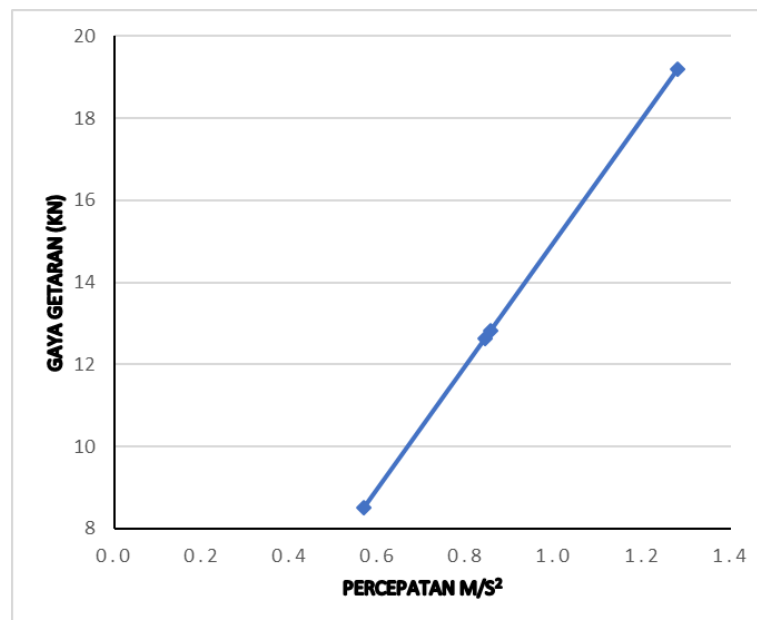
$$= 15 \times 1.2797$$

$$= 19.20 \text{ kN}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut

Tabel 4.6 Besar gaya getar pada kereta api

Nama Kereta	Percepatan m/s^2	F Kn
Kereta Barang	0.8428	12.642
Kereta Penumpang Kamandaka	0.8549	12.824
Kereta Penumpang Kedung Sepur	0.5669	8.504
Kereta Penumpang Argo Anggrek	1.2797	19.196



Gambar 4.10 Grafik hubungan percepatan dan gaya getaran

Gaya getaran paling besar terjadi pada jenis Kereta penumpang Argo Anggrek yaitu sebesar 19.20 kN dengan percepatan getaran sebesar 1.2797 m/s^2 . Sedangkan gaya getaran paling kecil terjadi pada Kereta Penumpang Kedung Sepur yaitu sebesar 8.50 kN dengan percepatan sebesar 0.5669 m/s^2 . Dari grafik di atas dapat disimpulkan semakin besar percepatan getaran yang dihasilkan oleh kereta api, maka gaya getaran yang dihasilkan akan semakin besar.

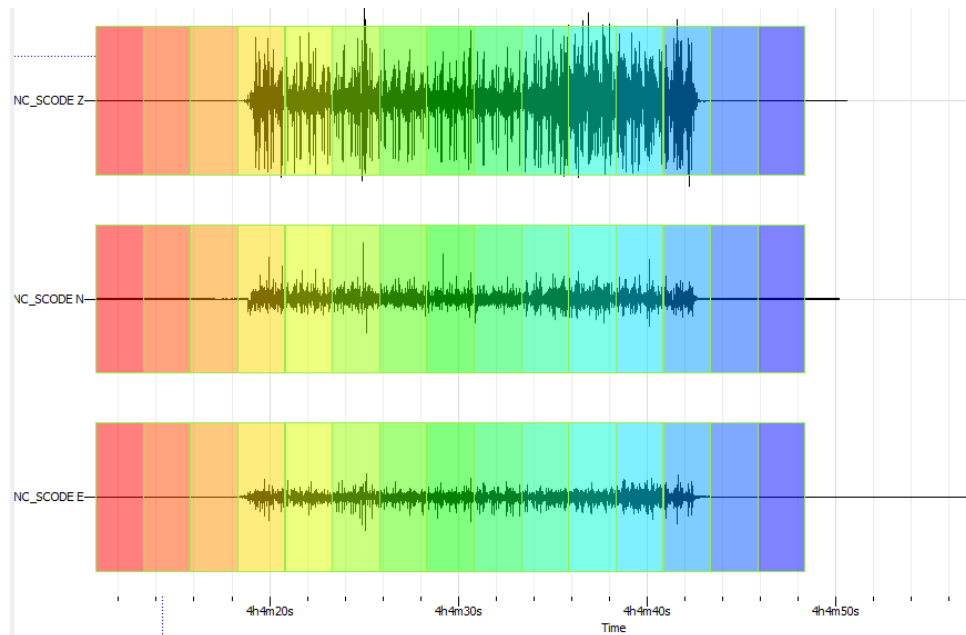
4.9. Frekuensi Dan Amplitudo Getaran

Data yang direkam oleh alat sensor seismic monitoring selanjutnya akan di olah dengan software Geopsy menggunakan metode HSVR (*Horizontal to Vertical Fourier Amplitude*

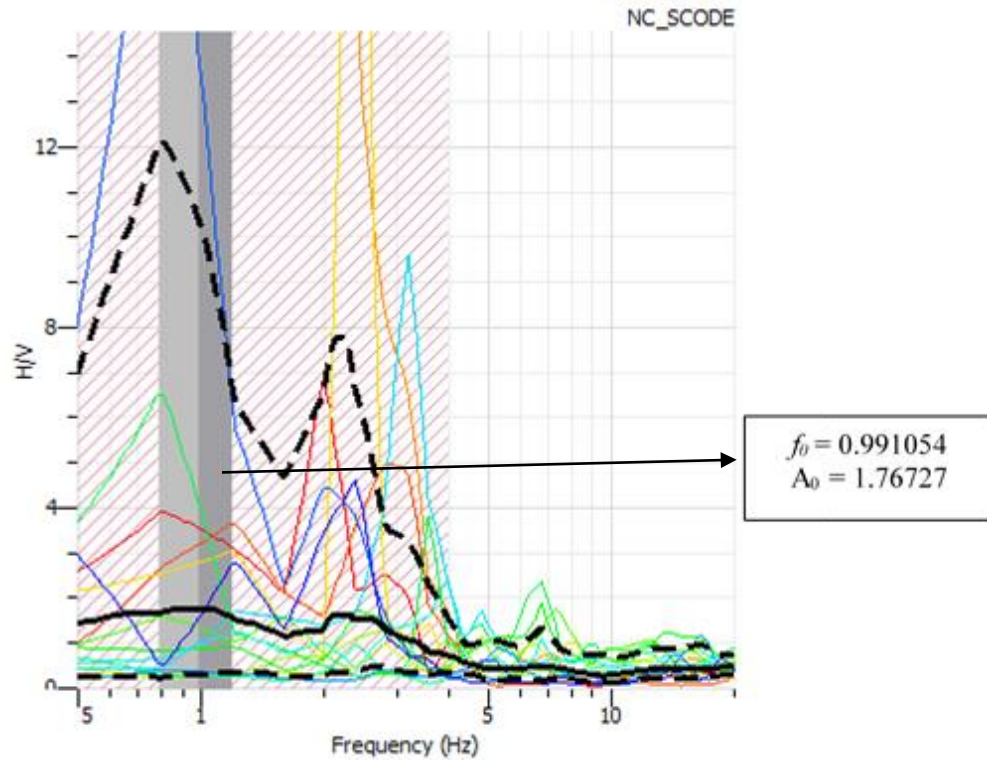
Spectral Ratio). Hasil yang didapat akan berupa frekuensi getaran, amplitudo serta frekuensi natural, sebagai berikut.

1. Kereta Barang

Saat Kereta Barang melintas pada kecepatan dengan percepatan pada arah X $0,842776 \text{ m/s}^2$, arah Y $0,918721 \text{ m/s}^2$, dan arah Z $1,27124 \text{ m/s}^2$ menggunakan sensor *seismic monitoring*. Dengan *software geopsy* didapat nilai frekuensi natural sebesar $0,991054 \text{ Hz}$ dan amplifikasi $1,76727$.



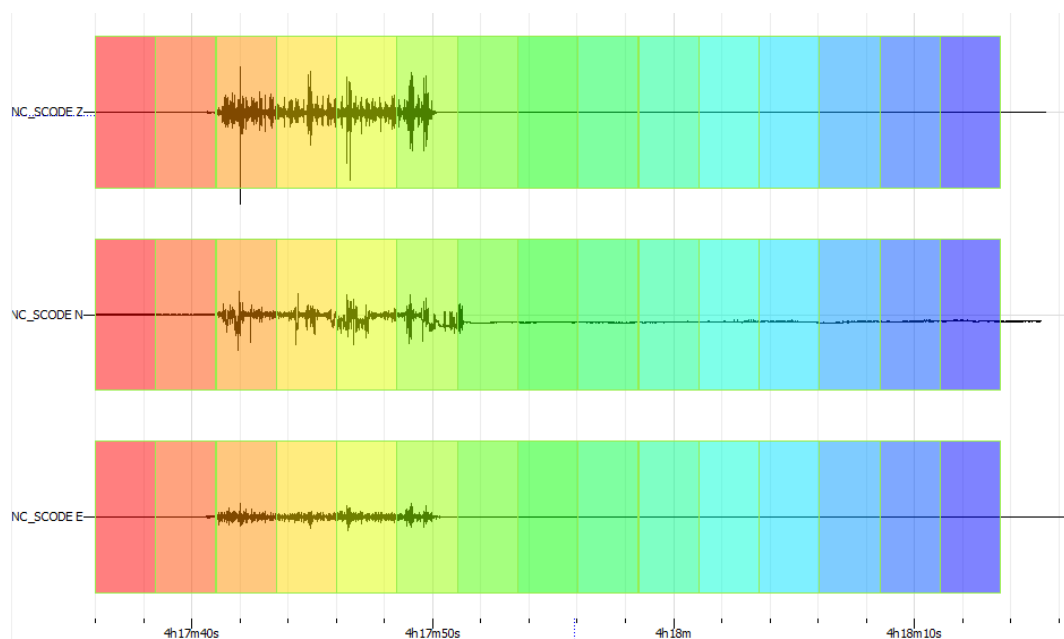
Gambar 4.11 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta barang



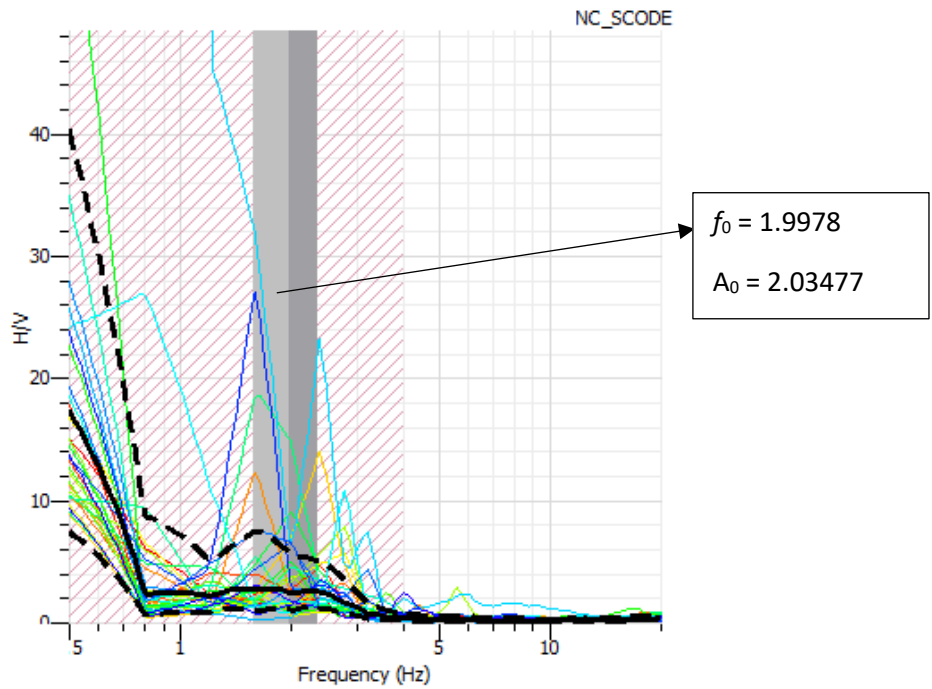
Gambar 4.12 Grafik H/V yang di olah pada *software Geopsy*

2. Kereta Penumpang Kamandaka

Saat Kereta Barang melintas pada kecepatan dengan percepatan pada arah X $0,854915 \text{ m/s}^2$, arah Y $0,82716 \text{ m/s}^2$ dan arah Z $0,868823 \text{ m/s}^2$ menggunakan sensor *seismic monitoring*. Dengan *software geopsy* didapat nilai frekuensi natural sebesar $1,9978 \text{ Hz}$ dan amplifikasi $2,03477$.



