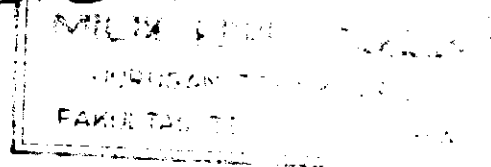


PROSES PENCUCIAN DAN PEMADATAN BALLAST JALAN REL LINTAS YOGYAKARTA - SOLO

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

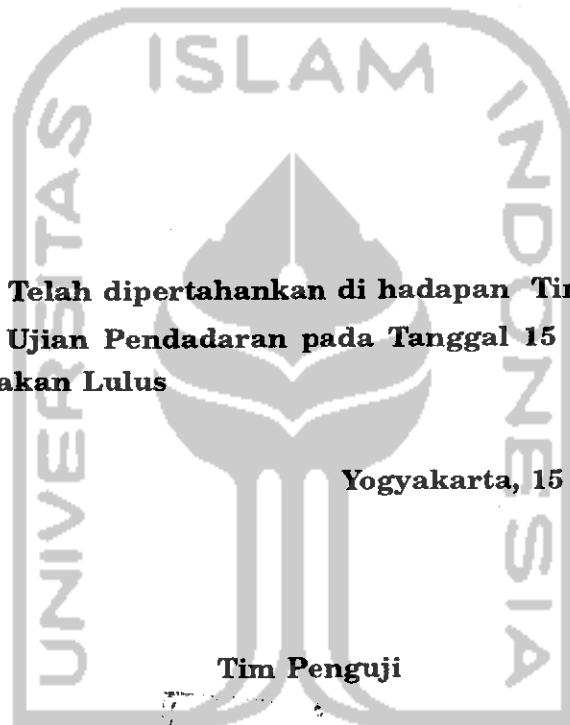
1. Yanra Zulkarnain 88.310.208
2. Ghofarudin 88.310.218

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1995

Bismillahirrohmannirrohim

TUGAS AKHIR

PROSES PENCUCIAN DAN PEMADATAN BALLAST JALAN REL LINTAS YOGYAKARTA - SOLO




Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji
dalam Ujian Pendadaran pada Tanggal 15 Juni 1995
dinyatakan Lulus

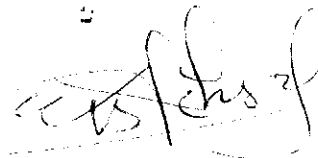
Yogyakarta, 15 Juni 1995

Tim Penguji

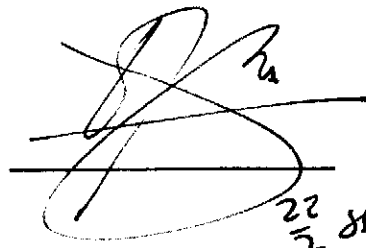
1. Ir. DJOKO MURWONO, DIPL.RE, MSc.

 22/7 95

2. Ir. H. BACHNAS, MSc.

 28/7 95

3. Ir. COORY YACOB, MS

 22/7 95

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, kami panjatkan atas segala rahmat dan berkah yang dilimpahkan-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan tidak menemui hambatan yang cukup berarti.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, dengan tujuan untuk mengaplikasikan pengetahuan teori yang didapat di bangku kuliah ke dalam bentuk penyelesaian masalah yang ada pada Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, hasilnya belum sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan yang kami miliki. Untuk itu, kami menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Dengan selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, tentunya kami tak lupa mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Ayahanda dan Ibunda kami, yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil selama kami kuliah.

2. Bapak Ir.Susastrawan. MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir.Bambang Sulistiono. MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Djoko Murwono. MSC, selaku Dosen Pembimbing I dalam Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir.H.Bachnas. MSC, selaku Dosen Pembimbing II dalam Tugas Akhir ini.
6. Bapak Toyo beserta staf pada Seksi Program Pendaya-gunaan Sarana Pemeliharaan Jalan Kereta Api (DKM) pada Balai Besar PERUMKA - Bandung.
7. Bapak Djoefri beserta staf pada bagian Seksi Jalan dan Jembatan PERUMKA Daerah Operasi VI Yogyakarta.
8. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada kami, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah secara langsung maupun tidak langsung telah ikut membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya, kami berdoa semoga amal kebaikan Bapak-bapak serta saudara/i yang telah memberikan segala bantuan diberikan imbalan pahala yang sepadan dari Allah SWT

dan kami berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kami khususnya dan pembaca pada umumnya.

Billahittarufiq wal hidayah

Wassalamualai'rum Wr. Wb.



Yogyakarta, April 1995

Penyusun

1. Yanra Zulkarnain
2. Ghofarudin

الرَّبِّيعِ الْاِسْتِاْرَافِ الْاَنْدَرِ

HALAMAN PERSEMBAHAN

- ".....Katakanlah : " Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui ? " Sesungguhnya orang yang berakal-lah yang dapat menerima pelajaran.

(Qs. Az-Zumar : 9)

- ".....Allah mengangkat orang yang beriman diantara kami dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat....."

(Qs. Al-Mudjaadalah : 11)

Tugas Akhir Ku persembahkan untuk :

- Ayahanda dan Ibunda tercinta
- Kakak dan adik tersayang
- Calon istri tercinta
- Almamater tercinta

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
INTISARI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Umum.....	1
1.2. Sejarah Jalan Rel Di Indonesia.....	2
1.3. Latar Belakang Permasalahan.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Pembatasan Masalah.....	8
1.6. Metodologi Penyusunan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. Gambaran Umum Mengenai Konstruksi Jalan Rel.....	10
2.1.1. Konstruksi Jalan Rel Bawah (Rel Kembar).....	10

	2.1.2. Konstruksi Jalan Rel Atas (Monorail).....	15
	2.2. Fungsi Dari Tiap Komponen Konstruksi Jalan Rel.....	17
	2.2.1. Rel.....	18
	2.2.2. Sambungan Rel.....	21
	2.2.3. Bantalan.....	24
	2.2.4. Ballast.....	28
	2.2.5. Tanah Dasar / Sub Grade.....	34
	2.3. Jenis Material Ballast.....	35
	2.4. Tegangan Yang Terjadi Pada Ballast...	38
	2.4.1. Tegangan Maksimum Pada Ballast	38
	2.4.2. Tegangan Maksimum Yang Terjadi Pada Tanah Dasar / Sub Grade..	41
BAB III	PENYEBAB PENGOTORAN BALLAST.....	43
	3.1. Umum.....	43
	3.2. Penyebab Internal.....	44
	3.3. Penyebab Eksternal.....	50
BAB IV	DESKRIPSI KONDISI LINTAS YOGYAKARTA -- SOLO	56
	4.1. Kondisi Lalu lintas Angkutan Jalan Lintas Yogyakarta - Solo	56
	4.2. Kondisi Jaringan Jalan Rel Lintas Yogyakarta - Solo.....	62

