



**EVALUASI TEBAL PERKERASAN LENTUR
AKIBAT BEBAN LALU LINTAS
DI JALAN LINGKAR WELERI
KABUPATEN KENDAL**

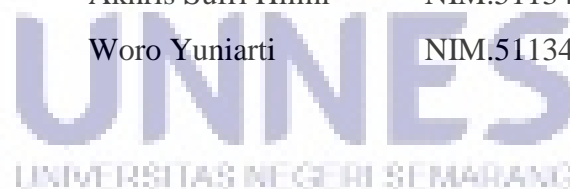
Tugas Akhir

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil S1

Oleh

Akhris Sufri Hilmi NIM.5113412005

Woro Yuniarti NIM.5113412018





**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir dengan judul “ **Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Lalu Lintas di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal**” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi.

Semarang, Juli 2016

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
	14/7/2016 
<u>Untoro Nugroho, S.T., M.T.</u> NIP. 19690615 199702 1 001	<u>Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc</u> NIP. 19780921 200501 2 001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini telah dipertahankan dihadapan Sidang Panitia Ujian Tugas akhir
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada :

Hari : *Selasa*

Tanggal : *26 Juli 2016*

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Dra. Sri Handayani, MPd
NIP. 19671108 199103 2 0001

Sekretaris

Eko Nugroho Julianto, S.Pd., M.T.
NIP. 19720702 199903 1 002

Dewan Penguji

Penguji I

Prof. Dr. Ir. Bambang Haryadi, M.Sc
NIP. 19630225 199002 1 001

Dosen Pembimbing I

26/7/2016

Untoro Nugroho, S.T., M.T.
NIP. 19690615 199702 1 001

Dosen Pembimbing II

28/7/2016

Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc
NIP. 19780921 200001 2 001

Ditetapkan di Semarang

Tanggal :

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

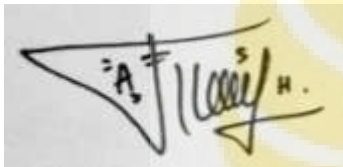


Dr. Nur Oudus, M.T
NIP. 19691130 199403 1 001

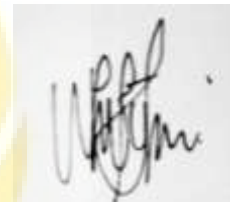
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam tugas akhir ini benar-benar hasil karya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Juli 2016



Akhris Sufri Hilmi
5113412005



Woro Yuniarti
5113412018



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

- Bila kamu tak tahan lelahnya belajar, maka kamu akan menanggung perihnya kebodohan. (Imam Syafi'i)
- Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. (QS. Alam Nasroh, 6)
- Keridhoan Allah itu terletak pada keridhoan orang tua, dan murka Allah itu terletak pada murka orang tua. (H.R.A Tirmidzi)
- Bahwa tiada yang orang dapatkan, kecuali yang ia usahakan, Dan bahwa usahanya akan kelihatan nantinya. (Q.S. An Najm ayat 39 - 40)
- Perumpamaan (nafkah yang dikeluarkan oleh) orang-orang yang menafkahkan hartanya di jalan Allah adalah serupa dengan sebutir benih yang menumbuhkan tujuh bulir, pada tiap-tiap bulir seratus biji. Allah melipat gandakan (ganjaran) bagi siapa yang Dia kehendaki. Dan Allah Maha Luas (karunia-Nya) lagi Maha Mengetahui. (QS. Al Baqarah: 261)

Persembahan :

- Kedua orang tuaku, (Ibu Kisti Hidayati dan Bapak Imam Mochtar) yang selalu menyayangi, menuntun dan mendoakanku.
- Kakak kandungku, (Endah Dewi Astuti dan Bowo Saputro) yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
- Dosen Pembimbing, (Bapak Untoro Nugroho, S.T, M.T dan Ibu Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc), yang telah membimbing dan mengarahkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
- Sahabat-sahabatku, (Mbok tor, Ton, Acong, Ida, Bepeng, Peniten, dan Lala) yang selalu bersama menemani selama 7 tahun persahabatan kita.
- Kakakku, Ahdian Agus Hermawan yang selalu menemani, membantuku dalam menyelesaikan segala tugas-tugas kuliah dan tugas akhir ini.
- Teman-teman kuliahku (Lia, Piti, Rokhman, David, Dhika, Akhris, Theo dan Indra) yang telah membantu dalam penelitian tugas akhir.
- Semua teman-teman Teknik Sipil angkatan 2012.
- Almamaterku Universitas Negeri Semarang

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan Judul “**Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Lalu Lintas di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal**” dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya halangan suatu apapun.

Adapun maksud dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi syarat guna menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis, sehingga dalam pembuatan tugas akhir ini tidak sedikit bantuan, petunjuk, saran-saran maupun arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan kerendahan hati dan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Dr. Nur Qudus, S.Pd, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Ibu Dra. Sri Handayani, MPd selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Bapak Untoro Nugroho, S.T, M.T selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan petunjuk, dorongan, serta semangat dalam pembuatan Tugas Akhir ini
4. Ibu Dr. Rini Kusumawardani, S.T, M.T, M.Sc selaku dosen pembimbing 2 dan selaku Ketua Program Studi S-1 Sipil yang telah memberikan petunjuk, dorongan, serta semangat dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Haryadi, M.Sc selaku dosen penguji 1 dan selaku dosen wali yang telah memberikan petunjuk, dorongan, serta nasehat dalam ujian Tugas Akhir ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
7. Seluruh staf dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
8. Kepala dan staf PPK (Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang) yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian dan memberikan data-data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini
9. Keluarga, Bapak dan Ibu yang selalu senantiasa memberikan bantuan yang berupa materi maupun imateri.
10. Teman - teman satu angkatan Teknik Sipil S1 2012 yang selalu memberi semangat dan bantuan kepada penulis.
11. Semua pihak yang tidak disebutkan dan telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini sehingga dapat berjalan dengan baik dan lancar.

Penulis hanya dapat mendoakan mereka yang telah membantu dalam segala hal yang berkaitan dengan pembuatan tugas akhir ini semoga diberikan balasan dan rahmat dari Allah SWT.

Tidak ada manusia yang sempurna, begitu juga apa yang dihasilkannya. Penyusunan tugas akhir ini pun masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan singkatnya waktu penulis untuk mengumpulkan data dilapangan. Oleh karena itu segala kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan sebagai bekal untuk pengembangan pengetahuan penulis di masa mendatang.

Semarang, Juli 2016

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Pembatasan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian	6
1.7. Hipotesis	6

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	73
5.1. Hasil Penelitian di Jalan Lingkar Weleri	73
5.1.1. Frekuensi getaran kendaraan di Jalan Lingkar Weleri (f , f_n , f_a , dan f_b).....	73
5.1.2. Spring Konstant (k)	84
5.1.3. Damping Ratio (D) di Jalan Lingkar Weleri.....	85
4.1.1. <i>Dynamic Esal Factor</i> (DEF)	86
5.2. Hasil Desain Jalan Lingkar Weleri	89
5.2.1. Data Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur.....	89
5.2.2. Perhitungan Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata.....	90
5.2.3. Perhitungan Lintas Ekuivalen	92
5.2.4. Penentuan Daya Dukung Tanah.....	93
5.2.5. Penentuan Material Perkerasan Jalan.....	94
5.2.5.1. Indeks Permukaan Awal (IPo).....	94
5.2.5.2. Indeks Permukaan Akhir (IPt).....	94
5.2.6. Penentuan Faktor Regional	95
5.2.6.1. % Kendaraan Berat	95
5.2.6.2. Curah Hujan.....	95
5.2.6.3. Kelandaian	96
5.2.7. Penentuan Indeks Tebal Perkerasan Lentur Hasil Penelitian...	96
5.2.8. Penentuan Indeks Tebal Perkerasan Lentur Keadaan Existing	100
5.2.9. Desain Tebal Perkerasan Lentur	101
5.3. Rencana Anggaran Biaya.....	105
5.4. Analisis Beban	105
BAB VI. PENUTUP	108
6.1. Kesimpulan	108
6.2. Saran.....	111
LAMPIRAN	
.....	10812



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Faktor Distribusi Lajur (Sumber: Buku Pedoman Pt T – 01 – 2002 pasal – B pasal 5.1.3.)	18
Tabel 3.2. Nilai Standar Normal Deviasi (Sumber: Buku Pedoman Pt T – 01 – 2002 pasal – B pasal 5.1.2.)	19
Tabel 3.3. Angka ekivalen (<i>E</i>) beban sumbu kendaraan (Sumber: SKBI 2.3.26.1987/SNI 03-1732-1989).....	23
Tabel 3.4. Nilai indeks permukaan awal (<i>IPo</i>) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)	26
Tabel 3.5. Nilai indeks permukaan akhir (<i>IPt</i>) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)	26
Tabel 3.6. Nilai aktor regional (<i>FR</i>) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F).....	27
Tabel 4.1. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan	36
Tabel 4.2. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Martadinati Kalibanteng Semarang, dengan meletakkan alat sensor di atas perkerasan jalan	38
Tabel 4.3. Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, Alat Terletak di Tengah Perkerasan Jalan	42
Tabel 4.4. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di bawah perkerasan jalan	43
Tabel 4.5. Rekap hasil dari perbedaan meletakkan alat sensor <i>seismic monitoring</i> di tebal perkerasan lentur Jalan Trangkil ...	43
Tabel 4.6. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Mangunsari Patemon.	45
Tabel 4.7. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di jalan Cangkiran – Ungaran Semarang	46
Tabel 4.8. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di jalan Ungaran Gunungpati	47
Tabel 4.9. Rekap hasil percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Mangunsari – Patemon, Jalan Cangkiran – Ungaran, Jalan Ungaran – Gunungpati KM 5.	47
Tabel 4.10. Konfigurasi beban sumbu (Sumber : Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83).....	51
Tabel 4.11. Faktor Esal menurut perhitungan Bina Marga.....	54
Tabel 4.12. Frekuensi getaran kendaraan ringan, mobil	59

Tabel 4.13. Frekuensi getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu	60
Tabel 4.14. Nilai fn , fa , fb , dan D	65
Tabel 4.15. Modulus Elastisitas Aspal (Sumber : Widodo dan Setyaningsih, 2011)	66
Tabel 4.16. Dimensi Kendaraan Rencana (Sumber : Standar Konstruksi dan Bangunan No. 007/BM/2009, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga)	66
Tabel 4.17. Spring konstant berdasarkan jenis kendaraan	67
Tabel 4.18. Gaya statik berdasarkan jenis kendaraan	70
Tabel 4.19. Hubungan DEF dan ESAL.....	71
Tabel 4.20. Rekap nilai DEF di Jalan Trangkil Gunungpati.....	71
Tabel 4.21. Analisis ESAL dan DEF, di Jalan Lingkar Weleri	72
Tabel 5.1. Frekuensi mobil, di Jalan Lingkar Weleri.....	75
Tabel 5.2. Frekuensi truk gandeng, di Jalan Lingkar Weleri.....	76
Tabel 5.3. Hasil perhitungan nilai f , fn , fa , dan fb	78
Tabel 5.4. Percepatan kendaraan di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal.....	80
Tabel 5.5. Kecepatan kendaraan di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal	81
Tabel 5.6. Hasil perhitungan damping ratio berdasarkan jenis kendaraan...	86
Tabel 5.7. Menentukan nilai DEF (Dynamic Esal Factor)	87
Tabel 5.8. Rekap nilai DEF.....	88
Tabel 5.9. Perbandingan antara ESAL dan DEF	88
Tabel 5.10. LHR tahun 2016 berdasarkan pengujian.....	90
Tabel 5.11. Tingkat pertumbuhan lalu lintas Kabupaten Kendal (Sumber : BPS Kabupaten Kendal)	90
Tabel 5.12. Hasil perhitungan LHR_{2017} dan LHR_{2030}	91
Tabel 5.13. Hasil perhitungan LEP dan LEA	92
Tabel 5.14. Perhitungan CBR rencana ruas Jalan Lingkar Weleri (Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)	93
Tabel 5.15. Curah hujan Kabupaten Kendal (Sumber : Dinas Pertanian, Peternakan, Perkebunan dan Kehutanan Kab. Kendal).....	95
Tabel 5.16. Rekap hasil indeks tebal perkerasan jalan lentur	100
Tabel 5.17. Koefisien kekuatan relatif bahan (Sumber : SKBI – 2.3.23.1987).....	102
Tabel 5.18. Tebal minimum lapis permukaan perkerasan dan lapis pondasi (Sumber : SKBI – 2.3.23.1987).....	103
Tabel 5.19. Volume lapis perkerasan jalan lentur.....	105
Tabel 5.20. Perbandingan antara ESAL, DEF dan beban	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Alur (<i>rutting</i>) pada badan jalan (Bakti, 2005).....	12
Gambar 2.2. Lubang pada badan jalan (Bakti, 2005)	13
Gambar 3.1. Contoh bentuk nomogram (Sumber SNI 1732 – 1989 – F)	21
Gambar 3.2. Perencanaan untuk Lintas Ekuivalen Rencana.....	22
Gambar 3.3. Korelasi CBR – DDT (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)	24
Gambar 4.1. Lokasi Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal (Sumber : Bappeda Kabupaten Kendal, Tahun 2011)	28
Gambar 4.2. Satu set alat <i>seismic monitoring</i> (Sumber : Dokumentasi pribadi)	30
Gambar 4.3. Alat GPS (Sumber : Dokumentasi pribadi).....	30
Gambar 4.4. <i>Flow chart</i> metode penelitian.....	31
Gambar 4.5. Grafik jam puncak Jalan Lingkar Weleri (Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)	32
Gambar 4.6. <i>Flow Chart</i> Cara Penggunaan Alat Seismic Monitoring	34
Gambar 4.7. Perletakan alat sensor <i>seismic monitoring</i>	35
Gambar 4.8. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati	35
Gambar 4.9. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan.....	37
Gambar 4.10. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Martadinata Kalibanteng Semarang	38
Gambar 4.11. Grafik hubungan jumlah kendaraan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan (<i>a</i>) di Jalan Martadinati Kalibanteng Semarang, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan	39
Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kendaraan Motor berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng	39
Gambar 4.13. Grafik Hubungan Kendaraan Mobil berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng	40
Gambar 4.14. Grafik Hubungan Kendaraan Truk Ringan 2 Sumbu berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng.....	40
Gambar 4.15. Perletakan alat sensor seismic monitoring di jalan Trangkil Gunungpati	42
Gambar 4.16. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di tengah perkerasan jalan	42

Gambar 4.17. Grafik Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, Alat Terletak di Bawah Perkerasan Jalan	43
Gambar 4.18. Grafik hubungan tebal lapis perkerasan jalan lentur dengan percepatan partikel tanah di Jalan Trangkil Gunungpati.....	44
Gambar 4.19. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Mangunsari Patemon, dengan meletakkan alat di bawah perkerasan jalan setebal 15 cm.	45
Gambar 4.20. Grafik percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Cangkiran-Ungaran, dengan meletakkan alat di bawah perkerasan jalan setebal 16 cm.....	46
Gambar 4.21. Grafik Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Ungaran-Gunungpati KM 5, Alat terletak di bawah perkerasan jalan setebal 18 cm.	47
Gambar 4.22. Grafik hubungan jumlah kendaraan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Mangunsari – Patemon, Cangkiran – Ungaran Semarang, Ungaran – Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di bawah tebal perkerasan jalan	48
Gambar 4.23. Perletakan Sensor Alat Seismic Monitoring	48
Gambar 4.24. Metode Pengujian Kecepatan.....	49
Gambar 4.25. Grafik getaran kendaraan mobil ringan di Jalan Trangkil.....	57
Gambar 4.26. Grafik getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu di Jalan Trangkil	57
Gambar 4.27. Detail A, Grafik Getaran Kendaraan Mobil Ringan di Jalan Trangkil	58
Gambar 4.28. Detail B, grafik getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu di Jalan Trangkil	60
Gambar 4.29. Pengolahan data di aplikasi Geopsy.....	61
Gambar 4.30. H/V toolbox untuk mencari frekuensi natural.....	62
Gambar 4.31. H/V toolbox range time.....	62
Gambar 4.32. Grafik H/V frekuensi natural kendaraan ringan, mobil.....	63
Gambar 4.33. Kurva Respon Frekuensi (FRF) (Sumber : Rifki, 2011).....	64
Gambar 4.34. Grafik H/V frekuensi natural kendaraan ringan, mobil.....	64
Gambar 4.35. Grafik hubungan spring kontan dan modulus elastisitas aspal di Jalan Trangkil Gunungpati.....	67
Gambar 4.36. Beban sumbu mobil.....	69
Gambar 4.37. Beban sumbu truk ringan 2 sumbu.....	69
Gambar 5.1. Grafik percepatan getaran di Jalan Lingkar Weleri di pukul 08.30 – 08.45	73
Gambar 5.2. Detail 2, Grafik Getaran Kendaraan Mobil.....	74
Gambar 5.3. Detail 8, grafik getaran kendaraan truk gandeng	74

Gambar 5.4. Grafik H/V frekuensi natural mobil	77
Gambar 5.5. Grafik H/V frekuensi natural truk gandeng.....	77
Gambar 5.6. Grafik hubungan frekuensi dan f_n di Jalan Lingkar Weleri	83
Gambar 5.7. Grafik hubungan frekuensi dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Lingkar Weleri	83
Gambar 5.8. Grafik hubungan kecepatan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Lingkar Weleri	83
Gambar 5.9. Grafik hubungan spring konstant dan modulus elastisitas aspal berdasarkan jenis kendaraan	84
Gambar 5.10. Perencanaan tebal perkerasan lentur di Jalan Lingkar Weleri	89
Gambar 5.11. Nomogram penelitian	99
Gambar 5.12. Potongan melintang kondisi <i>existing</i> Jalan Lingkar Weleri (Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)	100
Gambar 5.13. Detail A-A, susunan lapis perkerasan kondisi <i>existing</i> Jalan Lingkar Weleri	100
Gambar 5.14. Desain potongan melintang Jalan Lingkar Weleri	104
Gambar 5.15. Detail A-A, Susunan Lapis Perkerasan Jalan Lingkar Weleri	104
Gambar 5.16. Detail tebal lapis perkerasan keadaan <i>existing</i> dan desain penelitian di Jalan Lingkar Weleri.....	107
Gambar 6.1. Detail Tebal Perkerasan Lentur.....	109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar Kerja Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal	114
Lampiran 2. Lembar Kerja Kecepatan Kendaraan di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal	116
Lampiran 3. Data Grafik Percepatan Getaran Kendaraan.....	117
Lampiran 4. Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	126
Lampiran 5. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS).....	150
Lampiran 6. Dokumentasi	214



ABSTRAK

Kerusakan yang terjadi pada struktur perkerasan lentur pada daerah jalan Lingkar Weleri Kendal diindikasikan akibat adanya kelebihan beban kendaraan yang melintas. Pada tugas akhir ini menyajikan mengenai perhitungan dari beban yang bekerja berdasarkan asumsi beban dinamis *repetitive*. Salah satu yang diamati adalah perubahan nilai ESAL pada perencanaan perkerasan lentur. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, kerusakan jalan yang terjadi dapat diminimalisir apabila menggunakan perencanaan menggunakan nilai ESAL, tetapi kenyataannya di lapangan masih banyak terjadi kerusakan karena beban yang melewati jalan tersebut. Beban bergerak (beban dinamis) kendaraan tersebut akan dikorelasikan menjadi DEF (*Dynamic Esal Factor*), kemudian DEF tersebut akan menggantikan nilai ESAL untuk perencanaan tebal perkerasan jalan.

Jalan lingkar Weleri sering didominasi oleh kendaraan berat, sehingga menimbulkan beban berlebih (*overload*), apabila dengan beban bergerak terutama pada perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) bersifat tidak kaku dan seharusnya tidak menahan beban yang berlebih, agar umur rencana tercapai. Pengaruh beban dinamis sangat signifikan pada perkerasan lentur mulai dari beban yang ditimbulkan, hasil tebal perkerasan akibat beban dinamis tersebut, dan rencana anggaran biaya nya juga berbeda. Untuk itu perencanaan perkerasan lentur harus menggunakan asumsi beban dinamis, agar kerusakan jalan dapat diminimalisir.

Output dari alat *seismic monitoring* adalah percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan. Berdasarkan penelitian di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal, percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan terendah adalah motor, dengan nilai $0,001497 \text{ m/s}^2$, sedangkan tertinggi adalah truk semitrailer, dengan nilai $0,012212 \text{ m/s}^2$. Untuk beban kendaraan bergerak secara berulang diilustrasikan dengan jumlah getaran frekuensi tiap jenis kendaraan, nilai frekuensi getaran kendaraan terendah adalah motor, dengan nilai 23,047 Hz, sedangkan tertinggi adalah truk gandengan, dengan nilai 56,570 Hz. Serta posisi perletakan alat sensor *seismic monitoring* mempengaruhi besarnya percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan. Posisi terbesar dengan meletakkan alat sensor di bawah tebal perkerasan jalan. Hasil nilai ESAL kendaraan ringan, mobil adalah 0,00045, sedangkan untuk DEF kendaraan ringan, mobil adalah 0,02064. Dan tebal perkerasan jalan lentur menggunakan perencanaan beban ESAL adalah 32 cm, sedangkan menggunakan perencanaan DEF adalah 78 cm.

Kata Kunci : *Beban Statis, Beban Dinamis, Kerusakan Jalan, Faktor ESAL, DEF, Alat Seismic Monitoring, Perletakan Alat Sensor Seismic Monitoring, Struktur Perkerasan Jalan Lentu*

BAB I

. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Struktur perkerasan jalan adalah struktur yang terdiri dari beberapa jenis lapisan bahan yang sudah diproses. Fungsinya untuk mendukung beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan. Struktur perkerasan terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung yang berbeda-beda tiap lapisan, perkerasan harus terjamin kekuatan dan ketebalannya, sehingga mampu menahan beban (*stress*) dan tidak cepat kritis (*failure*). Tujuan utama pembuatan struktur jalan adalah untuk mengurangi tegangan atau tekanan akibat beban roda sehingga mencapai tingkat nilai beban yang dapat diterima oleh tanah yang menyokong struktur tersebut (Wignall, 2003).

Kerusakan jalan disebabkan antara lain karena beban lalu lintas berulang yang berlebihan (*overloaded*), panas/suhu udara, air dan hujan, serta mutu awal produk jalan yang jelek. Oleh sebab itu, selain direncanakan secara tepat jalan harus dipelihara dengan baik agar dapat melayani pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana. Pemeliharaan jalan rutin maupun berkala perlu dilakukan untuk mempertahankan keamanan dan kenyamanan jalan bagi pengguna dan menjaga daya tahan/keawetan sampai umur rencana (Suwardo, 2004).

Struktur perkerasan jalan dalam menjalankan fungsinya berkurang sebanding dengan bertambahnya umur perkerasan dan bertambahnya beban lalu lintas. Seiring dengan perkembangan di segala aspek kehidupan, lalu lintas akan semakin padat dan berkembang. Umur perkerasan jalan umumnya didasarkan pada jumlah kumulatif lintasan kendaraan standar CESA (*cummulative equivalent standar axle*) yang melalui perkerasan tersebut. CESA diperhitungkan dari mulai perkerasan tersebut dibangun sampai dengan perkerasan tersebut dikategorikan rusak atau habis nilai pelayanannya (Sukirman, 1999).

Jalan Pantura Kendal – Semarang – Demak sering didominasi oleh kendaraan berat, sehingga menimbulkan beban berlebih (*overload*), terutama pada perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) bersifat tidak kaku dan seharusnya tidak menahan beban yang berlebih, agar umur rencana tercapai.

Beban kendaraan seringkali dianggap beban statis pada setiap perhitungan tebal perkerasan, akan tetapi dalam kenyataannya kendaraan bergerak sehingga seharusnya beban kendaraan dianggap beban dinamis. Seharusnya perhitungannya juga harus menggunakan beban dinamis bukan menggunakan beban statis (Zazir, 1994).

Beban kendaraan yang bergerak secara berulang menimbulkan getaran pada partikel tanah maupun tebal perkerasan jalan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, akan menggunakan alat *seismic monitoring* yaitu alat untuk mendeteksi getaran beban kendaraan yang melintas pada jalan, yang berpengaruh terhadap perhitungan tebal perkerasan jalan, menggunakan Metode ASSHTO dan Metode Analisa Komponen Bina Marga Desain Perkerasan Lentur. Sehingga judul Tugas Akhir adalah evaluasi

tebal perkerasan jalan lentur akibat beban lalu lintas di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal.

1.2. Identifikasi Masalah

Pada penjelasan yang sudah diuraikan dalam latar belakang, dapat dibuat identifikasi sebagai berikut:

1. Kerusakan jalan dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*).
2. Pengaruh pembebanan kendaraan terhadap kerusakan jalan.
3. Pengaruh material perkerasan lentur terhadap tebal perkerasan dan umur rencana.
4. Output alat pendeteksi getaran kendaraan yaitu *seismic monitoring*.
5. Pengaruh beban dinamis terhadap terhadap faktor ESAL.
6. Perhitungan tebal perkerasan lentur jalan menggunakan Metode ASSHTO dan Metode Analisis Komponen Bina Marga Desain Perkerasan Lentur.

1.3. Rumusan Masalah

Tugas akhir ini dengan judul “ Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Lalu Lintas di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal ”. Dalam penulisannya menggunakan studi *literature* dengan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah output dari alat pendeteksi getaran kendaraan yaitu *seismic monitoring*?
2. Bagaimana hubungan perletakkan alat sensor *seismic monitoring* terhadap pembacaan getaran beban kendaraan?

3. Bagaimana hasil desain tebal perkerasan lentur dan rencana anggaran biaya di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal, menggunakan metode perhitungan beban kendaraan yang bergerak secara berulang, dengan alat *seismic monitoring*.
4. Berapa besar pengaruh beban lalu lintas yang bergerak secara berulang terhadap tebal perkerasan jalan lentur?
5. Bagaimana perbandingan hasil desain dengan menggunakan beban ESAL menurut Bina Marga dan beban kendaraan yang bergerak secara berulang?

1.4. Pembatasan Masalah

Dalam tugas akhir ini penulis perlu membatasi masalah, yang bertujuan agar pembahasan tidak meluas dan batasannya menjadi jelas. Adapun yang menjadi batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Data lalu lintas:
 - a. Data lalu lintas harian rata-rata (LHR) tahun 2014 dari sumber Bina Marga kota Semarang.
 - b. Jenis kendaraan yang melintas:
Motor, Kendaraan Ringan yaitu Mobil, Bus Kecil, Bus Besar, Truk Ringan 2 Sumbu, Truk Sedang 2 Sumbu, Truk 3 Sumbu, Truk Gandeng dan Truk Semitrailer
2. Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal
3. Penelitian beban kendaraan hanya beban kendaraan yang melalui Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal.

4. Evaluasi tebal perkerasan jalan lentur akibat beban dinamis menggunakan metode ASSHTO 1993 dan Metode Analisa Komponen Bina Marga Desain Perkerasan Lentur.

1.5. Tujuan Penelitian

Kerusakan jalan dapat disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah akibat adanya beban kendaraan yang bergerak (beban dinamis). Tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui output dari alat pendeteksi getaran kendaraan yaitu *seismic monitoring*.
2. Untuk mengetahui hubungan perletakkan alat sensor *seismic monitoring* terhadap pembacaan getaran beban kendaraan.
3. Untuk mengetahui hasil desain tebal perkerasan lentur dan rencana anggaran biaya di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal, menggunakan metode perhitungan beban kendaraan yang bergerak secara berulang, dengan alat *seismic monitoring*.
4. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban lalu lintas yang bergerak secara berulang terhadap tebal perkerasan jalan lentur.
5. Untuk mengetahui perbandingan hasil desain dengan menggunakan beban ESAL menurut Bina Marga dan beban kendaraan yang bergerak secara berulang.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kegunaan teoritis

Untuk menambah pengetahuan tentang perhitungan tebal perkerasan lentur jalan akibat beban dinamis bagi mahasiswa jurusan Teknik Sipil.

2. Kegunaan praktis

Sebagai bahan tambahan informasi kepada perencana atau pelaksana yang akan mengerjakan proyek perkerasan jalan lentur dengan mengidentifikasi faktor beban kendaraan terutama untuk beban dinamis menggunakan nilai DEF.

1.7. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Beban lalu lintas berpengaruh terhadap kerusakan jalan.
2. Beban lalu lintas adalah beban dinamis, sehingga mempengaruhi perubahan faktor ESAL dalam menentukan Indeks Tebal Perkerasan Lentur di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal.
3. Adanya desain ulang tebal perkerasan lentur akibat beban lalu lintas di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Jalan raya adalah suatu lintasan yang bermanfaat untuk melewatkan lalu lintas dari satu tempat ke tempat lain sebagai penghubung dalam satu daratan. Jalan raya sebagai sarana penghubung harus lancar dan aman untuk dilalui, serta memenuhi syarat-syarat secara teknis maupun ekonomis (Bakti, 2005).

Syarat-syarat umum jalan yang harus dipenuhi dapat ditinjau dari beberapa segi diantaranya : segi konstruksi, segi pelayanan, dan segi ekonomis. Segi konstruksi meliputi: kuat, awet, dan kedap air. Segi pelayanan meliputi : Rata, tidak licin, dan geometrik yang memadai. Segi ekonomis meliputi : jalan tersebut tidak mahal dan mudah dikerjakan. Persyaratan tersebut dapat dipenuhi dengan adanya desain perkerasan jalan yang sesuai dengan kondisi perencanaan atau kelas jalan, moda yang lewat, waktu pelaksanaan, dan biaya (Bakti, 2005).

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada dua jenis, yaitu : perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid Pavement*). Selain dari dua jenis tersebut, sekarang telah banyak digunakan jenis gabungan (*composite pavement*), yaitu perpaduan antara lentur dan kaku. Perencanaan konstruksi perkerasan jalan juga dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu : perencanaan jalan baru dan perencanaan jalan lama (*overlay*).

Perencanaan konstruksi atau tebal perkerasan jalan, dapat dilakukan dengan banyak metoda, antara lain : AASHTO dan *The Asphalt Institute* (Amerika), *Road Note* (Inggris), NAASRA (Australia) dan Bina Marga (Indonesia).

Dalam penyusunan tugas akhir direncanakan perkerasan lentur jalan dengan menggunakan Metoda perencanaan untuk Perkerasan Lentur menggunakan cara ASSHTO 1993 dan perencanaan tebal perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia.

2.2. Jenis Kerusakan Jalan dan Metode Perbaikan

Kerusakan jalan adalah rusaknya permukaan jalan akibat beberapa faktor sebelum umur perencanaan yang menyebabkan beberapa kerugian bagi pengguna jalan. Kerusakan jalan menurut Winarto (2012, dalam Hardiani 2008) merupakan perubahan bentuk permukaan jalan yang mengakibatkan penurunan kualitas layan pada usia layannya sebagai akibat ketidak mampuan suatu komponen berfungsi dengan baik.

Penanganan konstruksi kerusakan perkerasan jalan berupa pemeliharaan, penunjang, peningkatan, ataupun rehabilitasi. Selanjutnya, kerusakan-kerusakan yang timbul pada perkerasan tersebut dievaluasi faktor pemicu serta efeknya.

Kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh :

- Lalu lintas diperhitungkan berdasarkan peningkatan beban dan repetisi beban
- Air yang dapat berasal dari air hujan dan sistem drainase jalan yang tidak baik.
- Material konstruksi perkerasan, sifat material dan sistem pengolahan bahan yang tidak baik

- Iklim Indonesia beriklim tropis dimana suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi.
- Kondisi tanah dasar yang tidak stabil, akibat sistem pelaksanaan yang kurang baik, atau sifat tanah dasarnya yang memang kurang baik.
- Proses pemadatan lapisan di atas tanah yang kurang baik

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan Nomor : 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, kerusakan jalan dapat dibedakan sebagai berikut :

A. Retak (*cracking*)

Retak yang terjadi pada lapisan permukaan jalan dapat dibedakan atas :

1. Retak halus (*hair cracking*) memiliki lebar celah lebih kecil atau sama dengan tiga milimeter. penyebabnya adalah bahan perkerasan yang kurang baik, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil.
2. Retak kulit buaya (*alligator crack*) memiliki lebar celah lebih besar atau sama dengan tiga mm. Saling berangkai membentuk serangkaian kotak-kotak kecil yang menyerupai kulit buaya. Penyebabnya adalah bahan perkerasan yang kurang baik, pelapukan permukaan, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil, atau bahan lapis pondasi dalam keadaan jenuh air (air tanah naik). Retak kulit buaya jika tidak diperbaiki dapat diresapi air sehingga lama kelamaan terlepas butir-butirnya hingga menimbulkan lubang.