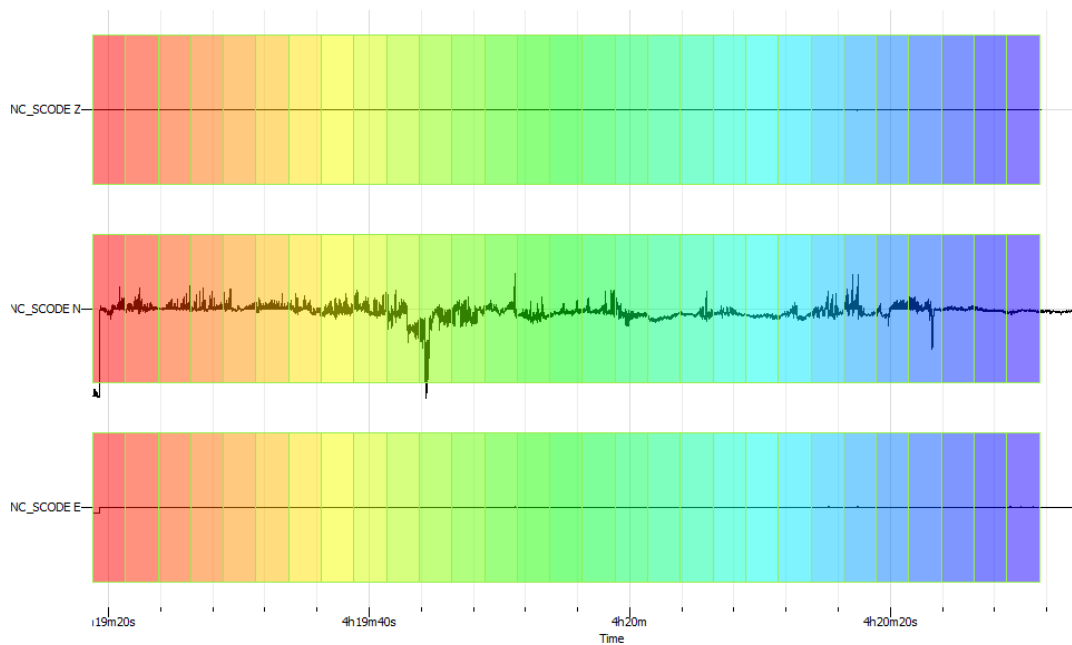
Gambar 4.13 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang kamandaka



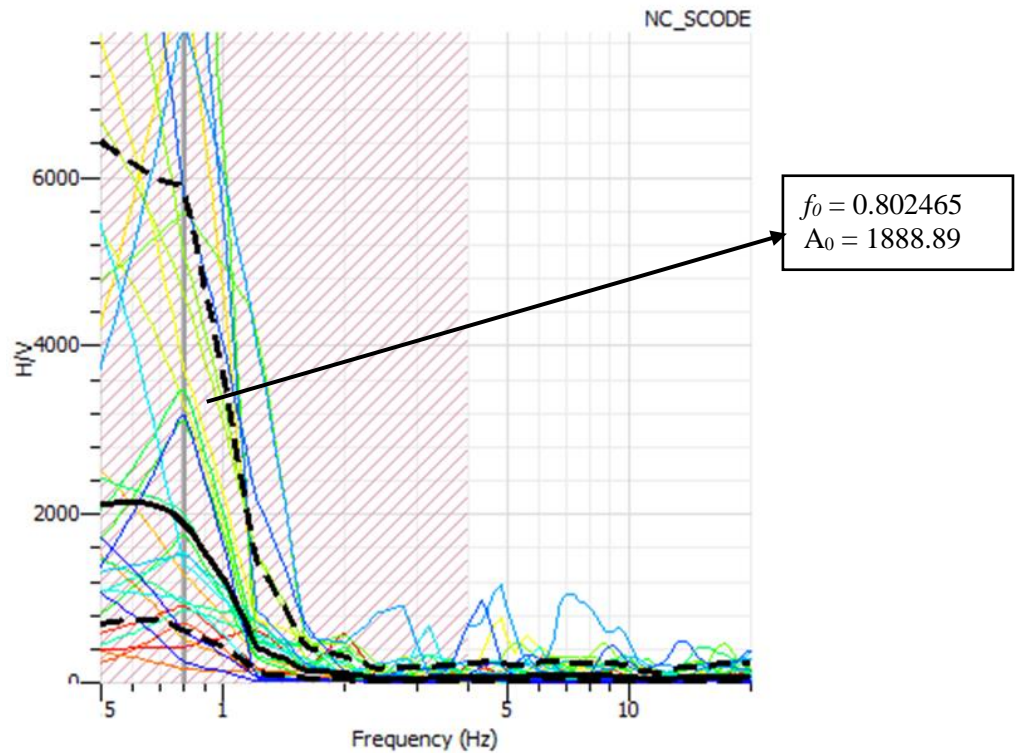
Gambar 4.14 Grafik H/V yang di olah pada *software Geopsy*

3. Kereta Penumpang Kedung Sepur

Saat Kereta Barang melintas pada kecepatan dengan percepatan pada arah X $0,566934 \text{ m/s}^2$, arah Y $0,409249 \text{ m/s}^2$, dan arah Z $0,970571 \text{ m/s}^2$. menggunakan sensor *seismic monitoring*. Dengan *software geopsy* didapat nilai frekuensi natural sebesar $0,802465 \text{ Hz}$ dan amplifikasi $1888,89$.



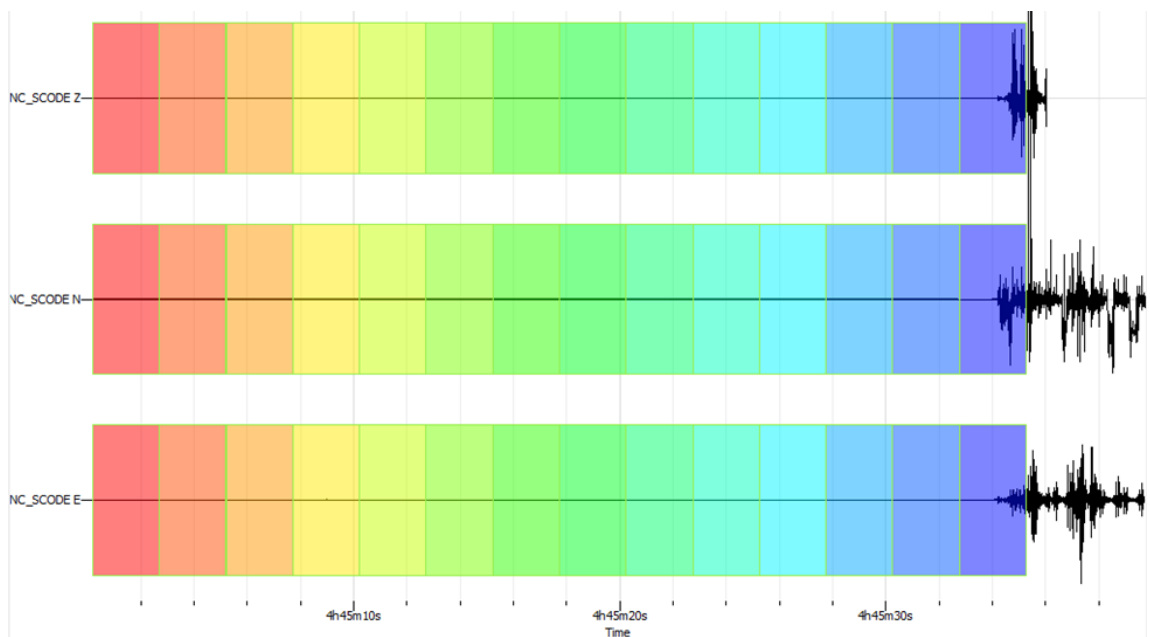
Gambar 4.15 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang kedung sepur



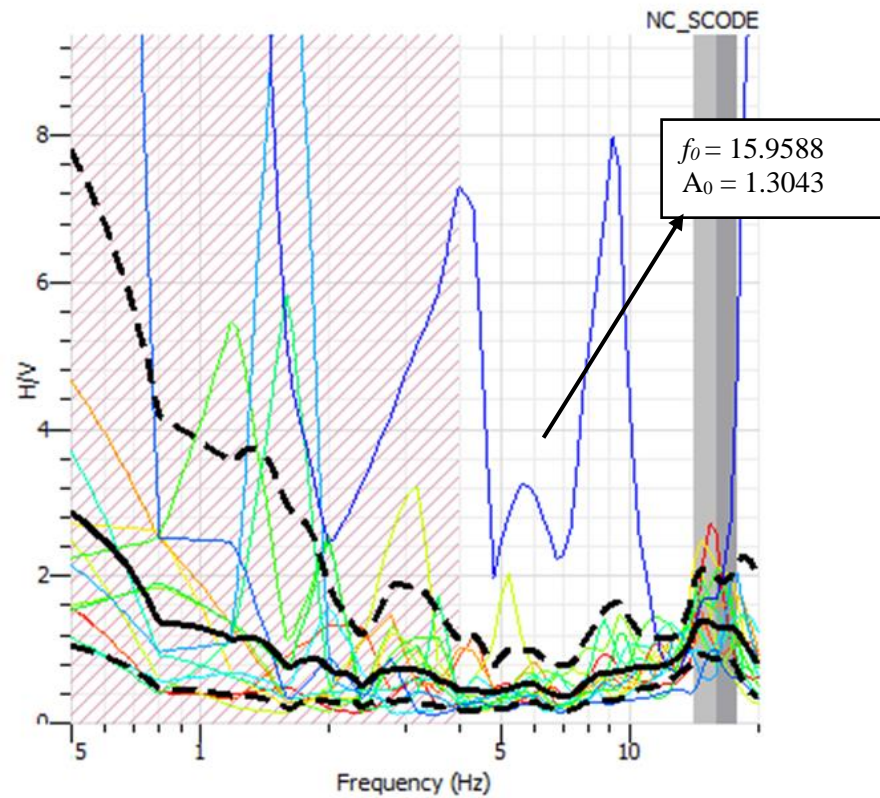
Gambar 4.16 Grafik H/V yang di olah pada *software Geopsy*

4. Kereta Penumpang Argo Angrek

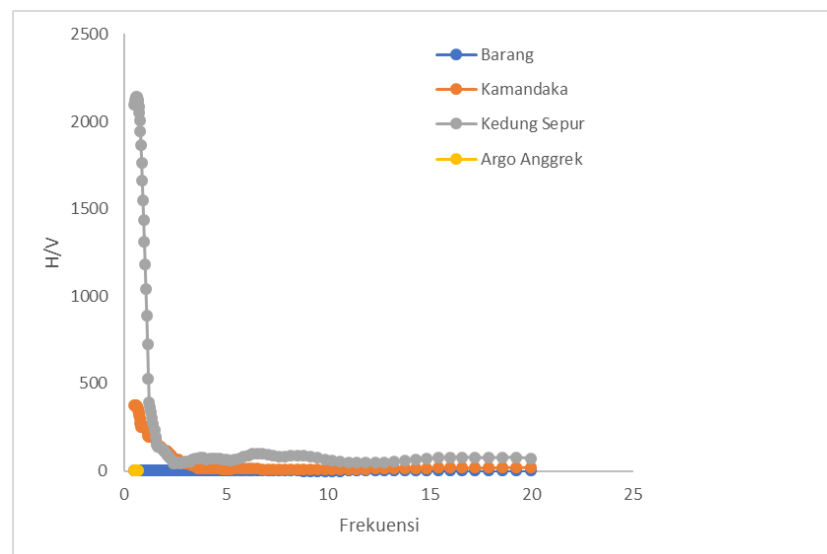
Saat Kereta Barang melintas pada kecepatan dengan percepatan pada arah X $1,27972 \text{ m/s}^2$, arah Y $1,34475 \text{ m/s}^2$ dan arah Z $1,21305 \text{ m/s}^2$ menggunakan sensor *seismic monitoring*. Dengan *software geopsy* didapat nilai frekuensi natural sebesar $15,9588 \text{ Hz}$ dan amplifikasi $1,3043$.