	4.3. Kondisi Konstruksi Jalan Rel Lintas Yogyakarta - Solo.....	63
BAB V	PROSES PENCUCIAN DAN PEMADATAN BALLAST DI LAPANGAN.....	65
	5.1. Metode Evaluasi Kondisi Konstruksi Jalan Rel Di Lapangan.....	65
	5.2. Proses Pencucian Ballast.....	70
	5.2.1. Metode Pencucian Ballast.....	71
	5.2.2. Frekuensi Pencucian Ballast...	79
	5.3. Proses Pemadatan Ballast.....	80
	5.3.1. Metode Pemadatan Ballast.....	82
	5.3.2. Frekuensi Pemadatan Ballast...	92
BAB VI	PEMBAHASAN.....	93
	6.1. Evaluasi Kinerja Jalan Rel.....	93
	6.2. Pengotoran Ballast Di Lapangan.....	95
	6.3. Evaluasi Pencucian Ballast Lintas Yogyakarta - Solo.....	97
	6.4. Evaluasi Pemadatan Ballast Lintas Yogyakarta - Solo.....	99
	6.5. Evaluasi Tegangan Yang Terjadi Pada Ballast Lintas Yogyakarta - Solo.....	100
	6.6. Evaluasi Tegangan Yang Terjadi Pada Subgrade.....	102

BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN.....	106
	7.1. Kesimpulan.....	106
	7.2. Saran.....	107
	PENUTUP.....	109
	DAFTAR PUSTAKA.....	110
	LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

No.	halaman
1.1. Peta Sejarah Jalan Rel Di P.Jawa.....	3
2.1. Potongan Melintang Konstruksi Jalan Rel Jalur Tunggal Pada Jalan Lurus.....	10
2.2. Potongan Melintang Kontruksi Jalan Rel.....	11
2.3. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Tunggal Pada Tikungan.....	11
2.4. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Ganda Pada Jalan Lurus.....	12
2.5. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Ganda Pada Tikungan.....	12
2.6. Potongan Melintang Jalan Rel Pada Timbunan.....	14
2.7. Potongan Melintang Jalan Rel Pada Galian.....	15
2.8. Jalan Monorail (Saddle Type)	15
2.9. Skema Monorail.....	16
2.10. Jalan Monorail (Sistem Menggantung).....	16
2.11. Skema Monorail (Sistem Menggantung).....	17
2.12. Sambungan Rel Melayang.....	22
2.13. Sambungan Rel Menumpu.....	22
2.14. Sambungan Rel Secara Siku.....	23
2.15. Sambungan Rel Secara Berselang.....	23
2.16. Dimensi Bantalan Kayu.....	25
2.17. Bantalan Kayu.....	25

2.18. Dimensi Bantalan Baja.....	26
2.19. Bantalan Baja.....	26
2.20. Dimensi Bantalan Beton Ganda.....	27
2.21. Dimensi Bantalan Beton.....	27
2.22. Bantalan Beton.....	28
2.23. Tekanan Vertikal Di Atas Ballast.....	39
2.24. Skema Tekanan Yang Terjadi Pada Ballast.....	40
2.25. Skema Tekanan Pada Ballast Dua Bantalan.....	41
3.1. Proses Pemompaan Lumpur dan Kantong Ballast....	48
3.2. Proses Runtuhnya Tubuh Jalan Kereta Akibat Pertumbuhan Kantong Ballast.....	49
3.3. Proses Pengotoran Ballast Akibat Debu.....	52
3.4. Proses Pengotoran Ballast Akibat Lumpur.....	53
3.5. Proses Pengotoran Ballast Akibat Oli dan Solar dari Lokomotif.....	54
3.6. Proses Pengotoran Ballast akibat Erosi dan Banjir.....	55
4.1. Contoh Grafik Perjalanan Kereta	61
4.2. Jaringan Jalan Rel Lintas Yogyakarta - Solo....	62
4.3. Jaringan Jalan Rel Yang Ada Di Pulau Jawa dan Tahun Pembuatannya.....	63
4.4. Potongan melintang Jalan Rel Yogyakarta - Solo	63
5.1. Kereta Ukur (<i>Car Recording</i>) Type EM 160.....	67
5.2. <i>Loring Motor</i> Untuk Pejabat PERUMKA.....	68
5.3. <i>Loring Motor</i> Untuk Petugas Lapangan PERUMKA....	69

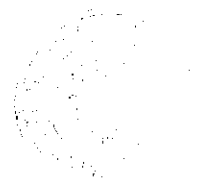
5.4.	Mesin Pencuci Ballast Type RM 74 HR.....	72
5.5.	Kondisi Ballast sebelum dicuci.....	73
5.6.	Rantai dan Blade Pada Galian.....	74
5.7.	Proses Penyambungan Rantai dan Blade.....	74
5.8.	Pengerukan Ballast Di Bawah Bantalan.....	75
5.9.	Rantai membawa Ballast Kotor Ke Saringan.....	76
5.10.	Penyebaran Ballast Melalui Conveyor.....	76
5.11.	Pembuangan Debu dan Kotoran.....	77
5.12.	Pengawasan dan Pengontrolan Kerja Rantai.....	78
5.13.	Kondisi Ballast Setelah Dicuci.....	78
5.14.	Selisih Tinggi Rel Diukur Dengan <i>Waterpass</i>	80
5.15.	Rel Diangkat Dengan Dongkrak.....	81
5.16.	Dari atas ke bawah : Pemasat Ballast Pasir, Pemasat Ballast Batu dan Dandang.....	82
5.17.	Mesin Pecok Ringan " <i>Hand Tie Tamper</i> ".....	86
5.18.	Cara Penggunaan Mesin Pecok Ringan.....	87
5.19.	<i>Multiple Tie Tamper</i> Type 08 - 16 GS.....	89
5.20.	Pemecok Kepala Tunggal Sedang Bekerja.....	90
5.21.	Pemecok Kepala Ganda Sedang Bekerja.....	90
6.1.	Perilaku Pelayanan Konstruksi Jalan Rel.....	93
6.2.	Pemukiman Penduduk Di Sekitar Jalan Rel.....	96
6.3.	Menentukan Luas Efektif Bantalan :.....	101
6.4.	Sket Pembebanan.....	103