3. Retak pinggir (*edge crack*) yaitu retak memanjang jalan, dengan atau tanpa cabang yang mengarah ke bahu dan terletak dekat bahu. Penyebabnya adalah tidak baiknya sokongan dari arah samping, drainase kurang baik, terjadi penyusutan tanah, atau terjadinya *settlement* di bawah daerah tersebut.
4. Retak sambungan bahu dan perkerasan (*edge joint crack*) yaitu retak memanjang yang umumnya terjadi pada sambungan bahu dengan perkerasan. Retak dapat disebabkan oleh kondisi drainase dibawah bahu jalan lebih buruk dari pada di bawah perkerasan, terjadinya *settlement* di bahu jalan, penyusutan material bahu atau perkerasan jalan, atau akibat lintasan truk atau kendaraan berat di bahu jalan.
5. Retak sambungan jalan (*lane joint crack*) yaitu retak memanjang yang terjadi pada sambungan dua jalur lalu lintas. Penyebabnya yaitu tidak baiknya ikatan sambungan kedua jalur.
6. Retak sambungan pelebaran jalan (*widening crack*) adalah retak memanjang yang terjadi pada sambungan antara perkerasan lama dengan perkerasan pelebaran. Penyebabnya yaitu perbedaan daya dukung di bawah bagian pelebaran dan bagian jalan lama atau dapat juga disebabkan oleh ikatan antara sambungan tidak baik.
7. Retak refleksi (*reflection crack*) yaitu retak memanjang, melintang, diagonal, atau membentuk kotak. Terjadi pada lapis tambahan (*overlay*) yang menggambarkan pola retakan di bawahnya.

8. Retak susut (*shrinkage cracks*) yaitu retak yang saling bersambungan membentuk kotak-kotak besar dengan sudut tajam. Penyebabnya ialah perubahan volume pada lapisan permukaan yang memakai aspal dengan penetrasi rendah, atau perubahan volume pada lapisan pondasi dan tanah dasar.
9. Retak seling (*slippage crack*) yaitu retak yang bentuknya melengkung seperti bulan sabit, yang disebabkan kurang baiknya ikatan antara lapis permukaan dan lapis di bawahnya.

Pada umumnya perbaikan kerusakan jenis retak dilakukan dengan mengisi celah retak dengan campuran pasir dan aspal. Bila retak telah meluas dan kondisinya cukup parah maka dilakukan pembongkaran lapisan yang retak tersebut untuk kemudian diganti dengan lapisan yang lebih baik.

B. Distorsi (*distortion*)

Distorsi adalah perubahan bentuk yang dapat terjadi akibat lemahnya tanah dasar, pemadatan yang kurang pada lapis pondasi, sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Distorsi dapat dibedakan atas :

1. Alur (*ruts*), yang terjadi pada lintasan roda sejajar dengan as jalan. Penyebabnya kerusakan ini adalah lapis perkerasan yang kurang padat, dengan demikian terjadi tambahan pemadatan akibat repetisi beban lalu lintas pada lintasan roda. Perbaikan dapat dilakukan dengan memberi lapisan tambahan dari lapis permukaan yang sesuai. Alur pada badan jalan dapat dilihat pada Gambar 2.1. sebagai berikut :



Gambar 2.1. Alur (*rutting*) pada badan jalan (Bakti, 2005)

2. Keriting (*corrugation*), alur yang terjadi melintang jalan. Penyebabnya ialah rendahnya stabilitas campuran yang dapat berasal dari terlalu tingginya kadar aspal, terlalu banyak mempergunakan agregat berbentuk bulat dan berpermukaan licin, atau aspal yang dipergunakan mempunyai penetrasi yang tinggi.
3. Sungkur (*shoving*), deformasi plastis yang terjadi setempat di tempat kendaraan sering berhenti, kelandaian curam, dan tikungan tajam.
4. Amblas (*grade depressions*), terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Amblas dapat terdeteksi dengan adanya air yang tergenang. Penyebab amblas adalah beban kendaraan yang melebihi apa yang direncanakan, pelaksanaan yang kurang baik, atau penurunan bagian perkerasan dikarenakan tanah dasar mengalami *settlement*.
5. Jembul (*upheaval*), terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Hal ini terjadi akibat adanya pengembangan tanah dasar pada tanah dasar ekspansif.

Pada umumnya perbaikan kerusakan jenis distorsi dilakukan dengan cara membongkar bagian yang rusak dan melapisnya kembali.

C. Cacat Permukaan (*Desintegration*)

Yang termasuk dalam cacat permukaan ini adalah :

1. Lubang (*potholes*) berbentuk serupa mangkuk, memiliki ukuran bervariasi dari kecil sampai besar yang mampu menampung dan meresapkan air ke dalam lapis permukaan yang menyebabkan semakin parahnya kerusakan jalan. Lubang pada jalan dapat dilihat pada **Gambar 2.2.** di bawah ini:



Gambar 2.2. Lubang pada badan jalan (Bakti, 2005)

2. Pelepasan butir (*raveling*), memiliki akibat yang sama dengan yang terjadi pada jalan berlubang. Perbaikan dilakukan dengan memberikan lapisan tambahan di atas lapisan yang mengalami pelepasan butir setelah lapisan tersebut dibersihkan dan dikeringkan.
3. Pengelupasan lapisan permukaan (*stripping*), dapat disebabkan oleh kurangnya ikatan antara lapis permukaan dan lapis dibawahnya, atau

terlalu tipisnya lapis permukaan. Perbaikan dilakukan dengan cara diratakan kemudian dipadatkan dengan lapisan baru.

D. Pengausan (*Polished Aggregate*)

Pengausan menyebabkan permukaan jalan licin yang membahayakan kendaraan. Penyebabnya adalah karena agregat berasal dari material yang tidak tahan aus terhadap roda kendaraan, atau agregat yang dipergunakan berbentuk bulat dan licin, tidak berbentuk cubical.

E. Kegemukan (*Bleeding or Flushing*)

Penyebab kegemukan (*bleeding*) ialah pemakaian kadar aspal yang tinggi pada campuran aspal yang mengakibatkan permukaan jalan menjadi licin, khususnya pada temperature tinggi aspal menjadi lunak dan menimbulkan jejak roda. Perbaikan dilakukan dengan mengangkat lapis aspal dan kemudian memberi lapisan penutup atau menaburkan agregat panas yang kemudian dipadatkan.

F. Penuruan pada Bekas Penanaman Utilitas (*Utility Cut Depression*)

Penuruan lapisan perkerasan ini terjadi akibat pemadatan yang tidak memenuhi syarat setelah dilakukannya penanaman utilitas. Perbaikan dilakukan dengan membongkar kembali dan mengganti dengan lapis yang sesuai.

2.3. Dasar Teori Perkerasan Lentur

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987) yang dimaksud dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir

sebagai lapisan dibawahnya. Perkerasan lentur jalan dibangun dengan susunan sebagai berikut:

1. Lapis permukaan (*surface course*), yang berfungsi untuk:
 - a. Memberikan permukaan yang rata bagi kendaraan yang melintas diatasnya
 - b. Menahan gaya vertikal, horisontal, dan getaran dari beban roda, sehingga harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan
 - c. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi lapisan di bawahnya
 - d. Sebagai lapisan aus.
2. Lapis pondasi atas (*base course*), yang berfungsi untuk:
 - a. Mendukung kerja lapis permukaan sebagai penahan gaya geser dari beban roda, dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya
 - b. Memperkuat konstruksi perkerasan, sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan
 - c. Sebagai lapis peresapan untuk lapisan pondasi bawah
3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*), yang berfungsi untuk:
 - a. Menyebarkan tekanan yang diperoleh ke tanah
 - b. Mengurangi tebal lapis pondasi atas yang menggunakan material berkualitas lebih tinggi sehingga dapat menekan biaya yang digunakan dan lebih efisien
 - c. Sebagai lapis peresapan air

- d. Mencegah masuknya tanah dasar yang berkualitas rendah ke lapis pondasi atas
- e. Sebagai lapisan awal untuk melaksanakan pekerjaan perkerasan jalan

Banyak metode yang dapat dipergunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar. Di Indonesia daya dukung tanah dasar (DDT) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*), yaitu nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Menurut Basuki (1998, dalam Haekal 2005) nilai daya dukung tanah dasar (DDT) pada proses perhitungan perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen sesuai dengan SKBI-2.3.26.1987 dapat diperoleh dengan menggunakan rumus konversi nilai CBR tanah dasar.

2.4. Beban Dimanis Kendaraan

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu perhitungan struktur perkerasan jalan seringkali dianggap menerima beban statis, sehingga dalam perhitungan tebal perkerasan jalan beban lalu lintas tersebut dianggap statis. Akan tetapi dalam kasus sebenarnya di lapangan beban lalu lintas bergerak, jadi dapat di simpulkan bahwa beban yang diterima perkerasan jalan adalah beban yang bergerak atau dinamis.

Efek beban dinamis atau beban yang bergerak tidak diakui sampai pertengahan abad ke-19. Runtuhnya Jembatan *Stephenson Bridge* di Sungai Dee di Chester di Inggris pada 1847 memicu penelitian tentang beban dinamis. Penelitian tersebut menjadi penelitian pertama yang resmi membahas masalah beban yang bergerak atau beban dinamis. Sejarah ini dicatat oleh Timoshenko.

Pernah dilakukan uji coba lapangan oleh Sebaaly (1991, dalam Zazir 1994) di mana jalan diukur dengan alat yang diletakkan dibawah jalan dan truk semi trailer bergerak di atas jalan tersebut. Regangan yang terhitung jelas menunjukkan bahwa efek dinamis dari beban sangat penting dan tidak boleh diabaikan. Respon dari getaran jalan menunjukkan hasil yang kompleks dari interaksi antara as roda kendaraan dan jalan. Besar regangan itu bervariasi tergantung pada ketebalan jalan, kecepatan kendaraan, jenis poros, dan material perkerasan jalan. Respon tegangan yang dihasilkan oleh poros tunggal secara substansial berbeda dari yang dihasilkan oleh poros ganda. Tanggapan regangan dari konfigurasi poros ganda adalah hasil dari interaksi yang kompleks antara as roda depan dan belakang. Sifat-sifat lapisan bervariasi dan frekuensi yang berubah seiring dengan kecepatan beban.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode ASSHTO 1993

Struktur Number (SN) atau dalam istilah Bahasa Indonesia dikenal indeks tebal perkerasan jalan (ITP) dapat dicari menggunakan persamaan SN dari AASHTO. Persamaan *Struktural Number* (SN) untuk perkerasan lentur dari AASHTO 1993 dapat dilihat sebagai berikut :

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{IP_o - IP_t}{IP_o - IP_f} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_r - 8.07 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

- W_{18} = kumulatif beban gandar standar selama umur perencanaan (CESA), yang didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

$$W_{18} = D_D D_L \check{W}_{18} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan :

D_D = Faktor distribusi arah (0.3 – 0.7)

D_L = Faktor distribusi lajur, yang dapat dicari menggunakan Tabel 3.1. di bawah ini :

Tabel 3.1. Faktor Distribusi Lajur (Sumber: Buku Pedoman Pt T – 01 – 2002 pasal – B pasal 5.1.3.)

Jumlah lajur per arah	% beban gandar standar dalam lajur rencana
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

$$\check{W}_{18} = \sum LHR \times Esal \text{ faktor} \times 365 \times 10 \times FR \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

- Z_r = Standar Normal Deviasi, yang dapat dicari menggunakan Tabel 3.2. sebagai berikut:

Tabel 3.2. Nilai Standar Normal Deviasi (Sumber: Buku Pedoman Pt T – 01 – 2002 pasal – B pasal 5.1.2.)

Klasifikasi Jalan	R%	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteri	80 - 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 90

R (%)	Z_R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,056
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

- S_0 = Gabungan *standart error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja (0.3 – 0.4)
- SN = *Structural Number* atau tebal perkerasan
- IP_0 = Indeks permukaan awal
- IP_t = Indeks permukaan akhir
- IP_f = Indeks permukaan jalan hancur (*minimum 1.5*)
- M_r = Modulus resilien, yang didapat dari persamaan berikut :
 $(M_r = 1500 \times CBR)$ (2.4)

3.2. Metode Bina Marga

3.2.1. Metoda Analisis

Metoda analisa komponen Bina Marga merupakan metoda perencanaan tebal konstruksi perkerasan secara empiris. Metoda ini merupakan metode penyesuaian rumus dengan hasil grafis menggunakan nomogram (Bakti, 2005). Maka berdasarkan uji persamaan sesuai dengan nomogram yang ada, dilakukan penyesuaian rumus berdasarkan ASSHTO 1993 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \log W_{t18} = & 9,36 \log \left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \frac{\text{Log} \frac{(IP_0 - IPT)}{(IP_0 - 1,5)}}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} \\ & + 0,372(DDT - 3) \dots\dots\dots (3.5) \end{aligned}$$

Dengan :

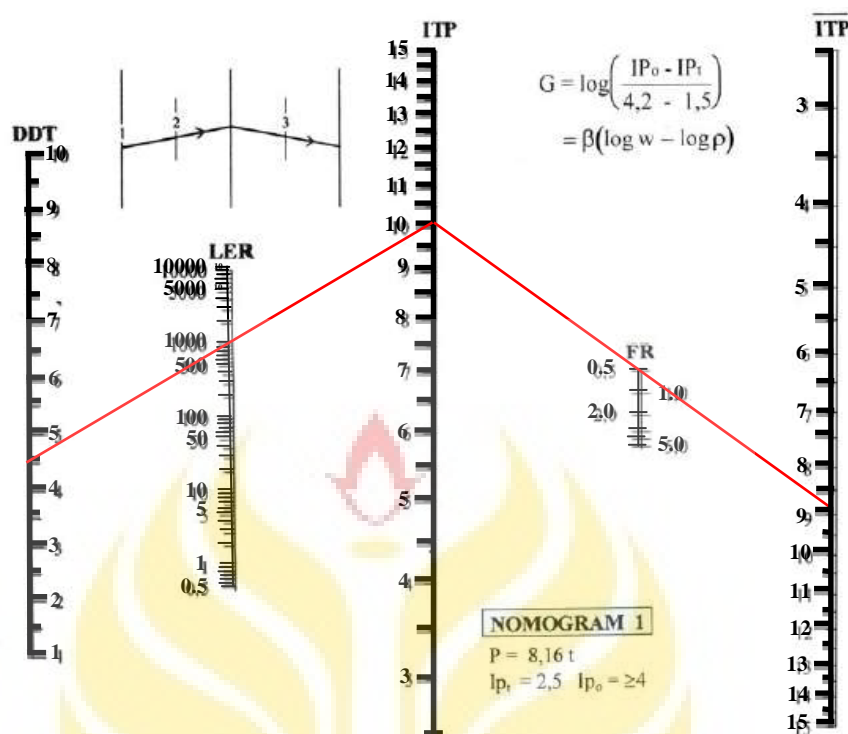
$$\log W_{t18} = \log(LEP \times 365 \times 10 \times FR)$$

DDT = Daya Dukung Tanah

FR = Faktor Regional

3.2.2. Secara Grafis

Selain dengan rumus-rumus diatas tebal perkerasan lentur jalan dapat dicari menggunakan grafik nomogram, Berikut merupakan beberapa contoh nomogram untuk mencari ITP dapat dilihat pada Gambar 3.1.:



Gambar 3.1. Contoh bentuk nomogram (Sumber SNI 1732 – 1989 – F)

Dari Gambar 3.1. tentang nomogram dijelaskan bahwa data yang dibutuhkan untuk mencari Indeks Tebal Perkerasan (ITP) adalah DDT (Daya Dukung Tanah), LER (Lintas Ekuivalen Rencana), FR (Faktor Regional) serta IPT (Indeks Perkerasan Akhir) dan IPO (Indeks Perkerasan Awal). Sebagai contoh nomogram diatas untuk nilai DDT = 4,5 , LER = 1000, FR = 0,5 , IPT = 2,5 serta IPO \geq 4, maka didapat ITP yang sebenarnya adalah 9.

3.3. Faktor Pengaruh Tebal Perkerasan Lentur

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan bahwa Indeks Tebal Perkerasan (ITP) di Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

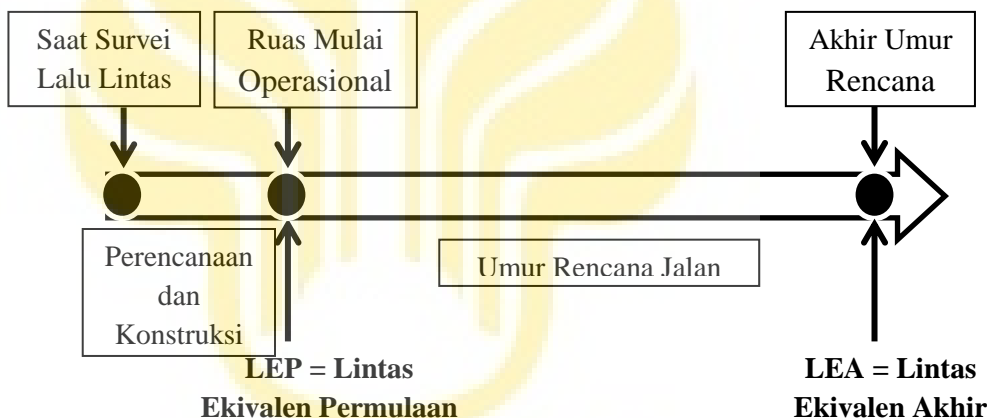
3.3.1. Beban Kendaraan Bermotor yang di tunjukan dengan W_{18} dan LER

Metode ASSHTO 1993 :

W_{18} , merupakan kumulatif beban gandar standar selama umur perencanaan (CESA), dipengaruhi oleh beban sumbu kendaraan Angka ekivalen (Esal Faktor) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan).

Metoda Bina Marga :

LER adalah Lintas Ekivalen Rencana yang perencanaannya dapat dilihat pada Gambar 3.2. sebagai berikut :



Gambar 3.2. Perencanaa untuk Lintas Ekivalen Rencana

Rumus untuk perencana Lintas Ekivalen Rencana (LER) sebagai berikut:

$$LER = LET \frac{UR}{10} \dots\dots\dots (3.6.)$$

$$LET = \frac{1}{2}(LEP + LEA) \dots\dots\dots (3.7.)$$

$$LEA = LEP(1 + i)^n \dots\dots\dots (3.8.)$$

$$LEP = (\sum LHR_i \times ESAL_i) C_i \dots\dots\dots (3.9.)$$

Dengan :

- LER = Lintas Ekivalen Rencana
- LET = Lintas Ekivalen Tengah
- LEA = Lintas Ekivalen Akhir
- LEP = Lintas Ekivalen Permulaan
- UR = Umur Rencana Jalan
- $ESAL$ = Faktor Standar Axel Load

C = Koefisien Distribusi Lajur

LER diperoleh dari lintas ekuivalen tengah (*LET*) dikalikan umur rencana jalan yang akan direncanakan kemudian dibagi dengan 10. Sedangkan LET diperoleh dari rata-rata lintas ekuivalen permulaan (*LEP*) dan lintas ekuivalen rencana (*LER*). Untuk mencari nilai Esal dari Tabel 3.3. yang dikeluarkan oleh Bina Marga seperti di bawah ini :

Tabel 3.3. Angka ekuivalen (*E*) beban sumbu kendaraan (Sumber: SKBI 2.3.26.1987/SNI 03-1732-1989)

Golongan Kendaraan (Beban satu sumbu)		Angka Ekuivalen	
Kg	Lbs	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4148	0,9820
16000	35276	14,2712	1,2712

3.3.2. Daya Dukung Tanah (DDT)

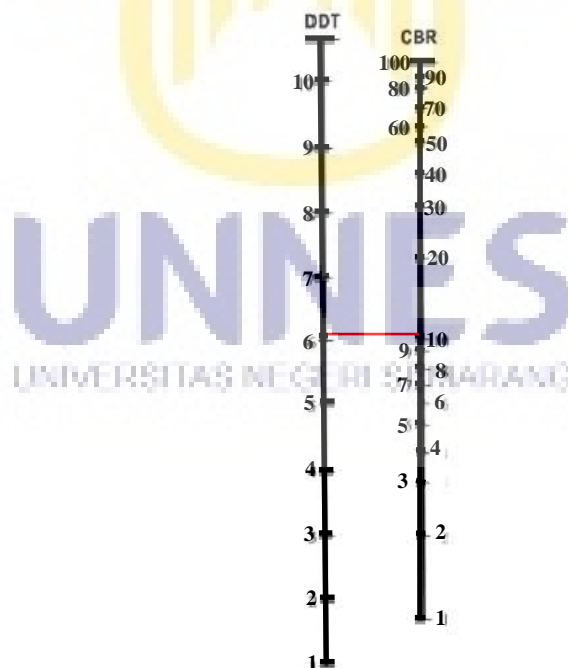
Metode ASSHTO 1993 :

M_r atau *Modulus Resilien* adalah parameter tanah dasar yang digunakan dalam perencanaan kekuatan dan keawetan. Konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat - sifat dan daya dukung tanah dasar. *Modulus resilien* (M_r) tanah dasar dapat diperkirakan dari nilai CBR, dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_r = 1500 \times CBR \dots\dots\dots (3.4)$$

Metoda Bina Marga:

Ditetapkan berdasarkan grafik korelasi antara CBR dengan DDT, dapat dilihat pada **Gambar 2.6.** di bawah ini :



Gambar 3.3. Korelasi CBR – DDT (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)

Berdasarkan grafik korelasi diatas apabila nilai CBR = 10% maka didapat nilai DDT (Daya Dukung Tanah) sebesar 6. Untuk korelasi nilai CBR – DDT selain dengan grafik dapat dicari juga menggunakan persamaan garis berdasarkan grafik yang dapat dirumuskan dengan interpolasi titik menjadi persamaan rumus 3.11 dan 3.12 sebagai berikut :

1. Untuk $CBR < 10$, maka digunakan persamaan :

$$DDT = 1,71428571 + (1,89228309 \times \ln(CBR)) \dots\dots\dots (3.11)$$

2. Untuk $CBR \geq 10$, maka digunakan persamaan :

$$DDT = 1,64285714 + (1,89228309 \times \ln(CBR)) \dots\dots\dots (3.12)$$

3.3.3. Material Perkerasan Jalan

Material perkerasan jalan ditunjukkan oleh :

1. *I_{Po}* adalah indeks permukaan awal yaitu nilai kerataan / kehalusan serta kekokohan permukaan jalan yang berkaitan dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat. Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (*I_{Po}*) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan yang meliputi kerataan, kehalusan, serta kekokohan pada awal umur rencana. Untuk nilai *I_{Po}* dapat dilihat dari Tabel 3.4. di bawah ini:

Tabel 3.4. Nilai indeks permukaan awal (*IP_o*) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)

Jenis Lapis Permukaan	<i>IP_o</i>	<i>Roughness</i> (mm/km)
Laston	≥ 4	≤ 1000
	3,9 - 3,5	> 1000
Lasbutag	3,9 - 3,5	≤ 2000
	3,4 - 3,0	> 2000
HRA	3,9 - 3,5	≤ 2000
	3,4 - 3,0	> 2000
Burda	3,9 - 3,5	< 2000
Burtu	3,4 - 3,0	< 2000
Lapen	3,4 - 3,0	≥ 3000
	2,9 - 2,5	> 3000
Latasbum	2,9 - 2,5	
Buras	2,9 - 2,5	
Latasir	2,9 - 2,5	
Jalan Tanah	$\leq 2,4$	
Jalan Kerikil	$\leq 2,4$	

Sebagai contoh untuk jenis lapis permukaan laston maka mempunyai nilai *IP_o* ≥ 4 dan mempunyai nilai kekasaran sebesar ≤ 1000 .

2. *IP_t* adalah nilai indeks permukaan akhir nilai *IP_t* ditentukan dari nilai LER (Lintas Ekuivalen Rencana) untuk nilai dari *IP_t* dapat dilihat dari Tabel 3.5. di bawah ini :

Tabel 3.5. Nilai indeks permukaan akhir (*IP_t*) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2,0	
100 – 1000	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	
> 1000		2,0 – 2,5	2,5	2,5

Nilai *IP_t* lebih kecil dari 1,0 menyatakan permukaan jalan dalam kondisi rusak berat dan amat mengganggu lalu lintas kendaraan yang melewatinya. Tingkat pelayanan jalan terendah masih mungkin dilakukan dengan nilai *IP_t* sebesar 1,5. tingkat pelayanan jalan masih

cukup mantap dinyatakan dengan nilai IPt sebesar 2,0. sedangkan nilai IPt sebesar 2,5 menyatakan permukaan jalan yang masih baik dan cukup stabil.

3.3.4. Faktor Regional (*FR*)

FR merupakan keadaan lapangan yang dipengaruhi oleh bentuk alinyemen (kelandaian dan tikungan), persentase kendaraan berat dan yang berhenti serta iklim (curah hujan). Dapat dilihat pada Tabel 3.6. sebagai berikut :

Tabel 3.6. Nilai aktor regional (*FR*) (Sumber: SNI 1732 – 1989 – F)

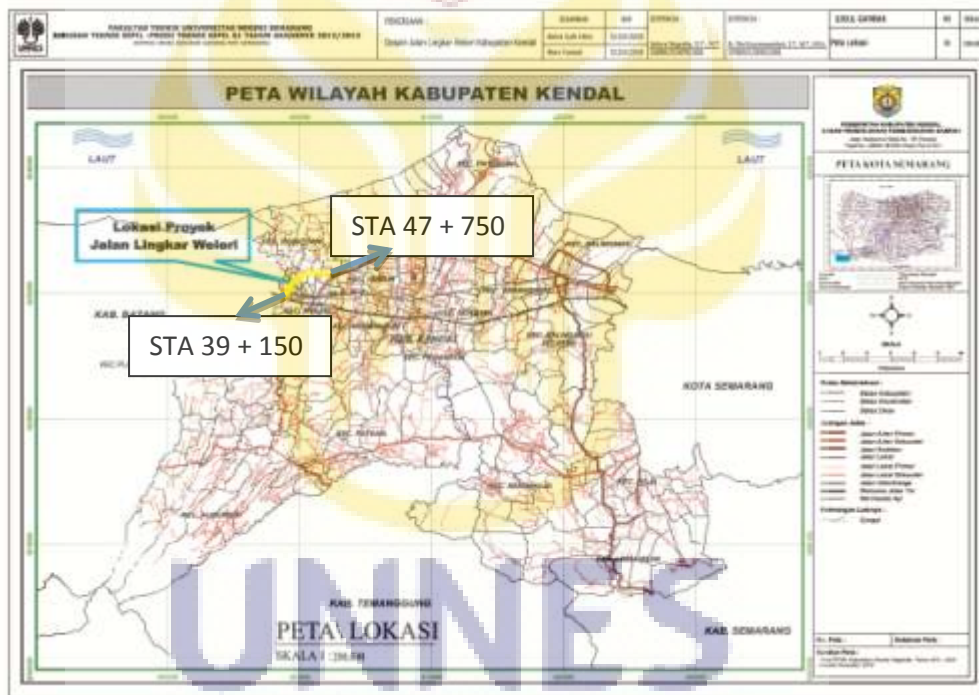
	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (< 6%-10%)		Kelandaian III (>10%)	
	%		%		%	
	Kendaraan Berat		Kendaraan Berat		Kendaraan Berat	
Curah Hujan	≤ 30 %	> 30%	≤ 30 %	> 30%	≤ 30 %	> 30%
Iklim I < 900 mm/tahun	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim II ≥ 900 mm/tahun	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan di lokasi studi yaitu Jalan Raya Lingkar Weleri Kabupaten Kendal. Pada ruas jalan di STA 39+150 – 47+750. Lokasi dapat dilihat pada Gambar 4.1. sebagai berikut :



Gambar 4.1. Lokasi Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal (Sumber : Bappeda Kabupaten Kendal, Tahun 2011)

Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 4 Mei 2016. Dengan perletakan alat getaran *seismic monitoring* di koordinat S 06°57'35,0" dan E110°03'39,6".

4.2. Jenis Pengujian yang Dilakukan

Jenis pengujian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pengujian yang pertama adalah pengujian percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di struktur perkerasan jalan, menggunakan alat *seismic monitoring*, pengujian ini dilakukan selama 8 jam.
2. Pengujian yang kedua adalah perhitungan kendaraan yang lewat di Jalan Lingkar Weleri Kendal (perhitungan LHR) dilakukan selama 8 jam.
3. Pengujian yang ketiga adalah perhitungan kecepatan kendaraan.

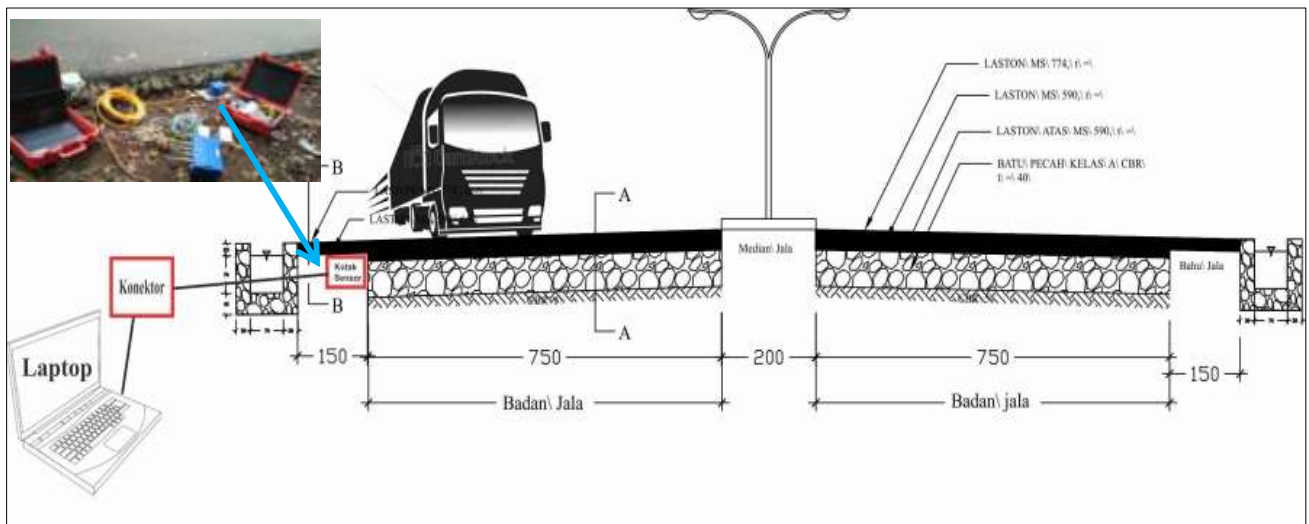
4.3. Survei Awal dan Perizinan

Survey awal lokasi studi dilakukan dalam rangka mencari informasi awal yang berkaitan dengan objek penelitian dan keadaan lingkungan sekitarnya. Serta menentukan salah satu titik dalam ruas jalan lingkar weleri, untuk penempatan alat *seismic monitoring*, dan menghitung jumlah lalu lintas dalam sehari.

Kemudian dilanjutkan dengan proses perizinan yang ditujukan kepada pihak Bina Marga Provinsi Semarang dan Kabupaten Kendal, sehingga kegiatan penelitian yang akan dilakukan dapat berjalan dengan lancar.