Gambar 4.17 Percepatan arah X, Y, dan Z kereta penumpang argo angrek



Gambar 4.18 Grafik H/V yang di olah pada *software Geopsy*



Gambar 4.19 Grafik grafik Hubungan amplitude dan frekuensi selama kereta melintas

Dari pengolahan data menggunakan *software geopsy* di atas didapat frekuensi natural yang berbeda antara tiap-tiap kereta. Pada lokasi Stasiun Jerakah Kereta barang mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 0,99 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 1,767, sedangkan Kereta Kamandaka mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 1,99 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 2,03. Lokasi kedua yaitu Jalan Mukti Harjo Raya Kereta Kedung Sepur memiliki nilai

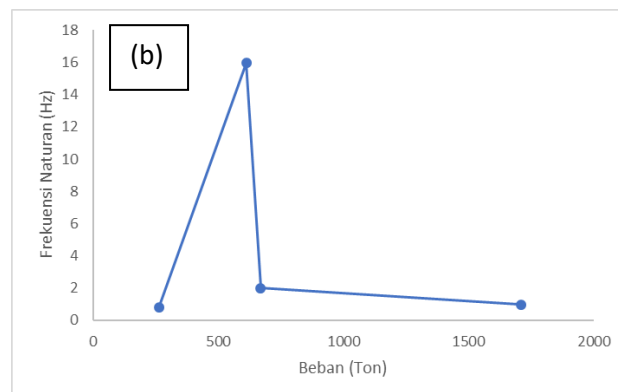
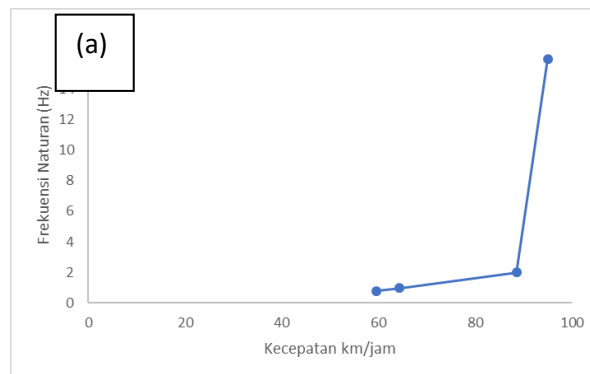
frekuensi natural sebesar 0,80 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 1888,89 dan Kereta Argo Anggrek memiliki nilai frekuensi natural sebesar 15,95 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 1,304. Kereta penumpang Argo Anggrek memiliki potensi dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada jalan rel paling besar sebab Kereta Argo Anggrek memiliki frekuensi natural paling besar, sebaliknya Kereta Kedung Sepur memiliki frekuensi natural paling kecil.

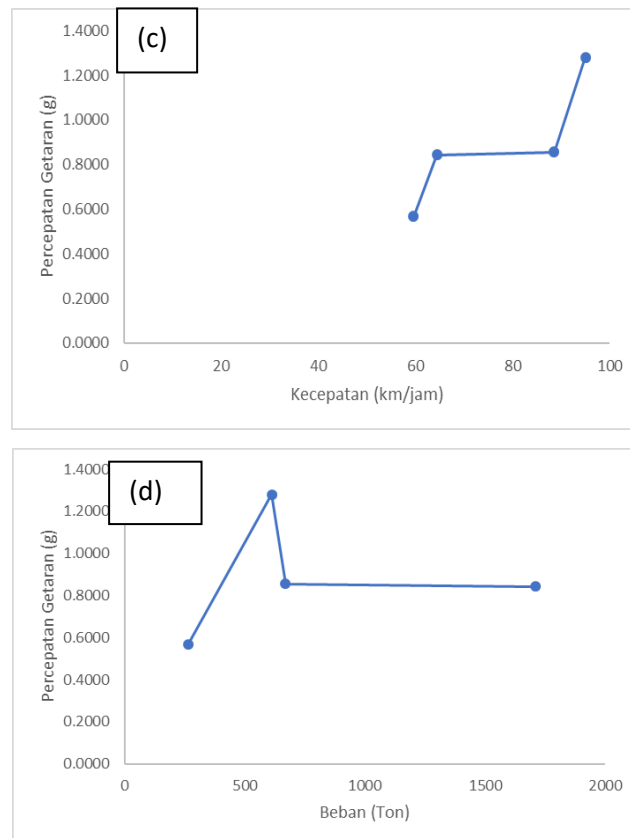
4.10. Perbandingan Nilai Frekuensi, Percepatan Getaran, Beban Kereta, dan Kecepatan Kereta.

Perbedaan nilai frekuensi natural bisa disebabkan oleh perbedaan kecepatan dan beban kereta. Berikut tabel 4.3 dan grafik 7.8 yang menunjukkan hubungan frekuensi natural dengan beban dan kecepatan kereta.

Tabel 4.7 Data frekuensi natural pada kecepatan tertentu

Nama Kereta	Percepatan m/s^2	Kecepatan km/jam	Beban ton	Frekuensi Natural Hz
Kereta Barang	0.8428	64.3738	1710	0.991054
Kereta Penumpang Kamandaka	0.8549	88.5139	670	1.9978
Kereta Penumpang Kedung Sepur	0.5669	59.5475	264	0.802465
Kereta Penumpang Argo Anggrek	1.2797	94.9513	786	15.9588





Grafik 4.20 Grafik hubungan (a) kecepatan kereta dan frekuensi; (b) beban kereta yang melintas dan frekuensi natural; (c) kecepatan kereta dan percepatan partikel getaran; (d) beban kereta yang melintas dan percepatan partikel getaran.

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kereta yang memiliki kecepatan lebih besar maka akan menghasilkan frekuensi natural yang lebih besar. Sedangkan pada grafik (b) frekuensi natural yang paling besar bukan terjadi pada kereta yang memiliki beban paling besar tetapi pada kereta Argo Anggrek. Hal tersebut terjadi karena Kereta Argo Anggrek mempunyai kecepatan paling besar meskipun bebannya lebih kecil dibanding Kereta Barang.

Pada grafik (c) dapat diketahui percepatan getaran terbesar pada bantalan terjadi pada Kereta Argo Anggrek yang mempunyai kecepatan terbesar. Sedangkan pada grafik (d) Kereta Barang mempunyai percepatan getaran lebih kecil dibanding Kereta Argo Anggrek meskipun mempunyai beban yang paling besar.

Dari analisis data tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan kereta lebih berpengaruh terhadap besarnya nilai frekuensi natural dan percepatan getaran dibanding dengan beban. Ini bisa terjadi karena beban pada kereta adalah beban merata.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dalam pelaksanaan penelitian tentang analisis getaran pada bantalan rel kereta api dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Kereta yang melintasi jalan rel diterima oleh jalan rel berupa beban dinamis yang kemudian akan menghasilkan getaran pada jalan rel. Semakin besar getaran yang dihasilkan maka kemungkinan terjadi kerusakan pada struktur jalan rel akan lebih besar. Pada KM 3+4/5 terdapat dinding penahan tanah di samping jalan rel untuk menahan tanah longsor karena daerah tersebut termasuk daerah rawan banjir.
2. Data yang didapatkan melalui alat *accelerometer* adalah percepatan partikel getaran tiga arah pada bantalan rel ketika beban kereta melintas. Besar nilai percepatan getaran pada bantalan rel pada titik KM 3 +4/5 adalah 0,566-1,27 m/s² untuk arah X, 0,4-1,34 m/s² untuk arah Y, 0,97-1,21 m/s² untuk arah Z. Sedangkan percepatan getaran pada titik KM 5+8/9 sebesar adalah 0,84-0,85 m/s² untuk arah X, 0,82-0,91 m/s² untuk arah Y, 0,86-1,27 m/s² untuk arah Z. Percepatan getaran terbesar terjadi pada Kereta Penumpang Argo Anggrek dengan kecepatan terbesar yaitu 94 km/jam. Besarnya percepatan getaran dipengaruhi oleh kecepatan dan beban kereta yang melintas, perletakan sensor, kondisi perlintasan kereta. Percepatan getaran akan semakin besar ketika kecepatan dan beban kereta api meningkat. Besarnya kecepatan kereta api lebih berpengaruh pada nilai kecepatan kereta daripada beban kereta saat melintas.
3. Ketika beban kereta melintas maka beban akan diteruskan dari rel melalui bantalan lalu ke ballast. Tegangan maksimal di bawah bantalan yang terjadi sebesar 5,357 kg/cm². Pola distribusi beban yang melebar menghasilkan tekanan yang lebih kecil yang dapat diterima oleh tanah dasar. Sampai kedalaman ballast h₂ tegangan maksimalnya tetap.
4. Frekuensi getaran pada bantalan yang terjadi sebesar 8,5-19,2 Hz. Besarnya frekuensi getaran akan bertambah saat kecepatan kereta lebih besar. Gaya getaran yang dihasilkan sebesar 8,5-19,1 kN dengan gaya getaran terbesar terjadi pada kereta

Argo Anggrek. Gaya getaran dipengaruhi oleh beban gandar dan percepatan getaran kereta yang terjadi.

5. Dengan menggunakan metode HSVR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) didapatkan frekuensi natural sebesar 0,9 Hz -1,99 Hz di KM 5+8/9 dan 0,8 Hz – 15,9 Hz di KM 3+4/5 dengan nilai amplitude tertinggi 1888,9 pada kereta Kedung Sepur. Besarnya frekuensi natural bergantung pada percepatan getaran dimana semakin besar percepatan getaran maka frekuensi natural akan semakin meningkat. Dari nilai frekuensi natural didapat jenis tanah pada KM 3+4/5 adalah tanah lumpur, sedangkan di KM 5+8/9 adalah batuan keras.

5.2. Saran

1. Sebelum penelitian dilakukan dilakukan pengecekan alat dan software yang digunakan. Namun karena kurang teliti penelitian ini masih dilakukan pengaturan lama pada software GeoDAS, sehingga perekaman getaran tidak sesuai dengan lamanya kereta melintas.
2. Perlunya pemahaman yang lebih dalam mengenai *seismic monitoring* sebelum dilakukan penelitian lanjut.
3. Perletakan sensor accelerometer dan seismic monitoring diatur agar diketakkan pada bantalan yang sama sehingga data percepatan getaran yang diperoleh sama.
4. Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan untuk mempedalam pembahasan tentang tegangan dan regangan akibat getaran kereta api dan sampel data yang akan di olah agar diperbanyak sehingga data yang didapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2020. Bantalan Rel. Diakses pada tanggal 2 Februari 2020. Wikipedia. https://id.wikipedia.org/wiki/Bantalan_rel
- Anonim. 2020. Penambat Rel. Diakses pada tanggal 2 Februari 2020. Wikipedia. https://id.wikipedia.org/wiki/Penambat_rel
- School of Brown Engineering University. *Vibration*. Diakses pada tanggal 1 Februari 2020. https://www.brown.edu/Departments/Engineering/Courses/En4/Notes/vibrations_overview/vibrations_overview.htm
- Alma. Vidi R, Wahyudi, Setiawan. Iwan, 2011. *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*. Universitas Diponegoro: Indonesia
- Arifin, S.S, B.S. Mulyanto, Marjiyono, R. Setianegara. 2012. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HCSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* Vol. 2, No.1.
- Grag. Vijay K, Dukkipati. Rao V. 1984. *Dynamics of Railway Vehicle Systems*. Orlando: Accademic Press Inc.
- Hambali, PJNR. S Atmaja, Muntohar. A Setyo. *Analisis Beban Dinamik Pada Struktur Jalan Rel Dengan Permodelan Numerik Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Indonesia
- Maulidiya S, Rusli. 2017. *Penentuan Frekuensi Natural dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang)*. UIN Maulana Malik Ibrahim: Indonesia
- Nugroho. U, Kusumawardani. R, Fansuri. M.H, Mindiastiwi. T, Yuniarti. W and Hilmi. A.S. 2018. *The Impact of Vehicle Load Inducing Vibrations On Subgrade Soil Particle Acceleration*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.
- Kartono. 2007. *Seribupena Fisika SMP Kelas VIII Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

- Keputusan Menteri. 1996. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 49 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Getaran*. Kementrian Negara Lingkungan Hidup.
- Kurniawan. Anggi. 2014. *Analisa Kekuatan Struktur Crane Hook Dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga Untuk Pembebanan 20 Ton*. Skripsi. Universitas Bengkulu
- Kusumawardani. R, Nugroho. U, Lashari, Yuniarti. W and Hilmi. A.S, Fansuri. M.H, Mindastiwi, Tigo. 2017. *Investigation of Subgrade Particles Acceleration due to Dynamic Loading*. Universitas Negeri Semarang: Indonesia.
- Partono, W. M. Irsyam, S.P.R. Wardani, dan S. Maarif. 2013. *Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang*. Jurnal Teknik Universitas Diponegoro. Semarang
- Peraturan Dinas, 1986. *Peraturan Dinas No 10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*. Jakarta: Kementerian Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Perhubungan. 2012. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Republik Indonesia.
- Putra, Dwiki P. 2017. *Desain Geometrik, Struktur, Beserta Metode Pelaksanaan Pembangunan Jalur Rel Ganda (Double Track) Trase Banyuwangi Baru- Kalibaru, Kab. Banyuwangi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya: Indonesia.
- Republik Indonesia. 2007. *Undang-undang Republik Indonesia No.23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian*. Lembaran Negara RI Tahun 2007. Sekretariat Negara. Jakarta
- Rosyidi, S. A. P. 2015. *Rekayasa Jalan Kereta Api Tinjauan Struktur Jalan Rel*. Yogyakarta: LP3M-UMY
- Setiawati, Yuni. 2016. *Analisis GSS (Ground Sear Strain) Dengan Metode HVSR Menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak*. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta
- 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.