DAFTAR TABEL

No.		halaman
2.1.	Potongan Melintang Jalan Rel.....	13
2.2.	Komposisi Kimia Rel.....	18
2.3.	Panjang Minimum Rel Panjang.....	19
2.4.	Karakteristik Penampang Rel.....	20
2.5.	Tebal Lapisan Ballast.....	31
2.6.	Gradasi Ukuran Ballast Atas.....	36
2.7.	Gradasi Ukuran Ballast Bawah.....	37
4.1.	Jadwal Kereta Penumpang Jurusan Yogyakarta - Solo	57
4.2.	Jadwal Kereta Barang Jurusan Yogyakarta - solo.	58
4.3.	Jadwal Kereta Barang Jurusan Solo - Yogyakarta.	58
4.4.	Jadwal Kereta Penumpang Jurusan Solo - Yogyakarta	59
6.1.	Variasi Nilai k Terhadap Tegangan Ballast	102
6.2.	Perhitungan Tegangan pada Sub Grade.....	105

DAFTAR LAMPIRAN

1. Diagram Master
2. Subgrade Vertical Pressure Function $f(x)$
3. Data Spesifikasi dan Dimensi Mesin Berat



INTISARI

Konstruksi jalan rel akan selalu menerima beban dari kereta yang lewat di atasnya. Sehingga lama-kelamaan daya pegas ballast akan menurun/berkurang. Penurunan daya pegas ballast mengakibatkan kereta tidak bisa melaju dengan cepat dan juga berakibat timbulnya guncangan kereta. Apabila penurunan daya pegas ballast ini tidak di atasi bisa berakibat kereta akan anjlok (turun dari rel).

Penurunan daya pegas ballast ini disebabkan oleh dua faktor pengotoran yaitu faktor pengotoran internal dan faktor pengotoran eksternal. Faktor pengotoran internal disebabkan oleh adanya gesekan antar batuan karena beban kereta yang menimbulkan debu/serpihan. Sedangkan faktor pengotoran eksternal disebabkan oleh adanya sampah-sampah dari penumpang maupun dari penghuni di sekitar jalan rel (antara jembatan Kewek - Sorowajan), serta karena tetesan oli dan solar dari lokomotif.

Berdasarkan permasalahan di atas penulis mengadakan pengamatan/penelitian yaitu dengan melihat langsung kondisi ballast lintas Yogyakarta - Solo, terutama pada jalan rel yang dekat dengan pemukiman penduduk. Selain itu juga mengamati guncangan yang terjadi pada kereta dengan cara menaiki kereta tersebut.

Dari hasil penelitian/pengamatan di lapangan dan analisa peneliti untuk lintas Yogyakarta - Solo perlu dilakukan pencucian dan pepadatan ballast terutama pada daerah Yogyakarta sampai Brambanan. Sedangkan dari Brambanan sampai Solo secara visual kelihatan bersih.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Umum

Transportasi timbul karena tidak semua kebutuhan tersedia di tempat ia bermukim. Dengan majunya peradaban, kebutuhan manusia semakin banyak dan beragam. Akibat dari perkembangan tersebut diatas, maka tempat-tempat kegiatan manusia akan menyebar. Untuk melayani dan mendukung pergerakan manusia tersebut maka diperlukan sarana transportasi yang memadai, karena tanpa transportasi yang baik pemindahan barang dan manusia hanya dapat diselenggarakan dalam jumlah dan jarak yang terbatas, sehingga produksi pun akan terbatas pula.

Barang dan benda apa saja yang diinginkan manusia itu merupakan produk komoditi. Setiap produk komoditi memerlukan sarana transportasi yang baik pada saat produksi dan distribusinya. Pada tingkat produksi, transportasi dibutuhkan untuk pengangkutan alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan pada proses produksi. Disamping itu karena ketrampilan manusia tidak selalu sama pada suatu lokasi, maka diperlukan transportasi untuk memindahkan seseorang dari suatu tempat ke tempat lainnya yang membutuhkan keahliannya. Pada tingkat distribusi diperlukan bagi pemasaran produksi dari pusat-pusat produksi ke tempat-tempat konsumsi.

Dalam arti kata sempit, transportasi bermaksud memindahkan manusia, hewan dan barang dari suatu tempat ke tempat lainnya, akan tetapi jika kita selami lebih mendalam lagi, maka tugas transportasi jauh lebih luas dan lebih penting lagi, berhubung dengan perannya sebagai alat prasarana di dalam bidang ekonomi, sosial, politik, kebudayaan, keamanan dan pertahanan. Jadi transportasi harus dapat menjamin kelancaran dan kemajuan perekonomian negara dan kesejahteraan rakyat.

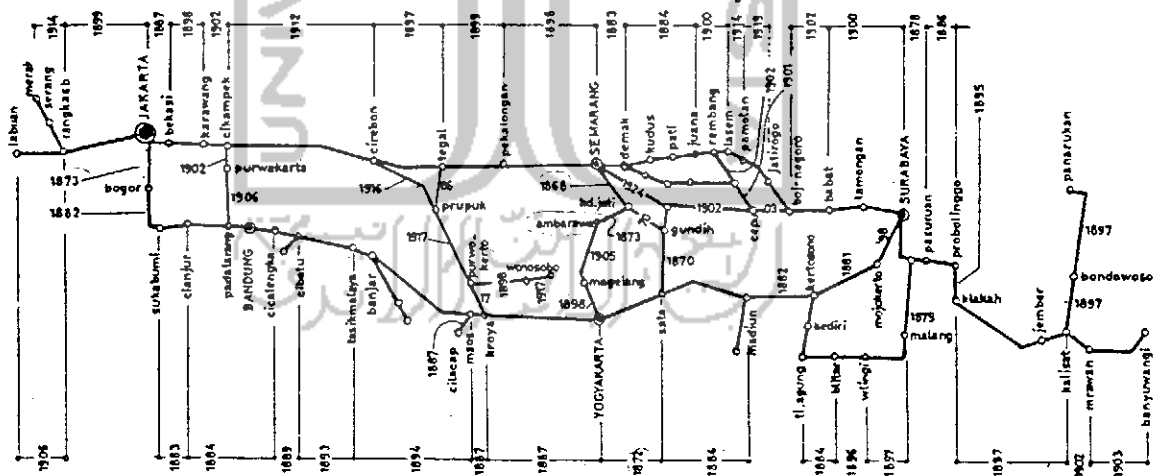
Dengan lancarnya transportasi, tidak hanya dicapai penghematan waktu dan biaya yang sangat berfaedah bagi masyarakat, tetapi daya hasilnya pun akan meningkat, sehingga kebutuhan masyarakat lekas terpenuhi, kemakmuran bangsa meningkat, kekayaan dapat lebih merata, kebudayaan pun ikut berkembang.