4.4. Peralatan Pengujian Lapangan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian adalah *seismic monitoring* untuk mengetahui getaran kendaraan, alat perekam untuk mengetahui getaran secara visual. Alat *seismic monitoring* dapat dilihat pada Gambar 4.2. sebagai berikut :



Gambar 4.2. Satu set alat *seismic monitoring* (Sumber : Dokumentasi pribadi)

Pada Gambar 4.2. dapat dijelaskan ketika suatu kendaraan melewati alat sensor *seismic monitoring* maka percepatan dari partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas tersebut akan terekam dan kemudian diteruskan ke kotak konektor, dari kotak konektor kemudian akan diteruskan ke laptop agar dapat terbaca. Selanjutnya alat yang digunakan adalah GPS, untuk mengetahui letak titik koordinat alat *seismic monitoring*. Alat GPS dapat dilihat pada Gambar 4.3. sebagai berikut :

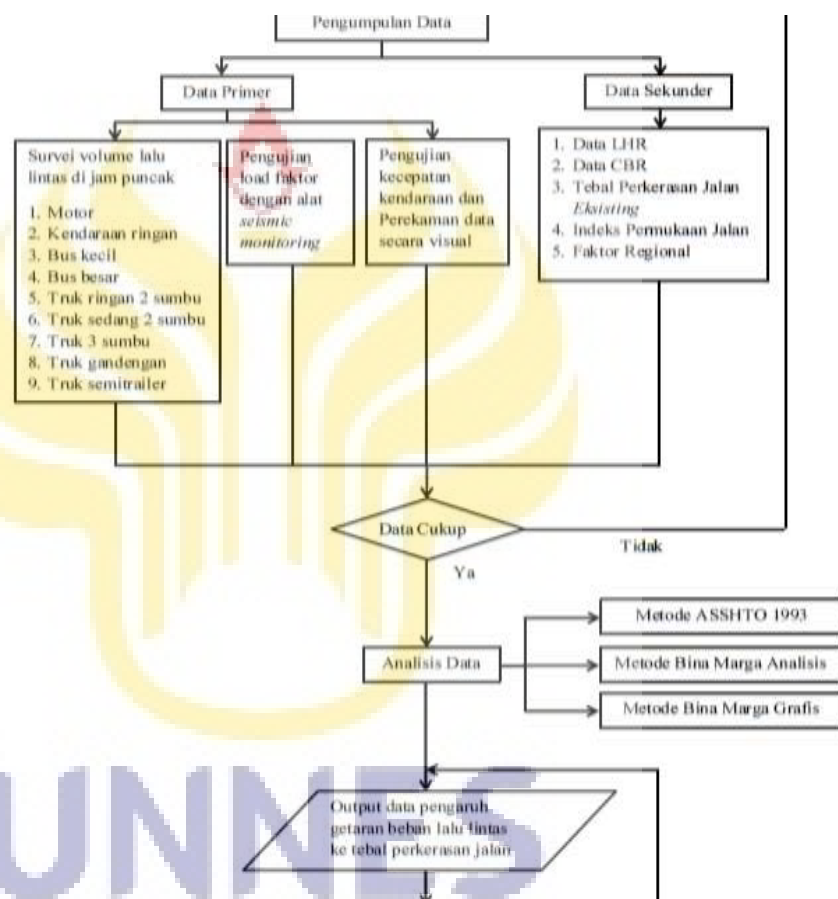


Gambar 4.3. Alat GPS (Sumber : Dokumentasi pribadi)

4.5. *Flow Chart* Alur Penelitian

Beban lalu lintas berlebih berulang yang melintas pada struktur perkerasan lentur diindikasikan mempengaruhi tebal perkerasan. . Kendaraan lalu lintas yang bergerak melewati struktur perkerasan lentur, memberikan efek beban lalu lintas itu

bekerja secara dinamis, dan menimbulkan getaran pada struktur perkerasan tersebut. Untuk memperjelas arah penelitian, maka alur penelitian yang dilaksanakan pada Tugas Akhir ini digambarkan dalam *Flow chart* alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. sebagai berikut :



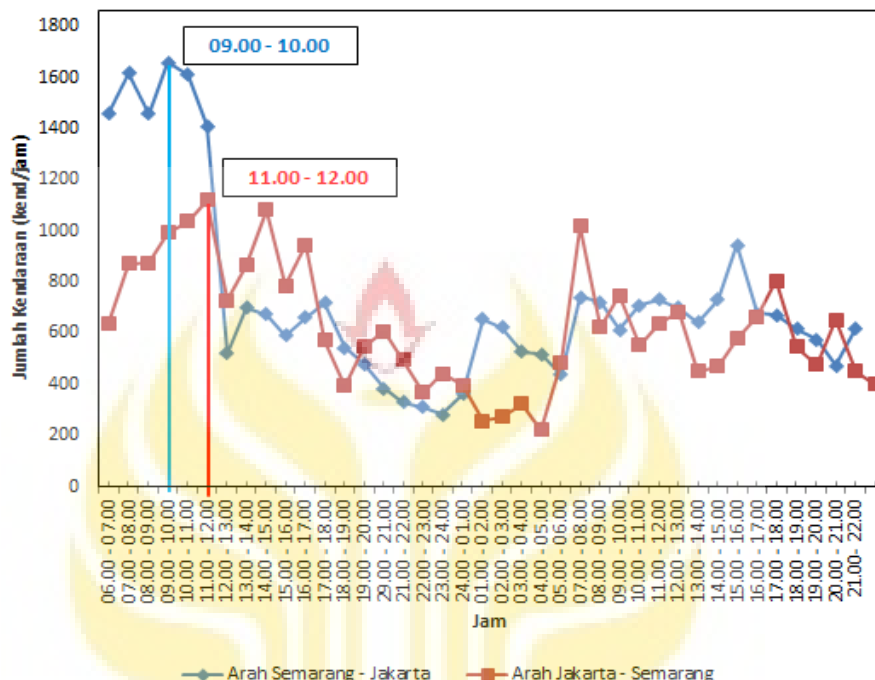
Gambar 4.4. *Flow chart* metode penelitian

4.6. Data Primer

4.6.1. Survei Lalu Lintas di Jam Puncak

Survei lalu lintas dilaksanakan di jam puncak bertujuan untuk mengetahui volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) di Jalan Lingkar Weleri, sehingga saat dilakukan pengamatan dapat dipilih waktu yang tepat untuk penelitian. Berdasarkan data sekunder LHR, yang didapat dari PPK.

Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang, jam puncak pada Jalan Lingkar Weleri dapat dilihat pada Gambar 4.5. sebagai berikut.



Gambar 4.5. Grafik jam puncak Jalan Lingkar Weleri (Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.5. survei dilakukan selama 40 jam di *weekday* dan *weekend*, pada dua jalur, yaitu arah Semarang menuju Jakarta dan arah Jakarta menuju Semarang. Dari data di atas dapat diambil kesimpulan bahwa jam puncak dari satu jalur, arah Jakarta menuju Semarang adalah pukul 11.00 – 12.00 WIB, dalam tugas akhir ini dilakukan pengamatan satu jalur arah Jakarta menuju Semarang, selama 8 jam, yaitu empat jam sebelum jam puncak dan empat jam sesudah jam puncak. Sehingga untuk pengamatan di Jalan Lingkar Weleri yaitu pukul 07.00 WIB – 15.00 WIB. Ruas yang dilakukan penelitian yaitu di STA 43+500 – 47+500. Pengukuran

pertama yaitu dengan memakai alat GPS (*Global Positioning System*) untuk menentukan posisi titik ikat pada koordinat global perletakan alat *seismic monitoring*, serta ruas jalan yang dilakukan pengamatan.

4.6.2. Pengujian load faktor dengan *seismic monitoring*

Pengujian load faktor menggunakan alat *seismic monitoring*, bertujuan untuk mengetahui getaran partikel tanah akibat beban kendaraan yang lewat. Kegunaan dilakukan pengujian load faktor adalah untuk mengetahui beban kendaraan lalu lintas, serta membuktikan bahwa beban kendaraan itu bergerak (beban dinamis) bukan merupakan beban statis yang berulang.

Pengujian dilaksanakan selama 8 jam di jam puncak *weekday*. Cara-cara dalam pengambilan data menggunakan *seismic monitoring* sebagai berikut :

- a. *Setting* alat *seismic monitoring* terlebih dahulu.
- b. Pasangkan semua kabel sensor, kabel LAN dan lain-lain.
- c. Letakkan alat sensor getaran di bahu jalan dengan jarak antara 2 sampai 10 m dari jalan.
- d. Hitung kendaraan yang melewati alat sensor getaran tersebut.
- e. Amati getaran yang diakibatkan beban kendaraan dan akan ditampilkan oleh laptop yang sudah terhubung dengan alat sensor getaran.
- f. Pengambilan data dilakukan dua jam sebelum jam puncak dan dua jam setelah jam puncak.

- g. Setelah pengambilan data selesai maka kita analisis menggunakan aplikasi Geo DAS untuk mengetahui berapa besar getaran yang terjadi. Flow Chart tata cara penggunaan alat seismic monitoring juga dapat dilihat pada Gambar 4.6. sebagai berikut :



Gambar 4.6. Flow Chart Cara Penggunaan Alat Seismic Monitoring

Sebelum melakukan penelitian di Jalan Lingkar Weleri, telah dilakukan pengamatan di beberapa jalan, dengan alat *seismic monitoring*. Pengamatan dilakukan di Jalan Trangkil Gunungpati, Jalan Martadinata Semarang, Jalan Mangunsari Patemon, Jalan Cangkiran – Ungaran, dan Jalan Ungaran – Gunungpati. Sehingga dari hasil pengamatan tersebut, dapat dijadikan acuan untuk perletakan sensor getaran alat *seismic monitoring* yang paling efektif. Beberapa hasil dari pengamatan adalah sebagai berikut :

4.6.2.1. Perletakan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan

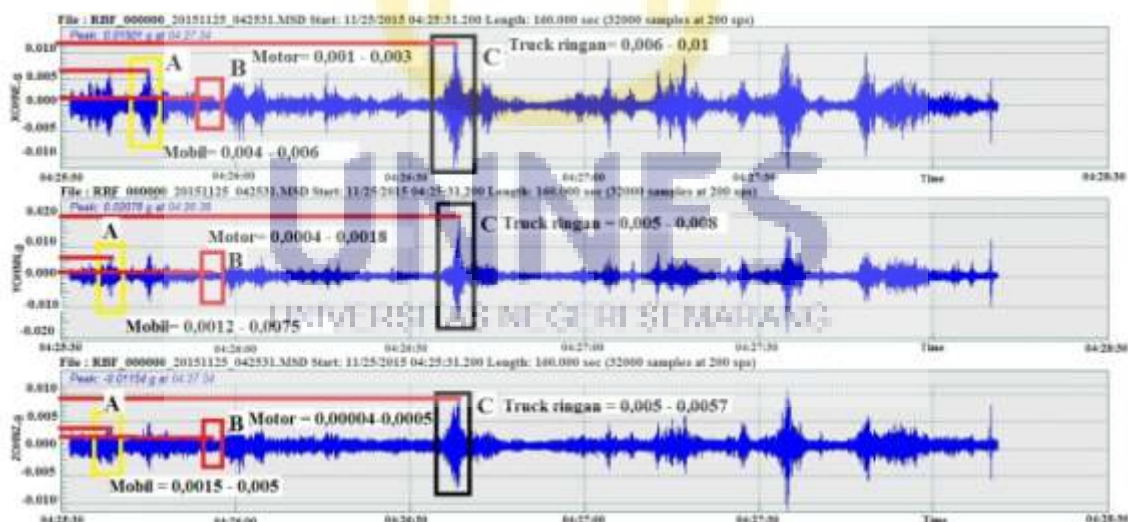
Perletakan alat sensor *Seismic monitoring* di atas tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 4.7. sebagai berikut.



Gambar 4.7. Perletakan alat sensor *seismic monitoring*

1. Pengamatan dilakukan di Jalan Trangkil, Gunungpati

Pengamatan pertama dilakukan di jalan Trangkil Gunungpati dengan perletakan alat sensor diatas tebal perkerasan jalan seperti pada Gambar 4.8. dan hasil output alat *seismic monitoring* dapat dilihat pada Tabel 4.1. sebagai berikut :



Gambar 4.8. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati

Dari gambar percepatan kendaraan yang lewat sesuai Gambar 4.8. dapat terlihat untuk detail A yaitu mobil, B yaitu Motor, dan C adalah Truk Ringan 2 Sumbu. Alat *seismic monitoring* akan membaca getaran untuk masing-masing

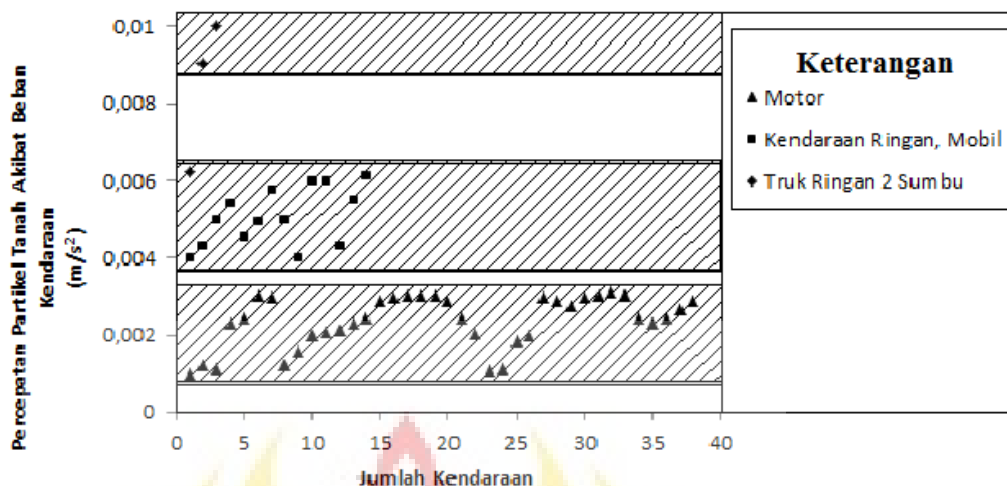
sumbu X, Y, dan Z. Dari masing-masing jenis kendaraan dapat diketahui percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan tersebut, yang dapat dilihat pada tabel 4.1. sebagai berikut :

Tabel 4.1. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan

No	Jenis Kendaraan	Percepatan Partikel Tanah akibat Beban Kendaraan (m/s ²)								
		X			Y			Z		
A	Motor	0,001	-	0,003	0,00042	-	0,00187	0,00004	-	0,00056
B	Kendaraan Ringan, Mobil	0,004	-	0,006	0,00121	-	0,0075	0,0015	-	0,005
C	Truk Ringan 2 Sumbu	0,006	-	0,01	0,0055	-	0,0088	0,005	-	0,0057

Dari Tabel 4.1. dapat dilihat bahwa hasil percepatan getaran tanah akibat beban kendaraan terbesar, terjadi di sumbu X. Maka untuk pengamatan selanjutnya, pecepatan partikel tanah akibat beban kendaraan hanya di fokuskan ke sumbu X.

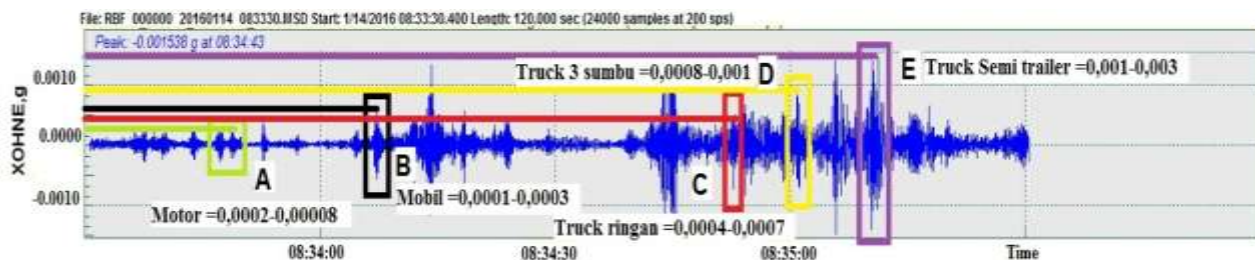
Dari Tabel 4.1. dapat dilihat juga berdasarkan Gambar 4.9. yaitu grafik hubungan antara jumlah kendaraan dan percepatan. Terlihat bahwa jenis kendaraan berpengaruh terhadap percepatan yang ditimbulkan, dan percepatan tertinggi diperoleh kendaraan truk ringan 2 sumbu sebagai berikut.



Gambar 4.9. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan

2. Pengamatan dilakukan di Jalan Martadinata, Semarang

Pengamatan kedua dilakukan di Jalan Martadinata, Kalibanteng Semarang, karena asumsi awal adalah tebal perkerasan jalan berpengaruh ke getaran alat, sehingga nilai percepatan yang diperoleh kecil. Oleh karena itu, dilakukan pengamatan kedua di Jalan Martadinata, Kalibanteng Semarang yang memiliki tebal lapis perkerasan yang sangat tebal sekitar lebih dari satu meter. Dengan pengamatan tersebut di dapatkan hasil sebagai berikut. Hasil dari pengamatan di Jalan Martadinata, Kalibanteng Semarang dapat dilihat pada Gambar 4.10. dan Tabel 4.2. sebagai berikut.



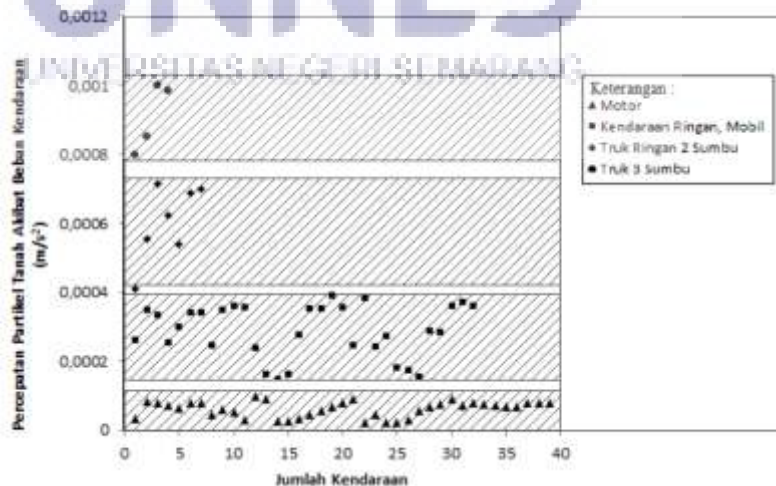
Gambar 4.10. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Martadinata Kalibanteng Semarang

Tabel 4.2. Percepatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Martadinati Kalibanteng Semarang, dengan meletakkan alat sensor di atas perkerasan jalan

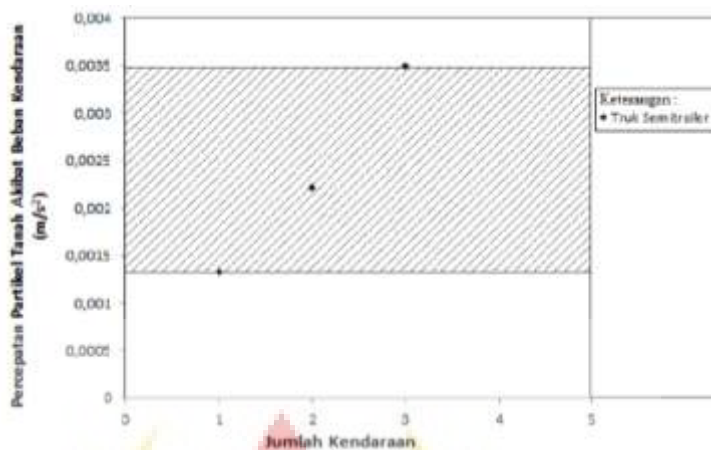
No.	Jenis Kendaraan	Total	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s ²)
A	Motor	39	0,000026 - 0,000089
B	Kendaraan Ringan, Mobil	32	0,000102 - 0,000300
C	Truk Ringan 2 Sumbu	7	0,000415 - 0,000716
D	Truk 3 Sumbu	4	0,000800 - 0,001
E	Truk Semi Trailer	3	0,001329 - 0,003500

*Kendaraan Selama 2 Menit di Kalibanteng di Perkerasan Lentur

Dari Tabel 4.2. dapat dilihat juga pada Gambar 4.11A dan 4.11B. yang menyatakan hubungan jumlah kendaraan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas.



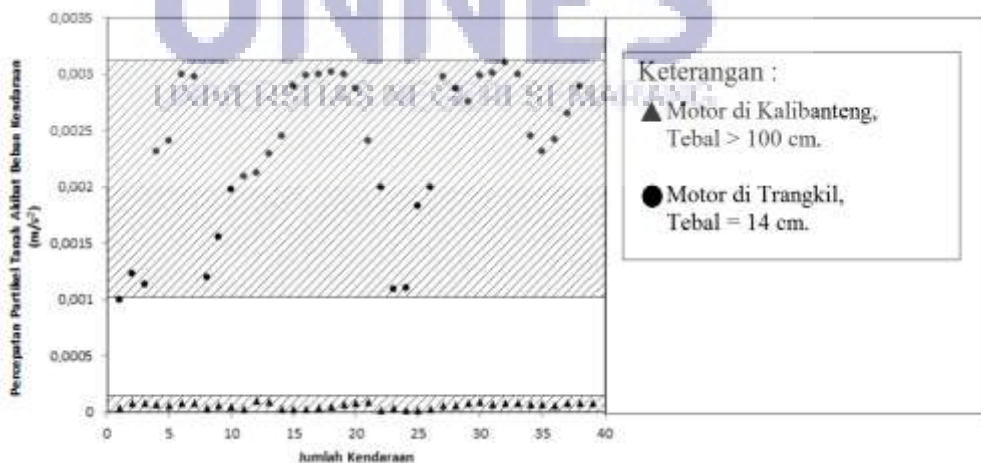
(4.11A)



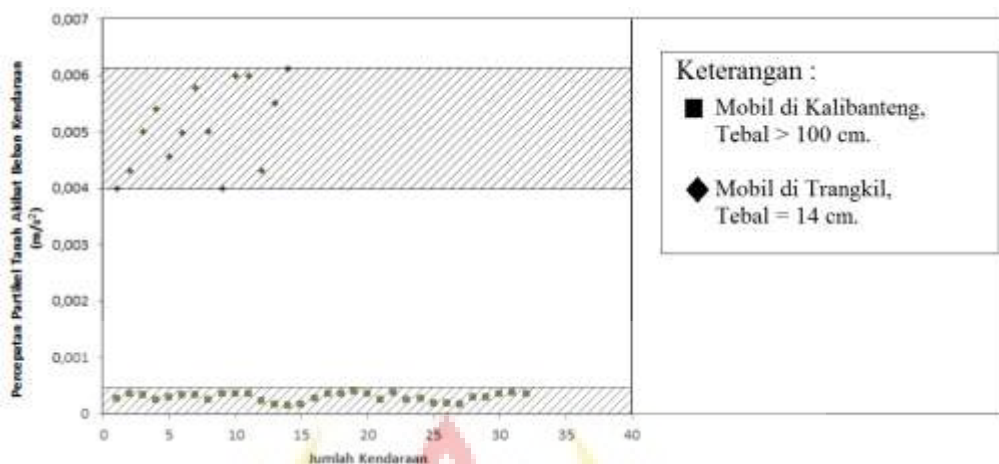
(4.11B)

Gambar 4.11. Grafik hubungan jumlah kendaraan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan (a) di Jalan Martadinati Kalibanteng Semarang, dengan meletakkan alat sensor di atas tebal perkerasan jalan

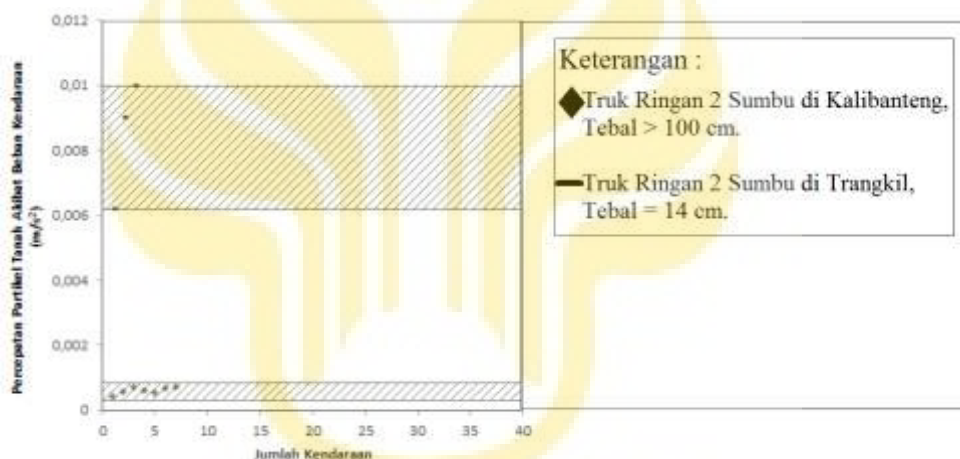
Gambar 4.11A untuk kendaraan motor, mobil, truk ringan 2 sumbu, truk 3 sumbu dan Gambar 4.11B adalah truk semitrailer. Berdasarkan grafik tersebut, jenis kendaraan berpengaruh terhadap percepatan yang dihasilkan. Kemudian pengaruh tebal perkerasan dengan percepatan partikel tanah di Jalan Trangkil dan Kalibanteng dapat juga dilihat pada Gambar 4.12., 4.13. dan 4.14 sebagai berikut.



Gambar 4.12. Grafik Hubungan Kendaraan Motor berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng



Gambar 4.13. Grafik Hubungan Kendaraan Mobil berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng



Gambar 4.14. Grafik Hubungan Kendaraan Truk Ringan 2 Sumbu berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Percepatan di Jalan Trangkil dan Kalibanteng

Dari Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14 dapat terlihat bahwa untuk masing-masing jenis kendaraan dengan perletakan alat sensor di tebal perkerasan jalan yang berbeda, akan menghasilkan nilai percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang berbeda pula. Contoh pada Gambar 4.12. untuk kendaraan motor, nilai percepatan di Jalan Trangkil berkisar antara 0,001 – 0,003

sedangkan di Jalan Martadinata Kalibanteng Semarang adalah 0,000026 – 0,000086.

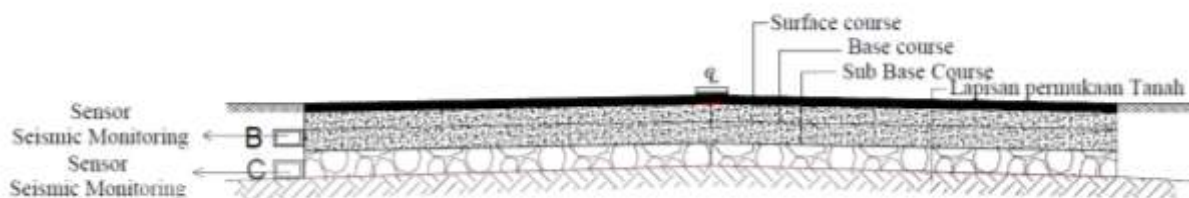
Dari kedua Pengamatan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa tebal perkerasan sangat mempengaruhi percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan, yang ditangkap alat sensor *seismic monitoring*. Pada penelitian ini, akan diambil tebal perkerasan jalan sekitar 10 cm – 20 cm. Karena sesuai pengamatan di Jalan Trangkil dan Martadinata, yang hasil percepatan sangat berbeda. Dipengaruhi oleh tebal perkerasan jalan.

4.6.2.2. Perletakan alat sensor di antara tebal perkerasan jalan lentur dan dibawah perkerasan jalan

Dari pengamatan di Jalan trangkil dan Jalan Kalibanteng, pada Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14 didapatkan bahwa tebal perkerasan jalan mempengaruhi getaran yang timbul, sehingga dilakukan pengamatan kembali di Jalan Trangkil Gunungpati dengan penggalian tanah disamping perkerasan Jalan. Penggalian tersebut dilakukan di pertengahan perkerasan jalan dan dibawah perkerasan jalan.

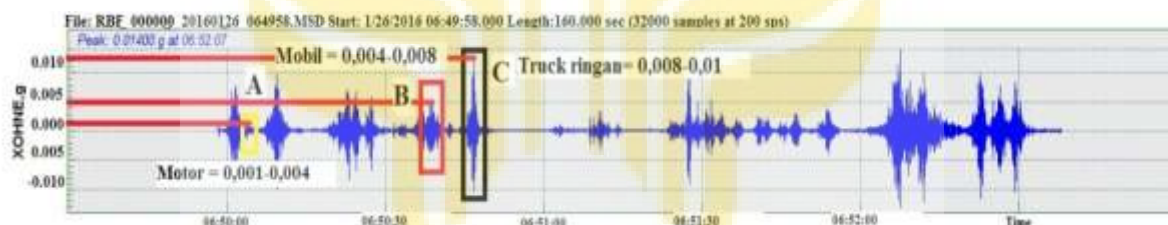
Perbedaan perletakan alat tersebut dilakukan karena asumsi awal adalah letak alat sensor berpengaruh pada hasil percepatan yang dibaca oleh alat sensor. Tebal Perkerasan Lentur di Jalan Trangkil adalah 14 cm. Alat akan diletakan di tengah perkerasan jalan dengan tebal tebal 7 cm dan dibawah perkerasan jalan dengan

tebal 14 cm. Perletakan alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.15. dibawah ini.



Gambar 4.15. Perletakan alat sensor seismic monitoring di jalan Trangkil Gunungpati

1. Perletakan alat sensor *seismic monitoring* ditengah perkerasan jalan dengan tebal 7 cm, hasil pengamatan diilustrasikan pada Gambar 4.16. sebagai berikut.



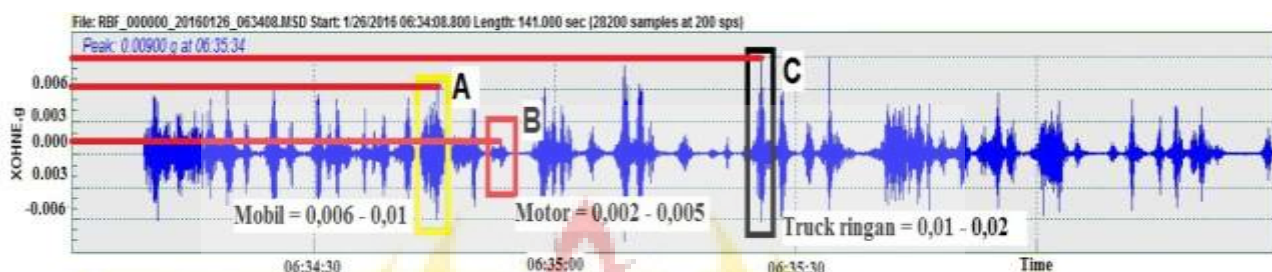
Gambar 4.16. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di tengah perkerasan jalan

Dari Gambar 4.16. dapat dilihat kesimpulan Tabel 4.3. dibawah ini :

Tabel 4.3. Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, Alat Terletak di Tengah Perkerasan Jalan

No	Jenis Kendaraan	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s ²)
A	Motor	0,00120 - 0,00400
B	Kendaraan Ringan, Mobil	0,00477 - 0,00855
C	Truk Ringan 2 Sumbu	0,00900 - 0,01700

2. Alat sensor *seismic monitoring* Terletak dibawah perkerasan jalan dengan tebal 14 cm, hasil dari pengamatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12 dan Tabel 4.5. sebagai berikut :



Gambar 4.17. Grafik Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, Alat Terletak di Bawah Perkerasan Jalan

Dari Gambar 4.17. selanjutnya dapat dilihat dalam tabel 4.4. sebagai berikut :

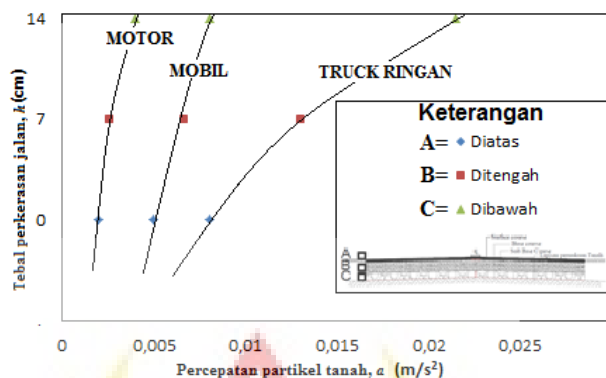
Tabel 4.4. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Trangkil Gunungpati, dengan meletakkan alat sensor di bawah perkerasan jalan

No	Jenis Kendaraan	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s^2)
A	Motor	0,002000 - 0,005900
B	Kendaraan Ringan, Mobil	0,006000 - 0,010000
C	Truk Ringan 2 Sumbu	0,015000 - 0,028000

Rekap hasil dari perbedaan letak sensor alat *seismic monitoring* di Tebal Perkerasan Lentur Jalan Trangkil, dapat dilihat pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.18 sebagai berikut :

Tabel 4.5. Rekap hasil dari perbedaan meletakkan alat sensor *seismic monitoring* di tebal perkerasan lentur Jalan Trangkil

Jenis Kendaraan	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s^2)		
	Diatas Tebal Perkerasan Tebal 0 cm	Ditengah Tebal Perkerasan Tebal 7 cm	Didalam Tebal Perkerasan Tebal 14 cm
Motor	0,00100 - 0,00300	0,00120 - 0,00400	0,00200 - 0,00590
Kendaraan Ringan, Mobil	0,00400 - 0,00600	0,00477 - 0,00855	0,00600 - 0,01000
Truk Ringan 2	0,00600 - 0,01000	0,00900 - 0,01700	0,01500 - 0,02800



Gambar 4.18. Grafik hubungan tebal lapis perkerasan jalan lentur dengan percepatan partikel tanah di Jalan Trangkil Gunungpati

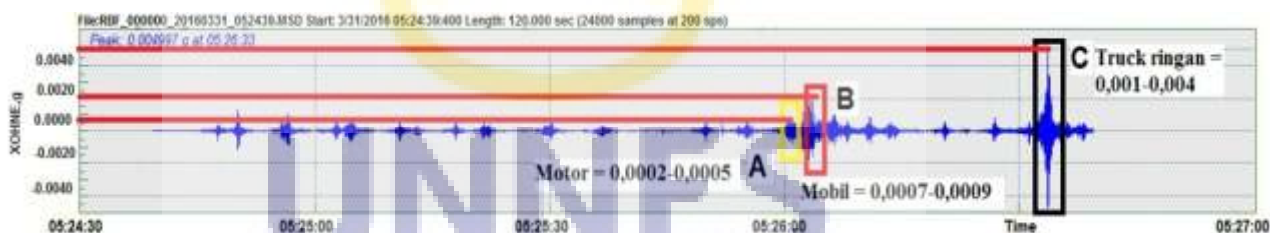
Dari tabel 4.5 dan Gambar 4.18 dapat ditarik kesimpulan bahwa perletakan alat sensor *seismic monitoring* terbesar adalah diletakan di bawah tebal perkerasan jalan, karena pembacaan percepatannya lebih valid. Untuk itu dalam tugas akhir ini dilakukan pengujian dengan penempatan alat sensor *seismic monitoring* di bawah perkerasan jalan dengan penggalian tanah menyesuaikan tebal perkerasan jalan tersebut. Perletakan alat sensor *seismic monitoring* diletakkan disamping perkerasan jalan.

Setelah diketahui perletakan alat paling efektif adalah dibawah perkerasan jalan maka dilakukan pengamatan kembali untuk lebih menguatkan data yang didapat. Pengamatan tersebut dilakukan di bawah perkerasan jalan dengan tiga jalan yang berbeda dengan tebal perkerasan yang hampir sama.