- Suwandi A, Wahono. DR, Hermawanto. D. *Analisis Karakteristik Getaran Pada Kereta Api Rel Listrik Dan Kereta Api Rel Diesel*. Jurnal Standardisasi. Badan Standardisasi Nasional
- Tipler.P. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga. 1991.
- Tomczyk. Krzysztof, Layer. Edward. 2014. *Accelerometer Errors in measurement of Dynamic Signals*. Crocow University of Technologi: Poland.
- Utomo, Suryo H.T. 2009. *Jalan Rel*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta
- Wahyuni dan Ayusari. 2014. *Pengukuran Frekuensi Natural Pada Gedung Bertingkat Menggunakan Accelerometer GPL-6A3P*. UIN Alauddin Makassar: Indonesia.
- Wijayanti, Eka j, Sungkono. 2013. *Estimasi Indeks Kerentanan Tanah Menggunakan Metode HVSR (Horizontal To Vertical Spectral Ratio)*. Jurnal. 2337-3520
- Zelin, Mufita A. 2019. *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 PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
DITELITI OLEH : VINA FADILAH
JENIS KERETA : KERETA BARANG
JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	70.175	-0.078629	-0.072346	0.328973
2	70.18	0.027023	0.135176	0.212524
3	70.185	0.127246	0.04087	-0.54534
4	70.19	0.009516	0.053802	-0.926224
5	70.195	-0.006466	0.918721	0.43005
6	70.2	-0.112972	-0.486109	-1.040355
7	70.205	0.109373	0.028121	-0.351909
8	70.21	0.05307	-0.143228	0.25132
9	70.215	0.016836	0.112179	-0.055205
10	70.22	0.042212	0.044286	0.059902
11	70.225	-0.077165	-0.097905	0.277123
12	70.23	0.034526	-0.039955	-0.043554
13	70.235	0.118828	0.007625	0.293715
14	70.24	0.106628	0.02257	-0.174033
15	70.245	-0.006039	-0.013725	0.195505
16	70.25	-0.077226	-0.086071	0.153537
17	70.255	0.1098	0.017141	0.155245
18	70.26	0.103395	0.070638	-0.056059
19	70.265	-0.124562	0.053436	0.024705
20	70.27	-0.003782	0.020191	-0.030012
21	70.275	0.02074	-0.057889	0.170983
22	70.28	-0.037271	0.036234	-0.101565
23	70.285	-0.020496	-0.037149	0.117486
24	70.29	0.032208	0.003538	-0.188063
25	70.295	-0.069357	0.100284	-0.666364
26	70.3	0.013054	0.012505	0.24827
27	70.305	-0.013176	-0.113399	-0.05063
28	70.31	-0.10126	-0.200873	0.410408
29	70.315	0.108031	-0.197152	0.275232
30	70.32	0.115168	0.002257	-0.737063
31	70.325	0.001464	-0.109312	0.251198
32	70.33	-0.0427	-0.111569	-0.007869
33	70.335	-0.005551	0.054046	-0.0549
34	70.34	0.034648	0.027816	-0.207827
35	70.345	-0.105164	-0.133041	0.117364
36	70.35	-0.047641	-0.029524	0.277794
37	70.355	0.006893	0.005246	0.134688
38	70.36	0.167323	0.217282	-0.040565
39	70.365	-0.025437	-0.160247	0.38186
40	70.37	-0.023912	-0.183366	0.05795

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	70.81	-0.068564	-0.0132	0.328119
42	70.815	-0.032147	0.05582	-0.128405
43	70.82	-0.017507	-0.059	0.290604
44	70.825	0.007442	-0.2288	0.467443
45	70.83	0.063196	0.07985	0.147498
46	70.835	-0.089792	-0.2607	0.319762
47	70.84	-0.000061	-0.1914	-0.02257
48	70.845	-0.046543	0.04185	-0.280478
49	70.85	-0.083021	-0.0722	0.311344
50	70.855	-0.105164	0.00567	-0.790804
51	70.86	-0.232959	-0.0245	-0.299693
52	70.865	0.051728	0.18129	-0.975756
53	70.87	0.025376	0.0807	-0.89487
54	70.875	0.212158	0.39382	0.180804
55	70.88	-0.069845	-0.0162	0.937692
56	70.885	-0.024827	-0.0351	-0.737795
57	70.89	-0.037149	-0.1223	-1.033584
58	70.895	-0.221064	-0.1871	0.025498
59	70.9	-0.019886	0.13194	0.06649
60	70.905	0.00671	0.04008	0.459635
61	70.91	-0.013176	-0.0919	0.557967
62	70.915	-0.045811	0.03538	-0.095404
63	70.92	0.03233	0.05222	0.034892
64	70.925	0.056425	-0.0134	0.063501
65	70.93	0.051362	0.01568	-0.245952
66	70.935	-0.171593	-0.1281	0.038674
67	70.94	0.074725	0.02001	-0.177449
68	70.945	-0.169092	-0.2445	0.167201
69	70.95	0.290848	-0.41	0.439383
70	70.955	0.069906	0.11499	-0.893162
71	70.96	0.001647	0.02019	-0.82594
72	70.965	0.00061	0.0086	-0.783179
73	70.97	0.00183	0.00641	-0.760792
74	70.975	-0.001769	0.0061	-0.746396
75	70.98	0.842776	0.72761	1.051457
76	70.985	-0.23363	-0.6934	-0.925126
77	70.99	0.112667	0.61525	-0.697474
78	70.995	0.406321	-0.0961	-1.243363
79	71	-0.179584	-0.446	-0.155367
80	71.005	-0.108397	-0.1785	-0.033733



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA BARANG
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
81	80.845	-0.1181	0.155428	-0.07302
82	80.85	0.800869	-0.28457	0.727425
83	80.855	0.024278	0.009455	-0.56883
84	80.86	-0.02599	0.074603	-0.24687
85	80.865	-0.15518	0.029036	0.756583
86	80.87	-0.16165	0.111813	0.62098
87	80.875	0.412055	-0.35118	0.725534
88	80.88	-0.30549	0.078019	0.638304
89	80.885	-0.09455	0.030744	-0.43493
90	80.89	0.077592	-0.07954	-0.4439
91	80.895	-0.39095	0.165188	0.323788
92	80.9	-0.11779	0.059414	0.439566
93	80.905	0.011895	0.020191	-0.49965
94	80.91	0.548329	-0.30146	0.010614
95	80.915	-0.21307	0.331413	0.376248
96	80.92	-0.08747	-0.01208	0.167445
97	80.925	0.206058	-0.1949	-0.27352
98	80.93	0.028426	-0.06381	-0.32056
99	80.935	-0.0596	-0.04392	-0.10748
100	80.94	-0.00293	-0.02776	-0.5088
101	80.945	-0.01781	0.010614	-0.51844
102	80.95	0.054717	0.021289	-0.12017
103	80.955	-0.50557	0.148657	0.641049
104	80.96	0.436638	-0.10047	0.061488
105	80.965	-0.00031	0.012566	-0.46506
106	80.97	0.242231	-0.06015	0.302987
107	80.975	0.012688	-0.00116	-0.46561
108	80.98	-0.05618	0.018361	-0.2659
109	80.985	0.251747	-0.13078	0.57035
110	80.99	-0.10327	-0.03233	0.210877
111	80.995	0.112423	-0.03813	-0.2828
112	81	-0.11657	-0.01623	0.601216
113	81.005	0.15738	-0.01501	0.713456
114	81.01	0.0305	-0.28993	1.27124
115	81.015	0.015006	-0.00183	-0.47171
116	81.02	0.007381	0.012322	-0.59048
117	81.025	0.002867	0.062098	-0.03142
118	81.03	0.005063	0.012444	-0.63098
119	81.27	0.22753	-0.38845	0.527772
120	81.275	0.038491	0.116144	-0.32269



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KAMANDAKA
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	57.11	0.02867	-0.003233	0.099308
2	57.115	0.015738	-0.060085	-0.024522
3	57.12	-0.118401	-0.039101	0.153964
4	57.125	-0.045689	-0.018605	-0.129137
5	57.13	0.099796	-0.027389	-0.236741
6	57.135	0.070943	0.016592	0.107116
7	57.14	-0.526552	0.82716	-0.732
8	57.145	0.099674	-0.109373	-0.697169
9	57.15	0.012261	-0.275415	-0.465491
10	57.155	-0.333975	0.177022	-0.34099
11	57.16	0.17019	-0.157014	-0.549976
12	57.165	0.031842	0.127368	-0.088511
13	57.17	-0.061793	-0.063623	0.220271
14	57.175	0.104432	0.005002	0.059414
15	57.18	-0.06344	-0.005063	-0.181353
16	57.185	0.03172	0.030805	0.097905
17	57.19	0.018788	0.026962	0.119621
18	57.195	0.005307	0.008906	0.08723
19	57.2	0.049959	0.013481	0.307806
20	57.205	-0.047092	-0.174704	0.119499
21	57.21	-0.024644	-0.022509	-0.384666
22	57.215	-0.117669	-0.002806	0.364414
23	57.22	-0.133163	-0.020801	-0.132126
24	57.225	0.076433	0.004941	0.090951
25	57.23	0.016775	0.014213	0.037637
26	57.235	0.14152	-0.041907	-0.188063
27	57.24	-0.079788	-0.139141	-0.228506
28	57.245	0.105652	-0.06527	-0.236741
29	57.25	0.057584	-0.047336	0.25986
30	57.255	0.089121	-0.057889	0.160491
31	57.26	-0.022692	0.016592	0.145424
32	57.265	-0.01525	0.039955	0.014396
33	57.27	0.195444	-0.019764	0.109434
34	57.275	0.079483	-0.158173	-0.251564
35	57.28	0.111813	0.020435	-0.382043
36	57.285	0.120414	-0.072651	-0.774822
37	57.29	-0.465613	-0.118523	-0.222772
38	57.295	0.046848	0.038491	-0.320616
39	57.3	0.010675	0.059841	0.13115
40	57.305	0.020984	0.012505	0.126087

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	61.21	-0.083753	0.12761	-0.013176
42	61.215	0.003172	-0.0417	0.032208
43	61.22	0.001342	-0.0204	-0.195566
44	61.225	-0.00122	0.06137	0.19886
45	61.23	-0.007442	-0.0671	-0.111691
46	61.235	0.053985	-0.0112	0.243146
47	61.24	0.033001	0.12621	-0.081618
48	61.245	0.107848	0.15207	0.367525
49	61.25	0.013359	-0.1199	-0.093025
50	61.255	0.026718	-0.0056	0.119804
51	61.26	0.034465	-0.0006	-0.111325
52	61.265	0.079849	-0.0271	0.089792
53	61.27	-0.074359	0.01403	0.198616
54	61.275	-0.022509	-0.057	-0.188856
55	61.28	0.038247	-0.0667	-0.01952
56	61.285	0.023058	-0.0036	0.073322
57	61.29	0.012993	-0.174	-0.23363
58	61.295	-0.04514	0.02647	0.013847
59	61.3	0.012993	0.10724	0.208498
60	61.305	-0.046665	0.07662	0.048861
61	61.31	0.087596	0.04185	0.119072
62	61.315	-0.084058	0.04569	-0.121817
63	61.32	0.083997	-0.0329	-0.037149
64	61.325	0.05551	-0.0657	0.005124
65	61.33	-0.008601	0.02373	0.17568
66	61.335	-0.026413	-0.0577	-0.400038
67	61.34	0.132675	-0.116	-0.952942
68	61.345	-0.290787	0.00397	0.868823
69	61.35	-0.108946	0.03989	0.087169
70	61.355	0.014884	0.15476	-0.134383
71	61.36	0.048556	-0.0335	0.067893
72	61.365	-0.079117	-0.0045	0.309819
73	61.37	-0.017385	-0.0685	-0.160369
74	61.375	0.063684	-0.0118	0.390644
75	61.38	0.210389	0.07216	-0.204777
76	61.385	-0.039467	-0.0874	-0.287371
77	61.39	-0.008113	-0.0697	0.194163
78	61.395	-0.085827	0.05612	0.008662
79	61.4	0.050081	-0.0454	-0.02867
80	61.405	-0.044713	0.0912	-0.026047