1.2. Sejarah Jalan Rel Di Indonesia

Terjadinya jalan rel adalah hasil dari usaha-usaha untuk memperbaiki pengangkutan, terutama hal tahan lamanya alat-alat pengangkut, kuantitas angkutan dan kecepatan mengangkut. Jalan rel dikenal oleh masyarakat Indonesia sewaktu penjajahan Belanda yaitu kira-kira pada tahun 1860, tetapi pada awalnya pembesar-pembesar Belanda sangat tidak setuju, baik atas dasar buruh pribumi yang tidak memadai maupun terhadap pemakaian uang yang lebih baik dipergunakan

untuk memperbaiki peternakan sapi untuk menghemat biaya angkutan. Tetapi keberatan-keberatan itu akhirnya dapat diatasi dan jalan rel yang pertama di Indonesia dibangun oleh *Nederlands Indische Spoorweg Maatschappij* (N.I.S) yang menghubungkan jurusan Semarang Gudang (Journatan) ke Tanggung (jurusan Semarang - Sala) sepanjang \pm 14 Km, dengan lebar sepur 1435 mm dan dibuka untuk umum pada tanggal 10 Agustus 1867.

Guna menghemat biaya Pemerintah Belanda, maka anjuran kepada perusahaan-perusahaan swasta untuk membuka jalan rel, dan terbentuklah perusahaan swasta *Stroomtram Maatschappij*. Semenjak itulah perkembangan jalan rel di pulau Jawa makin berkembang, lihat gambar No.1.1.



Gambar No.1.1. Peta Sejarah Pembangunan Jalan Rel Di P.Jawa.

Di pulau Sumatera sistem yang tertua terdapat di Aceh yaitu Trem dengan lebar sepur 75 Cm, jalan rel yang pertama dibuka pada tahun 1876, baru pada tahun 1817 penyambungan jalan rel Aceh - Deli selesai.

Pada akhir PD I sistem jalan rel pada dasarnya sudah seperti sekarang, hanya terdapat beberapa perluasan hingga pertengahan tahun 1920-an.

Pada zaman Pemerintahan pendudukan militer Jepang semua perusahaan jalan rel dilebur dibawah satu pimpinan pemerintah. Selama masa itu, banyak lintas cabang yang dibongkar. Selain itu, lebar sepur 1435 mm yang digunakan N.I.S. untuk lintas Semarang - Yogyakarta dan lintas-lintas di daerah Yogyakarta diubah menjadi 1067 mm sehingga sama dengan lintas -lintas lainnya.

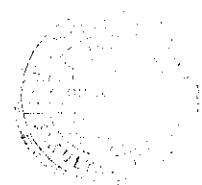
Setelah negara kita merdeka, semua jalan rel milik perusahaan swasta dinasionalisasikan dan seluruh jalan rel dikuasai oleh "Djawatan Kereta Api Republik Indonesia (DKARI)", kemudian berubah lagi menjadi "Djawatan Kereta Api (DKA)". Untuk beberapa tahun lamanya, Djawatan Kereta Api itu diubah statusnya menjadi perusahaan negara dengan nama Perusahaan Negara Kereta Api (PNKA), kemudian berubah lagi statusnya menjadi Perusahaan Jawatan kereta Api (PJKA). Dan akhirnya sekarang telah menjadi perusahaan umum dengan nama Perusahaan Umum Kereta Api (PERUMKA).

1.3. Latar Belakang Permasalahan

Salah satu hal untuk menuju kemajuan, manusia memerlukan sarana transportasi, dimana transportasi ini tak terbatas hanya untuk pengangkutan beberapa puluh manusia atau beberapa ton barang sekaligus, tetapi untuk pengangkutan beribu-ribu orang dan berton-ton barang sekaligus. Angkutan orang dan barang tersebut diisyaratkan dapat menempuh jarak dekat maupun jarak jauh, dimana jalan rel merupakan sarana transportasi yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan itu untuk di darat. Hal tersebut mengingat angkutan jalan rel dapat mengangkut dalam jumlah besar (kapasitas angkut besar) dengan mempunyai jalan sendiri sehingga dari aspek keamanan dan kenyamanan dapat diandalkan.

Lintas jalan rel direncanakan untuk melewati beberapa jumlah angkutan barang dan orang dalam jangka waktu tertentu, dimana perancangan konstruksi jalan rel harus memenuhi persyaratan secara teknis, kenyamanan dan ekonomis. Salah satu bagian yang terkait dari konstruksi jalan rel adalah ballast. Dimana ballast ini berfungsi :

- a. Mendukung bantalan dan bersifat kenyal (beban yang didukung merupakan beban dinamik).
- b. Menyebarkan beban yang diterimanya sehingga memperkecil tekanan beban vertikal yang dibebankan pada tanah dasar.



- c. Sebagai bahan yang poreus yang memungkinkan dapat meloloskan air hujan yang jatuh di atasnya.
- d. Menahan / mencegah bergesernya bantalan dan rel, baik arah membujur yang diakibatkan oleh gaya rem, gaya jejak roda maupun gaya pengembangan / penyusutan akibat beban suhu udara dan pergeseran bantalan arah melintang (lateral) akibat gaya sentakan arah lateral dari gerak ular rangkaian kereta.

Dari tahun ke tahun kualitas ballast akan menurun dikarenakan ballast selalu mendapat pembebanan yang berupa tumbukan bantalan pada saat rangkaian kereta berjalan di atas rel dan pengaruh cuaca terus menerus selama umur konstruksi.

Salah satu penyebab pengotoran ballast adalah akibat pukulan yang menghentak disertai dengan pembebanan yang silih berganti karena ada beban dari kereta sehingga dapat menyebabkan :

- a. Batu ballast lambat laun aus akibat saling gesek dan volume ballast bertambah kecil, maka terjadi penyusutan ballast yang berupa penurunan ballast.
- b. Rongga-rongga antar partikel ballast bertambah sempit, sehingga sifat kekenyalan ballast berkurang dan sifat sebagai lapisan pengatus menjadi jelek.