4.6.2.3. Perletakan alat sensor di bawah tebal perkerasan jalan

Dari beberapa pengamatan yang telah dilakukan, perletakan posisi alat sensor yang berbeda, hasil dari percepatan juga akan berbeda, kemudian didapatkan bahwa perletakan terbesar adalah dibawah tebal perkerasan jalan. Pengamatan terakhir dilakukan dengan tebal perkerasan jalan yang kurang lebih sama, dengan perletakan alat di bawah tebal lapis perkerasan. Pengamatan dilakukan di tiga jalan, yaitu Jalan Mangunsari Patemon, Jalan Cangkiran-Ungaran dan Jalan Ungaran-Gunungpati di KM 5. Hasil Pengamatan dapat dilihat sebagai berikut :

1. Pengamatan di jalan Mangunsari Patemon dengan tebal perkerasan 15 cm, hasil pengamatan di ilustrasikan pada Gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4.19. Hubungan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan yang melintas di Jalan Mangunsari Patemon, dengan meletakkan alat di bawah perkerasan jalan setebal 15 cm.

Rekap hasil pengamatan sesuai Gambar 4.19. dapat dilihat pada Tabel 4.6. dibawah ini :

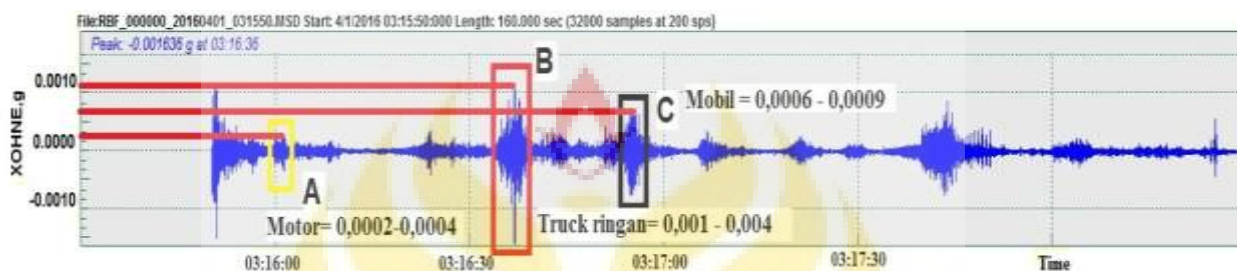
Tabel 4.6. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Mangunsari Patemon.

No	Jenis Kendaraan	Total	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s ²)
A	Motor	31	0,00020 - 0,00054

B	Kendaraan Ringan, Mobil	3	0,00070	-	0,00098
C	Truk Ringan 2 Sumbu	1	0,00120	-	0,00440

*Kendaraan Selama 2 Menit di Jalan Mangunsari Patemon gali perkerasan tebal 15 cm

2. Pengamatan di jalan Cangkiran-Ungaran dengan tebal perkerasan 16 cm, hasil pengamatan di ilustrasikan pada Gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4.20. Grafik percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Cangkiran-Ungaran, dengan meletakkan alat di bawah perkerasan jalan setebal 16 cm.

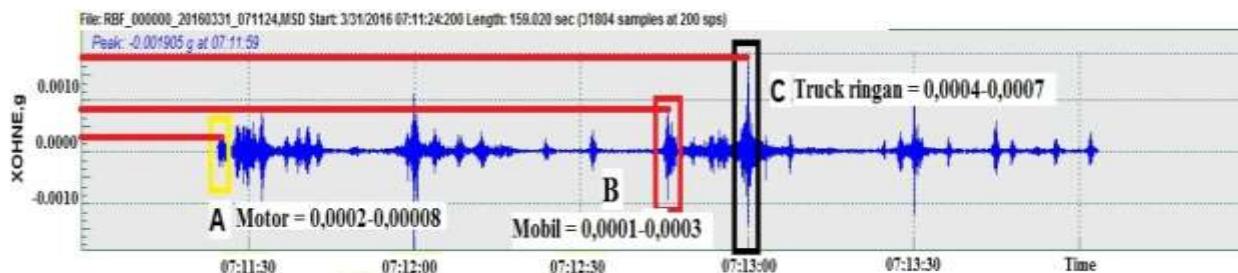
Rekap hasil percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan dari pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.7. dibawah ini:

Tabel 4.7. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di jalan Cangkiran – Ungaran Semarang

No	Jenis Kendaraan	Total	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s^2)
A	Motor	31	0,00020 - 0,00049
B	Kendaraan Ringan, Mobil	3	0,00068 - 0,00090
C	Truk Ringan 2 Sumbu	1	0,00150 - 0,00420

*Kendaraan Selama 2 Menit di Jalan Cangkiran-Ungaran gali perkerasan tebal 16 cm

3. Pengamatan di jalan Ungaran-Gunungpati KM 5 dengan tebal perkerasan 18 cm, hasil pengamatan di ilustrasikan pada Gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4.21. Grafik Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan di Jalan Ungaran-Gunungpati KM 5, Alat terletak di bawah perkerasan jalan setebal 18 cm.

Rekap hasil percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan dari pengamatan diatas dapat dilihat pada Tabel 4.8. dibawah ini:

Tabel 4.8. Hasil pengamatan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di jalan Ungaran Gunungpati

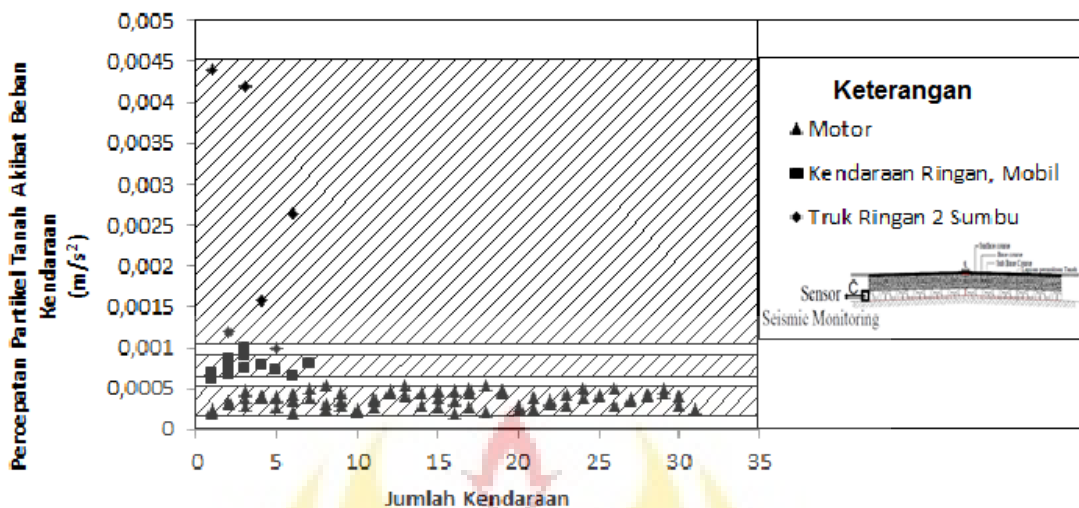
No	Jenis Kendaraan	Total	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s ²)	
A	Motor	17	0,00020	0,00045
B	Kendaraan Ringan, Mobil	7	0,00060	0,00080
C	Truk Ringan 2 Sumbu	2	0,00100	0,00263

*Kendaraan Selama 2 Menit di Jalan Ungaran-Gunungpati km 5 gali perkerasan tebal 18 cm

Rekap hasil dari pengamatan di tiga perkerasan jalan lentur yang berbeda dengan tebal perkerasan yang hamper sama, dengan letak sensor alat *seismic monitoring* dibawah perkerasan jalan, dapat dilihat pada Tabel 4.9. sebagai berikut:

Tabel 4.9. Rekap hasil percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Mangunsari – Patemon, Jalan Cangkiran – Ungaran, Jalan Ungaran – Gunungpati KM 5.

Jenis Kendaraan	Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan (m/s ²)					
	Jalan Mangunsari-Patemon Tebal 15 cm		Jalan Cangkiran-Ungaran Tebal 16 cm		Jalan Ungaran-Gunungpati Tebal 18 cm	
Motor	0,00020	0,00054	0,00020	0,00049	0,00020	0,00045
Kendaraan Ringan, Mobil	0,00070	0,00098	0,00680	0,00090	0,00060	0,00080
Truk Ringan 2 Sumbu	0,00120	0,00440	0,00150	0,00420	0,00100	0,00263



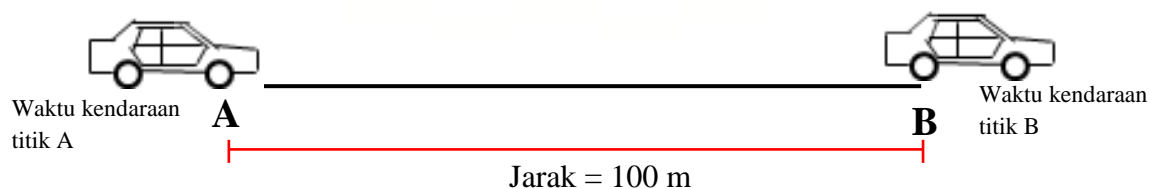
ini dilakukan karena getaran yang timbul selama pengamatan menggunakan *seismic monitoring*, dipengaruhi terhadap kecepatan kendaraan yang melintas. Dugaan sementara semakin besar kecepatan kendaraan, semakin besar getaran atau percepatan yang timbul. Metode pengujian kecepatan kendaraan menggunakan rumus 4.1. sebagai berikut :

$$v = \frac{s}{t} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan :

v : Kecepatan (m/s)
 s : Jarak (m)
 t : Waktu (s)

Dari rumus diatas, kecepatan kendaraan dipengaruhi oleh jarak dan waktu, sehingga dengan didaptnya waktu perjalanan kendaraan dan jarak perjalanan kendaraan maka kecepatan kendaraan lalu lintas akan didapat. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan memberikan jarak sekitar 100 m dan menaruh kamera yang dapat melihat kendaraan yang melintas pada jarak tersebut, sehingga dapat diketahui waktu kendaraan yang melintasi jarak 100 m. Pada jarak 100 m tersebut akan dipisahkan dengan titik A dan titik B yang jarak antar titik tersebut adalah 100 m. Metode pengujian kecepatan dapat dilihat pada Gambar 4.24. sebagai berikut :



Gambar 4.24. Metode Pengujian Kecepatan

4.8. Perekaman Data secara Visual

Dari beberapa pengujian data primer, diperlukan data visual didalam pengujian tersebut. Yang dimaksud data visual yaitu mengetahui keadaan sebenarnya di lapangan dengan cara merekam menggunakan *handycam*.

Pengujian *load factor* dengan alat *seismic monitoring* digunakan data visual untuk mengetahui getaran yang muncul dengan kendaraan yang melintas, sedangkan pengujian kecepatan kendaraan, juga diperlukan untuk mengetahui waktu kendaraan melintas pada jarak tertentu. Jadi data visual ini, diperlukan di dalam pengujian di lapangan.

4.9. Data Sekunder

Yang termasuk dalam data sekunder penelitian sebagai berikut :

1. Data CBR digunakan sebagai acuan penentuan daya dukung tanah sekitar lokasi penelitian.
2. Data LHR digunakan untuk menentukan jam puncak pada lokasi penelitian.
3. Indeks tebal perkerasan digunakan untuk perbandingan antara desain *eksisting* dilapangan dengan desain perencanaan setelah di konversi dengan hasil getaran kendaraan menggunakan alat *seismic monitoring*.
4. Faktor regional digunakan untuk peramalan pertumbuhan kendaraan pada sampai dengan umur rencana.

4.10. Faktor ESAL menurut Metode Bina Marga

Cara analisis data dalam penelitian ini mengacu kepada rumusan untuk mencari LER (Lintas Ekuivalen Rencana) yaitu jumlah lintasan ekuivalen yang akan melintasi jalan selama masa layan dari saat dibuka sampai akhir umur rencana.

Dipengaruhi oleh angka ekivalensi (ESAL), ESAL (*Ekivalensi Standard Axle Load*) merupakan kapasitas konstruksi perkerasan jalan dalam besaran sejumlah repetisi (lintasan) beban sumbu roda lalu-lintas dalam satuan *standar axle load*. Satuan *standar axle load* dalam ESAL adalah *axle load* yang mempunyai daya rusak kepada konstruksi perkerasan sebesar 1. Dan *axle load* yang bernilai daya rusak sebesar 1 tersebut adalah *single axle load* sebesar 18.000 lbs atau 18 kips atau 8,16 ton. ESAL didapatkan berdasarkan rumus 4.2. dibawah ini :

$$ESAL = k \left(\frac{L}{8.16} \right)^4 \dots\dots\dots (4.2)$$

Dengan :

- ESAL : Ekivalensi Standard Axle Load
- L : Beban satu sumbu kendaraan
- k : 1 ; untuk sumbu tunggal
0.086 ; untuk sumbu tandem
0.021 ; untuk sumbu triple

Konfigurasi beban sumbu pada berbagai jenis kendaraan beserta angka ekivalen kendaraan dalam keadaan kosong (min) dan dalam keadaan bermuatan (max) berdasar Manual No. 01/MN/BM/83, dapat dilihat pada Tabel 4.10. sebagai berikut :

Tabel 4.10. Konfigurasi beban sumbu (Sumber : Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83)

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2	3	6	9	0,0037	0,3006	

BUS						
1,2L						
TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	○
1,2H						
TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	○
1,22						
TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+2,2						
TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2						
TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2						
TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

Dari rumus 4.13. untuk menghitung ESAL dan Tabel 4.10. untuk konfigurasi beban sumbu kendaraan, contoh analisis sebagai berikut :

1. Kendaraan Ringan, 2 ton :



50% 50%
1 Ton 1 Ton

Dengan beban satu sumbu kendaraan depan dan belakang :

$$L = 50\% \times 2 = 1 \text{ ton}$$

$$k = 1$$

Maka,

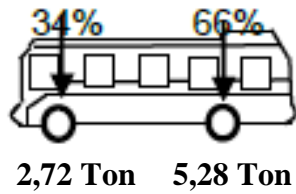
$$ESAL_{kend.ringan} = k \left(\frac{L}{8,16} \right)^4 + k \left(\frac{L}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{kend.ringan} = 1 \left(\frac{1}{8,16} \right)^4 + 1 \left(\frac{1}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{kend.ringan} = 0,000225548 + 0,000225548$$

$$ESAL_{kend.ringan} = 0,000451$$

2. **Bus Besar, 8 ton :**



Beban sumbu depan tunggal, $L_1 = 34\% \times 8 = 2,72 \text{ ton}$

Beban sumbu belakang tunggal, $L_2 = 66\% \times 8 = 5,28 \text{ ton}$

$$k = 1$$

Maka,

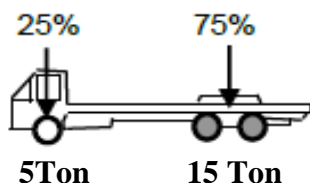
$$ESAL_{bus \text{ besar}} = k \left(\frac{L_1}{8,16} \right)^4 + k \left(\frac{L_2}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{bus \text{ besar}} = k \left(\frac{2,72}{8,16} \right)^4 + k \left(\frac{5,28}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{bus \text{ besar}} = 0,012345679 + 0,175297231$$

$$ESAL_{bus \text{ besar}} = 0,18764$$

3. Truk 3 Sumbu, 20 ton :



Beban sumbu depan tunggal, $L_1 = 25\% \times 20 = 5 \text{ ton}$

Beban sumbu belakang ganda, $L_2 = 75\% \times 20 = 15 \text{ ton}$

sumbu tunggal, $k_1 = 1$

sumbu ganda, $k_2 = 0,086$

Maka,

$$ESAL_{\text{truk 3 sumbu}} = k_1 \left(\frac{L_1}{8,16} \right)^4 + k_2 \left(\frac{L_2}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{\text{truk 3 sumbu}} = 1 \left(\frac{5}{8,16} \right)^4 + 0,086 \left(\frac{15}{8,16} \right)^4$$

$$ESAL_{\text{truk 3 sumbu}} = 0,140967625 + 0,981980475$$

$$ESAL_{\text{truk 3 sumbu}} = 1,12295$$

Dari analisis selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.11. sebagai berikut :

Tabel 4.11. Faktor Esal menurut perhitungan Bina Marga

Jenis Kendaraan	Beban Kend (Ton)	Pembagian beban setiap sumbu kendaraan (ton)				ESAL				Total Esal
		Sumbu 1	Sumbu 2	Sumbu 3	Sumbu 4	Sumbu 1	Sumbu 2	Sumbu 3	Sumbu 4	
Kendaraan Bermotor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	2	1	1			0,00023	0,00023			0,00045
Bus Kecil, 5 ton	5	1,7	3,3			0,00188	0,02675			0,02863
Bus Besar, 8 ton	8	2,72	5,28			0,01235	0,17530			0,18764
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	10	3,4	6,6			0,03014	0,42797			0,45811
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	13	4,42	8,58			0,08609	1,22233			1,30842
Truk 3 Sumbu, 20 ton	20	5	15			0,14097	0,98198			1,12295
Truk Gandengan, 25 ton	25	4,5	7	6,75	6,75	0,09249	0,54154	0,46822	0,46822	1,57048
Truk Semi Trailer, 30 ton	30	5,4	8,4	16,2		0,19178	0,09657	1,33597		1,62433

4.11. Hubungan ESAL dengan Percepatan Alat *Seismic Monitoring*

Mengacu pada buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen No. SNI 1732-1989-F dan Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83. Angka ekivalen

beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal / ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb). ESAL menurut Bina Marga dapat dilihat juga di Tabel 3.12

Dari rumusan 3.2. dapat diketahui bahwa untuk satuan untuk k adalah koefisien, jadi tanpa satuan. Untuk L adalah beban sumbu kendaraan dalam ton, dan angka 8,16 adalah beban standar sumbu tunggal, dengan satuan ton. $ESAL = k \left(\frac{L \text{ ton}}{8.16 \text{ ton}} \right)^4$

Jadi faktor ESAL tanpa ada satuan.

Sedangkan getaran kendaraan lalu lintas dengan menggunakan alat seismic monitoring didapatkan angka percepatan dengan satuan (m/s^2) . Untuk menggantikan nilai ESAL pada metode bina marga, digunakan metode pendekatan dengan cara satuan percepatan dari alat seismic monitoring harus dihilangkan atau tanpa menggunakan satuan, sesuai pada ESAL Bina Marga. Metode pendekatan yang akan digunakan adalah dengan mencari Gaya dinamik pada kendaraan saat melintas (F_{dinamik}). Menurut Buku *Principles Of Soil Dynamics*, Oleh Braja M. Das, halaman 31, menjabarkan beberapa rumus untuk mencari F_{dinamik} sebagai berikut :

$$\omega = 2\pi f \quad \dots\dots\dots 4.3$$

$$\omega_n = 2\pi f_n \quad \dots\dots\dots 4.4$$

$$Z = \frac{\frac{Q}{k}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}} \quad \dots\dots\dots 4.5$$

$$c = 2D\sqrt{km} \quad \dots\dots\dots 4.6$$

$$F_{dynamic} = Z\sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \dots\dots\dots 4.7$$

$$DEF = \frac{F_{dynamic}}{F_{static}} \dots\dots\dots 4.8$$

Dengan :

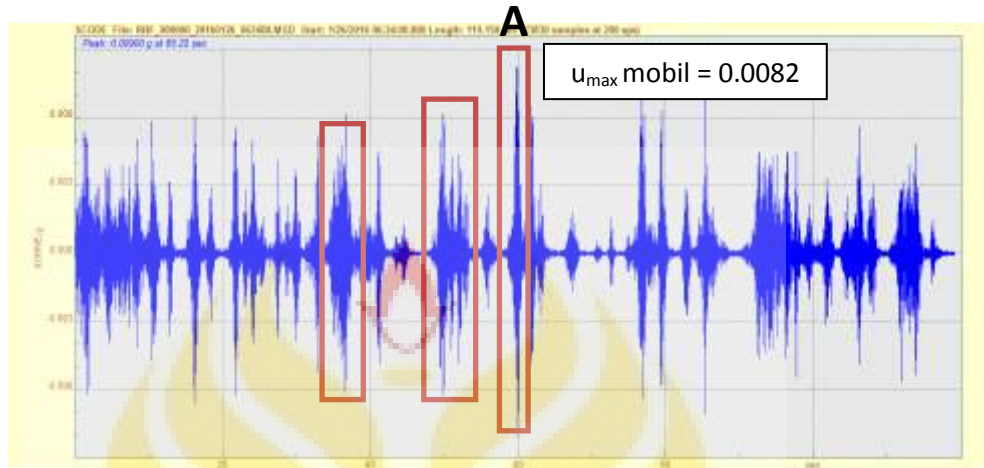
- ω = Kecepatan sudut satu kendaraan (rad/s)
- ω_n = Kecepatan sudut kendaraan yang sering timbul (rad/s)
- f = Frekuensi dari satu kendaraan yang melintas(Hz)
- f_n = Frekuensi Natural atau frekuensi getaran kendaraan yang sering timbul saat melintas(Hz)
- k = Spring Kontant (kN/m)
- D = Damping Ratio
- Q = Beban Statik Kendaraan (kN)
- m = Massa Statik Jenis Kendaraan (kN)
- Z = Jarak (m)
- c = Konstanta ($kN - s/m$)
- $F_{dynamic}$ = Gaya akibat beban dinamik atau beban bergerak(kN)
- DEF = *Dynamic Esal Factor* atau Faktor Esal dari Beban dinamik dari alat seismic monitoring

Dari rumus 4.7. untuk mencari $F_{dynamic}$, contoh analisis perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :

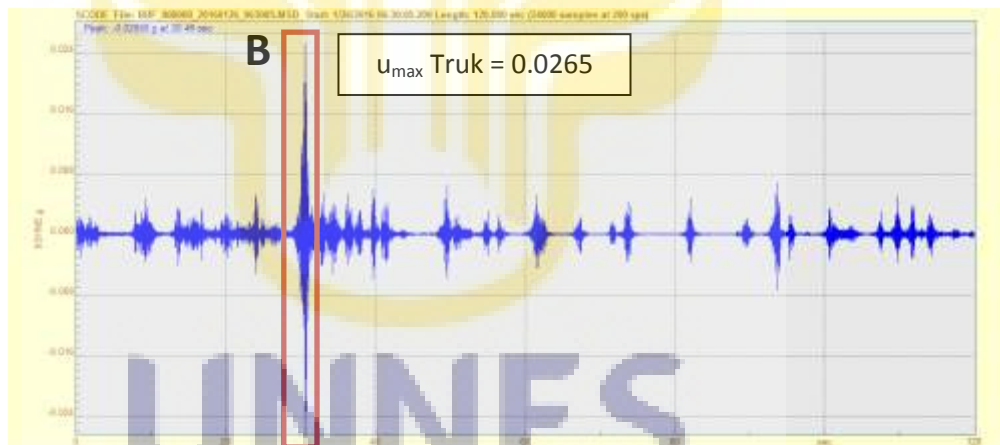
1. Frekuensi Getaran Kendaraan (f)

Frekuensi getaran kendaraan merupakan ukuran jumlah getaran yang melintas alat sensor seismic monitoring, dalam satuan waktu tertentu. Frekuensi dibedakan berdasarkan jenis kendaraan yang melintas. Sebagai contoh digunakan data di Jalan Trangkil, alat sensor terletak dibawah tebal

perkerasan lentur, dapat dilihat pada Gambar 4.25. dan 4.26. sebagai berikut:



Gambar 4.25. Grafik getaran kendaraan mobil ringan di Jalan Trangkil



Gambar 4.26. Grafik getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu di Jalan Trangkil

Dari Gambar 4.25. dan 4.26. kemudian menghitung frekuensi getaran dari masing-masing jenis kendaraan. Menggunakan Metode Angka Efektif getaran (Hancock dan Bommer, 2004), dapat dilihat pada rumus 3.9 sebagai berikut

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{u_i}{u_{max}} \right)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan :

F = Jumlah angka efektif getaran atau frekuensi getaran kendaraan

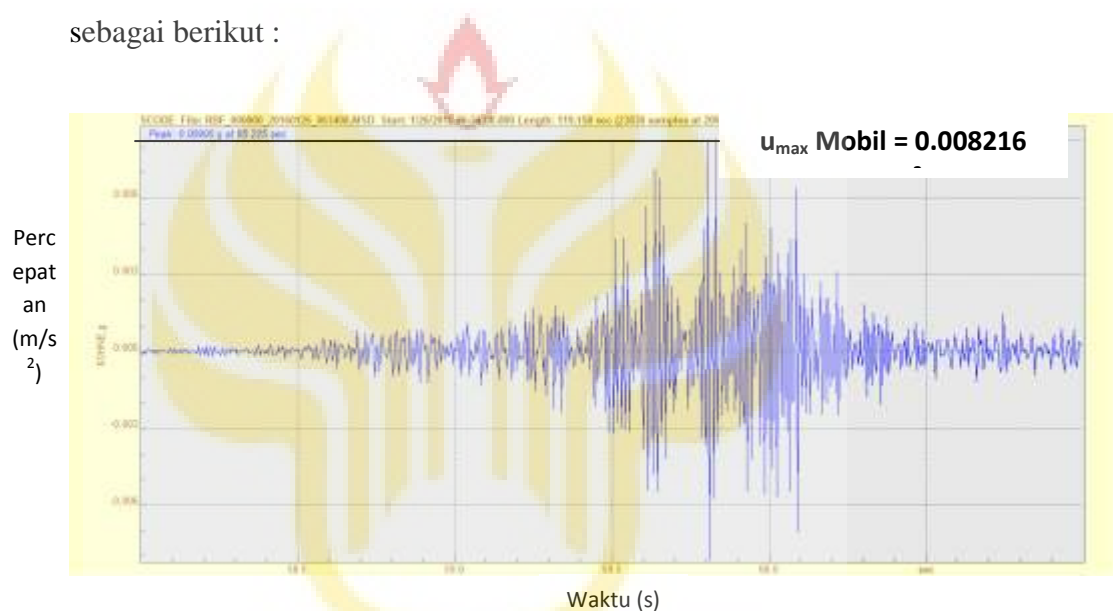
u_i = Percepatan getaran pada setiap waktu tertentu

u_{max} = Percepatan maksimum getaran pada setiap waktu tertentu

Untuk mencari percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan ditentukan

kondisi getaran mobil saat melintas, dapat dilihat pada Gambar 4.27.

sebagai berikut :



Gambar 4.27. Detail A, Grafik Getaran Kendaraan Mobil Ringan di Jalan Trankil

Mobil melintas terekam pada detik ke 58 – 61, sehingga dihitung percepatan disetiap detik yang melintas, dari aplikasi GEODAS kemudian di simpan dalam Excel, dari detik 58-61 didapat sekitar 600 data getaran, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.12 sebagai berikut :

Tabel 4.12. Frekuensi getaran kendaraan ringan, mobil

No	Waktu (s)	u_i (m/s ²)	$(2u_i/u_{max})^2$	f_{mobil} (Hz)
1	58	0,00000364	7,85081E-07	
2	58,005	0,00016718	0,001656076	
3	58,01	0,00001404	1,16801E-05	
4	58,015	0,00011154	0,000737179	
5	58,02	0,00003068	5,57728E-05	
.	.	.	.	47,308082
.	.	.	.	
.	.	.	.	
601	61	0,00053950	0,017246245	
Nilai Maksimum		0,00821626	-	
Jumlah			94,61616497	

$$u_{max} = 0,008216 \text{ m/s}^2$$

$$\sum \left(\frac{2u_i}{u_{max}} \right)^2 = 94,61616 \text{ m/s}^2$$

$$F_{mobil} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{u_i}{u_{max}} \right)^2$$

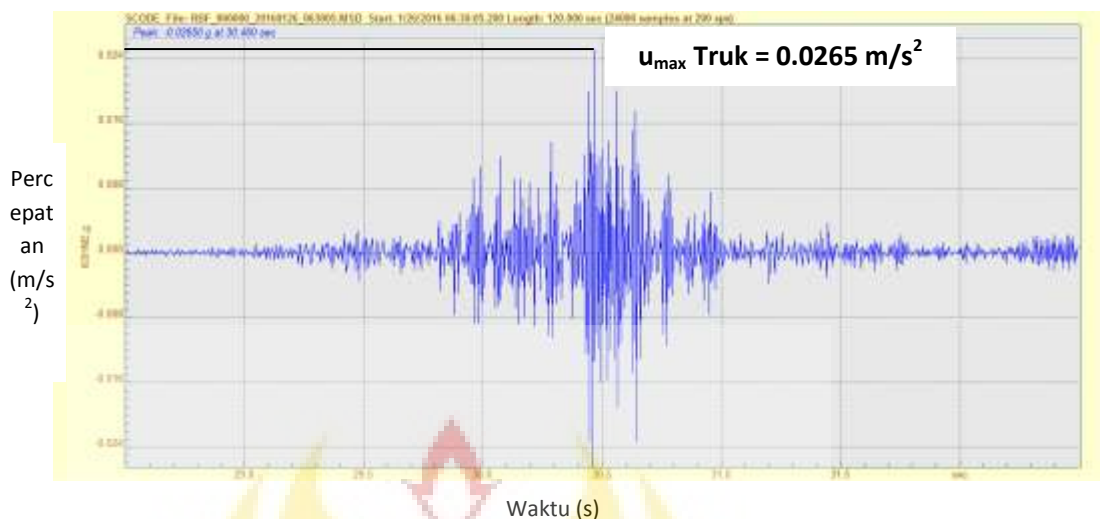
$$F_{mobil} = \frac{1}{2} \sum \left(\frac{2u_i}{u_{max}} \right)^2$$

$$F_{mobil} = \frac{1}{2} (94,61616)$$

$$F_{mobil} = 47,30808 \text{ Hz}$$

Sedangkan untuk kendaraan Truk Ringan 2 Sumbu dapat dilihat pada

Gambar 4.28. sebagai berikut :



Gambar 4.28. Detail B, grafik getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu di Jalan Trangkil

Truk ringan 2 sumbu melintas terekam pada detik ke 29 – 32,1 data getaran kendaraan, serta frekuensi dapat dilihat pada Tabel 4.13. sebagai berikut :

Tabel 4.13. Frekuensi getaran kendaraan truk ringan 2 sumbu

No	Waktu (s)	u_i	$(2u_i/u_{max})^2$	$f_{t,ringan}$ 2sumbu (Hz)
1	29	0,00009308	29,005	
2	29,005	0,00003783	29,01	
3	29,01	0,00024102	29,015	
4	29,015	0,00030030	29,02	
5	29,02	0,00001794	29,025	
.	.	.	.	50,13325
.	.	.	.	
621	32,1	0,00026936	32,005	
Nilai Maksimum		0,02649634		
Jumlah			100,2665	

$$u_{max} = 0,02649 \text{ m/s}^2$$

$$\sum \left(\frac{2u_i}{u_{max}} \right)^2 = 100,2665 \text{ m/s}^2$$

$$F_{truk\ 2\ as\ ringan} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{u_i}{u_{max}} \right)^2$$

$$F_{truk\ 2\ as\ ringan} = \frac{1}{2} (100,2665)$$

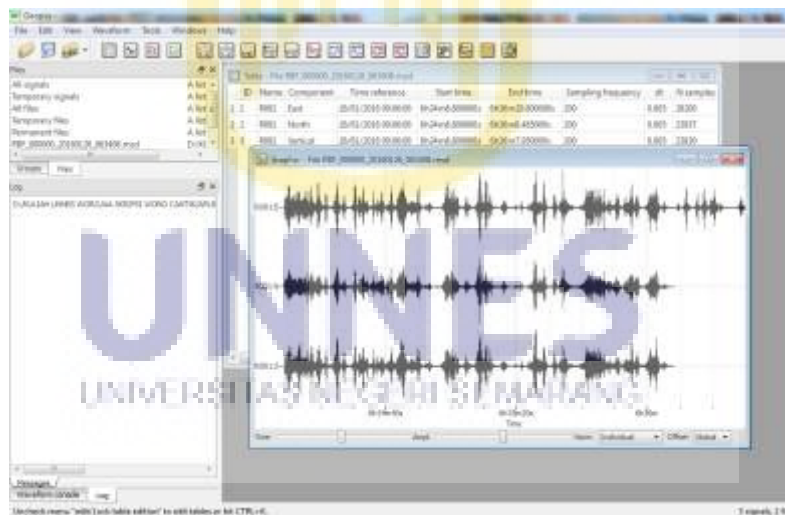
$$F_{truk\ 2\ as\ ringan} = 50,13325\ Hz$$

2. Frekuensi Natural Kendaraan (f_n)

Frekuensi Natural Kendaraan merupakan ukuran jumlah getaran yang sering timbul. Mencari nilai frekuensi natural menggunakan aplikasi Geopsy.