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KAMANDAKA
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
81	62.585	-0.028182	-0.0582	-0.562481
82	62.59	0.123647	0.272	0.483791
83	62.595	0.040809	-0.0687	-0.80642
84	62.6	0.090951	-0.1032	-0.754387
85	62.605	-0.257908	-0.2578	-1.24135
86	62.61	0.08174	-0.1101	-1.05286
87	62.615	0.200995	-0.2338	-0.343552
88	62.62	0.009577	0.3009	-0.538569
89	62.625	-0.109312	0.0048	0.203374
90	62.63	0.854915	-0.0759	0.687348
91	62.635	-0.303902	-0.0472	-0.180743
92	62.64	-0.055266	0.1042	0.283894
93	62.645	0.054046	-0.0001	-0.19764
94	62.65	0.023729	0.0182	-0.129747
95	62.655	-0.152317	0.0586	0.288469
96	62.66	0.289811	-0.0526	0.501298
97	62.665	-0.131699	0.2081	0.38796
98	62.67	0.006466	-0.0138	0.433893
99	62.675	-0.062403	0.0967	0.234484
100	62.68	-0.125599	-0.1615	0.451217
101	62.685	-0.001159	-0.1049	-0.18788
102	62.69	-0.050935	0.0807	0.00854
103	62.695	0.025498	0.0241	0.08052
104	62.7	-0.026901	0.1091	0.081069
105	62.705	-0.118279	0.0583	0.03721
106	62.71	0.028304	-0.0171	-0.087901
107	62.715	-0.196054	0.0052	-0.026779
108	62.72	0.048251	-0.0731	0.057462
109	62.725	0.024705	-0.0097	0.245342
110	62.73	-0.089792	0.0456	0.197396
111	62.735	0.048251	-0.0336	0.415593
112	62.74	-0.034709	0.0636	-0.415227
113	62.745	0.215391	-0.037	0.029707
114	62.75	0.026657	0.0511	-0.304085
115	62.755	-0.025498	-0.0183	0.013115
116	62.76	-0.026901	0.0198	0.100101
117	62.765	-0.005429	-0.0058	-0.008113
118	62.77	0.000366	0.0239	-0.182146
119	62.775	0.009089	0.1711	0.645685
120	62.78	0.061915	0.0369	0.315248



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARETI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG ARGO NGGREK
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	68.995	-0.088267	0.305122	1.024495
2	69	-0.06771	0.058011	-0.684298
3	69.005	-0.271511	-0.38491	0.413031
4	69.01	-0.048922	0.063745	-0.629337
5	69.015	-0.464332	-0.510936	0.415837
6	69.02	0.377651	-0.012932	0.023363
7	69.025	0.013481	0.059719	-0.71736
8	69.03	-0.136091	0.34526	-0.179401
9	69.035	0.127856	-0.190747	-0.551562
10	69.04	0.021045	0.080093	-0.53314
11	69.045	-1.32431	-0.450363	-0.623969
12	69.05	0.066429	0.073627	-0.320372
13	69.055	0.023363	0.004087	-0.651968
14	69.06	0.275598	-0.271206	-0.240218
15	69.065	1.279719	1.344745	1.212497
16	69.07	0.003782	0.058621	-0.235521
17	69.075	-0.608231	-0.389119	0.537898
18	69.08	-0.181719	-0.022143	-0.159759
19	69.085	0.368623	0.820023	0.982039
20	69.09	0.101992	0.060024	-0.434381
21	69.095	0.268034	-0.307196	-0.284504
22	69.1	-0.735599	-0.319274	1.040111
23	69.105	-0.036356	0.021777	-0.660447
24	69.11	0.08784	0.157014	-0.14823
25	69.115	0.15982	-0.254126	-0.368745
26	69.12	-0.513803	-0.271023	1.14314
27	69.125	0.564189	0.474153	0.876936
28	69.13	0.005124	0.068381	-0.67039
29	69.135	0.147681	0.110471	0.885781
30	69.14	-0.258457	-0.160613	0.155245
31	69.145	0.001586	-0.118462	0.115351
32	69.15	-0.017019	0.048861	-0.709613
33	69.155	0.077531	-0.047153	-0.75091
34	69.16	0.100467	0.038064	0.29951
35	69.165	-0.325923	-0.337025	0.572363
36	69.17	-0.124074	0.063867	-0.362523
37	69.175	0.081801	0.061366	0.11102
38	69.18	-0.147559	-0.094062	-0.177205
39	69.185	-0.329827	-0.331779	0.790194
40	69.19	0.042822	-0.039101	-0.59902

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	74.485	0.003111	0.01409	-0.719068
42	74.49	-0.426817	-1.0511	0.417545
43	74.495	-0.051606	0.01068	-0.716384
44	74.5	-0.969534	0.97161	0.488854
45	74.505	0.355569	-0.0409	-0.129808
46	74.51	0.156892	0.40297	-0.275659
47	74.515	-0.016409	0.11065	-0.630008
48	74.52	-0.038918	0.0327	-0.693631
49	74.525	0.611525	-0.0904	0.36051
50	74.53	-0.671427	0.8274	0.688141
51	74.535	-0.036478	0.03739	-0.554795
52	74.54	-0.017324	-0.0072	-0.777872
53	74.545	-0.021106	-0.0179	-0.764391
54	74.55	0.10187	-0.0262	-0.7381
55	74.555	0.130357	0.8964	0.168604
56	74.56	0.500017	0.11206	0.013298
57	74.565	-1.431792	-1.1397	0.729133
58	74.57	0.112789	-0.349	-0.426634
59	74.575	-0.003172	-0.0834	-0.514169
60	74.58	0.259555	0.06741	-0.243329
61	74.585	-0.184159	-0.0375	0.257115
62	74.59	-0.098515	-0.0127	-0.624701
63	74.595	-0.085278	-0.0632	-0.144692
64	74.6	0.396622	0.41931	1.213046
65	74.605	-0.068869	-0.1907	-0.184464
66	74.61	-0.015921	0.01043	-0.55327
67	74.615	-0.309392	0.38046	1.19804
68	74.62	-0.025925	0.02342	-0.580354
69	74.625	-0.029219	-0.002	-0.711016
70	74.63	-0.027084	-0.0458	-0.684664
71	74.635	-0.06771	0.00537	0.217221
72	74.64	-0.017751	0.01208	-0.682041
73	74.645	0.290421	0.25266	0.066917
74	74.65	0.199592	0.24961	0.132187
75	74.655	-0.164822	-0.0563	0.055388
76	74.66	0.063501	-0.1016	-0.463173
77	74.665	0.11956	0.07631	0.478728
78	74.67	-0.001586	0.05783	0.620187
79	74.675	0.056547	0.03361	0.18788
80	74.68	0.012749	0.06314	0.344955



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARETI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KEDUNG SEPUR
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	150.41	0.020557	-0.099491	-0.326716
2	150.42	-0.069296	-0.010431	0.004758
3	150.42	-0.026291	0.037454	0.014579
4	150.43	0.12017	0.078385	0.1464
5	150.43	-0.041419	0.035929	-0.165676
6	150.44	0.040626	0.080154	0.161528
7	150.44	-0.015494	0.028609	0.015494
8	150.45	-0.101016	-0.197762	-0.574864
9	150.45	-0.221918	-0.080459	-0.46299
10	150.46	-0.091439	-0.326167	-0.854366
11	150.46	0.188429	0.179828	0.085461
12	150.47	0.088084	0.409249	0.853329
13	150.47	0.103212	0.047641	0.156587
14	150.48	0.002196	0.007625	0.182024
15	150.48	-0.033062	0.09516	0.438407
16	150.49	0.17263	0.074847	0.319701
17	150.49	-0.05307	-0.054046	-0.132797
18	150.5	0.023912	0.077653	0.43676
19	150.5	0.091683	0.094611	0.085644
20	150.51	-0.001159	-0.00183	0.010309
21	150.51	-0.046421	-0.029524	-0.088389
22	150.52	0.04636	-0.090402	-0.05612
23	150.52	0.072773	-0.062952	-0.242841
24	150.53	-0.052582	0.028304	-0.133834
25	150.53	0.035746	-0.093696	0.34343
26	150.54	0.006039	-0.013115	-0.246013
27	150.54	-0.056425	-0.118889	-0.52155
28	150.55	-0.073566	-0.057706	-0.363621
29	150.55	-0.078507	0.067405	0.443287
30	150.56	0.097844	0.083997	0.586454
31	150.56	0.098698	0.042456	-0.062525
32	150.57	0.021045	0.111264	-0.482632
33	150.57	-0.079056	-0.122061	-0.529785
34	150.58	-0.019032	-0.010736	-0.323178
35	150.58	-0.261324	0.158966	-0.089792
36	150.59	0.202032	0.112911	0.437065
37	150.59	-0.045689	0.399184	0.651114
38	150.6	0.030561	-0.034038	-0.02318
39	150.6	0.048068	-0.000915	-0.000732
40	150.61	-0.034526	-0.007686	0.05551

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	151	0.028487	-0.0597	0.081313
42	151.01	0.016226	0.02568	-0.187026
43	151.01	0.025193	-0.0009	-0.011163
44	151.02	-0.016775	0.03392	0.056791
45	151.02	0.045506	-0.0502	-0.14335
46	151.03	-0.027755	0.00531	-0.12078
47	151.03	-0.042456	-0.0009	-0.023485
48	151.04	-0.009272	-0.0821	-0.481595
49	151.04	0.047702	0.10651	0.199714
50	151.05	0.111081	-0.0009	-0.04026
51	151.05	0.05673	-0.035	0.433588
52	151.06	0.114253	0.03392	0.436699
53	151.06	-0.117364	0.03599	-0.087535
54	151.07	0.566934	0.02654	0.372405
55	151.07	0.039223	0.09174	-0.20984
56	151.08	-0.070699	-0.0417	-0.395219
57	151.08	0.018117	-0.0703	0.393145
58	151.09	0.294508	0.00702	0.406992
59	151.09	0.02684	0.1378	-0.341051
60	151.1	0.075518	0.04953	0.048617
61	151.1	0.019276	0.11791	-0.042456
62	151.11	-0.044713	-0.0463	0.069235
63	151.11	-0.014335	0.03215	0.006588
64	151.12	-0.022021	0.0363	-0.099369
65	151.12	-0.00122	-0.0634	-0.261141
66	151.13	-0.056791	0.03495	0.25193
67	151.13	0.015311	-0.0033	0.004636
68	151.14	-0.042517	-0.0518	0.014213
69	151.14	-0.016958	-0.0774	-0.163724
70	151.15	-0.057279	-0.1602	-0.041175
71	151.15	0.062403	0.02934	-0.024766
72	151.16	0.001159	-0.0367	-0.076921
73	151.16	0.076494	-0.0244	0.471408
74	151.17	-0.037332	0.04929	-0.089914
75	151.17	-0.000122	0.0779	-0.039589
76	151.18	-0.088633	-0.0485	-0.429806
77	151.18	0.033367	-0.0359	-0.394548
78	151.19	-0.142679	0.07229	0.350384
79	151.19	0.233508	0.17123	0.536739
80	151.2	0.028304	0.38759	0.001586



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARETI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KEDUNG SEPUR
 JENIS ALAT : SENSOR ACCELEROMETER