- c. Serbuk / serpihan ballast yang pecah menutupi rongga-rongga ballast sehingga membuat ballast jadi padat (tidak kenyal) atau mati.
- d. Pemadatan dan pengurangan tebal ballast menyebabkan tanah dasar menerima tekanan akibat beban dari atas (rangkaiannya kereta) yang lebih besar daripada keadaan semula, akibatnya tanah dasar dapat amblas dan batu ballast menyurut ke tanah dasar membuat cekungan (kantong ballast). Proses ini makin dipercepat pada waktu musim hujan.

Bertolak dari hal tersebut diatas maka diperlukan pencucian dan penambahan ballast kemudian dipadatkan agar didapat kondisi daya dukung yang seragam dan kenyal kembali. Permasalahan : belum banyaknya uraian pengetahuan tentang Proses Pencucian dan Pemadatan Ballast dikalangan umum, khususnya dilingkungan kampus.

1.4. Tujuan Penelitian

Pada penulisan "Tugas Akhir" ini, penulis bermaksud untuk meneliti Proses Pencucian dan Pemadatan Ballast secara umum di lapangan dengan studi kasus di lintas Yogyakarta - Solo, dan diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan bagi teknisi di lapangan dan di lingkungan akademik, dalam hal ini dikalangan mahasiswa karena sampai

saat ini kepedulian mahasiswa terhadap masalah jalan rel masih relatif kecil sekali.

1.5. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan "Tugas Akhir" ini, penulis membatasi permasalahan :

1. Konstruksi jalan rel.
2. Penyebab pengotoran ballast.
3. Proses pencucian dan pemadatan ballast.

1.6. Metodologi Penyusunan

Dalam pembahasan dan penulisan tugas akhir ini, penulis menentukan metode penelitiannya yang disesuaikan dengan permasalahannya, maka metoda pembahasan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Studi Literature

Suatu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis adalah dengan jalan mempelajari dan menganalisa peraturan-peraturan, studi, buku-buku, brosur-brosur dan diktat-diktat yang terkait dengan masalah Proses Pencucian dan Pemadatan Ballast.

b. Studi Lapangan

Dalam hal ini penulis melakukan peninjauan ke lapangan yang ada kaitannya dengan judul tugas akhir penulis, atas saran pihak Perumka.



BAB II

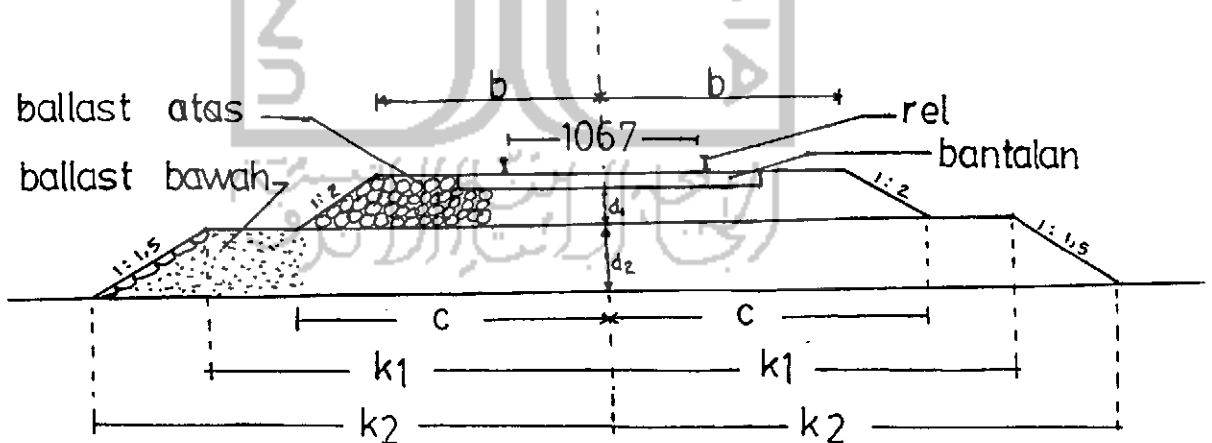
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Mengenai Konstruksi Jalan Rel

Konstruksi jalan rel yang kita kenal ada dua macam yaitu : konstruksi jalan rel bawah (rel kembar) dan konstruksi jalan rel atas (monorail).

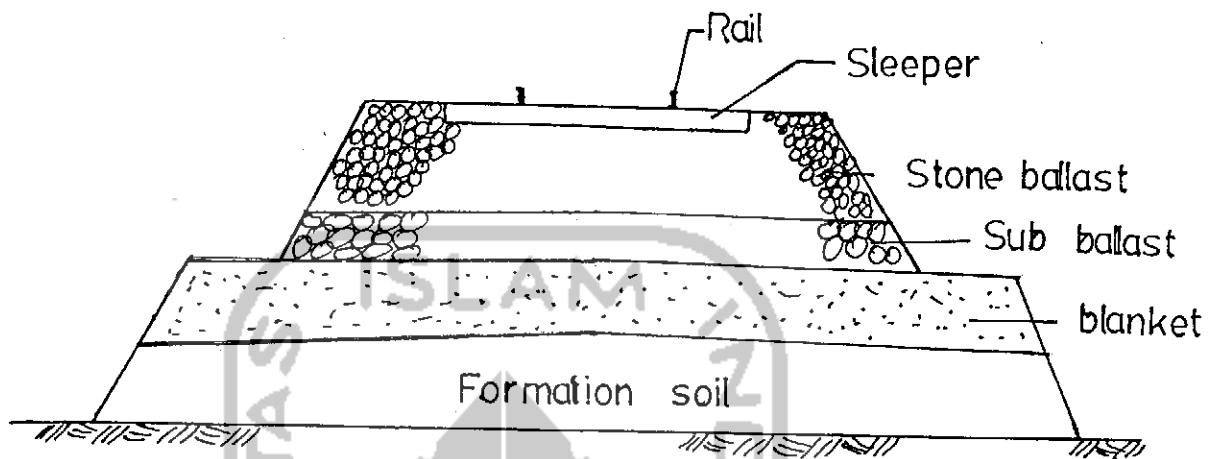
2.1.1. Konstruksi Jalan Rel Bawah (Rel Kembar)

Konstruksi jalan rel ini tersusun dari rel-rel yang ditambatkan pada bantalan besi, kayu atau beton dengan penambat paku rel (rail spikes), tirpon (screw spikes) atau baut (bolt), secara langsung atau dengan perantara pelat-pelat jepit yang diletakan pada ballast, untuk lebih jelas lihat gambar di bawah.