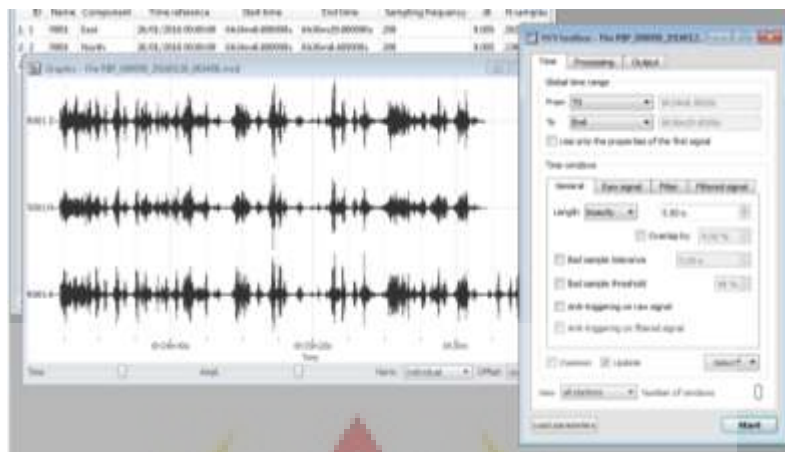
Langkah-langkah untuk mencari sebagai berikut :

- a. Pilih data getaran yang akan dicari frekuensi natural, sebagai contoh pilih data sesuai pada Gambar 4.29. yang dapat dilihat pada Gambar 4.30. sebagai berikut :



Gambar 4.29. Pengolahan data di aplikasi Geopsy

- b. Kemudian pilih tools – H/V, akan muncul H/V toolbox pada Gambar 4.30. sebagai berikut :



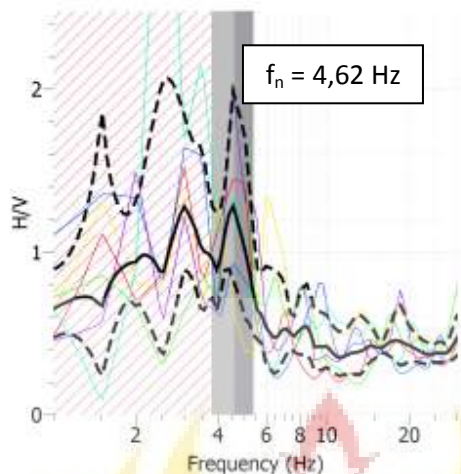
Gambar 4.30. H/V toolbox untuk mencari frekuensi natural

- c. Selanjutnya tentukan waktu dimana kendaraan mobil melintas, atur pada H/V toolbox di Global time range dapat dilihat pada Gambar 4.31. sebagai berikut :



Gambar 4.31. H/V toolbox range time

- d. Kemudian klik star akan muncul, grafik H/V pada Gambar 4.32. sebagai berikut :



Gambar 4.32. Grafik H/V frekuensi natural kendaraan ringan, mobil

Pada Gambar 4.32. dapat diketahui untuk frekuensi natural (f_n) disekitar 4 – 6 Hz, arahkan kursor pada grafik, maka akan muncul garis putus-putus yang mewakili nilai tertinggi suatu f_n yang akan diambil sebagai perhitungan sebesar 4,62 Hz. Terdapat beberapa warna dan garis yang berbeda-beda pada Grafik f_n , garis – garis tersebut adalah *number of windows* (garis yang mewakili sampel setiap waktu tertentu), masing – masing garis tersebut tidak berpengaruh terhadap nilai frekuensi natural. Arti setiap jenis garis itu sama, hanya yang membedakan adalah periode getar. Sehingga nilai f_n diambil di garis tertinggi yaitu pada garis putus-putus.

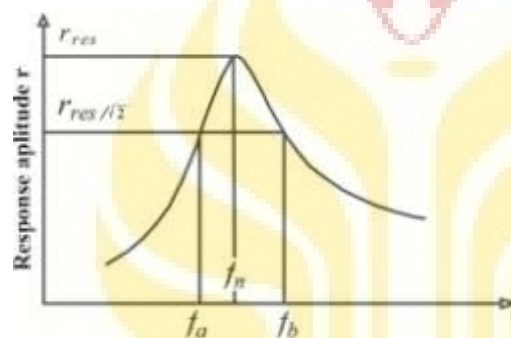
Pada penelitian akan diambil contoh data getaran setiap setengah jam, dengan dua kendaraan pada masing-masing jenis kendaraan. Sehingga akan didapat hasil rata-rata frekuensi masing-masing kendaraan serta damping ratio pada 8 jam penelitian, di Jalan Lingkar Weleri.

3. Damping Ratio (D)

Damping ratio atau rasio redaman dapat ditentukan dengan menggunakan grafik frekuensi natural dari aplikasi Geopsy, dengan rumus 4.10. sebagai berikut :

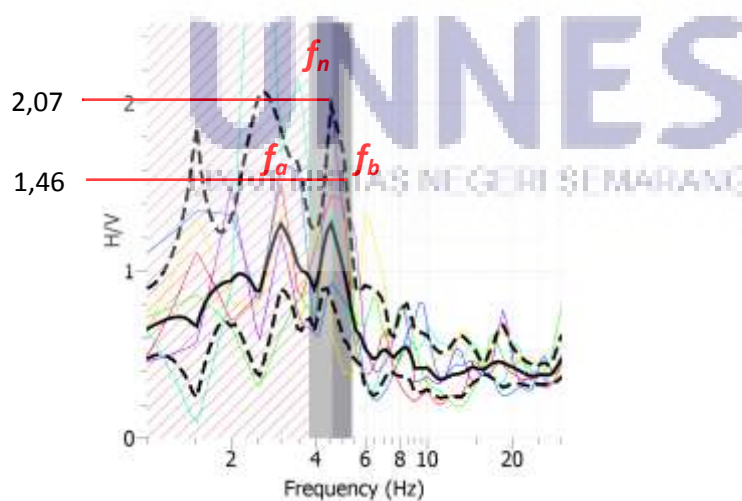
$$D = \frac{f_b - f_a}{2f_n} \dots\dots\dots 4.10$$

Dengan f_a , f_b , dan f_n ditentukan berdasarkan Gambar 4.33. sebagai berikut :



Gambar 4.33. Kurva Respon Frekuensi (FRF) (Sumber : Rifki, 2011)

Untuk data getaran alat seismic ditentukan berdasarkan Gambar 4.34. dari grafik H/V sebagai berikut :



Gambar 4.34. Grafik H/V frekuensi natural kendaraan ringan, mobil

Dari Gambar 4.34. didapat nilai :

$$f_n = 4,62 \text{ Hz}$$

$$f_a = 4,27 \text{ Hz}$$

$$f_b = 5,09 \text{ Hz}$$

Jadi nilai Damping ratio kendaraan ringan, mobil berdasarkan rumus 3.20.

sebagai berikut :

$$D_{mobil} = \frac{f_b - f_a}{2f_n}$$

$$D_{mobil} = \frac{5,09 - 4,27}{2 \times 4,67}$$

$$D_{mobil} = 0,088744589$$

Selanjutnya perhitungan damping ratio dapat dilihat pada tabel 4.14 sebagai berikut :

Tabel 4.14. Nilai f_n , f_a , f_b , dan D

Jenis Kendaraan →	Motor	Mobil	Truk Ringan 2 Sumbu	Satuan
$f_n =$	2,35	4,62	32,32	Hz
$f_a =$	2,2	4,27	30,02	Hz
$f_b =$	2,51	5,09	40,43	Hz
Damping Ratio (D) =	0,0659574	0,0887446	0,1610458	

4. Spring Konstanta (k)

Spring Konstanta suatu kendaraan yang melintas dapat ditentukan dengan

dengan rumus 4.11. sebagai berikut :

$$k = \frac{1}{2} E \frac{hw^2}{l^3} \dots \dots \dots 4.11$$

Dengan :

$$E = \text{Modulus Elastisitas Perkerasan Lentur / Aspal } \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

$$h = \text{Tebal Perkerasan Lentur } (m)$$

$$w = \text{Lebar Jenis Kendaraan}$$

$$l = \text{Pajang Jenis Kendaraan}$$

Modulus Elastisitas Perkerasan Lentur / Aspal (E). Dapat ditentukan menggunakan Tabel 4.15. sebagai berikut :

Tabel 4.15. Modulus Elastisitas Aspal (Sumber : Widodo dan Setyaningsih, 2011)

Temperatur (°C)	Modulus Elastisitas		
	(kg/cm ²)	(Mpa)	(psi)
25	4,063	399	57,74
35	3,872	380	55,025
45	2,599	255	36,939
55	2,395	235	34,033
65	2,187	214	31,076

Diambil nilai modulus elastisitas aspal dengan temperature 25 °C dengan :

$$E = 4,063 \frac{kg}{cm^2} = 398174000 \frac{kN}{m^2}$$

Tebal perkerasan lentur (h) di Jalan Trangkil, Gunungpati, sesuai pengamatan adalah 14 cm = 0,14 m. Dimensi kendaraan ditentukan berdasarkan Tabel 4.16. sebagai berikut :

Tabel 4.16. Dimensi Kendaraan Rencana (Sumber : Standar Konstruksi dan Bangunan No. 007/BM/2009, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga)

Jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan (m)		
	Tinggi	Lebar	Panjang
Mobil	1,3	2,1	5,8
Bus	3,2	2,4	10,9
Truk 2 as	4,1	2,4	9,2
Truk 2 as	4,1	2,4	12,0
Truk 4 as	4,1	2,4	13,9
Truk 5 as	4,1	2,5	16,8

Jadi dapat dilihat dari Tabel 4.16. Dimensi untuk mobil adalah lebar (w) = 2,1 m dan panjang (l) = 5,8 m, sedangkan truk ringan 2 sumbu adalah Lebar (w) = 2,4 m dan Panjang (l) = 9,2 m

Maka nilai spring konstant (k), rumus 3.11. untuk jenis kendaraan mobil dan truk ringan 2 sumbu adalah :

$$k_{mobil} = \frac{1}{2} E \frac{hw^2}{l^3}$$

$$k_{mobil} = \frac{1}{2} 398174000 \frac{0,14 \times 2,1^2}{5,8^3}$$

$$k_{mobil} = 629978,2371 \text{ kN/m}$$

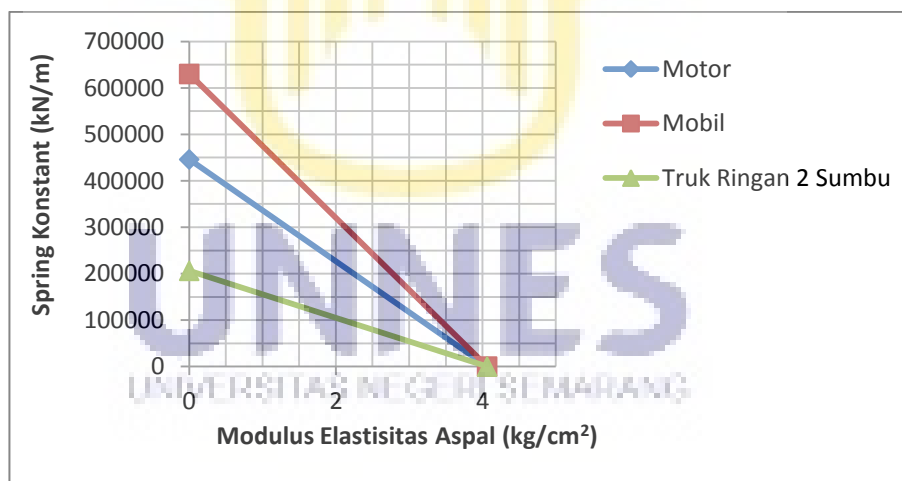
$$k_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = \frac{1}{2} 398174000 \frac{0,14 \times 2,4^2}{9,2^3}$$

$$k_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = 206172,1213 \text{ kN/m}$$

Selanjutnya perhitungan spring konstanta untuk masing-masing kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.35. sebagai berikut :

Tabel 4.17. Spring konstant berdasarkan jenis kendaraan

Jenis Kendaraan →	Motor	Mobil	Truk Ringan 2 Sumbu	Satuan
E =	4,063	4,063	4,063	kg/cm ²
	398174000	398174000	398174000	kN/m ²
h =	0,14	0,14	0,14	m
w =	0,5	2,1	2,4	m
l =	2,5	5,8	9,2	m
spring konstant(k) =	445954,88	629978,2371	206172,1213	kN/m



Gambar 4.35. Grafik hubungan spring kontant dan modulus elastisitas aspal di Jalan Trangkil Gunungpati

5. Gaya Dinamik ($F_{dynamic}$)

Menentukan Gaya Dinamik pada masing-masing jenis kendaraan, berdasarkan rumus 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7, sebagai contoh analisis truk ringan 2 sumbu :

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2 \left(\frac{22}{7} \right) 50,13325$$

$$\omega = 315,12329 \text{ rad/s}$$

$$\omega_n = 2\pi f_n$$

$$\omega_n = 2 \left(\frac{22}{7} \right) 32,32$$

$$\omega_n = 203,15428 \text{ rad/s}$$

$$Z_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = \frac{\frac{Q}{k}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)}} \dots\dots\dots 4.16$$

$$Z_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = \frac{98}{2016172,1213} \sqrt{\left(1 - \frac{315,12329^2}{203,15428^2}\right)^2 + 4 \times 0,1610458^2 \left(\frac{315,12329^2}{203,15428^2}\right)}$$

$$Z_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = 0,000318544 \text{ m}$$

$$C_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = 2D\sqrt{km} \dots\dots\dots 4.17$$

$$C_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = 2 \times 0,1610458 \sqrt{2016172,1213 \times 98}$$

$$C_{truk \text{ ringan } 2 \text{ sumbu}} = 462,481481 \text{ kN} - \text{s/m}$$

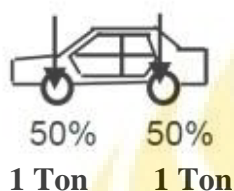
$$F_{dynamic} = Z\sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \dots\dots\dots 4.18$$

$$F_{dynamic} = 0,000318544 \sqrt{2016172,1213^2 + (462,481481 \times 315,12329)^2}$$

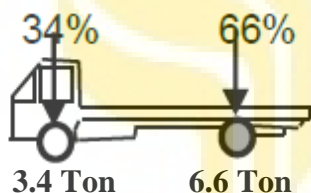
$$F_{dynamic} = 80,42632 \text{ kN}$$

6. Gaya Statik (F_{statik})

Gaya Statik atau gaya yang ditimbulkan oleh masing-masing kendaraan. Gaya statik didapat dari beban sumbu kendaraan metode bina margas. Dapat dilihat pada Gambar 4.36. dan 4.37. Contoh Beban Sumbu Masing-masing kendaraan, sebagai berikut :



Gambar 4.36. Beban sumbu mobil



Gambar 4.37. Beban sumbu truk ringan 2 sumbu

Jadi dari Gambar 4.36 dan Gambar 4.37. dapat ditarik kesimpulan untuk beban sumbu kendaraan adalah mobil 2 ton dan truk ringan 2 sumbu 10 ton. Hasil beban tersebut di korelasikan menjadi gaya statik sehingga satuan *ton* berubah ke *kN*, dapat dilihat sebagai berikut :

$$F_{statik mobil} = 2 ton \times 9,8 = 19,6 kN$$

$$F_{statik truk ringan 2 sumbu} = 10 ton \times 9,8 = 98 kN$$

Sedangkan untuk kendaraan bermotor, rata-rata berat motor adalah 120 kg

atau 0,12 ton, sehingga untuk F_{statik} kendaraan bermotor sebagai berikut :

$$F_{statik motor} = 0,12 ton \times 9,8 = 1,176 kN$$

Hasil gaya statik pada berdasarkan jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.18. sebagai berikut :

Tabel 4.18. Gaya statik berdasarkan jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	F_{static} (Hz)
Kendaraan Bermotor	1,176
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	19,6
Bus Kecil, 5 ton	49
Bus Besar, 8 ton	78,4
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	98
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	137,2
Truk 3 Sumbu, 20 ton	196
Truk Gandengan, 25 ton	245
Truk Semi Trailer, 30 ton	294

7. ESAL Seismic Monitoring atau DEF (*Dynamic Esal Factor*)

DEF (*Dynamic Esal Factor*) yang didapatkan dari getaran alat seismic monitoring, dengan menggunakan rumus 3.19. sebagai berikut :

$$DEF_{truk\ ringan\ 2\ sumbu} = \frac{F_{dynamic}}{F_{static}} = \frac{62,75487}{98} = 0,64036$$

Sedangkan ESAL Bina Marga untuk Truk Ringan 2 sumbu adalah 0,45811, jadi ESAL dari Seismic Monitoring lebih besar daripada ESAL Bina Marga.

Menghitung getaran kendaraan dengan seismic monitoring, dapat dijadikan acuan lain untuk mencari Faktor Esal. Rekap data ESAL dapat dilihat dari Tabel 4.19. sebagai berikut :

Tabel 4.19. Hubungan DEF dan ESAL

Jenis Kendaraan →	Motor	Mobil	Truk Ringan 2 Sumbu	Satuan
Frekuensi (f) =	28,02537255	47,30808249	50,13325188	Hz
Berat (m) =	0,12	2	10	ton
Q =	1,176	19,6	98	kN
E =	4,063	4,063	4,063	kg/cm ²
	398174000	398174000	398174000	kN/m ²
h =	0,14	0,14	0,14	m
w =	0,5	2,1	2,4	m
l =	2,5	5,8	9,2	m
spring konstant(k) =	445954,88	629978,2371	206172,1213	kN/m
f _n =	2,35	4,62	32,32	Hz
f _a =	2,2	4,27	30,02	Hz
f _b =	2,51	5,09	40,43	Hz
damping ratio (D) =	0,065957447	0,088744589	0,161045792	
w =	176,1594846	297,3650899	315,1232975	rad/s
w _n =	14,77142857	29,04	203,1542857	rad/s
Z =	1,86718E-08	2,99529E-07	0,000318544	m
c =	30,51616222	199,2276664	462,481481	kNs/m
F _{dynamic} =	0,008327397	0,189529368	80,42632318	kN
F _{static} =	1,176	19,6	98	kN
Dynamic ESAL Factor =	0,00708112	0,009669866	0,820676767	
ESAL BINA MARGA =	-	0,000451096	0,458112572	

Rekap dari nilai Dynamic Esal Factor (DEF) dapat dilihat pada Tabel 4.20. sebagai berikut :

Tabel 4.20. Rekap nilai DEF di Jalan Trangkil Gunungpati

Jenis Kendaraan	F _{dynamic}	F _{static}	DEF (Dynamic Esal Factor)
Motor	0,001759	1,176	0,00708112
Mobil	0,189529	19,6	0,009669866
Truk Ringan 2 Sumbu	62,754871	98	0,820676767

Jadi dalam penelitian ini, nilai ESAL dalam rumus 3.10. akan digantikan dengan nilai X yaitu DEF (Dynamic Esal Factor), yang didapatkan dari percepatan alat *seismic monitoring*. Kemudian DEF (*Dynamic Esal Factor*) akan menggantikan nilai ESAL Faktor dari bina marga, untuk membuat perencanaan desain tebal

perkerasan lentur, di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal. Analisis ESAL dan DEF dapat dilihat pada Tabel 4.21. sebagai berikut :

Tabel 4.21. Analisis ESAL dan DEF, di Jalan Lingkar Weleri

Jenis Kendaraan	ESAL Faktor	DEF (Dynamic Esal Factor)
Kendaraan Bermotor	0	X ₁
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	0,00045	X ₂
Bus Kecil, 5 ton	0,02863	X ₃
Bus Besar, 8 ton	0,18764	X ₄
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	0,45811	X ₅
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	1,30842	X ₆
Truk 3 Sumbu, 20 ton	1,12295	X ₇
Truk Gandengan, 25 ton	1,57048	X ₈
Truk Semi Trailer, 30 ton	1,62433	X ₉

Jadi penelitian di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal, diambil sampel getaran setiap jenis kendaraan yaitu 2 kendaraan setiap jam. Sehingga total getaran yang digunakan untuk menganalisis *dynamic esal factor* (DEF) adalah 144 data, untuk 8 jam penelitian.

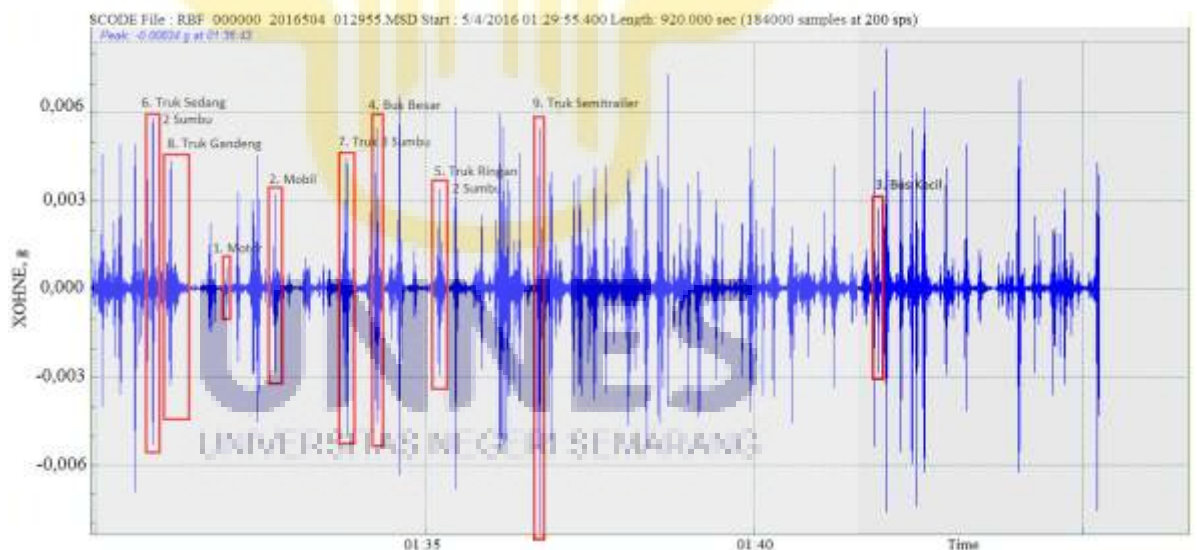
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian di Jalan Lingkar Weleri

5.1.1. Frekuensi getaran kendaraan di Jalan Lingkar Weleri (f , f_n , f_a , dan f_b)

Menghitung frekuensi getaran kendaraan (f) di Jalan Lingkar Weleri berdasarkan pada rumus 4.9. dan frekuensi natural (f_n), f_a serta f_b yang dijelaskan pada Gambar 4.20. halaman 98. Contoh analisis perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :



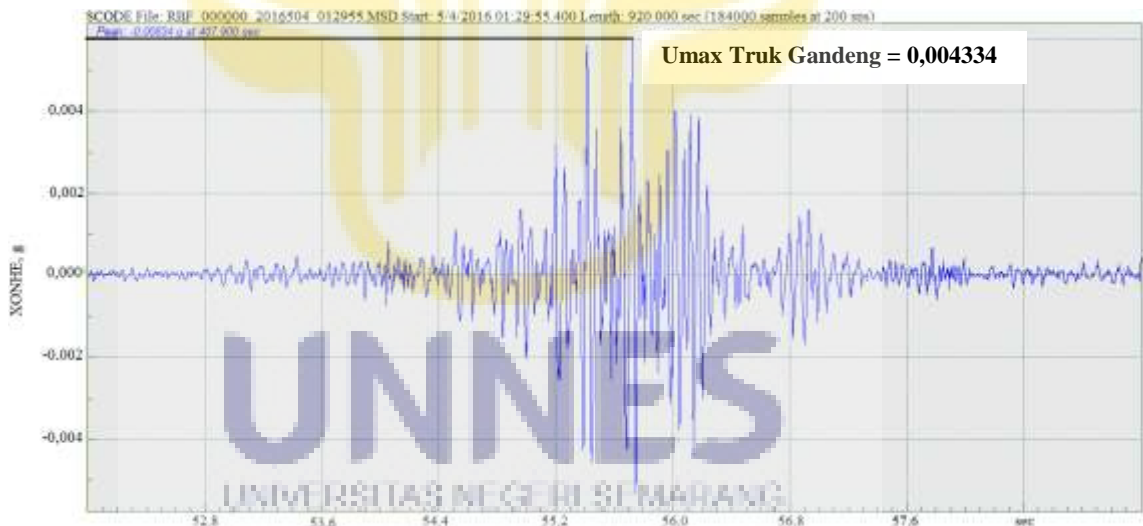
Gambar 5.1. Grafik percepatan getaran di Jalan Lingkar Weleri di pukul 08.30 – 08.45

Dari Gambar 5.1. dapat dilihat beberapa kendaraan yang melintas dalam 15 menit, kemudian ditentukan getaran yang akan dihitung dalam menentukan frekuensi getaran. Sebagai contoh diambil data getaran di detail ke dua dan

delapan, yaitu getaran mobil dan truk gandeng. Detail kendaraan mobil dan truk gandeng dapat dilihat pada Gambar 5.2. dan 5.3 sebagai berikut :



Gambar 5.2. Detail 2, Grafik Getaran Kendaraan Mobil



Gambar 5.3. Detail 8, grafik getaran kendaraan truk gandeng

Analisis perhitungan mencari nilai f , f_n , f_a , dan f_b berdasarkan grafik getaran sebagai berikut :

1. Menentukan Frekuensi Getaran Kendaraan (f)

Berdasarkan **Gambar 5.2.** Mobil melintas terekam pada detik ke 164,8 – 167,4. Untuk Truk Gandeng berdasarkan **Gambar 5.3,** kendaraan

melintas terekam ada detik ke 68 – 73. Analisis perhitungan frekuensi getaran kendaraan sebagai berikut:

- Mobil

Analisis perhitungan dapat terlihat pada Tabel 5.1. sebagai berikut :

Tabel 5.1. Frekuensi mobil, di Jalan Lingkar Weleri

No	Waktu (s)	u_i (m/s ²)	$(2u_i/u_{max})^2$	f_{mobil} (Hz)
1	164,8	4,472E-05	0,0007786	
2	164,805	0,0001851	0,0133424	
3	164,81	0,0003344	0,0435268	
4	164,815	0,0003804	0,0563331	
5	164,82	0,0002488	0,0241045	
.	.	.	.	34,27033
.	.	.	.	
.	.	.	.	
521	167,4	0,0001451	0,0081949	
Nilai Maksimum		0,003205		
Jumlah			68,54066	

$$u_{max Mobil} = 0,00321 \text{ m/s}^2$$

$$\sum \left(\frac{2u_i}{u_{max}} \right)^2 = 68,541 \text{ m/s}^2$$

$$F_{mobil} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{u_i}{u_{max Mobil}} \right)^2$$

$$F_{mobil} = \frac{1}{2} (68,541)$$

$$F_{mobil} = 34,27033 \text{ Hz}$$

- Truk Gandeng

Analisis perhitungan dapat terlihat pada Tabel 4.1. sebagai berikut :

Tabel 5.2. Frekuensi truk gandeng, di Jalan Lingkar Weleri

No	Waktu (s)	u_i (m/s ²)	$(2u_i/u_{max})^2$	$f_{i,gandeng}$ (Hz)
1	68	0,0003271	0,0227798	
2	68,005	0,0002262	0,010895	
3	68,01	0,0001178	0,0029538	
4	68,015	0,0003429	0,0250425	
5	68,02	0,000339	0,0244762	
...	
...	
...	
1001	73	0,0002241	0,0106956	
Nilai Maksimum		0,004334		
Jumlah			139,0319	69,51597

$$u_{max \text{ Truk Gandeng}} = 0,004334 \text{ m/s}^2$$

$$\sum \left(\frac{2u_i}{u_{max}} \right)^2 = 139,03194 \text{ m/s}^2$$

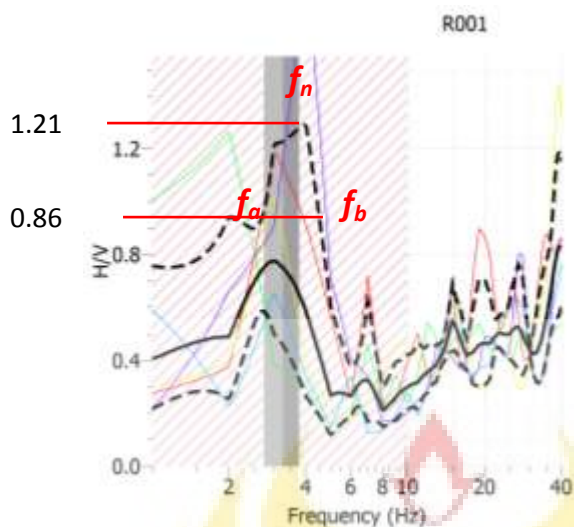
$$F_{truk \text{ gandeng}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{u_i}{u_{max \text{ Truk Gandeng}}} \right)^2$$

$$F_{truk \text{ gandeng}} = \frac{1}{2} (139,03194)$$

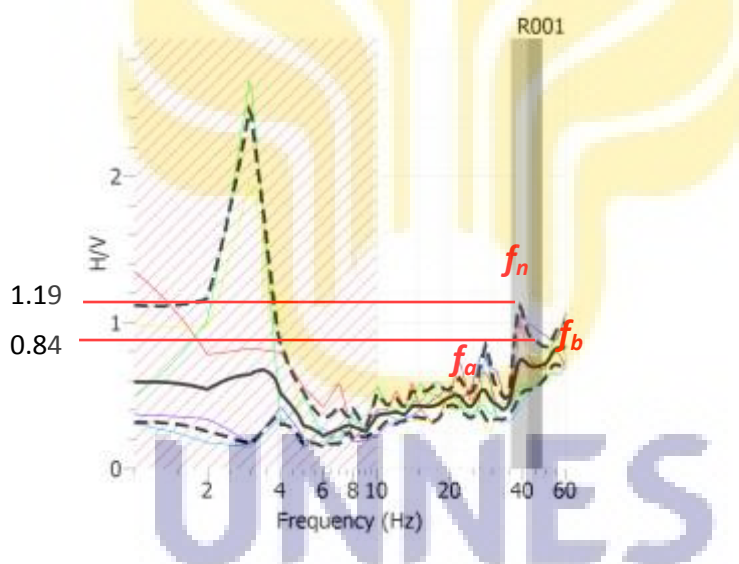
$$F_{truk \text{ gandeng}} = 69,51597 \text{ Hz}$$

2. Menentukan f_n , f_a dan f_b

Untuk menentukan nilai f_n , f_a , dan f_b dapat dicari menggunakan aplikasi geopsy, yang hasil grafik H/V dapat dilihat pada Gambar 5.4. dan 5.5. sebagai berikut :



Gambar 5.4. Grafik H/V frekuensi natural mobil



Gambar 5.5. Grafik H/V frekuensi-natural truk gandeng

Dari Gambar 5.4 dan 5.5 dapat diketahui bahwa :

- Mobil $\rightarrow f_n = 4,05 \text{ Hz}$; $f_a = 2,85 \text{ Hz}$; $f_b = 4,66 \text{ Hz}$
- Truk Gandeng $\rightarrow f_n = 39,15 \text{ Hz}$; $f_a = 34,85 \text{ Hz}$; $f_b = 45,73 \text{ Hz}$

Selanjutnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.3., sedangkan pengaruh dari nilai frekuensi yaitu kecepatan dan percepatan dapat dilihat di tabel 5.4 dan 5.5, serta dijelaskan pada Gambar 5.6, 5.7, dan 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.3. Hasil perhitungan nilai f , f_n , f_a , dan f_b

Waktu Penelitian	Frekuensi f_m , f_a , dan f_b berdasarkan jenis kendaraan																			
	Motor				Mobil				Bus Kecil				Bus Besar			Truk Ringan 2 Sumbu				
	f	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b	F	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b
07.00 - 08.00	32,47	3,46	3,1	3,73	15,9	4,02	3,59	4,33	32,33	12,9	10,12	15,55	60,04	35,81	33,87	37,86	51,82	33,98	30,03	35,12
	12,91	2,99	2,53	3,34	45,82	2,57	2,39	2,89	20,12	8,99	8,54	9,89	21,06	5,14	4,71	5,37	24,49	41,54	37,17	44,74
08.00 - 09.00	20,11	4,05	3,46	4,42	30,4	3,06	2,48	3,52	26,8	4,05	3,34	4,58	47,78	28,2	25,84	31,87	26,56	40,89	38,12	46,77
	24,15	2,14	1,8	2,62	34,27	4,05	2,85	4,66	22,73	3,01	2,57	3,84	37,9	30,78	28,76	33,21	34,74	43,91	42,32	49,08
09.00 - 10.00	15,73	4,12	3,52	4,34	56,59	4,05	2,71	4,42	41,7	3,1	2,43	3,4	73,27	14,17	12,45	15,26	53,91	39,92	34,85	44,85
	18,31	3,06	2,57	4,5	17,84	5,61	4,88	5,91	36,95	4,51	4,33	5,09	74,55	53,41	47,54	57,72	47,06	25,52	23,41	27,72
10.00 - 11.00	17,7	3,89	3,42	4,12	34,57	5,32	4,71	5,59	42,46	9,7	8,6	10,2	45,01	28,9	26,71	32,12	81,36	35,43	30,12	38,91
	43,81	5,31	4,78	5,54	60,88	12,75	11,03	14,22	22,99	4,5	3,99	4,87	69,24	40,52	35,66	43,12	69,55	42,2	40,23	45,06
11.00 - 12.00	22,52	3,06	2,62	3,46	28,78	4,19	3,01	4,58	13,84	4,05	3,78	5,17	43,89	44,85	40,7	48,47	47,84	43,91	39,29	48,18
	30,01	3,08	2,59	3,46	15,81	5,2	4,2	5,85	32,7	3,12	2,44	3,71	62,6	22,46	20,23	24,54	33,97	43,11	40,03	48,18
12.00 - 13.00	26,38	3,17	2,81	3,65	46,13	4,42	3,52	4,61	37,56	5,8	4,67	6,66	34,8	15,55	12,68	17,7	41,29	30,22	27,63	34,12
	18,21	4,55	3,76	4,82	36,61	5,27	4,46	5,49	32,43	3,87	3,22	4,34	74,15	59,82	53,92	65	22,53	35,43	28,81	39,98
13.00 - 14.00	33,9	2,32	1,98	2,76	27,11	5,98	5,81	6,54	-	-	-	-	19,82	27,76	23,33	30,04	55,22	26,54	25,3	29,21
	10,3	3,32	2,87	3,65	32,82	6,65	5,89	6,99	-	-	-	-	27,04	41,23	38,44	44,12	55,37	26,55	24,12	28,06
14.00 - 15.00	16,52	3,01	2,57	3,46	66,54	4	2,2	4,78	32,9	3,04	2,47	3,4	44,03	49,42	42,31	53,41	21,04	27,77	26,54	30,06
	25,73	2,56	2,21	3,08	15,13	3,06	2,71	3,46	37,93	4,19	3,65	4,42	51,73	39,15	35,53	50,39	33,59	30,02	25,66	35,51
Rata-rata	23,05	3,381	2,912	3,809	35,33	5,013	4,153	5,49	30,96	5,345	4,582	6,08	49,18	33,57	30,17	36,89	43,77	35,43	32,1	39,1
Maximum	43,81	5,31	4,78	5,54	66,54	12,75	11,03	14,22	42,46	12,9	10,12	15,55	74,55	59,82	53,92	65	81,36	43,91	42,32	49,08
Minimum	10,3	2,14	1,8	2,62	15,13	2,57	2,2	2,89	13,84	3,01	2,43	3,4	19,82	5,14	4,71	5,37	21,04	25,52	23,41	27,72

Lanjutan Tabel 5.3.