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s^2)		
		Arah x	Arah y	Arah z
81	152.89	0.013115	0.0313	-0.025254
82	152.9	-0.063501	0.0163	0.04148
83	152.9	-0.023119	0.0586	0.018056
84	152.91	-0.04697	-0.0132	0.061427
85	152.91	-0.001281	0.015	-0.100162
86	152.92	0.107238	0.0138	-0.103273
87	152.92	-0.04575	0.1255	0.426939
88	152.93	-0.114802	0.1237	0.706624
89	152.93	0.034709	0.1077	0.805627
90	152.94	-0.052338	-0.1672	-0.687653
91	152.94	0.076921	-0.0554	-0.429806
92	152.95	-0.041846	-0.0934	-0.504775
93	152.95	0.395463	-0.0348	0.970571
94	152.96	-0.068747	0.1676	-0.408883
95	152.96	-0.050691	-0.0466	-0.332511
96	152.97	0.028731	-0.0128	0.275476
97	152.97	0.047519	0.0054	0.225883
98	152.98	-0.001891	0.0928	0.209352
99	152.98	-0.068381	0.0648	-0.056791
100	152.99	0.028792	-0.0168	0.240645
101	152.99	-0.007747	0.0537	0.246806
102	153	-0.025132	0.0224	-0.035868
103	153	0.030561	0.0551	-0.091622
104	153.01	-0.034282	-0.0192	-0.012932
105	153.01	0.048495	-0.0133	-0.051179
106	153.02	0.02562	0.0702	-0.143594
107	153.02	0.053741	0.004	0.206607
108	153.03	-0.027023	0.0449	-0.21533
109	153.03	0.062525	-0.0648	-0.551989
110	153.04	-0.146705	0.0273	0.001891
111	153.04	0.036295	-0.0015	0.112423
112	153.05	0.025498	-0.0435	0.035136
113	153.05	-0.071797	-0.0092	-0.612562
114	153.06	-0.027816	-0.0404	-0.473116
115	153.06	-0.056242	-0.0589	-0.244061
116	153.07	-0.02562	0.0229	-0.107177
117	153.07	-0.049227	-0.0044	-0.323422
118	153.08	-0.070577	-0.0146	-0.147559
119	153.08	-0.073078	0.0284	0.411811
120	153.09	-0.026047	-0.0378	-0.346236



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA BARANG
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	14.05	-0.03067974	-0.1178783	-0.09664902
2	14.055	-0.08271276	0.0107523	0.04062968
3	14.06	-0.04906616	0.07454642	0.17079998
4	14.065	-0.05749952	0.10546172	-0.43877574
5	14.07	-0.1467336	0.14408862	0.58832618
6	14.075	0.08854924	0.12480442	-0.65535522
7	14.08	-0.4384913	-0.3045099	0.46128238
8	14.085	-0.5538442	-0.2586436	1.20891992
9	14.09	0.18983978	0.0638443	-1.60039048
10	14.095	-0.02410564	0.0549328	0.12310428
11	14.1	0.0151749	-0.0296834	-1.01866206
12	14.105	0.13769522	0.0634309	-0.48057568
13	14.11	0.01547182	0.26495742	0.53067716
14	14.115	0.12892464	0.00026078	-1.09097508
15	14.12	-0.15763566	1.03246572	0.77928734
16	14.125	0.0438243	1.12452054	-0.16196258
17	14.13	0.2707419	-0.0875241	0.02170818
18	14.135	0.06709482	0.10946468	0.19897956
19	14.14	0.21720244	-0.018942	-0.12631554
20	14.145	0.03598608	-0.0794456	0.23881624
21	14.15	-0.0783913	-0.0414768	-0.15606682
22	14.155	0.18235724	0.09664512	0.48004892
23	14.16	0.10626512	0.19155188	-0.31511298
24	14.165	0.06988618	-0.2120175	0.1466361
25	14.17	0.09165676	-0.0524714	0.02407834
26	14.175	-0.00290082	0.01225094	-0.12121018
27	14.18	0.0588588	-0.0315461	0.36212566
28	14.185	-0.01926314	-0.0211866	-0.07210918
29	14.19	-0.13159224	0.18282888	0.00840606
30	14.195	-0.08608262	0.2023918	0.11714976
31	14.2	-0.07891468	-0.1465428	-0.06773728
32	14.205	-0.01442168	-0.0210057	-0.17429334
33	14.21	0.04919564	0.1498172	1.98832452
34	14.215	0.03264482	0.17243512	-0.09488388
35	14.22	0.04072458	0.10822786	-1.38228714
36	14.225	0.03480802	0.05530616	0.53728662
37	14.23	-0.00072176	0.01316302	-1.43625768
38	14.235	0.05011916	0.04470128	-0.88556806
39	14.24	0.02511808	0.00747682	-1.04727324
40	14.245	0.01178034	0.00619138	-1.01702406

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	14.25	-0.00763308	0.05035	-0.92297374
42	14.255	0.00124852	-0.0876	-1.18800032
43	14.26	-0.22392838	0.19037	0.98925398
44	14.265	-0.68162874	-0.1625	0.72744724
45	14.27	-0.197028	0.14168	1.62338878
46	14.275	0.31288348	0.31535	0.18121454
47	14.28	-0.0238927	-0.6833	-0.9459866
48	14.285	0.16060694	0.15145	-0.18263128
49	14.29	0.47451586	0.09083	-0.27071096
50	14.295	0.0255268	-0.5409	1.1256076
51	14.3	-0.04406922	-0.1772	-0.24380304
52	14.305	0.146042	-0.2813	0.6246981
53	14.31	-0.02049268	0.11316	0.86167614
54	14.315	0.00061178	0.04499	-1.05163786
55	14.32	0.07274046	-0.0251	-0.9986106
56	14.325	0.03509974	0.05017	-0.36352212
57	14.33	-0.05136014	-0.1316	1.13755486
58	14.335	-0.03194854	0.04953	0.06245434
59	14.34	0.01292434	-0.072	-0.01716884
60	14.345	0.110513	0.06484	0.33778056
61	14.35	0.03520504	0.22423	-0.14189526
62	14.355	-0.08666918	0.16095	0.60101392
63	14.36	-0.01025206	0.097	-0.53440764
64	14.365	-0.16679468	-0.0375	-0.15875496
65	14.37	-0.01580462	0.08745	0.5070221
66	14.375	0.08585252	-0.1853	-0.42976284
67	14.38	-0.00100906	-0.081	0.13692198
68	14.385	0.0046111	0.17959	0.12303122
69	14.39	-0.13482378	-0.1107	-0.16161288
70	14.395	0.01760122	0.05524	0.09399728
71	14.4	0.07387146	0.01369	-0.10764208
72	14.405	-0.0046956	-0.0499	0.10638966
73	14.41	0.03577782	-0.0616	0.01194518
74	14.415	-0.02576678	-0.037	-0.10016214
75	14.42	-0.05032924	0.14482	0.26977236
76	14.425	-0.03461718	-0.0616	-0.09743006
77	14.43	0.03078816	0.12801	-0.00932698
78	14.435	0.00153192	-0.0934	0.10578594
79	14.44	-0.03650946	-0.0975	-0.14850108
80	14.445	0.04216862	0.2846	0.28357758



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KAMANDAKA
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	5.875	0.02255604	-0.1845493	-0.05810766
2	5.88	0.0318877	-0.2018944	0.0311454
3	5.885	-0.00262262	-0.1885783	-0.08047884
4	5.89	-0.0556647	-0.1255418	0.06188312
5	5.895	0.0249639	-0.1139154	-0.0077441
6	5.9	-0.03269578	-0.1274806	-0.05779176
7	5.905	-0.02081118	-0.1863334	0.15623998
8	5.91	-0.02119832	-0.4445259	-0.11353576
9	5.915	-0.03362528	-0.175538	0.07726134
10	5.92	0.01936246	-0.0159929	0.00816218
11	5.925	-0.00867542	-0.0706846	-0.03333382
12	5.93	0.07077382	0.19114186	0.15192788
13	5.935	-0.03606876	-0.1683776	-0.15927652
14	5.94	-0.03055702	-0.1724975	0.10731006
15	5.945	0.07299942	0.2916966	-0.01855568
16	5.95	-0.06066736	0.18210426	-0.05342558
17	5.955	0.03233308	0.03151122	0.0958269
18	5.96	0.00083486	-0.2275003	-0.17142788
19	5.965	-0.04003636	-0.0681928	0.13136604
20	5.97	0.05200754	0.12143742	-0.14774578
21	5.975	-0.01276626	-0.1522862	0.15332902
22	5.98	-0.02589106	-0.1547985	-0.14309204
23	5.985	-0.00969774	-0.1826828	0.09932312
24	5.99	0.09463974	0.14445496	0.56639388
25	5.995	-0.02406378	0.11563526	-1.13992658
26	6	-0.10806094	-0.2622305	0.52104078
27	6.005	-0.02912442	-0.0413028	0.49937316
28	6.01	-0.01366456	0.06194916	-0.68244072
29	6.015	0.16878238	0.10455302	0.53843556
30	6.02	0.00703976	0.01437176	-0.2650531
31	6.025	-0.10370932	-0.0586035	0.03219138
32	6.03	0.04063202	0.02568956	0.06534268
33	6.035	-0.00391326	0.02873234	-0.0820105
34	6.04	0.00573092	0.00689104	0.10103444
35	6.045	0.02174978	-0.0208315	-0.14120756
36	6.05	-0.02165696	0.01073306	0.08026408
37	6.055	-0.00949884	-0.0032305	-0.0614276
38	6.06	0.02306434	-0.0107162	0.0484939
39	6.065	-0.0237796	-0.0278411	-0.0603408
40	6.07	0.01684436	0.05750628	0.07449468

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	12.97	0.07481552	-0.1543	0.12973116
42	12.975	0.01416896	-0.0747	-0.00455728
43	12.98	-0.07209644	0.07398	-0.22388574
44	12.985	0.07639788	0.12479	0.32075394
45	12.99	-0.05174936	-0.1631	-0.1930929
46	12.995	0.00174746	-0.3528	0.0118742
47	13	0.04287556	-0.1167	0.00506766
48	13.005	-0.0574665	-0.0981	-0.05605314
49	13.01	0.02847728	-0.0565	0.13597688
50	13.015	-0.0240838	-0.076	-0.18974384
51	13.02	0.01944202	-0.035	0.13966264
52	13.025	0.01456052	0.02215	-0.0701948
53	13.03	-0.0335647	-0.1874	-0.00871416
54	13.035	0.03679858	-0.1806	0.0632736
55	13.04	-0.03584542	-0.1364	-0.14896102
56	13.045	0.06852898	-0.0541	0.40234532
57	13.05	-0.03070392	-0.2705	-0.44137262
58	13.055	-0.09866194	-0.1876	-0.07731542
59	13.06	0.12144548	0.24917	0.38344774
60	13.065	-0.06951542	-0.0864	-0.45023576
61	13.07	0.02549118	0.02837	0.22981452
62	13.075	0.01738204	0.13018	-0.02713776
63	13.08	-0.1338571	-0.3075	0.35523618
64	13.085	-0.0447395	-0.1442	-0.10194184
65	13.09	-0.05077878	0.00351	-0.3773393
66	13.095	0.170053	-0.0329	0.49680332
67	13.1	-0.00734916	0.02236	-0.34398364
68	13.105	-0.02798926	0.09011	0.22516572
69	13.11	0.05571696	0.05427	-0.0401726
70	13.115	-0.06499662	-0.089	-0.13484224
71	13.12	0.0678613	-0.0472	0.17835298
72	13.125	-0.0488852	0.05332	-0.21622406
73	13.13	-0.04521036	0.04366	0.13344526
74	13.135	0.00287508	-0.0003	-0.050167
75	13.14	0.0215748	-0.0162	0.22266868
76	13.145	-0.03597516	-0.0294	-0.36534056
77	13.15	-0.06874946	-0.0371	0.03779412
78	13.155	0.12876864	-0.0156	0.45279598
79	13.16	0.00765258	0.00057	-0.4709406
80	13.165	-0.05757492	-0.0125	0.31604534