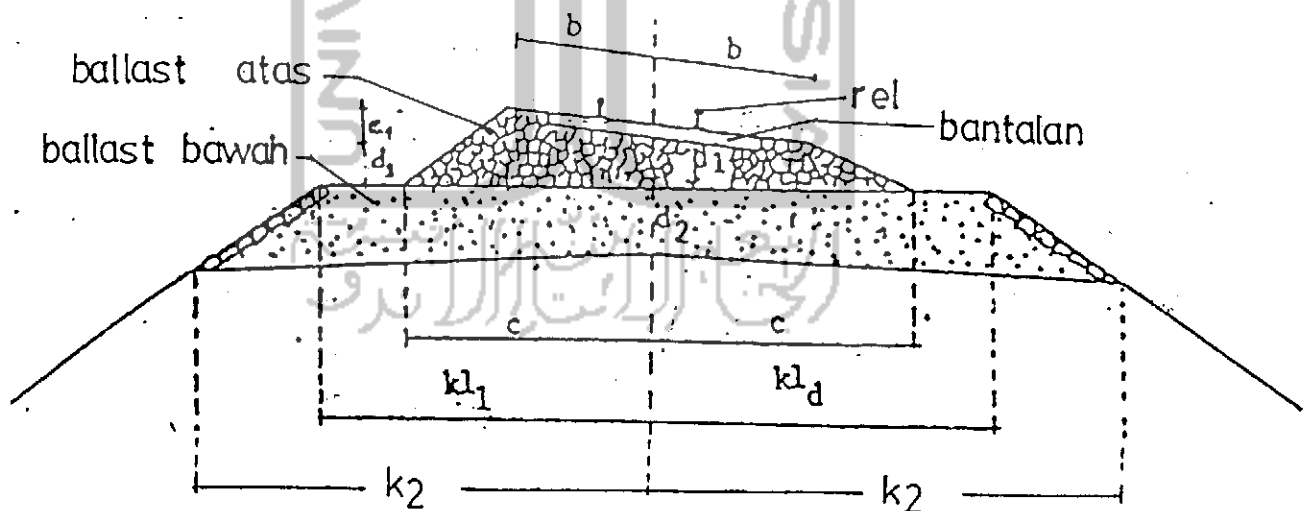
Gambar.No.2.1. Potongan Melintang Konstruksi Jalan Rel Jalur Tunggal Pada Jalan Lurus

Sumber : Peraturan Dinas No. 10 , tahun 1986.



Gambar No.2.2. Potongan Melintang Konstruksi Jalan Rel

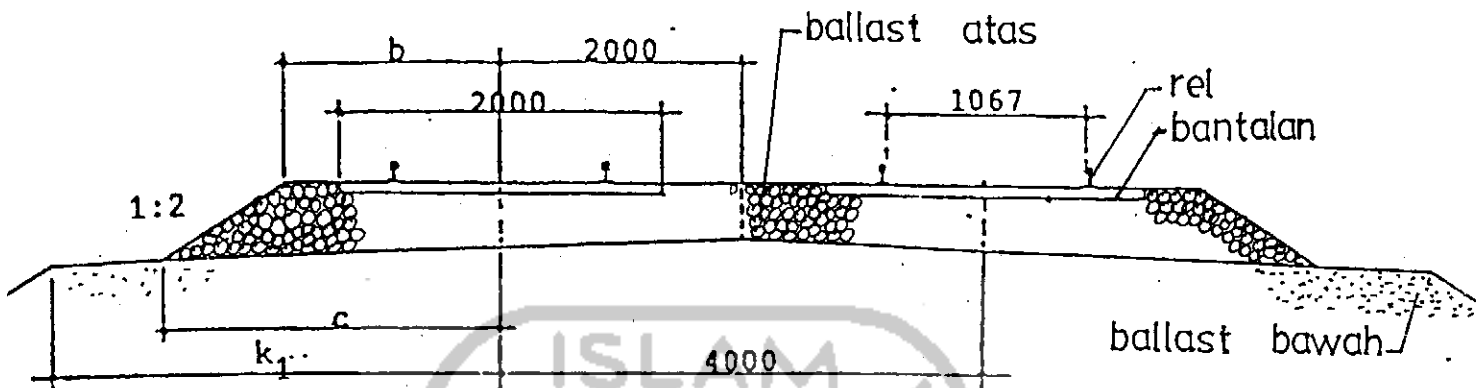
Sumber : Rail Track Engineering , R. Agor, 1990.



Gambar No.2.3. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Tunggal

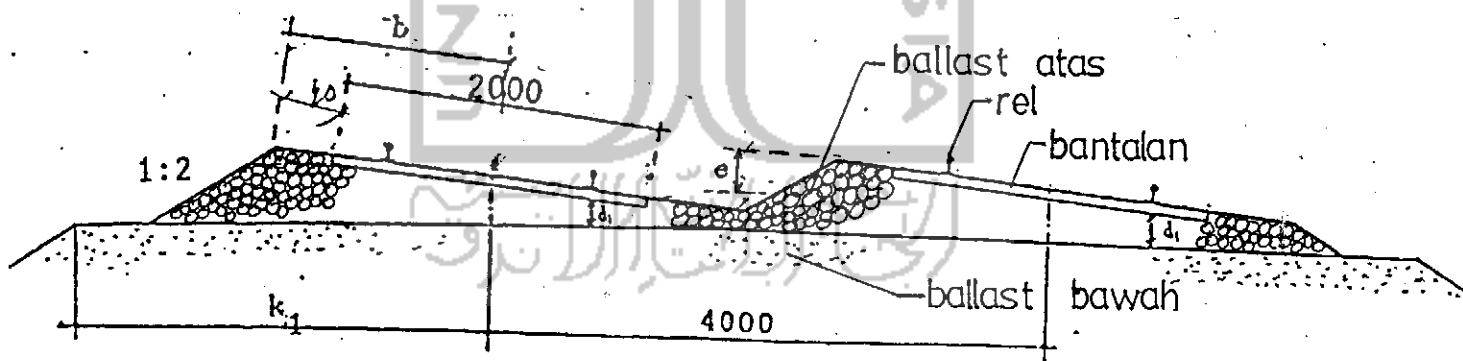
Pada Tikungan

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1984.



Gambar No.2.4. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Ganda
Pada Jalan Lurus

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.



Gambar No.2.5. Potongan Melintang Jalan Rel Jalur Ganda
Pada Tikungan

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

Untuk ukuran ketebalan ballast, lebar ballast dan kemiringan ballast untuk jalur tunggal maupun ganda, pada jalan lurus ataupun di tikungan dapat dilihat pada tabel no 2.1.