Waktu Penelitian	Frekuensi f_n , f_a , dan f_b Berdasarkan Jenis Kendaraan															
	Truk Sedang 2 Sumbu				Truk 3 Sumbu				Truk Gandengan				Truk SemiTrailer			
	f	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b	f	f_n	f_a	f_b
07.00 - 08.00	41,55	40,52	44,63	48,66	29,56	44,6	41,77	57,95	41,52	38,7	34,56	39,4	64,11	36,48	30,88	43,91
	57,59	30,82	29,34	32,35	36,82	72,72	66,77	77,52	41,76	57,95	55,47	66,95	10,56	50,72	47,75	63,3
08.00 - 09.00	66,97	41,54	37,17	46,43	83,72	52,38	48,47	55,4	46,68	38,9	38,48	41,99	29,91	43,11	37,86	49,08
	67,36	37,86	35,15	45,57	34,25	43,91	42,32	48,18	69,52	39,15	34,85	45,73	21,8	39,5	32,25	43,14
09.00 - 10.00	60,25	37,21	34,77	42,2	24,88	48,47	44,85	56,61	42	53,41	49,42	58,85	66,66	41,54	39,29	45,57
	37,72	40,58	38,51	43,25	58,5	32,3	30,22	38,88	60,04	45,57	39,29	49,08	35,09	38,57	35,81	44,74
10.00 - 11.00	63,48	38,98	32,12	40,11	42,48	58,88	50,21	62,11	70,41	40,86	37,73	43,22	49,81	45,55	43,98	48,25
	64,25	35,66	32,98	39,11	38,81	50,32	46,7	54,3	82,43	60,33	55,12	63,11	28,75	48,9	42,2	53,1
11.00 - 12.00	22,48	30,31	28,31	33,98	43,08	51,37	48,47	56,61	61,07	44,85	43,14	53,41	29,62	21,45	20,02	23,12
	28,61	13,66	13,16	13,91	24,95	40,33	36,2	44,11	19,08	3,07	2,39	3,55	91,71	49,62	47,6	56,2
12.00 - 13.00	28,85	55,52	51,37	62,35	44,11	38,4	32,25	38,4	60,31	52,38	47,54	55,52	45,55	38,67	34,86	46,62
	34,79	42,33	40,09	44,22	44,92	52,81	48,6	59,82	92,75	55,05	50,66	59,82	68,14	47,07	42,81	51,76
13.00 - 14.00	96,66	65,43	60,22	69,08	39,78	55,67	52,12	57,6	59,93	48,77	45,65	54,42	48,32	50,81	45,31	56,77
	61,72	45,55	43,32	48,11	57,63	66,51	57,79	70,08	62,87	53,21	50,22	56,72	63,48	40,31	38,65	44,98
14.00 - 15.00	70,08	42,31	31,63	46,62	68,83	72,08	67,51	78,1	51,81	50,02	46,23	55,51	70,23	51,37	47,54	57,72
	42,26	54,21	50,32	58,98	36,3	60,02	53,32	61,22	42,95	49,62	40,31	53,92	77,1	45,88	42,11	48,21
Rata-rata	52,79	40,78	37,69	44,68	44,29	52,55	47,97	57,31	56,57	45,74	41,94	50,08	50,05	43,1	39,31	48,53
Maximum	96,66	65,43	60,22	69,08	83,72	72,72	67,51	78,1	92,75	60,33	55,47	66,95	91,71	51,37	47,75	63,3
Minimum	22,48	13,66	13,16	13,91	24,88	32,3	30,22	38,4	19,08	3,07	2,39	3,55	10,56	21,45	20,02	23,12

Data percepatan pada masing-masing kendaraan juga dapat dilihat pada Tabel 5.4. sebagai berikut :

Tabel 5.4. Percepatan kendaraan di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal

Waktu Penelitian	Percepatan Maksimum (m/s ²)								
	Motor	Mobil	Bus Kecil	Bus Besar	Truk Ringan 2 Sumbu	Truk Sedang 2 Sumbu	Truk 3 Sumbu	Truk Gandengan	Truk SemiTrailer
07.00 - 08.00	0,000596	0,001471	0,003237	0,005978	0,003955	0,003550	0,004468	0,005677	0,006112
	0,000974	0,001010	0,003237	0,003052	0,003237	0,004412	0,006184	0,006610	0,005438
08.00 - 09.00	0,000561	0,003502	0,001839	0,006212	0,002989	0,004744	0,007093	0,004744	0,006347
	0,001004	0,003205	0,002890	0,005419	0,003275	0,005753	0,005045	0,004334	0,008340
09.00 - 10.00	0,001383	0,003312	0,002716	0,004410	0,004636	0,005668	0,005576	0,007082	0,009613
	0,000934	0,003582	0,000667	0,003327	0,004190	0,005426	0,007217	0,006040	0,006076
10.00 - 11.00	0,000721	0,003740	0,003072	0,006086	0,004928	0,006099	0,007407	0,005112	0,009782
	0,000876	0,002378	0,003873	0,005691	0,005652	0,008675	0,008481	0,008038	0,010376
11.00 - 12.00	0,001497	0,003856	0,001894	0,006088	0,004888	0,007437	0,007312	0,007209	0,012211
	0,000666	0,003512	0,002536	0,003818	0,004919	0,005315	0,009111	0,008895	0,005527
12.00 - 13.00	0,000799	0,001553	0,002772	0,003715	0,006325	0,006156	0,006374	0,007583	0,006563
	0,000835	0,003845	0,002651	0,005689	0,006301	0,006196	0,008383	0,005014	0,006128
13.00 - 14.00	0,000887	0,002249	-	0,005056	0,003525	0,006519	0,006870	0,006157	0,006166
	0,001019	0,001298	-	0,004556	0,005538	0,005752	0,007331	0,006399	0,006146
14.00 - 15.00	0,001035	0,003001	0,002000	0,004960	0,003385	0,005117	0,006304	0,005010	0,006176
	0,000820	0,002040	0,002480	0,005660	0,004473	0,007237	0,008356	0,007440	0,008601
Rata-rata	0,000913	0,002722	0,002562	0,004982	0,004514	0,005879	0,006970	0,006334	0,007475
Maximum	0,001497	0,003856	0,003873	0,006212	0,006325	0,008675	0,009111	0,008895	0,012211
Minimum	0,000561	0,001010	0,000667	0,003052	0,002989	0,003550	0,004468	0,004334	0,005438

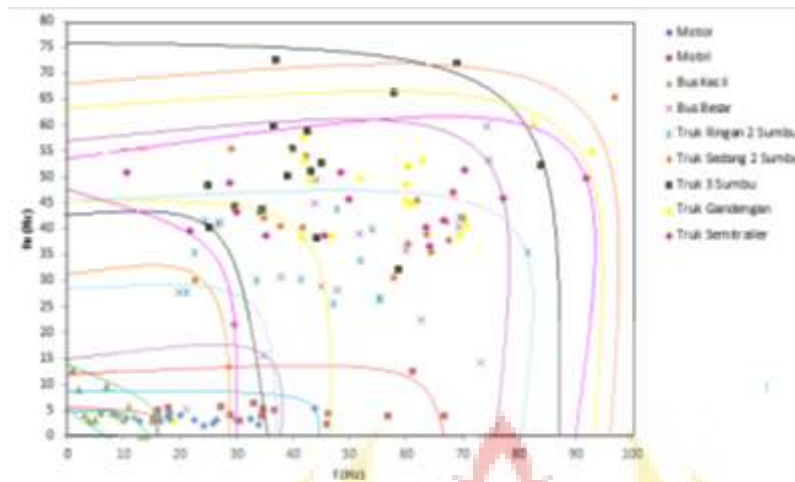
Rekap data Percepatan, Kecepatan dan Frekuensi dapat dilihat pada Tabel 5.5. sebagai berikut :

Tabel 5.5. Kecepatan kendaraan di Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal

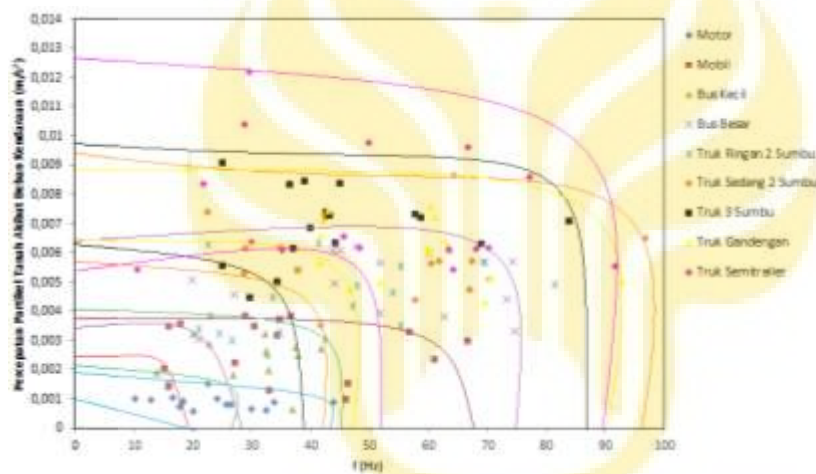
Waktu Penelitian	Kecepatan, Percepatan dan Frekuensi														
	Motor			Mobil			Bus Kecil			Bus Besar			Truk Ringan 2 Sumbu		
	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)
07.00 - 08.00	0,00060	72	32,465	0,00147	51	15,899	0,00324	72	32,335	0,00598	72	60,038	0,00395	60	51,816
	0,00097	90	12,906	0,00101	72	45,824	0,00324	60	20,120	0,00305	45	21,056	0,00324	51	24,492
08.00 - 09.00	0,00056	51	20,109	0,00350	60	30,395	0,00184	60	26,796	0,00621	72	47,781	0,00299	36	26,564
	0,00100	60	24,151	0,00321	60	34,270	0,00289	36	22,734	0,00542	60	37,900	0,00327	45	34,743
09.00 - 10.00	0,00138	72	15,730	0,00331	90	56,593	0,00272	51	41,702	0,00441	51	73,268	0,00464	60	53,914
	0,00093	60	18,306	0,00358	51	17,845	0,00067	60	36,945	0,00333	60	74,548	0,00419	60	47,061
10.00 - 11.00	0,00072	45	17,697	0,00374	60	34,573	0,00307	45	42,464	0,00609	45	45,014	0,00493	45	81,355
	0,00088	51	43,809	0,00238	72	60,884	0,00387	33	22,993	0,00569	90	69,243	0,00565	51	69,549
11.00 - 12.00	0,00150	60	22,517	0,00386	60	28,778	0,00189	72	13,839	0,00609	40	43,894	0,00489	60	47,838
	0,00067	51	30,013	0,00351	72	15,810	0,00254	51	32,703	0,00382	51	62,603	0,00492	45	33,966
12.00 - 13.00	0,00080	45	26,377	0,00155	51	46,128	0,00277	51	37,564	0,00371	60	34,796	0,00632	51	41,285
	0,00084	90	18,210	0,00385	90	36,607	0,00265	45	32,431	0,00569	60	74,155	0,00630	40	22,527
13.00 - 14.00	0,00089	51	33,898	0,00225	72	27,108	-	-	-	0,00506	72	19,815	0,00353	36	55,223
	0,00102	90	10,301	0,00130	45	32,822	-	-	-	0,00456	60	27,036	0,00554	40	55,366
14.00 - 15.00	0,00103	72	16,525	0,00300	45	66,538	0,00200	60	32,895	0,00496	72	44,032	0,00339	60	21,042
	0,00082	60	25,733	0,00204	51	15,128	0,00248	72	37,926	0,00566	90	51,735	0,00447	51	33,587
Rata-rata	0,00091	64	23,047	0,00272	63	35,325	0,00256	55	30,960	0,00498	63	49,182	0,00451	50	43,771
Maximum	0,00150	90	43,809	0,00386	90	66,538	0,00387	72	42,464	0,00621	90	74,548	0,00632	60	81,355
Minimum	0,00056	45	10,301	0,00101	45	15,128	0,00067	33	13,839	0,00305	40	19,815	0,00299	36	21,042

Lanjutan Tabel 5.5.

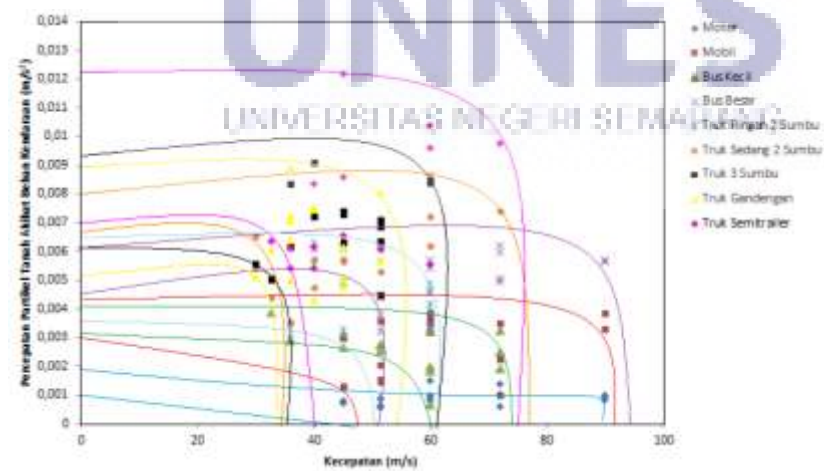
Waktu Penelitian	Kecepatan, Percepatan dan Frekuensi											
	Truk Sedang 2 Sumbu			Truk 3 Sumbu			Truk Gandengan			Truk SemiTrailer		
	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s ²)	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi (Hz)
07.00 - 08.00	0,00355	36	41,545	0,00446836	51	29,561	0,00568	51	41,515	0,00544	40	64,108
	0,00441	33	57,594	0,00618	36	36,825	0,00661	45	41,761	0,00544	36	10,562
08.00 - 09.00	0,00474	40	66,966	0,00709	51	83,721	0,00474	45	46,679	0,00635	33	29,909
	0,00575	45	67,361	0,00505	33	34,247	0,00433	40	69,516	0,00834	40	21,801
09.00 - 10.00	0,00567	45	60,255	0,00558	30	24,880	0,00708	36	42,004	0,00961	60	66,657
	0,00543	30	37,719	0,00722	40	58,504	0,00604	33	60,042	0,00608	51	35,089
10.00 - 11.00	0,00610	51	63,484	0,00741	45	42,477	0,00511	30	70,412	0,00978	72	49,810
	0,00868	60	64,246	0,00848	60	38,810	0,00804	51	82,426	0,01038	60	28,748
11.00 - 12.00	0,00744	72	22,482	0,00731	45	43,079	0,00721	36	61,069	0,01221	45	29,616
	0,00532	51	28,609	0,00911	40	24,949	0,00889	36	19,082	0,00553	60	91,714
12.00 - 13.00	0,00616	51	28,850	0,00637	51	44,113	0,00758	40	60,308	0,00656	45	45,554
	0,00620	60	34,787	0,00838	60	44,921	0,00501	45	92,746	0,00613	36	68,136
13.00 - 14.00	0,00652	30	96,662	0,00687	51	39,779	0,00616	45	59,931	0,00617	40	48,323
	0,00575	40	61,722	0,00733	45	57,631	0,00640	36	62,871	0,00615	36	63,479
14.00 - 15.00	0,00512	33	70,079	0,00630	45	68,826	0,00501	36	51,809	0,00618	40	70,228
	0,00724	60	42,263	0,00836	36	36,295	0,00744	40	42,955	0,00860	45	77,098
Rata-rata	0,00588	46	52,789	0,00697	45	44,289	0,00633	40	56,570	0,00743	46	50,052
Maximum	0,00868	72	96,662	0,00911	60	83,721	0,00889	51	92,746	0,01221	72	91,714
Minimum	0,00355	30	22,482	0,00447	30	24,880	0,00433	30	19,082	0,00544	33	10,562



Gambar 5.6. Grafik hubungan frekuensi dan fn di Jalan Lingkar Weleri



Gambar 5.7. Grafik hubungan frekuensi dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Lingkar Weleri

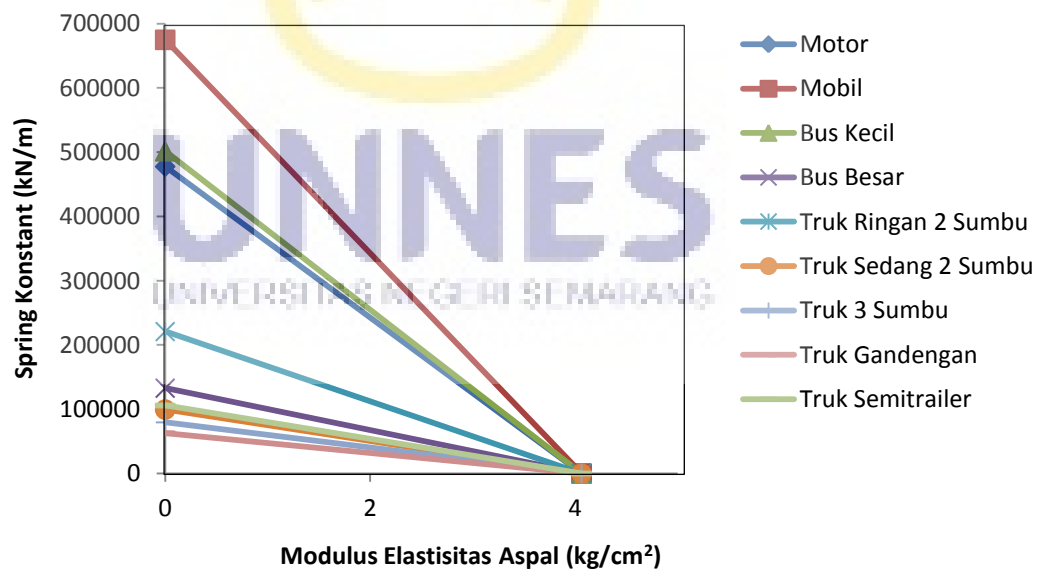


Gambar 5.8. Grafik hubungan kecepatan dan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Lingkar Weleri

Dari Tabel 5.5 dapat dilihat juga pada Gambar 5.6 5.7 dan 5.8, yang menjelaskan bahwa nilai frekuensi, fn , kecepatan dan percepatan pada masing-masing jenis kendaraan berbeda-beda. Hasil tersebut dipengaruhi oleh kecepatan suatu kendaraan yang melintas pada perkerasan jalan. Percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan di Jalan Lingkar Weleri terbesar di dapat pada kendaraan truk semitrailer, sedangkan frekuensi getaran kendaraan paling besar pada Truk Sedang 2 Sumbu. Kecepatan kendaraan berpengaruh ke hasil percepatan partikel tanah dan jumlah frekuensi getaran kendaraan tersebut.

5.1.2. Spring Konstant (k)

Analisis perhitungan berdasarkan rumus 4.11. yang hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.9. sebagai berikut.



Gambar 5.9. Grafik hubungan spring konstant dan modulus elastisitas aspal berdasarkan jenis kendaraan

Dari Gambar 5.9. menjelaskan bahwa nilai spring konstant dengan nilai modulus elastisitas aspal yang tetap pada Tabel 4.15, dipengaruhi oleh dimensi kendaraan tersebut. Dapat dilihat bahwa nilai spring konstant terbesar adalah mobil dan terendah adalah truk ganden. Disebabkan karena panjang dan lebar dari jenis kendaraan, berdasarkan rumus 4.11, bahwa spring konstant berbanding terbalik dengan panjang dari jenis kendaraan.

5.1.3. Damping Ratio (D) di Jalan Lingkar Weleri

Analisis perhitungan berdasarkan rumus 4.21. sebagai berikut :

1. Kendaraan Bermotor, dengan :

$$f_n = 3,38 \text{ Hz}; f_a = 2,91 \text{ Hz}; f_b = 3,81 \text{ Hz} \text{ (berdasarkan Tabel 5.1)}$$

diambil nilai rata-rata)

$$D_{motor} = \frac{f_b - f_a}{2f_n}$$

$$D_{motor} = \frac{3,81 - 2,91}{2 \times 3,38} = 0,13274$$

2. Kendaraan Ringan, Mobil, dengan:

$$f_n = 5,01 \text{ Hz}; f_a = 4,15 \text{ Hz}; f_b = 5,49 \text{ Hz} \text{ (berdasarkan Tabel 5.1)}$$

diambil nilai rata-rata)

$$D_{mobil} = \frac{f_b - f_a}{2f_n}$$

$$D_{mobil} = \frac{5,49 - 4,15}{2 \times 5,01} = 0,13342$$

3. Truk Sedang 2 Sumbu

$$f_n = 40,8 \text{ Hz}; f_a = 37,7 \text{ Hz}; f_b = 44,7 \text{ Hz} \text{ (berdasarkan Tabel 5.1)}$$

diambil nilai rata-rata)

$$D_{\text{truk sedang 2sumbu}} = \frac{f_b - f_a}{2f_n}$$

$$D_{\text{truk sedang 2sumbu}} = \frac{44,7 - 37,7}{2 \times 40,8} = 0,25364$$

Untuk selanjutnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.6. sebagai berikut :

Tabel 5.6. Hasil perhitungan damping ratio berdasarkan jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	Damping Ratio (D)
Kendaraan Bermotor	0,13274
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	0,13342
Bus Kecil, 5 ton	0,14012
Bus Besar, 8 ton	0,10008
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	0,09871
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	0,25364
Truk 3 Sumbu, 20 ton	0,08880
Truk Gandengan, 25 ton	0,08891
Truk Semi Trailer, 30 ton	0,10699

4.1.1. *Dynamic Esal Factor (DEF)*

Dynamic Esal Factor (DEF) di Jalan Lingkar Weleri merupakan hasil penelitian yang menjadi acuan untuk menggantikan nilai ESAL dalam Desain Jalan Baru. Hasil *Dynamic Esal Factor* (DEF) di Jalan Lingkar Weleri, berdasarkan jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5.7. sebagai berikut :

Tabel 5.7. Menentukan nilai DEF (Dynamic Esal Factor)

Jenis Kendaraan →	Motor	Mobil	Bus Kecil	Bus Besar	Truk Ringan 2 sumbu	Truk Sedang 2 sumbu	Truk 3 sumbu	Truk Gandengan	Truk Semitrailer	Satuan
Frekuensi (f) =	30	35,32513156	30,96040677	49,1822048	43,77052098	52,78903358	44,28859797	56,57028065	50,05201442	Hz
Berat (m) =	0,12	2	5	8	10	14	20	25	30	ton
Q =	1,176	19,6	49	78,4	98	137,2	196	245	294	kN
E =	4,063	4,063	4,063	4,063	4,063	4,063	4,063	4,063	4,063	kg/cm ²
	398174000	398174000	398174000	398174000	398174000	398174000	398174000	398174000	398174000	kN/m ²
h =	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	m
w =	0,5	2,1	2,4	2,4	2,4	2,4	3	2,4	4,1	m
l =	2,5	5,8	7	10,9	9,2	12	15	14	16,8	m
spring konstant(k) =	477808,8	674976,6826	501490,2857	132824,182	220898,7014	99543,5	79634,8	62686,28571	105870,2722	kN/m
f _n =	3,380625	5,0125	5,345	33,573125	35,43375	40,780625	52,548125	45,74	43,096875	Hz
f _a =	2,911875	4,1525	4,582142857	30,1675	32,101875	32,101875	47,973125	41,94125	39,3075	Hz
f _b =	3,809375	5,49	6,08	36,8875	39,096875	52,78903358	57,305625	50,075	48,529375	Hz
damping ratio (D) =	0,132741727	0,133416459	0,1401176	0,10008005	0,09870533	0,253639548	0,088799553	0,088912877	0,106990066	
w =	188,5714286	222,0436841	194,6082711	309,145288	275,128989	331,8167825	278,3854729	355,5846212	314,6126621	rad/s
w _n =	21,24964286	31,50714286	33,59714286	211,031071	222,7264286	256,3353571	330,3025	287,5085714	270,8946429	rad/s
Z =	3,16414E-08	5,96236E-07	2,9979E-06	0,00049898	0,0007653	0,001462895	0,007548764	0,006815244	0,006483947	m
c =	63,57043065	310,026479	443,7505965	206,329381	293,4047791	598,8491497	224,1337301	222,6132103	381,3476665	kNs/m
F _{dynamic} =	0,015123292	0,404532877	1,525545573	73,5221819	179,9881922	325,1245355	763,6912652	688,1551527	1037,491278	kN
F _{static} =	1,176	19,6	49	78,4	98	137,2	196	245	294	kN
Dynamic ESAL Factor (DEF) =	0,012859943	0,020639433	0,031133583	0,93778293	1,836614206	2,369712358	3,896384006	2,808796542	3,528881897	
ESAL =	0	0,0004511	0,02863204	0,1876429	0,458112572	1,308415318	1,1229481	1,57047978	1,624331322	

Tabel 5.8. Rekap nilai DEF

Jenis Kendaraan	$F_{dynamic}$	F_{static}	DEF (Dynamic Esal Factor)
Kendaraan Bermotor	0,015123292	1,176	0,012860
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	0,404532877	19,6	0,020639
Bus Kecil, 5 ton	1,525545573	49	0,031134
Bus Besar, 8 ton	73,52218188	78,4	0,937783
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	179,9881922	98	1,836614
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	325,1245355	137,2	2,369712
Truk 3 Sumbu, 20 ton	763,6912652	196	3,896384
Truk Gandengan, 25 ton	688,1551527	245	2,808797
Truk Semi Trailer, 30 ton	1037,491278	294	3,528882

Tabel 5.9. Perbandingan antara ESAL dan DEF

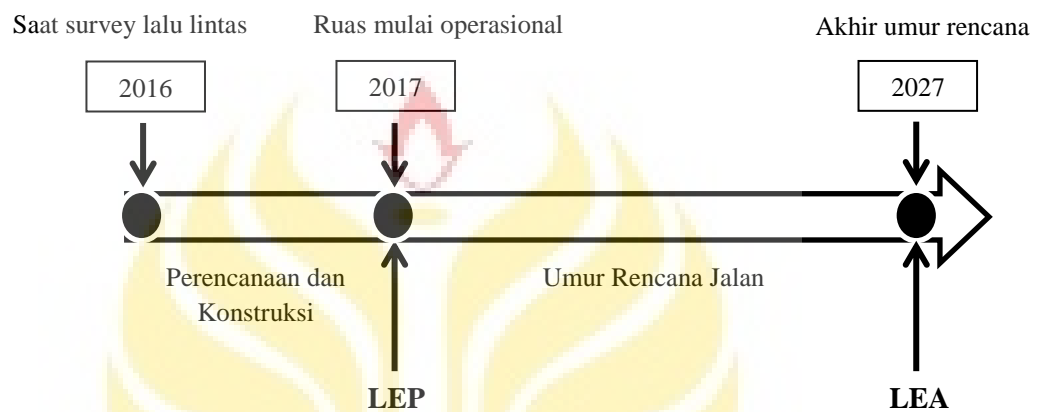
Jenis Kendaraan	ESAL	DEF
Kendaraan Bermotor	0	0,012860
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	0,00045	0,020639
Bus Kecil, 5 ton	0,02863	0,031134
Bus Besar, 8 ton	0,18764	0,937783
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	0,45811	1,836614
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	1,30842	2,369712
Truk 3 Sumbu, 20 ton	1,12295	3,896384
Truk Gandengan, 25 ton	1,57048	2,808797
Truk Semi Trailer, 30 ton	1,62433	3,528882

Dari Tabel 5.9. dapat terlihat bahwa perbedaan nilai ESAL dari bina marga dan DEF dari penelitian menggunakan alat *seismic monitoring*, menunjukkan bahwa DEF lebih besar dari ESAL. Jadi beban dinamis menggunakan alat *seismic monitoring* dapat dijadikan acuan untuk menggantikan factor Esal, dalam menentukan ITP (Indeks Tebal Perkerasan Jalan Lentur), di Jalan Lingkar Weleri, Kabupaten Kendal.

5.2. Hasil Desain Jalan Lingkar Weleri

5.2.1. Data Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

Perencanaan Tebal Perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.6. sebagai berikut:



Gambar 5.10. Perencanaan tebal perkerasan lentur di Jalan Lingkar Weleri

Dari Gambar 5.6. dapat diketahui data perencanaan tebal perkerasan bahwa :

- Jenis jalan yang direncanakan = Jalan kelas I (Arteri)
- Survei Lalu Lintas dan pelaksanaan konstruksi jalan = tahun 2016
- Jalan mulai operasional, setelah masa perencanaan dan konstruksi = tahun 2017
- Masa perencanaan dan konstruksi = 1 tahun
- Umur rencana (UR) = 10 tahun
- Volme Lalu Lintas Harian rata-rata pada awal perencanaan dapat dilihat pada Tabel 5.10. sebagai berikut :

Tabel 5.10. LHR tahun 2016 berdasarkan pengujian

Jenis Kendaraan	Total LHR	
	(kend/8 jam)	(kend/hari)
Kendaraan Bermotor	1440	4320
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	3655	10965
Bus Kecil, 5 ton	34	102
Bus Besar, 8 ton	139	417
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	952	2856
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	520	1560
Truk 3 Sumbu, 20 ton	512	1536
Truk Gandengan, 25 ton	48	144
Truk Semi Trailer, 30 ton	259	777
Jumlah	7559	22677

5.2.2. Perhitungan Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata

Tingkat pertumbuhan lalu lintas untuk awal dan akhir umur rencana, didapat dari “BPS Kabupaten Kendal, di buku Kendal Dalam Angka Tahun 2010 – 2015”, dilihat pada Tabel 5.11. sebagai berikut :

Tabel 5.11. Tingkat pertumbuhan lalu lintas Kabupaten Kendal (Sumber : BPS Kabupaten Kendal)

Tahun	Jumlah Kendaraan	i (%)
2010	9545	14,531
2011	10932	3,568
2012	11322	3,418
2013	11709	2,579
2014	12011	
Rata-rata		6,024

Contoh analisis perhitungan LHR awal dan akhir umur rencana, untuk kendaraan ringan, mobil :

1. LHR awal umur rencana (LHR_{2017}), dengan $i = 6,024 \%$, $n_1 = 1$

$$LHR_{2017} = LHR_{2016}(1 + i)^{n_1}$$

$$LHR_{2017} = 10965 (1 + 0,06024)^1$$

$$LHR_{2017} = 11625,532 \text{ kend/hari}$$

2. LHR akhir umur rencana (LHR_{2030}), dengan $i = 6,024 \%$, $n_2 = 10$

$$LHR_{2027} = LHR_{2017}(1 + i)^{n_2}$$

$$LHR_{2027} = 11625,532 (1 + 0,06024)^{10}$$

$$LHR_{2027} = 20866,750 \text{ kend/hari}$$

Untuk selanjutnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.12. sebagai berikut :

Tabel 5.12. Hasil perhitungan LHR_{2017} dan LHR_{2030}

No	Jenis Kendaraan	LHR Awal Perencanaan (LHR_{2016})	LHR Awal Umur Rencana (LHR_{2017})	LHR Akhir Umur Rencana (LHR_{2027})
1	Kendaraan Bermotor	4320	4580,237	8221,100
2	Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	10965	11625,532	20866,750
3	Bus Kecil, 5 ton	102	108,144	194,109
4	Bus Besar, 8 ton	417	442,120	793,565
5	Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	2856	3028,046	5435,061
6	Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	1560	1653,974	2968,731
7	Truk 3 Sumbu, 20 ton	1536	1628,529	2923,058
8	Truk Gandengan, 25 ton	144	152,675	274,037
9	Truk Semi Trailer, 30 ton	777	823,807	1478,656

5.2.3. Perhitungan Lintas Ekivalen

Sesuai rumus 3.9. untuk menghitung LEP (Lintas Ekivalen Permulaan), terdapat factor ESAL dan Distribusi Lajur (C). Untuk factor Esal didapat dari DEF (Dynamic Esal Factor) pada Tabel 5.7. Sedangkan distribusi lajur C = 1 (Jalan 1 Arah, dengan 2 lajur), karena Jalan Lingkar Weleri yang diteliti dan diamati adalah satu arah, Jalan dari Jakarta menuju Semarang.