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARET 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG ARGO NGGREK
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	35.025	-0.03171792	-0.0819757	0.14244386
2	35.03	0.01117298	-0.002424	-0.04006236
3	35.035	0.01388816	0.14653366	0.18623202
4	35.04	0.04199624	0.08587696	0.07166328
5	35.045	-0.04232722	-0.0479424	-0.09477572
6	35.05	-0.0160771	0.00984724	0.11397646
7	35.055	0.05635552	-0.0160407	-0.13406484
8	35.06	-0.04667286	0.00165438	0.05566808
9	35.065	-0.01152918	0.00476996	0.02559076
10	35.07	0.0600093	-0.0131677	-0.03889522
11	35.075	-0.05344872	-0.0242341	-0.02418962
12	35.08	-0.05568784	0.0491478	0.00515736
13	35.085	0.05653336	0.02481466	-0.03349476
14	35.09	0.04491916	-0.2238881	-0.07232992
15	35.095	-0.04066296	-0.2871879	-0.00062452
16	35.1	-0.0165373	-0.218979	-0.0071825
17	35.105	0.05971992	0.04087824	0.0449787
18	35.11	-0.05511584	0.04524	-0.21700692
19	35.115	0.01543516	-0.009132	0.4739605
20	35.12	0.14085864	0.10675808	0.35544704
21	35.125	-0.0675246	0.015223	-1.2486981
22	35.13	-0.04041674	-0.0595798	-0.59865234
23	35.135	0.07402408	-0.133041	0.74945728
24	35.14	-0.00488644	0.03320382	0.13658996
25	35.145	-0.03233958	0.01380496	-0.1838174
26	35.15	-0.07054164	-0.0482565	0.1631019
27	35.155	0.02665962	0.08352838	-0.09489376
28	35.16	0.0394199	-0.0878623	-0.02576392
29	35.165	-0.09584822	0.0350909	0.01022866
30	35.17	0.04474626	-0.0777551	-0.04665856
31	35.175	0.02638844	-0.3545612	0.01139138
32	35.18	-0.03727958	-0.0855101	-0.0143845
33	35.185	0.04921176	-0.1469278	0.0480194
34	35.19	-0.052494	-0.1850129	-0.07948226
35	35.195	0.01826526	0.0063245	0.15277886
36	35.2	-0.0105131	-0.0229564	-0.21562502
37	35.205	-0.01428856	0.09783176	0.41475824
38	35.21	0.18941286	0.09683726	1.18872442
39	35.215	0.0445757	0.01820702	-0.85735572
40	35.22	-0.06660264	0.00282386	-0.9812426

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	35.225	0.02492854	-0.0187	-0.68220958
42	35.23	-0.0234689	0.00858	-1.42822108
43	35.235	-0.05113368	-0.2874	0.46322172
44	35.24	0.10331594	-0.1394	1.0476869
45	35.245	0.01633632	0.33604	0.15122978
46	35.25	-0.17526808	0.15705	0.16252886
47	35.255	-0.1550289	0.00406	-0.00094952
48	35.26	-0.16175302	0.05634	-0.00725582
49	35.265	-0.19243926	0.02799	0.17635306
50	35.27	-0.11209276	0.07252	0.13324896
51	35.275	0.1336478	0.10248	-0.1134796
52	35.28	0.27964066	-0.0137	-0.0004927
53	35.285	0.16346746	-0.0637	-0.19607796
54	35.29	0.1220505	0.05007	-0.16672084
55	35.295	0.13167726	0.04841	0.12937028
56	35.3	-0.10818574	0.00717	0.13930436
57	35.305	-0.2222623	0.01217	0.15113904
58	35.31	-0.20120594	0.03833	-0.03096548
59	35.315	-0.14897532	-0.0024	0.37690484
60	35.32	-0.03047954	-0.0681	-0.05762016
61	35.325	0.07384806	0.0803	-0.25837032
62	35.33	0.22776962	0.09847	0.15828124
63	35.335	0.16394144	-0.0422	-0.33725328
64	35.34	0.1549418	-0.0325	-0.1007799
65	35.345	0.03687372	0.02741	0.17874922
66	35.35	-0.23411622	0.03306	0.13851032
67	35.355	-0.15691208	-0.0352	0.0882401
68	35.36	-0.1755195	-0.0551	-0.00469846
69	35.365	-0.13071032	0.01195	0.14962558
70	35.37	0.1572805	0.06455	0.01089062
71	35.375	0.1603901	-0.0146	-0.15519686
72	35.38	0.15753634	-0.033	-0.19295302
73	35.385	0.13775424	0.03695	-0.03025542
74	35.39	-0.10638134	-0.003	0.15384824
75	35.395	-0.188838	-0.0075	0.01750632
76	35.4	-0.16962114	-0.0592	0.01396044
77	35.405	-0.00429494	0.01029	0.13313898
78	35.41	0.19189638	0.08911	-0.15145598
79	35.415	0.14338584	-0.0631	-0.16829488
80	35.42	-0.0173914	-0.0314	0.1650155



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARET 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KEDUNG SEPUR
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
1	32.275	-0.0002873	0.00169312	0.00028314
2	32.28	0.000013	0.00066742	0.0000585
3	32.285	0.0002171	0.00353626	-0.00013858
4	32.29	-0.00050726	0.00228566	0.00037804
5	32.295	0.00044148	0.0000442	-0.00020722
6	32.3	-0.00017862	0.00317226	0.00023114
7	32.305	0.00002028	-0.006031	0.00014196
8	32.31	0.00057434	-0.0021809	-0.00028496
9	32.315	-0.0004199	0.03395054	0.00036192
10	32.32	0.00048958	0.02433236	-0.00024544
11	32.325	-0.00007514	-0.0087805	0.0000286
12	32.33	-0.0003926	-0.0010535	0.00018122
13	32.335	0.00044096	0.0105391	-0.0004069
14	32.34	-0.00059514	0.00327496	0.00030992
15	32.345	0.00021892	-0.0112941	-0.00018018
16	32.35	0.00011882	0.02289248	-0.00012532
17	32.355	-0.0003952	0.05489276	0.00029536
18	32.36	0.00060866	0.02649192	-0.00033722
19	32.365	-0.00030732	0.00495794	0.00025558
20	32.37	0.00022204	-0.0013655	-0.00002704
21	32.375	0.00038298	0.00294944	-0.0001664
22	32.38	-0.00036062	0.01363622	0.0002613
23	32.385	0.00046072	0.00840892	-0.00036296
24	32.39	-0.00032656	-0.0042978	0.00005408
25	32.395	-0.00017394	-0.0031359	-0.00004784
26	32.4	0.0000585	-0.0023759	-0.00021528
27	32.405	-0.00057876	-0.0123674	0.00024544
28	32.41	0.00021866	-0.0115651	-0.0001794
29	32.415	-0.00020072	-0.0056404	0.00016406
30	32.42	0.00002782	-0.0009649	0.00012376
31	32.425	0.00039962	-0.0068588	-0.00009152
32	32.43	-0.00010218	-0.0146877	0.00020046
33	32.435	0.0004394	-0.0088127	-0.0001885
34	32.44	-0.00004342	-0.0043077	0.0000585
35	32.445	0.00005538	-0.0058185	-0.00004706
36	32.45	0.00011154	-0.0126823	-0.00013806
37	32.455	-0.0003887	-0.0132753	0.00013598
38	32.46	0.00015054	-0.0054577	-0.00021476
39	32.465	-0.00036712	-0.0059098	0.00012246
40	32.47	-0.00003796	-0.0098038	-0.0000897

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
41	58.565	-0.0000897	0.02086	0.00006006
42	58.57	-0.0000741	0.02241	0.00000962
43	58.575	-0.00028002	0.03108	0.00017498
44	58.58	0.00036166	0.03402	-0.00019214
45	58.585	-0.00030212	0.01496	0.00019786
46	58.59	-0.00020488	0.01184	0.00013806
47	58.595	0.00088634	0.02381	-0.00060684
48	58.6	-0.00070148	0.03066	0.00040326
49	58.605	0.000221	0.02265	-0.00009776
50	58.61	0.00027612	0.0047	-0.00015184
51	58.615	-0.00056862	0.00819	0.00037024
52	58.62	0.00053196	0.01364	-0.00028964
53	58.625	-0.00054626	0.01251	0.00036426
54	58.63	0.00027092	0.01518	-0.0001261
55	58.635	0.00005512	0.01484	0.00000754
56	58.64	-0.00055588	0.01491	0.00035074
57	58.645	0.00079508	0.0166	-0.00045682
58	58.65	-0.00067626	0.01764	0.00043862
59	58.655	0.00018694	0.01872	-0.00011206
60	58.66	0.00049556	0.0174	-0.00029016
61	58.665	-0.00084474	0.01819	0.00052598
62	58.67	0.00057226	0.01914	-0.00034268
63	58.675	-0.00017446	0.01841	0.0000923
64	58.68	-0.00025298	0.02215	0.00015912
65	58.685	0.00042484	0.02407	-0.00024102
66	58.69	-0.00057356	0.05215	0.0003406
67	58.695	0.00037076	0.05324	-0.00020072
68	58.7	-0.00009438	-0.0025	0.00010192
69	58.705	-0.00024362	-0.0159	0.00016718
70	58.71	0.00058578	-0.0096	-0.00033592
71	58.715	-0.00067418	-0.013	0.00044122
72	58.72	0.0003783	-0.0082	-0.0002171
73	58.725	0.00014144	-0.0116	-0.00008164
74	58.73	-0.00057616	-0.0117	0.00035516
75	58.735	0.00069056	-0.0111	-0.00042354
76	58.74	-0.00043186	-0.0104	0.00028886
77	58.745	0.00008684	-0.0098	-0.00004914
78	58.75	0.00026572	-0.0094	-0.0001677
79	58.755	-0.00048516	-0.0069	0.0003315
80	58.76	0.00050882	-0.0071	-0.00030628



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

JUDUL : DATA PERCEPATAN GETARAN PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARET 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA PENUMPANG KEDUNG SEPUR
 JENIS ALAT : SEISMIC MONITORING

No	Waktu (detik)	Percepatan (m/s ²)		
		Arah x	Arah y	Arah z
81	71.075	0.00014742	-0.0027	-0.00004108
82	71.08	0.00030082	-0.0033	-0.00008918
83	71.085	-0.00010166	-0.0035	0.00020644
84	71.09	-0.00005148	-0.0033	0.00008476
85	71.095	0.00008008	-0.0029	-0.00002626
86	71.1	-0.00016224	-0.003	0.0000728
87	71.105	0.00014846	-0.0037	-0.00020592
88	71.11	-0.0004121	-0.0035	0.0001989
89	71.115	0.00012948	-0.0029	-0.00011336
90	71.12	0.00053456	-0.003	-0.00035282
91	71.125	-0.00077922	-0.0031	0.00053742
92	71.13	0.00040768	-0.0037	-0.00021528
93	71.135	0.00052988	-0.0041	-0.00025324
94	71.14	-0.00086034	-0.0037	0.0005941
95	71.145	0.00048828	-0.0034	-0.00030264
96	71.15	0.00010036	-0.0042	-0.00000208
97	71.155	-0.000598	-0.0044	0.00035204
98	71.16	0.00055614	-0.0032	-0.00038038
99	71.165	-0.00028808	-0.0029	0.00020774
100	71.17	0.00003094	-0.0033	-0.0000234
101	71.175	0.00024856	-0.0031	-0.00013494
102	71.18	-0.0006123	-0.0031	0.00041028
103	71.185	0.00052416	-0.0029	-0.00027638
104	71.19	-0.000169	-0.0023	0.0002132
105	71.195	-0.00032864	-0.0026	0.0003354
106	71.2	0.00059852	-0.0033	-0.0002002
107	71.205	-0.00029692	-0.0037	0.0004121
108	71.21	0.00010764	-0.0031	0.00014274
109	71.215	0.00008502	-0.0021	0.00011726
110	71.22	-0.00007514	-0.0022	0.0001586
111	71.225	0.00009672	-0.0027	-0.00001612
112	71.23	-0.0003679	-0.0024	0.00029406
113	71.235	0.00045942	-0.0016	-0.00024908
114	71.24	-0.00006084	-0.0019	0.00006864
115	71.245	-0.00028054	-0.0024	0.00032006
116	71.25	0.00056368	-0.0025	-0.00017108
117	71.255	-0.00015132	-0.0025	0.00024648
118	71.26	-0.00004212	-0.0022	0.00003302
119	71.265	-0.00009932	-0.0023	-0.00003744
120	71.27	-0.00018304	-0.0028	0.00009048



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

JUDUL : DATA FREKUENSI DAN AMPLITUDO PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA BARANG
 JENIS ALAT : GEOSIG SEISMIC MONITORING