Tabel No.2.1. Potongan Melintang Jalan Rel

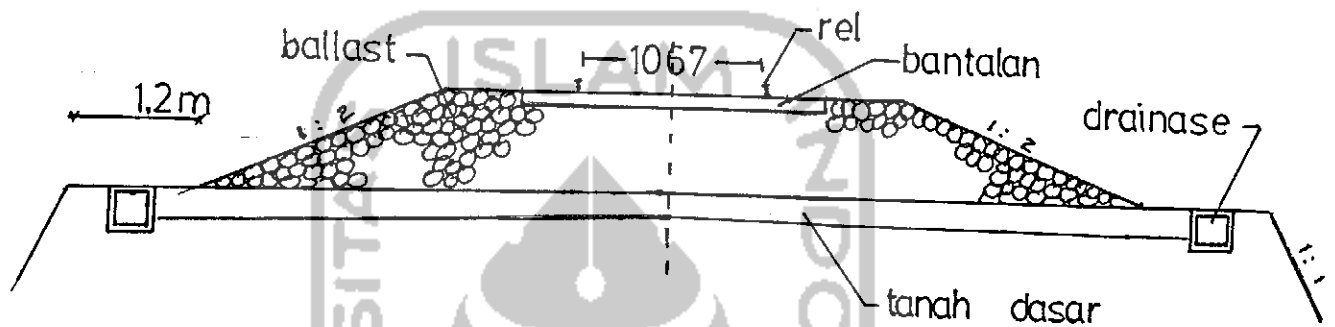
KELAS JALAN	V maks (km/j)	d_1 (cm)	b (cm)	c (cm)	k_1 (cm)	d_2 (cm)	e (cm)	k_2 (cm)	a (cm)
I	120	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
II	110	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
III	100	30	140	225	240-270	15-50	22	325	170-200
IV	90	25	140	215	240-250	15-35	20	300	170-190
V	80	25	135	210	240-250	15-35	20	300	170-190

Sumber : Peraturan Dinas No.10, tahun 1986.

Konstruksi jalan rel pada daerah timbunan dan galian mempunyai syarat-syarat tertentu. Adapun syarat-syarat pada daerah timbunan yaitu :

- Bagian atas timbunan setebal minimal 1,00 m, harus merupakan material yang lebih baik dibanding di bawahnya.
- Kemiringan tanah dasar harus miring ke arah luar sebesar 5 permil.

- Permukaan timbunan harus terletak minimum 2,00 m di atas elevasi muka air tertinggi.
- Bila tinggi timbunan lebih dari 6.00 m, maka untuk setiap ketinggian 6,00 m harus dibuat "berm" selebar 1,5 m.

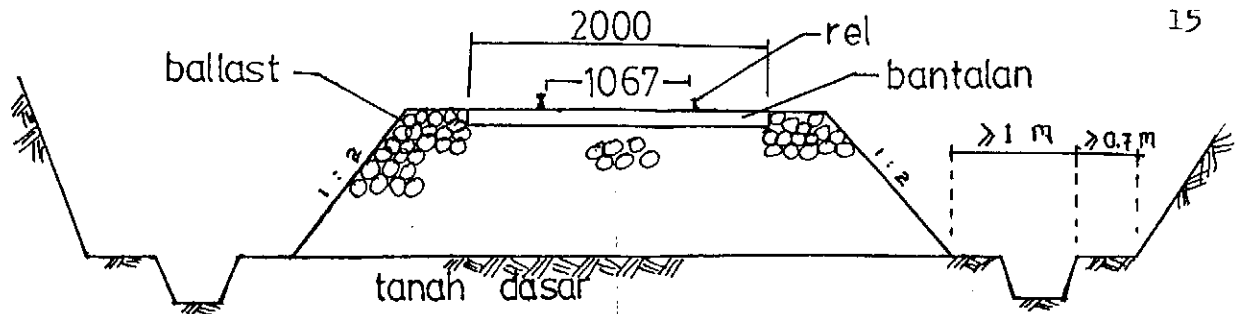


Gambar No.2.6. Potongan Melintang Jalan Rel Pada Timbunan

Sumber : Peraturan Dinas No.10, tahun 1986.

Sedangkan konstruksi jalan rel pada daerah galian mempunyai syarat sebagai berikut :

- Tanah dasar/tanah asli harus tanah yang stabil.
- Kemiringan tanah dasar 5 permil ke arah luar.
- Tanah dasar harus terletak minimal 0,75 m di atas muka air tanah tertinggi.
- Bila kedalam galian lebih dari 10 m, maka pada setiap kedalaman 7,00 m harus dibuat "berm" selebar 1,5 m.



Gambar No.2.7. Potongan Melintang Jalan Rel Pada Galian

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

2.1.2. Konstruksi Jalan Rel Atas (Monorail)

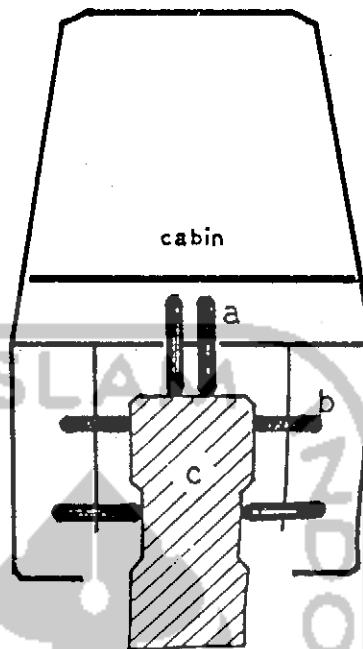
Konstruksi jalan rel ini ada dua sistem, yaitu sistem menggantung, jadi kereta-keretanya menggantung pada rel. Sedangkan sistem yang kedua dimana kereta-keretanya berjalan di atas rel yang disebut *saddle type*. Lihat gambar di bawah.



Gambar No.2.8. Jalan Monorail (Saddle Type)

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.