Contoh analisis perhitungan Lintas Ekivalen Permulaan (LEP) dan Lintas Ekivalen Akhir (LEA), untuk kendaraan ringan, mobil :

$$LEP = \sum LHR_{2017} \times DEF_{mobil} \times C$$

$$LEP = 11625,532 \times 0,02064 \times 1$$

$$LEP = 239,944$$

$$LEA = \sum LHR_{2027} \times DEF_{mobil} \times C$$

$$LEA = 20866,750 \times 0,02064 \times 1$$

$$LEA = 239,944$$

Untuk selanjutnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.13. sebagai berikut :

Tabel 5.13. Hasil perhitungan LEP dan LEA

No	Jenis Kendaraan	LEP	LEA
1	Kendaraan Bermotor	58,90158398	105,722873
2	Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	239,9443822	430,677882
3	Bus Kecil, 5 ton	3,366925261	6,043318151
4	Bus Besar, 8 ton	414,6126776	744,1912506
5	Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	5561,351441	9982,109344
6	Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	3919,443696	7035,037428
7	Truk 3 Sumbu, 20 ton	6345,373141	11389,35548
8	Truk Gandengan, 25 ton	428,8317893	769,7132354
9	Truk Semi Trailer, 30 ton	2907,115863	5218,002985
	Jumlah	19878,9415	35680,8538

Analisis perhitungan Lintas Ekuivalen Tengah (LET) dan Lintas Ekuivalen

Rencana (LER) :

- Lintas Ekuivalen Tengah (LET), dengan :

$$LEP = 19878,9415 \text{ dan } LEA = 35680,8538$$

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2}$$

$$LET = \frac{19878,9415 + 35680,8538}{2}$$

$$LET = 27779,898$$

- Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

$$LER = LET \frac{UR}{10}$$

$$LER = 27779,898 \times \frac{10}{10}$$

$$LER = 27779,898$$

5.2.4. Penentuan Daya Dukung Tanah

Data CBR di Jalan Lingkar Weleri, didapat dari PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang, yang dapat dilihat pada

Tabel 5.14. sebagai berikut :

Tabel 5.14. Perhitungan CBR rencana ruas Jalan Lingkar Weleri
(Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)

No	STA	Nilai CBR %	CBR DESIGN %	KET.
1	45+600	4,75	4,97	CBR 90 %
2	45+800	4,91		
3	46+000	4,91		
4	46+200	4,97		
5	46+400	5,13		
6	46+600	5,13		
7	46+800	5,15		
8	47+000	5,17		
9	47+200	5,24		

Dari Tabel 5.14. didapat nilai CBR 90 % di Jalan Lingkar Weleri adalah 4,97%. Sesuai rumus 3.11. korelasi CBR ke DDT dengan < 10 sebagai berikut :

$$DDT = 1,71428571 + (1,89228309 \times \ln(CBR))$$

$$DDT = 1,71428571 + (1,89228309 \times \ln(4,97))$$

$$DDT = 4,74841$$

Sedangkan untuk mencari modulus resilien berdasarkan rumus 4.4. sebagai berikut :

$$M_r = 1500 \times CBR$$

$$M_r = 1500 \times 4,97$$

$$M_r = 7455$$

5.2.5. Penentuan Material Perkerasan Jalan

Yang berpengaruh dalam material perkerasan jalan adalah Indeks Permukaan Awal (IPo) dan Indeks Permukaan Akhir (IPt). Penentuan Material Perkerasan Jalan dapat dilihat sebagai berikut :

5.2.5.1. Indeks Permukaan Awal (IPo)

Direncanakan jenis lapisan HRA dengan *Roughness* ≤ 2000 mm/Km. Berdasarkan Tabel 4.15 Indeks Permukaan Pada Awal

Umur Rencana (IPo) maka diperoleh nilai **IPo = 3,9 – 3,5.**

Sehingga diambil nilai **IPo = 3.7**

5.2.5.2. Indeks Permukaan Akhir (IPt)

Dari data dengan Klasifikasi **Jalan Arteri** dan hasil perhitungan

LER yaitu didapat nilai **LER** adalah $40562,785 > 1000$, maka

berdasarkan **Tabel 4.16**. Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IPt) maka diperoleh nilai **IPt = 2,5**.

5.2.6. Penentuan Faktor Regional

Dari data dibawah ini dapat ditentukan Faktor Regional (FR) adalah :

5.2.6.1. % Kendaraan Berat

$$\% \text{ Kendaraan Berat} = \frac{\text{Jumlah Kendaraan Berat}(> 5\text{ton})}{\sum LHR_{2016}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kendaraan Berat} = \frac{7290}{22677} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kendaraan Berat} = 32,147 \%$$

5.2.6.2. Curah Hujan

Curah hujan di Kabupaten Kendal sumber dari “*BPS Kabupaten Kendal, di buku Kendal Dalam Angka Tahun 2010 – 2015*”, dapat dilihat dari Tabel 5.15. sebagai berikut :

Tabel 5.15. Curah hujan Kabupaten Kendal (Sumber : Dinas Pertanian, Peternakan, Perkebunan dan Kehutanan Kab. Kendal)

Bulan	2010	2011	2012	2013	2014
(1)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Januari	158	377	535	568	824
Pebruari	202	272	419	357	509
Maret	200	204	252	106	99
April	217	227	253	109	41
Mei	278	110	54	163	149
Juni	233	20	104	246	102
Juli	110	61	8	127	274
Agustus	131	0	0	30	56
September	349	41	2	19	0
Oktober	196	171	177	28	19
Nopember	196	268	205	138	99
Desember	300	328	272	294	200
Jumlah	2570	2079	2281	2185	2372
Rata-rata			2297		

5.2.6.3. Kelandaian

Kelandaian di Jalan Lingkar Weleri, menurut sumber PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang, adalah 3 – 5 %.

Sehingga dapat diketahui Faktor Regional, berdasarkan Tabel 4.17. dengan % kendaraan berat > 30%, curah hujan dikategorikan > 900 mm/km termasuk iklim II, dan kelandaian $I < 6\%$ adalah 2,0 – 2,5. Dapat diambil **FR = 2,3**.

5.2.7. Penentuan Indeks Tebal Perkerasan Lentur Hasil Penelitian

Data yang diketahui sebagai berikut :

- $LER = 27779,898$
- $DDT = 4,748$
- $IPo = 3,7$
- $IPt = 2,5$
- $IPf = 1,5$
- $FR = 2,3$
- $D_D = 0,7$
- $D_L = 95 \rightarrow$ berdasarkan Tabel 3.11.
- $R = 85 \%$, dengan $Z_r = -1,037 \rightarrow$ berdasarkan Tabel 3.12.
- $S_0 = 0,4$
- $Mr = 7455$

5.2.7.1. Metode ASSHTO 1993

Berdasarkan rumus 4.1. sebagai berikut :

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_0 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{IPo - IPt}{IPo - IPf} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_r - 8,07$$

$$\log_{10}(D_D D_L \check{W}_{18}) = Z_r S_0 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{IPo - IPt}{IPo - IPf} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_r - 8,07$$

Dengan \check{W}_{18} :

$$\check{W}_{18} = \sum LHR \times \text{Esal faktor} \times 365 \times 10 \times FR$$

$$\check{W}_{18} = LER \times 365 \times 10 \times FR$$

$$\check{W}_{18} = 27779,898 \times 365 \times 10 \times 2,3 = 233212240,8$$

Maka :

$$\log_{10}(D_D D_L \check{W}_{18}) = Z_r S_0 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{IPo - IPt}{IPo - IPf} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_r - 8,07$$

$$\log_{10}(0,7 \times 95 \times 157197,427) = -1,037 \times 0,4 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{3,7 - 2,5}{3,7 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} 7455 - 8,07$$

$$8,93755 = -1,037 \times 0,4 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{3,7 - 2,5}{3,7 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} 7455 - 8,07$$

$$SN = 12,5$$

Jadi didapat nilai SN berdasarkan Metode ASSHTO 1993 adalah 12,5

5.2.7.2. Metode Bina Marga

Terdapat dua metode dari binamarga yaitu analisis dan grafis sebagai berikut :

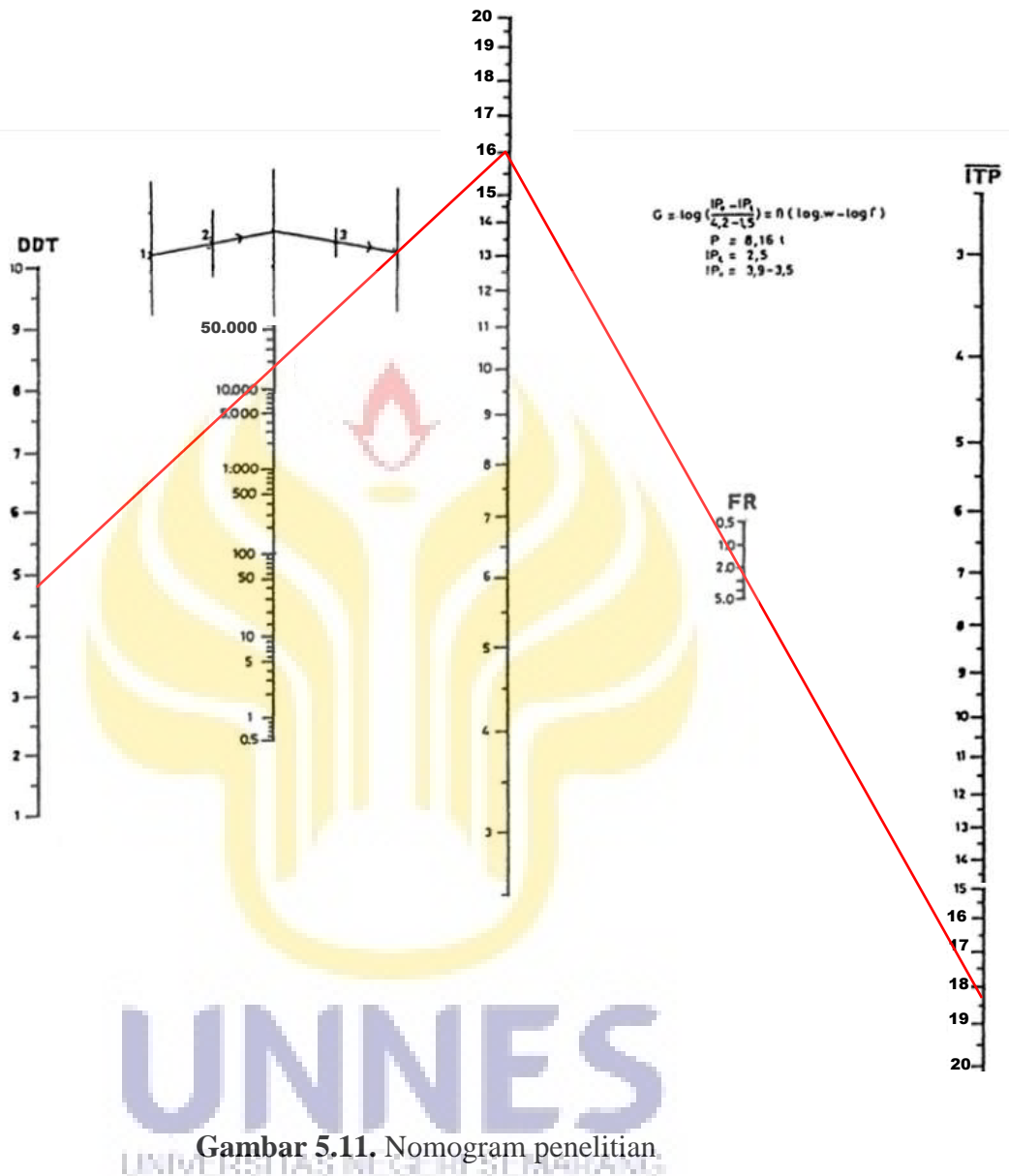
1. Metode Analisis, berdasarkan rumus 4.6.

$$\begin{aligned} \text{Log}(LER \times 365 \times 10 \times FR) &= 9,36 \text{Log} \left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \frac{\text{Log} \frac{(IPo - IPt)}{(IPo - 1,5)}}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} \\ &\quad + 0,372(DDT - 3,0) \\ \text{Log}(40562,785 \times 365 \times 10 \times 2,5) &= 9,36 \text{Log} \left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right) - 0,20 \\ &\quad + \frac{\text{Log} \frac{(3,7 - 2,5)}{(3,7 - 1,5)}}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} + 0,372(4,748 - 3,0) \\ 8,532 &= 9,36 \text{Log} \left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \frac{\text{Log} \frac{(3,7 - 2,5)}{(3,7 - 1,5)}}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{ITP}{2,54} + 1 \right)^{5,19}}} \\ &\quad + 0,372(4,748 - 3,0) \end{aligned}$$

$$ITP = 18,24$$

2. Metode Grafis

Data yang diketahui nilai DDT = 4,748 , LER = 27779,898 , FR = 2,3 , IPt = 2,5 serta IPo = 3,7. Jadi menggunakan nomogram dengan IPt = 2,5 dan IPo = 3,9 – 3,5, dapat dilihat pada Gambar 5.7. sebagai berikut :



Gambar 5.11. Nomogram penelitian

Berdasarkan Gambar 5.11. didapat nilai ITP secara grafis adalah 18,25.

Dari beberapa metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.16. rekap hasil perhitungan indeks tebal perkerasan sebagai berikut:

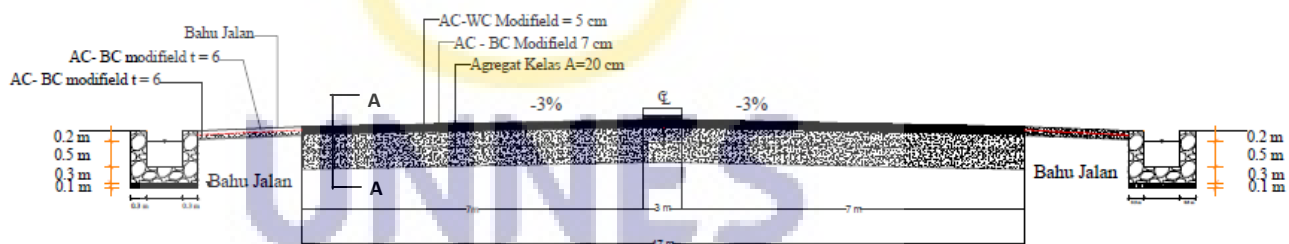
Tabel 5.16. Rekap hasil indeks tebal perkerasan jalan lentur

No	Metode Perhitungan	ITP
1	ASSHTO 1993	12,5
2	Bina Marga	
	- Analisis	18,241
	- Grafis	18,25

Jadi digunakan metode Bina Marga secara analisis dan grafis dengan nilai ITP (Indeks Tebal Perkerasan) berdasarkan penelitian di Jalan Lingkar Weleri adalah 18,25. Hasil ITP akan dibandingkan dengan keadaan existing di lapangan. Kondisi *Existing* Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal.

5.2.8. Penentuan Indeks Tebal Perkerasan Lentur Keadaan Existing

Untuk menentukan indeks tebal perkerasan lentur keadaan existing didapat dari Gambar 5.8. oleh PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang, sebagai berikut.



Gambar 5.12. Potongan melintang kondisi *existing* Jalan Lingkar Weleri (Sumber : PPK. Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Metro Semarang)



Gambar 5.13. Detail A-A, susunan lapis perkerasan kondisi *existing* Jalan Lingkar Weleri

Dari Gambar 5.9. nilai ITP dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan menggunakan dua lapisan utama yaitu :

$$D_{11} = 5 \text{ cm}$$

$$a_{11} = 0,3 \text{ (AC - WC atau Hot Rolled Asphalt)}$$

$$D_{12} = 7 \text{ cm}$$

$$a_{12} = 0,3 \text{ (AC - WC atau Hot Rolled Asphalt)}$$

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

$$D_2 = 20 \text{ cm}$$

$$a_2 = 0,14 \text{ (Batu Pecah Kelas A CBR 90 \%)}$$

Maka nilai ITP keadaan *existing* :

$$ITP_{keadaan \text{ existing}} = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$ITP_{keadaan \text{ existing}} = (a_{11} D_{11} + a_{12} D_{12}) + a_2 D_2$$

$$ITP_{keadaan \text{ existing}} = (0,3 \times 5 + 0,3 \times 7) + 0,14 \times 20$$

$$ITP_{keadaan \text{ existing}} = 6,4$$

5.2.9. Desain Tebal Perkerasan Lentur

Cara menentukan Tebal Lapis Perkerasan menggunakan rumus 4.1.

sebagai berikut :

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 + \dots + a_n D_n$$

Dengan :

a_i : Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_i : Tebal lapis perkerasan

ITP : Indeks Tebal Perkerasan

Untuk menentukan koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan dan tebal

lapis perkerasan, dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan 5.18. sebagai berikut :

Tabel 5.17. Koefisien kekuatan relatif bahan (Sumber : SKBI – 2.3.23.1987)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a ₁	a ₂	a ₃	M S (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
0,40			744			
0,35			590			
0,32			454			Laston
0,30			340			
0,35			744			
0,31			590			
0,28			454			Asbuton
0,36			340			
0,30			340			<i>Hot Rolled Asphalt</i>
0,26			340			Asphal Macadam
0,25						LAPEN (Mekanik)
0,20						LAPEN (Manual)
	0,28		590			
	0,26		454			Laston Atas
	0,24		340			
	0,23					LAPEN (Mekanik)
	0,19					LAPEN (Manual)
	0,15			22		Stabilitas tanah dengan semen
	0,13			18		
	0,15			22		Stabilitas tanah dengan kapur
	0,13			18		
	0,14				100	Pondasi Macadam (kering)
	0,12				60	Pondasi Macadam (Basah)
	0,14				100	Batu Pecah (Kelas A)
	0,13				80	Batu Pecah (Kelas B)
	0,12				60	Batu Pecah (Kelas C)
		0,13			70	Sirtu/Pitrun (Kelas A)
		0,12			50	Sirtu/Pitrun (Kelas B)
		0,11			30	Sirtu/Pitrun (Kelas C)
		0,12			20	Tanah/lempung kepasiran

Tabel 5.18. Tebal minimum lapis permukaan perkerasan dan lapis pondasi (Sumber : SKBI – 2.3.23.1987)

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00		Lapis Pelindung, Buras, Burtu/Burda
3,00 - 6,70	7	LAPEN/Aspal Macadam, HRA, Asbuton, LASTON
6,71 - 7,49	7,5	LAPEN/Aspal Macadam, HRA, Asbuton, LASTON
7,50 - 9,99	7,5	Asbuton, LASTON
> 10,00	10	LASTON

* Lapis Permukaan

ITP	Tebak Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu Pecah, Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilitas Tanah dengan Kapur
3,00 - 7,49	20	Batu Pecah, Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilitas Tanah dengan Kapur
	10	LASTON ATAS
7,50 - 9,99	20	Batu Pecah, Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilitas Tanah dengan Kapur, Pondasi Macadam
	15	LASTON ATAS
10,00 - 12,24	20	Batu Pecah, Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilitas Tanah dengan Kapur, Pondasi Macadam, LAPEN, LASTON ATAS
> 12,25	25	Batu Pecah, Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilitas Tanah dengan Kapur, Pondasi Macadam, LAPEN, LASTON ATAS

*Lapis Pondasi

Dengan nilai ITP sebesar 18.25 berdasarkan penelitian, direncanakan susunan lapisan perkerasan jalan sebagai berikut :

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan menggunakan Laston, dengan dua lapisan utama yaitu :

$$D_{11} = 10 \text{ cm}$$

$$a_{11} = 0,4 \text{ (Laston MS 744, berdasarkan Tabel 4.11.)}$$

$$D_{12} = 12 \text{ cm}$$

$$a_{12} = 0,35 \text{ (Laston MS 590, berdasarkan Tabel 4.11.)}$$

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

$$D_2 = 13 \text{ cm}$$

$$a_2 = 0,28 \text{ (Laston Atas MS 590, berdasarkan Tabel 4.11.)}$$

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

$$D_3 = 40 \text{ cm}$$

$$a_3 = 0,13 \text{ (Batu Pecah kelas A CBR 100 %, berdasarkan Tabel 4.11.)}$$

Maka dari tiga lapisan tersebut, nilai ITP :

$$ITP = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

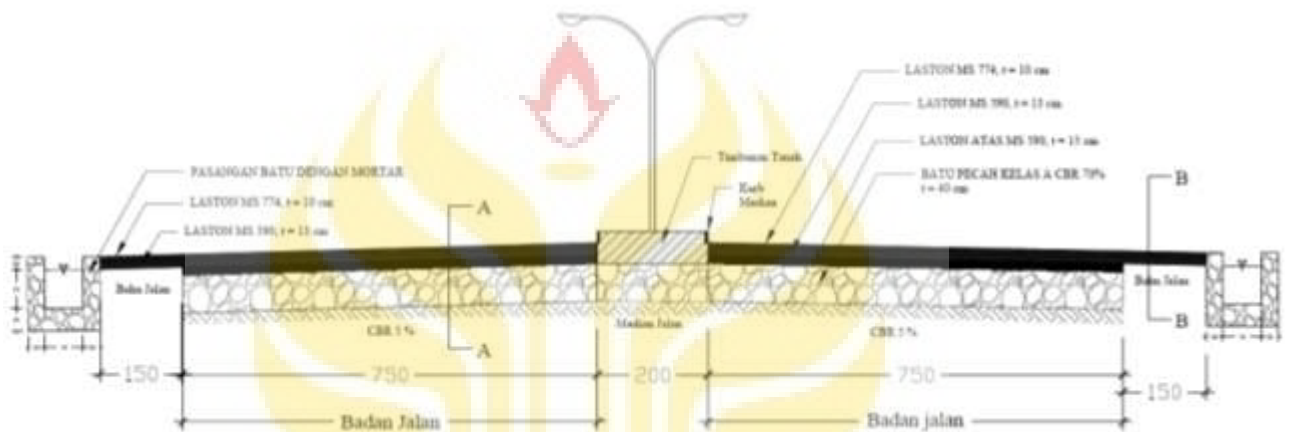
$$ITP = (a_{11}D_{11} + a_{12}D_{12}) + a_2D_2 + a_3D_3$$

$$ITP = (0,4 \times 10 + 0,35 \times 13) + 0,28 \times 15 + 0,14 \times 40$$

$$ITP = 18,35$$

Jadi didapat ITP hasil desain = 18,35 > ITP penelitian = 18,25 → **OKE**

Detail gambar dapat dilihat pada Gambar 5.10. sebagai berikut :



Gambar 5.14. Desain potongan melintang Jalan Lingkar Weleri



Gambar 5.15. Detail A-A, Susunan Lapis Perkerasan Jalan Lingkar Weleri

5.3. Rencana Anggaran Biaya

Desain Jalan Lingkar Weleri Kabupaten, dengan panjang jalan 8,250 km, dan sesuai data lapis perkerasan pada Gambar 5.11. Dengan contoh perhitungan volume tebal lapis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.19. sebagai berikut :

Tabel 5.19. Volume lapis perkerasan jalan lentur

No	Lapis Perkerasan Jalan	Dimensi Lapis Perkerasan Jalan (m)			Volume (m ³)
		Tebal	Lebar	Panjang	
1	LASTON MS 744 :				
	Badan Jalan	0,1	3	8600	15480
	Bahu Jalan	0,1	15	8600	
2	LASTON MS 590				
	Badan Jalan	0,13	3	8600	20124
	Bahu Jalan	0,13	15	8600	
3	LASTON ATAS MS 590	0,15	15	8600	19350
4	BATU PECAH KELAS A , CBR 100%	0,4	17	8600	58480
JUMLAH					113434

Memerlukan biaya untuk pembangunan sebesar **Rp 56.242.953.142,53**

Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

5.4. Analisis Beban

Banyaknya permasalahan di lapangan dalam pekerjaan perkerasan jalan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : beban lalu lintas, material perkerasan jalan, serta daya dukung tanah. Faktor pengaruh paling utama dalam penelitian adalah beban lalu lintas. Faktor beban lalu lintas dari rumusan Bina Marga dan ASSHTO 1993 menunjukkan variabel faktor ESAL. Dalam perhitungan dianggap beban statis yang berulang. Tetapi dalam keadaan yang sebenarnya, kondisi jalan dipengaruhi oleh beban lalu lintas yang bergerak (beban dinamis), yang terus

berulang. Sehingga dalam perhitungan beban lalu lintas, faktor ESAL digantikan dengan DEF (*Dynamic Esal Factor*), yang didapat dari alat pendeteksi getaran yaitu *seismic monitoring*. Terdapat perbedaan hasil penelitian dan kondisi existing, yang dijelaskan sebagai berikut :

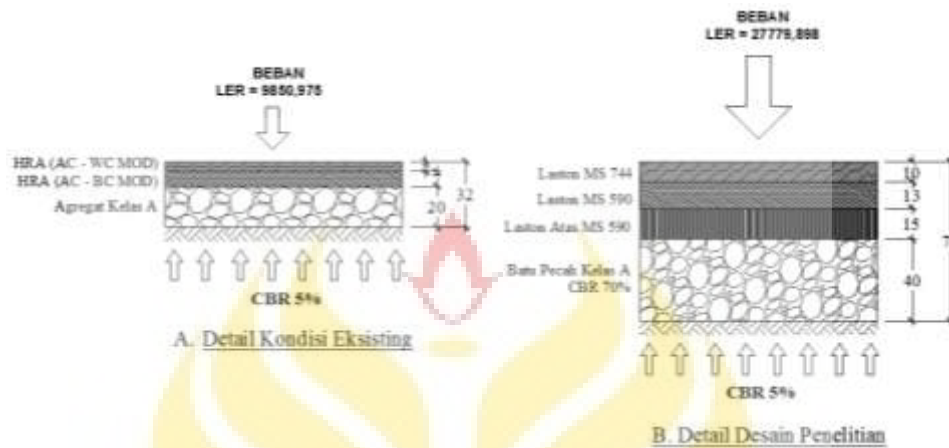
1. Variabel faktor ESAL dan DEF, yang dipengaruhi oleh perbedaan perhitungan beban lalu lintas yang ditujukan pada variabel LER. Hasil perbedaan dapat dilihat pada Tabel 5.20. sebagai berikut :

Tabel 5.20. Perbandingan antara ESAL, DEF dan beban

Jenis Kendaraan	Angka Ekuivalen		Beban	
	ESAL	DEF	LER dengan ESAL	LER dengan DEF
Kendaraan Bermotor	0	0,01286		
Kendaraan ringan, Mobil, 2 ton	0,00045	0,02064		
Bus Kecil, 5 ton	0,02863	0,03113		
Bus Besar, 8 ton	0,18764	0,93778		
Truk Ringan 2 Sumbu, 10 ton	0,45811	1,83661	9850,975	27779,898
Truk Sedang 2 Sumbu, 14 ton	1,30842	2,36971		
Truk 3 Sumbu, 20 ton	1,12295	3,89638		
Truk Gandengan, 25 ton	1,57048	2,80880		
Truk Semi Trailer, 30 ton	1,62433	3,52888		

Dari Tabel 5.20. nilai DEF (*Dynamic Esal Factor*) lebih besar dari pada faktor ESAL. Yang mempengaruhi perbedaan hasil DEF adalah berat kendaraan isi atau kosong, kecepatan kendaraan, dan dimensi kendaraan. Pada output alat *seismic monitoring* adalah percepatan kendaraan, jika berat kendaraan isi dan kecepatan tinggi, maka percepatan kendaraan juga semakin tinggi. Sedangkan frekuensi getaran kendaraan dipengaruhi oleh jumlah getaran yang terekam oleh alat *seismic monitoring*, jika kendaraan yang melewati terekam lama maka frekuensi getaran semakin tinggi. Jadi pengaruh beban dinamis lebih besar daripada beban statis berulang.

2. Hasil ITP keadaan existing adalah 6,4, sedangkan ITP hasil penelitian adalah 19,25. Tebal Lapis Perkerasan Jalan, yang dapat dilihat pada Gambar 5.16. sebagai berikut.



Gambar 5.16. Detail tebal lapis perkerasan keadaan *existing* dan desain penelitian di Jalan Lingkar Weleri

Dari Gambar 5.16. dapat terlihat dengan nilai CBR sebagai daya dukung tanah yang sama tetapi dengan beban yang berbeda menghasilkan tebal lapis perkerasan yang berbeda. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa beban dinamis sangat mempengaruhi tebal dari perkerasan itu sendiri, beban yang diterima perkerasan jalan akan semakin besar dan lapisan perkerasan akan semakin tebal untuk mengimbangi beban di atasnya.

Seharusnya beban kendaraan LER yaitu 27779,898 sesuai **Gambar 5.16B.** menggunakan tebal perkerasan jalan sebesar 78 cm. Tetapi pada kondisi lapangan beban tersebut, harus diterima oleh konstruksi perkerasan jalan lentur sesuai **Gambar 5.16A.** dengan tebal 32 cm, yang hanya mampu menerima beban LER yaitu 9850,975. Itulah salah satu sebab terjadinya kerusakan jalan yang biasa kita temui di lapangan. Ketika tebal perkerasan jalan itu tipis dengan beban *over load* dan beban tersebut bergerak maka perkerasan jalan tidak mampu menahan beban di atasnya, dan mengakibatkan perkerasan jalan seringkali rusak.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Setelah melaksanakan penelitian tentang evaluasi tebal perkerasan lentur akibat beban lalu lintas di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal, dapat ditarik simpulan bahwa :

1. Output dari alat *seismic monitoring* adalah percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan. Berdasarkan penelitian di Jalan Lingkar Weleri jenis kendaraan dengan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan terendah adalah motor, dengan nilai $0,001497 \text{ m/s}^2$, sedangkan tertinggi adalah truk semitrailer, dengan nilai $0,012212 \text{ m/s}^2$. Untuk beban kendaraan bermotor yang berulang diilustrasikan dengan jumlah getaran frekuensi kendaraan. Nilai frekuensi getaran kendaraan terendah adalah motor, dengan nilai $23,047 \text{ Hz}$, sedangkan tertinggi adalah truk gandengan, dengan nilai $56,570 \text{ Hz}$. Nilai percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan dan frekuensi getaran kendaraan, dipengaruhi oleh kecepatan dari masing-masing jenis kendaraan dan jumlah getaran yang ditimbulkan.
2. Posisi perletakan sensor *seismic monitoring* mempengaruhi besarnya percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan. Posisi percepatan tertinggi didapat dengan meletakkan alat sensor di bawah tebal perkerasan jalan. Apabila tebal perkerasan semakin besar, maka percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan akan semakin kecil. Oleh sebab itu, posisi perletakan sensor *seismic monitoring* dan tebal perkerasan jalan

mempengaruhi hasil dari percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan, yang didapat dari alat *seismic monitoring*.

3. Desain Perkerasan Jalan Lingkar Weleri, Kab. Kendal, menggunakan desain berdasarkan penelitian menggunakan alat *seismic monitoring*, dengan rencana anggaran biaya sebesar Rp 56.242.953.142,53 sebagai berikut :

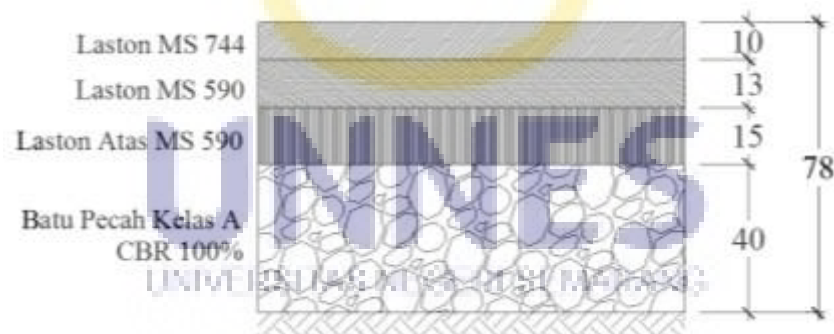
1) Jenis bahan yang digunakan adalah :

- 1) *Surface Course* : LASTON MS 744 dan LASTON MS 590
- 2) *Base Course* : LASTON ATAS MS 590
- 3) *Sub Base Course* : Batu Pecah kelas A (CBR 100 %)

2) Tebal lapis perkerasan masing-masing :

- 1) *Surface Course* : 10 cm dan 12 cm
- 2) *Base Course* : 15 cm
- 3) *Sub Base Course* : 40 cm

Dengan detail untuk tebal lapis perkerasan yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 6.1.** sebagai berikut :

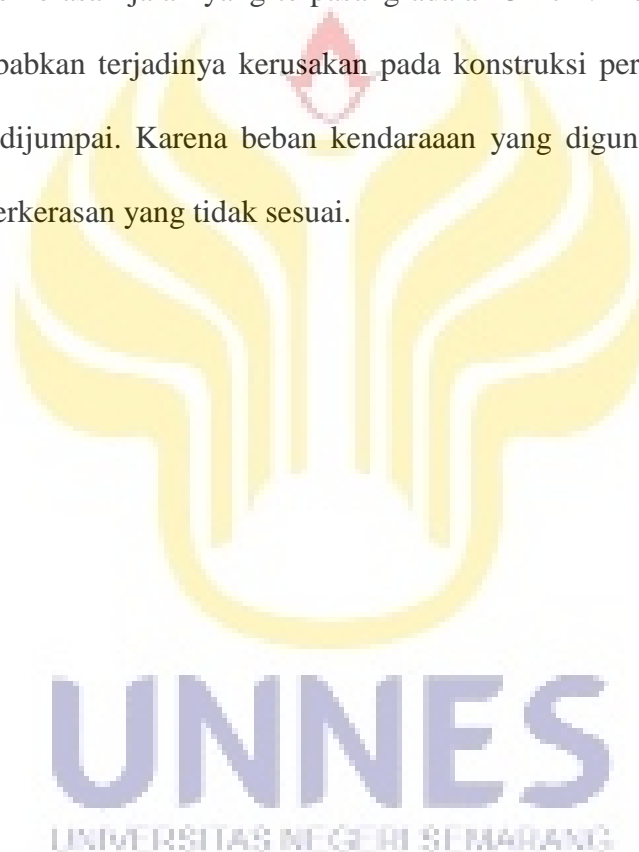


Gambar 6.1. Detail Tebal Perkerasan Lentur

4. Jalan lingkar Weleri memiliki tebal perkerasan jalan yang tipis yaitu 32 cm, tetapi pada kenyataannya beban yang didapat adalah beban lalu lintas yang bergerak (beban dinamis), yang besar beban dinamis dua kali lipat dari beban yang diperhitungkan di Jalan Lingkar Weleri. Oleh sebab itu, dengan beban yang lebih besar dan daya dukung tanah yang sama, seharusnya

menggunakan tebal perkerasan 78 cm. Sedangkan kondisi di lapangan menggunakan tebal 32 cm, sehingga kebanyakan jalan di Lingkar Weleri mengalami kerusakan yang berulang.