No	Frekuensi	Amplitudo
1	0.5	1.3927
2	0.518982	1.43471
3	0.538685	1.47445
4	0.559136	1.51195
5	0.580363	1.54712
6	0.602396	1.57978
7	0.625266	1.60961
8	0.649003	1.63615
9	0.673642	1.65875
10	0.699217	1.67642
11	0.725762	1.68762
12	0.753315	1.68978
13	0.781914	1.67784
14	0.811599	1.67928
15	0.842411	1.72035
16	0.874392	1.74821
17	0.907588	1.76547
18	0.942044	1.77316
19	0.977808	1.77144
20	1.01493	1.75975
21	1.05346	1.73673
22	1.09345	1.69988
23	1.13497	1.64459
24	1.17806	1.56135
25	1.22278	1.49231
26	1.2692	1.46488
27	1.31739	1.43014
28	1.3674	1.38803
29	1.41931	1.33818
30	1.4732	1.27991
31	1.52912	1.21216
32	1.58718	1.13325
33	1.64743	1.16239
34	1.70998	1.21185
35	1.77489	1.24975
36	1.84228	1.27638
37	1.91222	1.29099
38	1.98481	1.29162
39	2.06017	1.51579
40	2.13838	1.61062
41	2.21956	1.64028
42	2.30382	1.61152
43	2.39129	1.49529
44	2.48207	1.5298
45	2.5763	1.54612

No	Frekuensi	Amplitudo
46	2.67411	1.50697
47	2.77563	1.36502
48	2.881	1.25032
49	2.99038	1.18497
50	3.10391	1.10179
51	3.22175	1.03383
52	3.34406	1.02273
53	3.47101	0.935137
54	3.60279	0.776757
55	3.73956	0.793522
56	3.88153	0.765938
57	4.02889	0.695311
58	4.18185	0.651059
59	4.34061	0.577545
60	4.5054	0.535077
61	4.67644	0.503059
62	4.85398	0.453704
63	5.03826	0.456796
64	5.22953	0.442446
65	5.42807	0.444396
66	5.63414	0.435964
67	5.84804	0.423521
68	6.07005	0.414279
69	6.3005	0.446941
70	6.53969	0.471222
71	6.78797	0.48902
72	7.04567	0.48024
73	7.31315	0.455843
74	7.59079	0.419041
75	7.87897	0.39574
76	8.17809	0.369347
77	8.48856	0.341053
78	8.81083	0.310667
79	9.14532	0.290835
80	9.49252	0.28291
81	9.8529	0.283561
82	10.227	0.294426
83	10.6152	0.313027
84	11.0182	0.337616
85	11.4365	0.367195
86	11.8707	0.394977
87	12.3214	0.414068
88	12.7891	0.428538
89	13.2747	0.443327
90	13.7786	0.453137

No	Frekuensi	Amplitudo
91	14.3017	0.452014
92	14.8447	0.442311
93	15.4082	0.437196
94	15.9932	0.442571
95	16.6004	0.455435
96	17.2306	0.455711
97	17.8847	0.453212
98	18.5637	0.45718
99	19.2685	0.463672
100	20	0.467667



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

JUDUL : DATA FREKUENSI DAN AMPLITUDO PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN REL STASIUN JERAKAH KM 5+8/9
 TANGGAL PENELITIAN : 29 FEBRUARI 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA KAMANDAKA
 JENIS ALAT : GEOSIG SEISMIC MONITORING

No	Frekuensi	Amplitudo
1	0.5	373.294
2	0.518982	375.184
3	0.538685	375.772
4	0.559136	375.049
5	0.580363	372.963
6	0.602396	369.419
7	0.625266	364.271
8	0.649003	357.314
9	0.673642	348.25
10	0.699217	336.639
11	0.725762	321.778
12	0.753315	302.395
13	0.781914	275.582
14	0.811599	253.8
15	0.842411	257.284
16	0.874392	258.642
17	0.907588	258.34
18	0.942044	256.542
19	0.977808	253.257
20	1.01493	248.373
21	1.05346	241.639
22	1.09345	232.586
23	1.13497	220.289
24	1.17806	202.444
25	1.22278	195.48
26	1.2692	202.674
27	1.31739	205.24
28	1.3674	204.074
29	1.41931	199.319
30	1.4732	190.633
31	1.52912	177.018
32	1.58718	155.843
33	1.64743	148.428
34	1.70998	145.531
35	1.77489	140.827
36	1.84228	133.852
37	1.91222	123.755
38	1.98481	108.511
39	2.06017	113.415
40	2.13838	110.301
41	2.21956	101.709
42	2.30382	88.1784
43	2.39129	66.6256
44	2.48207	65.9094
45	2.5763	65.6042

No	Frekuensi	Amplitudo
46	2.67411	62.6171
47	2.77563	54.4648
48	2.881	47.2249
49	2.99038	45.3706
50	3.10391	41.408
51	3.22175	34.5755
52	3.34406	29.5346
53	3.47101	22.9624
54	3.60279	13.2873
55	3.73956	13.5245
56	3.88153	13.2028
57	4.02889	13.0047
58	4.18185	14.1677
59	4.34061	13.6327
60	4.5054	12.5557
61	4.67644	11.7635
62	4.85398	10.6951
63	5.03826	10.4375
64	5.22953	10.2167
65	5.42807	11.6911
66	5.63414	12.4492
67	5.84804	12.1037
68	6.07005	11.7798
69	6.3005	12.1664
70	6.53969	12.0029
71	6.78797	11.4807
72	7.04567	9.92738
73	7.31315	8.36228
74	7.59079	7.51461
75	7.87897	8.22364
76	8.17809	9.02969
77	8.48856	9.70034
78	8.81083	9.9891
79	9.14532	10.6244
80	9.49252	11.076
81	9.8529	11.0938
82	10.227	10.5798
83	10.6152	9.83764
84	11.0182	9.30405
85	11.4365	9.42716
86	11.8707	10.2955
87	12.3214	11.6378
88	12.7891	13.1651
89	13.2747	14.6555
90	13.7786	15.678

No	Frekuensi	Amplitudo
91	14.3017	16.2718
92	14.8447	17.1012
93	15.4082	18.4343
94	15.9932	19.2583
95	16.6004	18.7485
96	17.2306	18.1595
97	17.8847	18.6773
98	18.5637	19.7924
99	19.2685	20.8762
100	20	21.4819



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

JUDUL : DATA FREKUENSI DAN AMPLITUDO PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALUR PERLINTASAN SEMARANG-SOLO KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARET 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA AGRO ANGGREK
 JENIS ALAT : GEOSIG SEISMIC MONITORING

No	Frekuensi	Amplitudo
1	0.5	2.86433
2	0.518982	2.79542
3	0.538685	2.72164
4	0.559136	2.64251
5	0.580363	2.55743
6	0.602396	2.4657
7	0.625266	2.36644
8	0.649003	2.25859
9	0.673642	2.1407
10	0.699217	2.01085
11	0.725762	1.86616
12	0.753315	1.70186
13	0.781914	1.50809
14	0.811599	1.36296
15	0.842411	1.35997
16	0.874392	1.35316
17	0.907588	1.34255
18	0.942044	1.32805
19	0.977808	1.30943
20	1.01493	1.28636
21	1.05346	1.25832
22	1.09345	1.22453
23	1.13497	1.18376
24	1.17806	1.13395
25	1.22278	1.14197
26	1.2692	1.17009
27	1.31739	1.16388
28	1.3674	1.13295
29	1.41931	1.0799
30	1.4732	1.00402
31	1.52912	0.901079
32	1.58718	0.758708
33	1.64743	0.775317
34	1.70998	0.827363
35	1.77489	0.858922
36	1.84228	0.866952
37	1.91222	0.841229
38	1.98481	0.738401
39	2.06017	0.687362
40	2.13838	0.674154
41	2.21956	0.642909
42	2.30382	0.586909
43	2.39129	0.467386
44	2.48207	0.55212
45	2.5763	0.636459

No	Frekuensi	Amplitudo
46	2.67411	0.694154
47	2.77563	0.717624
48	2.881	0.732162
49	2.99038	0.743772
50	3.10391	0.735655
51	3.22175	0.699503
52	3.34406	0.683326
53	3.47101	0.637661
54	3.60279	0.562404
55	3.73956	0.543828
56	3.88153	0.495835
57	4.02889	0.430681
58	4.18185	0.444288
59	4.34061	0.442495
60	4.5054	0.435926
61	4.67644	0.414357
62	4.85398	0.390528
63	5.03826	0.423987
64	5.22953	0.452751
65	5.42807	0.488603
66	5.63414	0.511104
67	5.84804	0.529189
68	6.07005	0.514746
69	6.3005	0.452974
70	6.53969	0.406643
71	6.78797	0.367891
72	7.04567	0.363683
73	7.31315	0.379835
74	7.59079	0.418619
75	7.87897	0.506376
76	8.17809	0.595588
77	8.48856	0.661163
78	8.81083	0.689678
79	9.14532	0.692511
80	9.49252	0.702778
81	9.8529	0.715938
82	10.227	0.733166
83	10.6152	0.750246
84	11.0182	0.75648
85	11.4365	0.752631
86	11.8707	0.761931
87	12.3214	0.797014
88	12.7891	0.839964
89	13.2747	0.918526
90	13.7786	1.08587

No	Frekuensi	Amplitudo
91	14.3017	1.29587
92	14.8447	1.39906
93	15.4082	1.35444
94	15.9932	1.30116
95	16.6004	1.31069
96	17.2306	1.31373
97	17.8847	1.254
98	18.5637	1.11167
99	19.2685	0.930596
100	20	0.80133



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

JUDUL : DATA FREKUENSI DAN AMPLITUDO PADA BANTALAN REL
 LOKASI PENELITIAN : JALAN MUKHTIHARJO RAYA KM 3+4/5
 TANGGAL PENELITIAN : 1 MARET 2020
 DITELITI OLEH : VINA FADILAH
 JENIS KERETA : KERETA KEDUNG SEPUR
 JENIS ALAT : GEOSIG SEISMIC MONITORING

No	Frekuensi	Amplitudo
1	0.5	2094.12
2	0.518982	2111.88
3	0.538685	2125.64
4	0.559136	2135.24
5	0.580363	2140.44
6	0.602396	2140.89
7	0.625266	2136.13
8	0.649003	2125.57
9	0.673642	2108.42
10	0.699217	2083.65
11	0.725762	2049.85
12	0.753315	2005.01
13	0.781914	1946
14	0.811599	1863.51
15	0.842411	1764.17
16	0.874392	1659.7
17	0.907588	1549.68
18	0.942044	1433.56
19	0.977808	1310.64
20	1.01493	1179.99
21	1.05346	1040.24
22	1.09345	889.161
23	1.13497	722.475
24	1.17806	528.383
25	1.22278	390.782
26	1.2692	363.436
27	1.31739	334.467
28	1.3674	303.636
29	1.41931	270.598
30	1.4732	234.794
31	1.52912	195.176
32	1.58718	149.086
33	1.64743	137.917
34	1.70998	136.595
35	1.77489	133.299
36	1.84228	127.823
37	1.91222	119.664
38	1.98481	107.584
39	2.06017	97.7764
40	2.13838	88.158
41	2.21956	76.7024
42	2.30382	62.6001
43	2.39129	42.2538
44	2.48207	43.2014
45	2.5763	45.4613

No	Frekuensi	Amplitudo
46	2.67411	46.1474
47	2.77563	45.3015
48	2.881	50.6593
49	2.99038	53.9483
50	3.10391	53.9523
51	3.22175	54.4384
52	3.34406	66.3512
53	3.47101	71.9131
54	3.60279	71.1687
55	3.73956	78.0373
56	3.88153	75.4266
57	4.02889	65.9552
58	4.18185	71.1109
59	4.34061	70.8441
60	4.5054	71.3363
61	4.67644	70.9462
62	4.85398	67.6739
63	5.03826	64.6387
64	5.22953	59.9863
65	5.42807	67.8591
66	5.63414	72.2957
67	5.84804	83.4221
68	6.07005	90.4089
69	6.3005	96.7203
70	6.53969	100.268
71	6.78797	98.5027
72	7.04567	92.4406
73	7.31315	85.9611
74	7.59079	80.97
75	7.87897	84.4881
76	8.17809	88.0611
77	8.48856	89.672
78	8.81083	85.8021
79	9.14532	79.7773
80	9.49252	74.0268
81	9.8529	67.2151
82	10.227	59.6598
83	10.6152	53.4129
84	11.0182	50.3494
85	11.4365	49.2594
86	11.8707	48.0562
87	12.3214	47.4756
88	12.7891	49.3336
89	13.2747	54.421
90	13.7786	60.8361

No	Frekuensi	Amplitudo
91	14.3017	67.0207
92	14.8447	72.1002
93	15.4082	76.1506
94	15.9932	78.4078
95	16.6004	78.6107
96	17.2306	76.1
97	17.8847	75.324
98	18.5637	77.6371
99	19.2685	78.0764
100	20	72.068