5. Pada hasil perhitungan beban seharusnya beban dinamis dengan nilai LER sebesar 27779,898 digunakan perkerasan dengan tebal 78 cm, tetapi tebal lapis perkerasan jalan yang terpasang adalah 32 cm. Kondisi tersebut yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan, yang sering dijumpai. Karena beban kendaraan yang digunakan diterima tebal lapis perkerasan yang tidak sesuai.



6.2. Saran

1. Bagi Institusi

Perhitungan tebal perkerasan jalan dengan beban dinamis ini hendaknya menjadi salah satu acuan untuk perhitungan perkerasan jalan karena perhitungannya sudah diasumsikan beban dinamis kendaraan, agar struktur perkerasan jalan tersebut tidak cepat rusak.

2. Bagi Pembaca

- Penelitian dalam tugas akhir ini, getaran beban kendaraan yang dibaca oleh alat seismic monitoring berdasarkan jenis kendaraan saja. Padahal pada kondisi kenyataan terdapat kendaraan dengan berat kosong dan berat isi, yang hasil pembacaan percepatan partikel tanah akibat beban kendaraan akan berbeda pula. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya, tidak hanya jenis kendaraan saja yang dibedakan, tetapi berat kendaraan antara berat isi dan berat kosong, juga dibedakan.
- Alat sensor *seismic monitoring* di tempatkan pada samping perkerasan jalan dengan digali sedalam perkerasan jalan tersebut agar getaran yang ditangkap oleh alat sensor lebih maksimal. Tetapi dalam pelaksanaannya masih kurang, karena tempat penelitiannya memiliki dua lajur dan satu arah, ketika kendaraan melewati lajur kedua maka getaran yang ditangkap lebih kecil. Disarankan untuk penelitian berikut, memilih jalan yang memiliki dua jalur dua arah, dan kendaraan yang lewat bervariasi. Agar hasil dari getaan kendaraan terekam semua oleh alat sensor dengan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

1993. *Guide for The Design of Pavement Structures*. Washington D.C.

Direktorat Bina Program Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan

Umum. 2011.

Ditjen P.U Bina Marga, 1987. *Penentuan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*

Bina Marga Metode Analisa Komponen. SKBI.1.2.3.26.

Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya. SNI 03-1732-1989.

Pedoman Konstruksi dan Bangunan. *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*. Pt T

– 01 – 2002 – B.

Bakti, A.W. 2005. *Analisa Perencanaan Tebal Ekonomis Perkerasan Lentur*

Berdasarkan SNI 1732-1989 F. (Skripsi). Jakarta. Universitas BINUS.

Hancock dan Bommer, 2004. *Predicting The Number of Cycles of Ground*

Motion. (Jurnal).

Hardiani, N. 2008. *Kajian Perkerasan Jalan Lentur Akibat Beban Lalu Lintas*

dengan Menggunakan Program HDM – III. (Skripsi). Jakarta. Fakultas

Teknik Universitas Indonesia.

M. Das, Braja. *Principles Of Soil Dynamics*. Boston. Southern Illinois University

at Carbondate.

- Ouyang, H. 2011. *Mechanical Systems and Signal Processing*. (Jurnal). 2039 – 2060.
- Rifki, Mustofa. 2011. *Analisis Periode Getar dan Redaman Struktur Jembatan Teksas Berdasarkan Data Pengukuran Vibrasi*. (Skripsi). Depok. Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova: Bandung.
- Suwardo dan Sugiharto. 2004. *Tingkat Kerataan Jalan Berdasarkan Alat Rolling Straight Edge Untuk Mengestimasi Kondisi Pelayanan Jalan (PS(i) DanRCI)*. Simposium VII FSTPT. Universitas Parahyangan.
- Wignall, A, et al. 2000. *Proyek Jalan Teori & Praktek*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Windyastuti, Sri. 2010. *Kajian Perencanaan Geometrik, Tebal Perkerasan dan Rencana Anggaran Biaya (Ruas Jalan Blumbing Kidul – Bulakrejo) Kabupaten Karanganyar*. (Skripsi). Surakarta. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Zazir, Z. 1994. *Dynamic Pavement-Strain Histories From Moving Traffic Load*. (Jurnal). 120: 821 – 842.

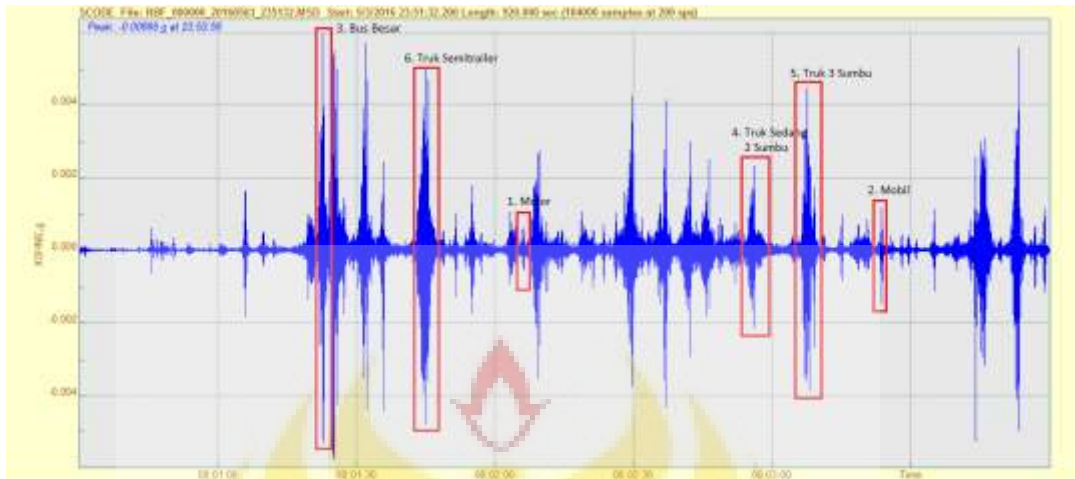
LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar Kerja Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal

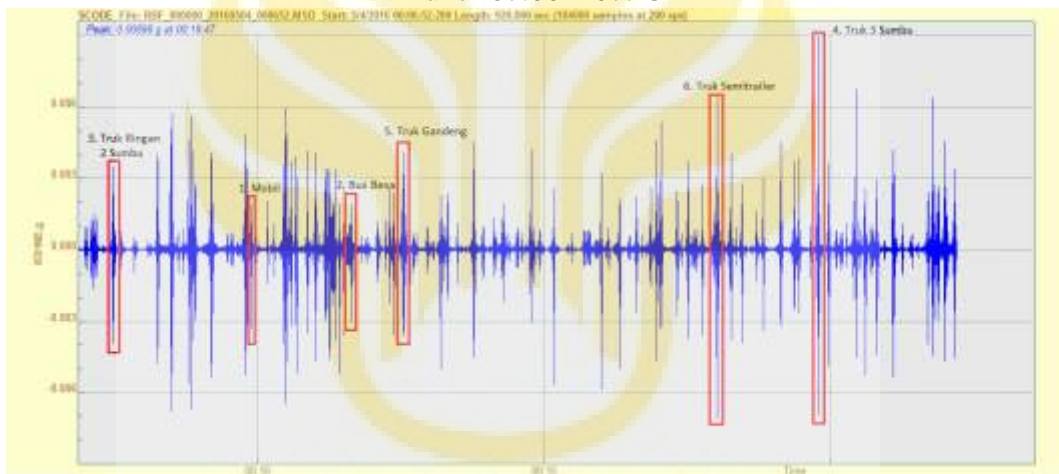
No.	Jam	Jenis Kendaraan									Jumlah
		Motor	Mobil	Bus Kecil	Bus Besar	Truk Ringan 2 Sumbu	Truk Sedang 2 Sumbu	Truk 3 Sumbu	Truk Gandengan	Truk SemiTrailer	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1	07.00 - 07.15	110	80		8	30	14	12	3	8	265
	07.15 - 07.30	71	85		10	26	10	15	2	3	222
	07.30 - 07.45	66	98	3		27	17	19	1	8	239
	07.45 - 08.00	48	92		1	29	14	21		9	214
	Jumlah	295	355	3	19	112	55	67	6	28	940
2	08.00 - 08.15	66	114	2	12	45	19	17	3	5	283
	08.15 - 08.30	59	109	1	5	20	24	12	1	3	234
	08.30 - 08.45	43	140	4	13	41	12	18	3	10	284
	08.45 - 09.00	44	112	4	9	27	7	16	1	5	225
	Jumlah	212	475	11	39	133	62	63	8	23	1026
3	09.00 - 09.15	53	135	6	7	36	28	15	2	8	290
	09.15 - 09.30	43	116	1	5	27	16	13	3	7	231
	09.30 - 09.45	42	108		4	28	14	15	4	9	224
	09.45 - 10.00	36	116		6	25	15	17		7	222
	Jumlah	174	475	7	22	116	73	60	9	31	967
4	10.00 - 10.15	27	121	1	5	22	10	13	1	12	212
	10.15 - 10.30	47	140	2	6	29	13	17	1	6	261

	10.30 - 10.45	35	168	4	5	21	18	18	2	7	278
	10.45 - 11.00	40	134		2	30	20	16	1	5	248
	Jumlah	149	563	7	18	102	61	64	5	30	999
5	11.00 - 11.15	33	91	1	5	39	19	11	3	15	217
	11.15 - 11.30	29	177		1	34	12	26	1	19	299
	11.30 - 11.45	30	168		1	24	21	34	2	10	290
	11.45 - 12.00	56	109	1	5	30	28	18		16	263
	Jumlah	148	545	2	12	127	80	89	6	60	1069
6	12.00 - 12.15	22	101		1	37	15	16		4	196
	12.15 - 12.30	21	100	2	2	34	10	15	1	3	188
	12.30 - 12.45	44	87		1	32	19	22	2	13	220
	12.45 - 13.00	26	84		1	26	16	21	2	10	186
	Jumlah	113	372	2	5	129	60	74	5	30	790
7	13.00 - 13.15	34	105		1	12	22	18		7	199
	13.15 - 13.30	46	106		3	10	10	18	4	12	209
	13.30 - 13.45	43	106		4	13	25	8		7	206
	13.45 - 14.00	60	138		2	24	21	13	1	8	267
	Jumlah	183	455	0	10	59	78	57	5	34	881
8	14.00 - 14.15	29	103		5	41	10	15		10	213
	14.15 - 14.30	51	91	1	3	31	12	5	1	2	197
	14.30 - 14.45	37	106		1	39	6	12	2	7	210
	14.45 - 15.00	49	115	1	5	63	23	6	1	4	267
	Jumlah	166	415	2	14	174	51	38	4	23	887
Total	1440	3655	34	139	952	520	512	48	259	7559	

Lampiran 3. Data Grafik Percepatan Partikel Tanah Akibat Beban Kendaraan



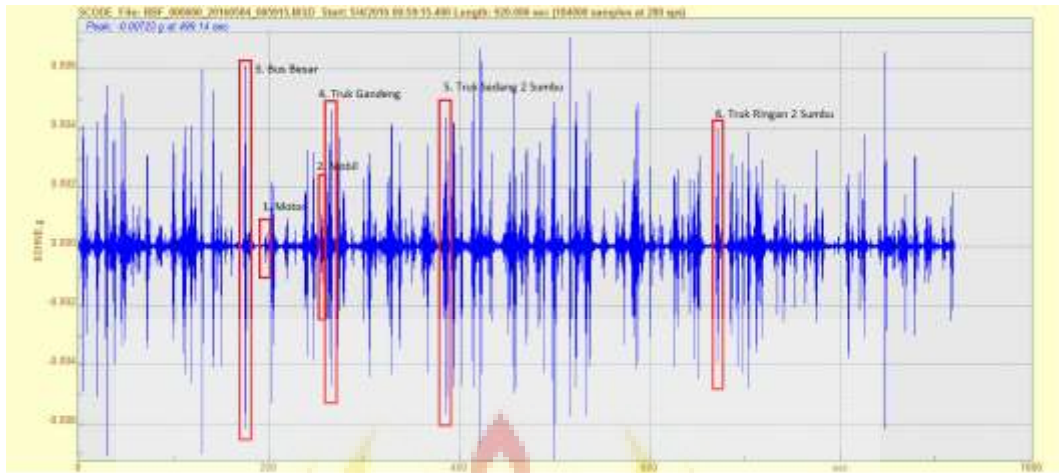
Pukul 07.00 – 07.15



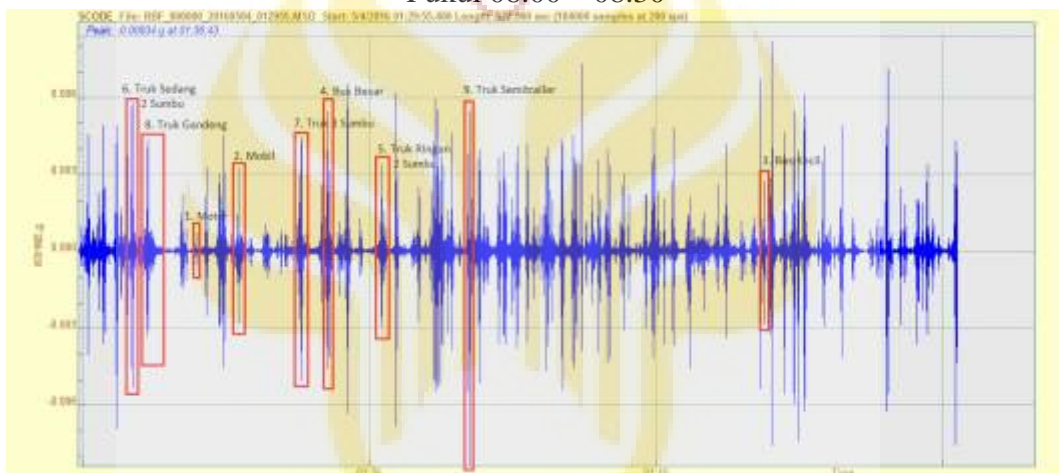
Pukul 07.00 – 07.30



Pukul 07.30 – 08.00



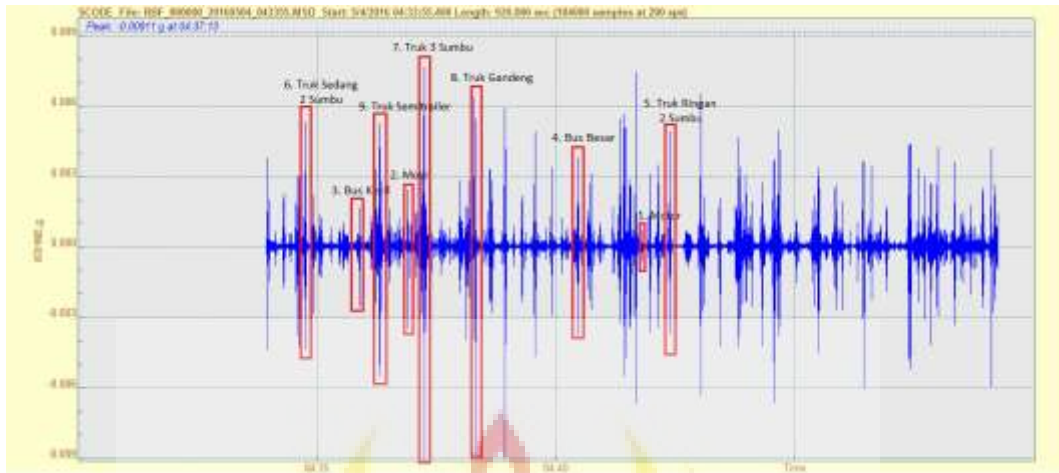
Pukul 08.00 – 08.30



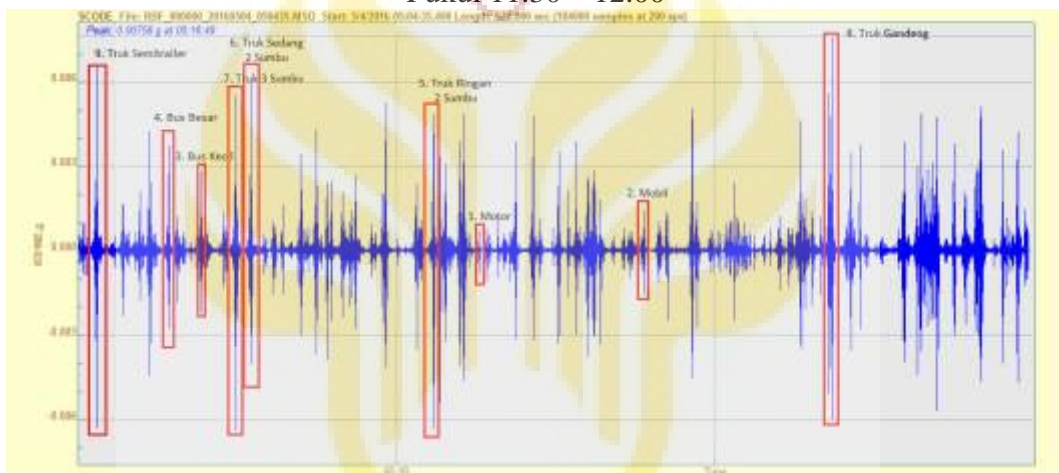
Pukul 08.30 – 09.00



09.00 – 09.30



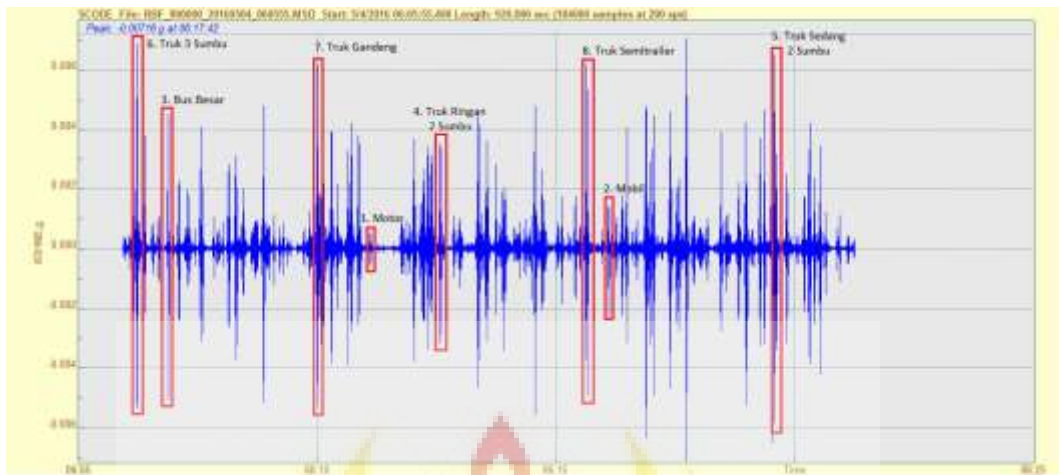
Pukul 11.30 – 12.00



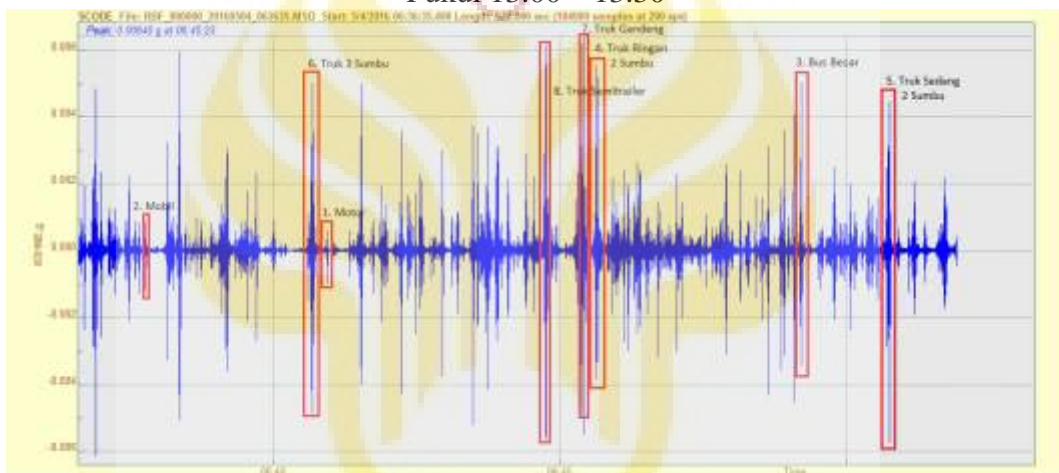
Pukul 12.00 – 12.30



Pukul 12.30 – 13.00



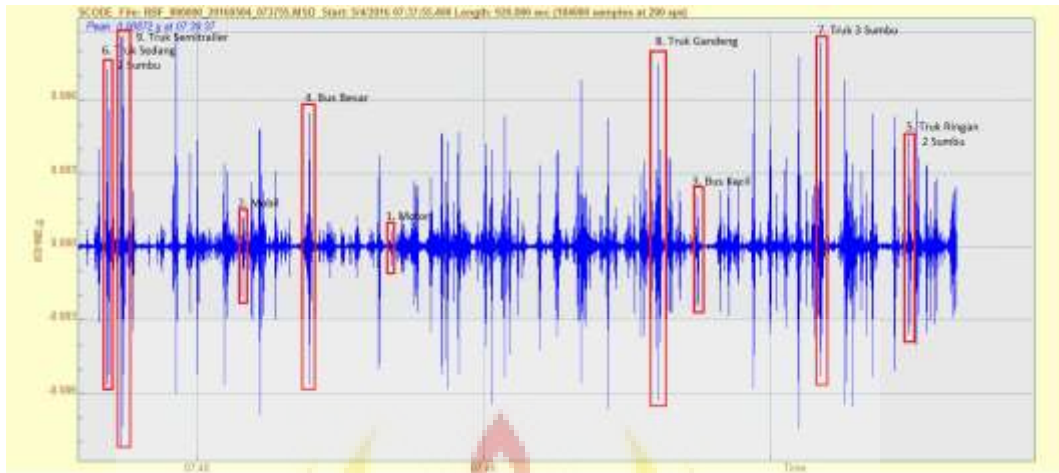
Pukul 13.00 – 13.30



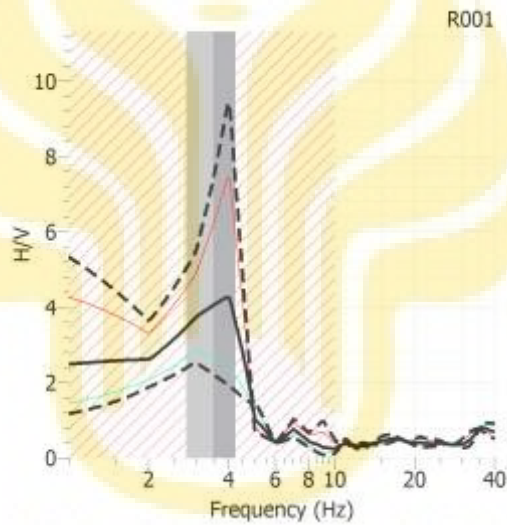
Pukul 13.30 – 14.00



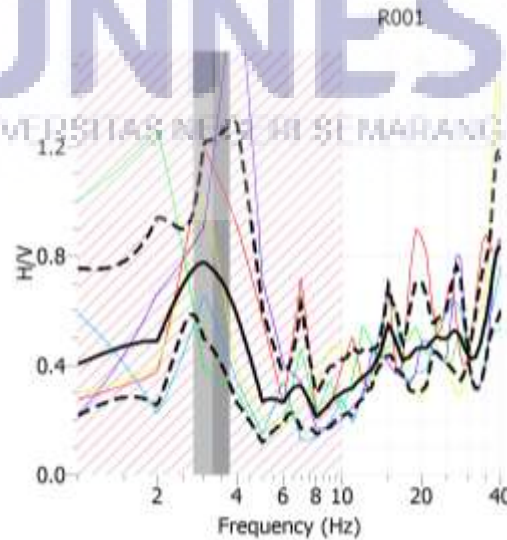
Pukul 14.00 – 14.30



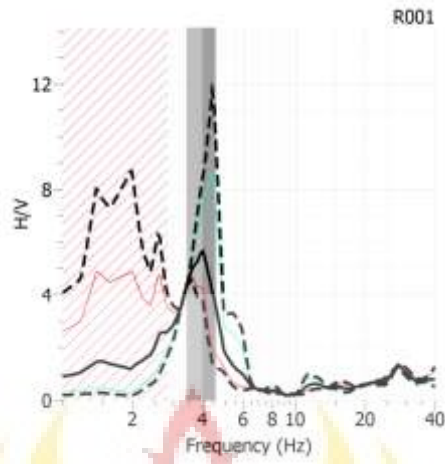
Pukul 14.30 – 15.00



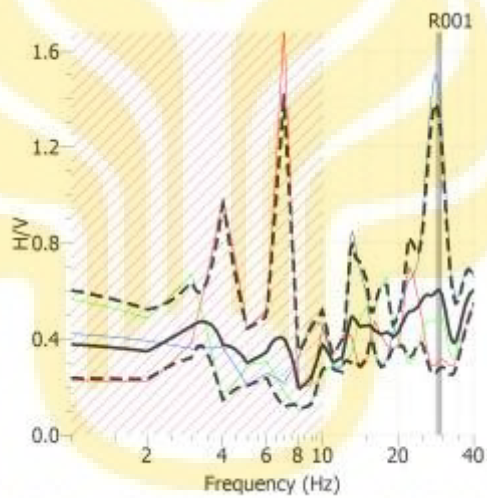
Grafik Frekuensi Kendaraan Motor



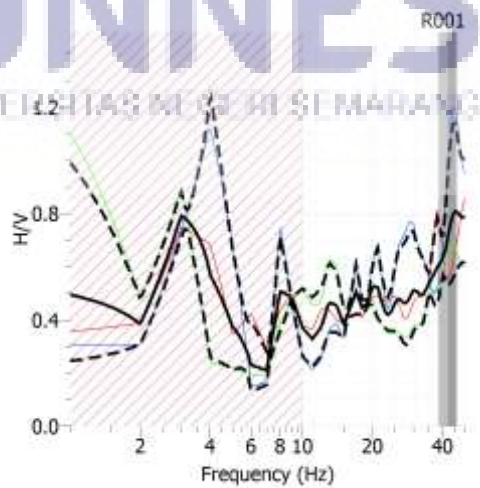
Grafik Frekuensi Kendaraan Mobil



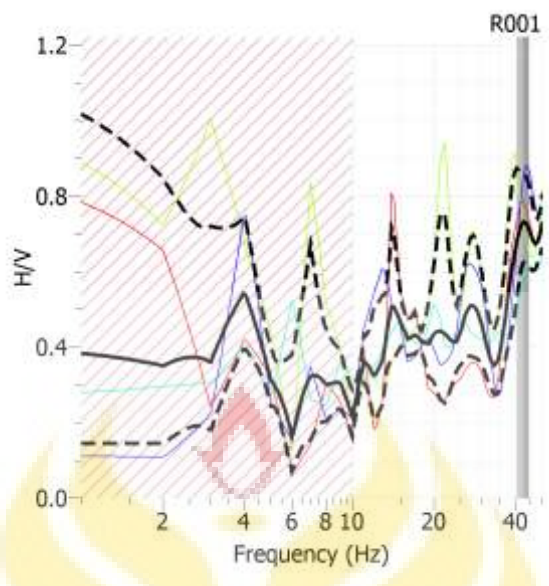
Grafik Frekuensi Kendaraan Bus Kecil



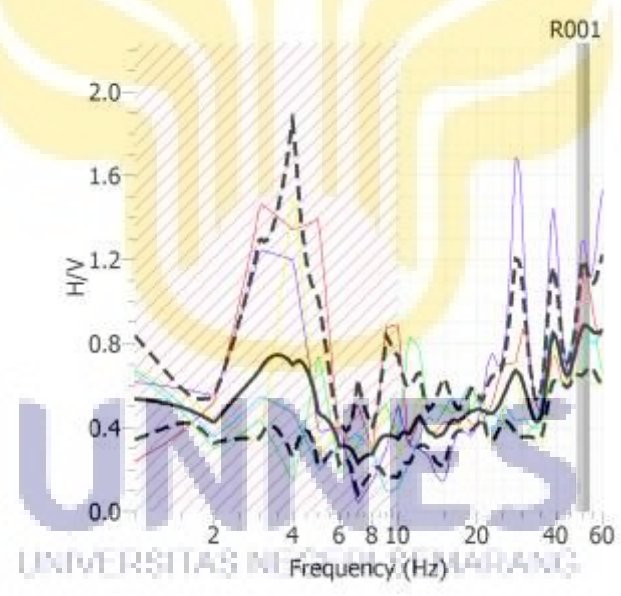
Grafik Frekuensi Kendaraan Bus Besar



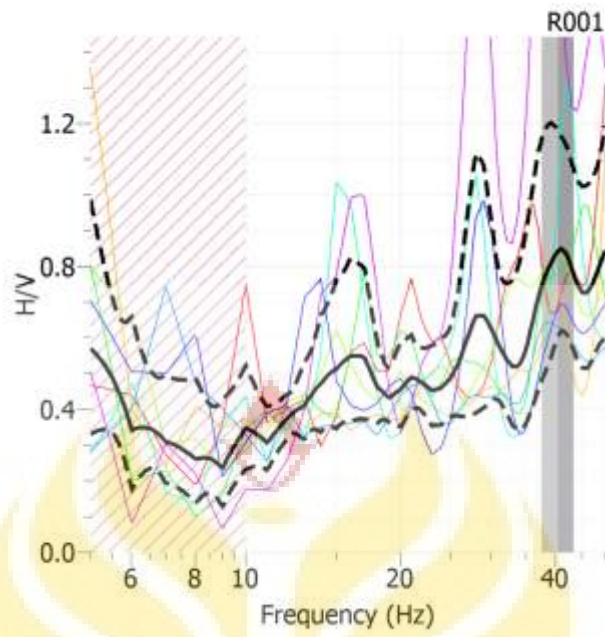
Grafik Frekuensi Kendaraan Truk Ringan 2 Sumbu



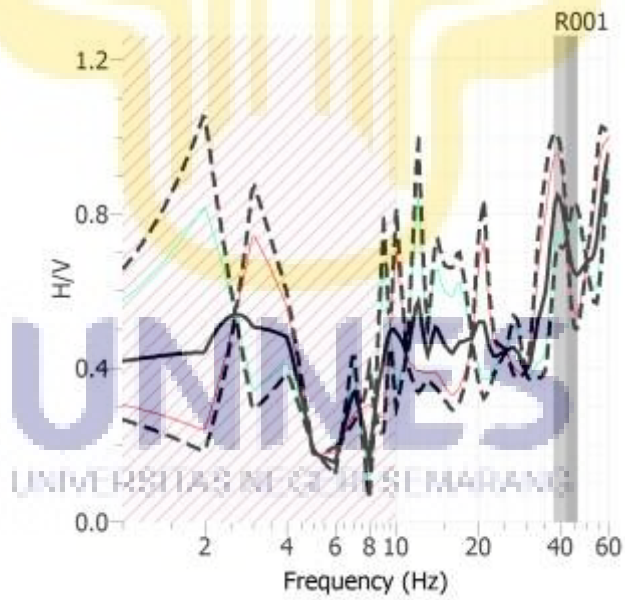
Grafik Frekuensi Kendaraan Truk Sedang 2 Sumbu



Grafik Frekuensi Kendaraan Truk 3 Sumbu



Grafik Frekuensi Kendaraan Truk Gandeng



Grafik Frekuensi Kendaraan Truk Semitrailer

Lampiran 4. Dokumentasi



Gambar Alat *Seismic Monitoring*



Menggali Bahu Jalan Untuk Menaruh Sensor *Seismic Monitoring*



Gambar Perletakan Alat Sensor *Seismic Monitoring*



Perhitungan LHR dan monitoring getaran di Jalan Lingkar Weleri