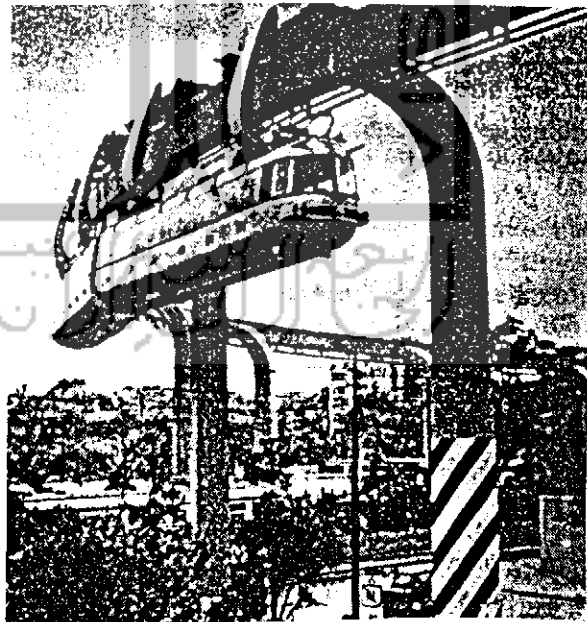




a : roda jalan
b : roda pengantar
c : rel beton

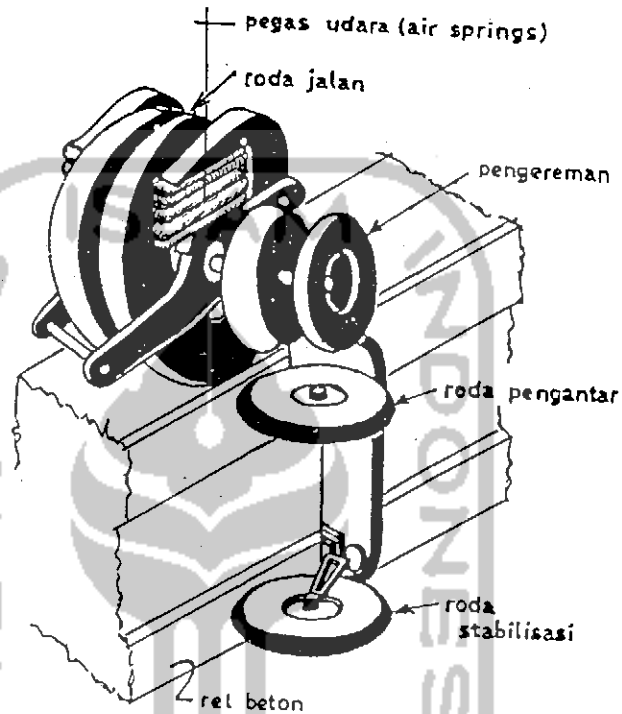
Gambar No.2.9. Skema Monorail

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.



Gambar No.2.10. Jalan Monorail (Sistem Menggantung)

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.



Gambar No.2.11. Skema Monorail Sistem Menggantung

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.

2.2. Fungsi Dari Tiap Komponen Konstruksi Jalan Rel

Untuk dapat memenuhi kriteria jalan rel yang baik, aman, nyaman dan ekonomis, maka kita perlu mengetahui sifat dan fungsi dari tiap-tiap komponen konstruksi jalan rel.

Komponen konstruksi jalan rel terdiri dari :

Rel, penambat rel, pelat andas, sambungan rel, bantalan dan ballast serta subgrade/tanah dasar.

2.2.1. Rel

Menurut R. Agor rel adalah suatu batang yang terbuat dari bahan campuran carbon tinggi yang diletakkan di atas bantalan berjajar sebagai pengantar roda kereta.

Fungsi dari rel menurut R. Agor adalah :

- a. Sebagai pengantar roda ketika kereta bergerak atau berjalan.
- b. Sebagai penunjang tekanan yang berubah akibat beban vertikal yang besar, gaya rem dan perubahan suhu.
- c. Untuk melimpahkan beban as roda ke bantalan yang diteruskan ke lapisan ballast.
- d. Untuk memperoleh kekuatan, ketahanan dan kekokohan pada track.

Jenis rel yang dipakai adalah rel tahan aus dan tidak mudah retak dengan komposisi kimia sebagai berikut :

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Rel

C	0,60 % - 0,80 %
Si	0,15 % - 0,35 %
Mn	0,90 % - 1,10 %
P	max. 0,035 %
S	max 0,025 %

Sumber : Peraturan Dinas No.10, tahun 1986.

Syarat-syarat rel adalah :

- a. Kuat tarik minimum rel adalah 90 kg/mm^2 dengan perpanjangan minimum 10 %.
- b. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari pada 240 Brinell.
- c. Momen pertahanannya harus besar, untuk menahan tegangan lentur akibat beban roda.
- d. Permukaan rel harus sesuai dengan bentuk rodanya.
- e. Kaki rel dibuat lebar, sisi bawahnya datar hingga mudah ditambatkan dan diletakkan di bantalan.

Menurut panjangnya rel dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

- 1) Rel standar adalah rel yang panjangnya 25 meter.
- 2) Rel pendek adalah rel yang panjangnya maksimal 100 meter.
- 3) Rel panjang adalah rel yang panjang minimumnya tercantum pada tabel 2.2.

Tabel 2.3. Panjang Minimum Rel Panjang

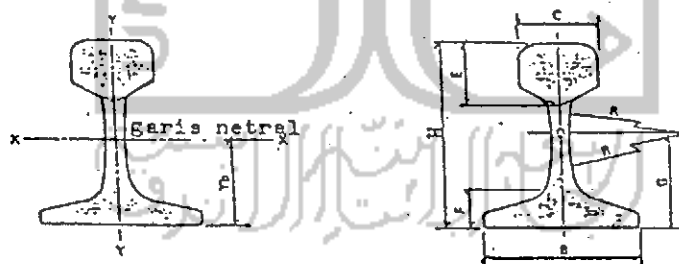
Jenis bantalan	Tipe rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
Bantalan kayu	325 m	375 m	400 m	450 m
Bantalan beton	200 m	225 m	250 m	275 m

Sumber : Peraturan Dinas No.10

Tabel 2.4. Karakteristik Penampang Rel

Besaran geometri rel	Tipe rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,97	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm) ²	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m) ⁴	42,59	50,40	54,43	60,34
I (cm) ⁴ _x	1.369	1.960	2.346	3.055
Y (mm) _b	68,50	71,60	76,20	80,95

A = luas penampang.
 W = berat rel per meter.
 I_x = momen inersia terhadap sumbu x.
 Y_b = jarak tepi bawah rel ke garis netral.



Tabel 3.2 Karakteristik penampang rel.

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

Adapun gaya-gaya yang bekerja pada rel adalah :

- Gaya dinamik yaitu gaya akibat beban roda vertikal.

- Gaya sentrifugal yaitu gaya yang terjadi pada daerah tikungan.
- Gaya angin yaitu gaya yang terjadi adanya angin yang berhembus dari samping kereta.
- Gaya akibat perubahan suhu pada rel.

2.2.2. Sambungan Rel

Sambungan rel adalah konstruksi yang mengikat dua ujung rel sedemikian rupa sehingga operasi kereta tetap aman dan nyaman. Sambungan rel yang dipakai adalah sambungan yang menggunakan pelat penyambung, baut dan mur.

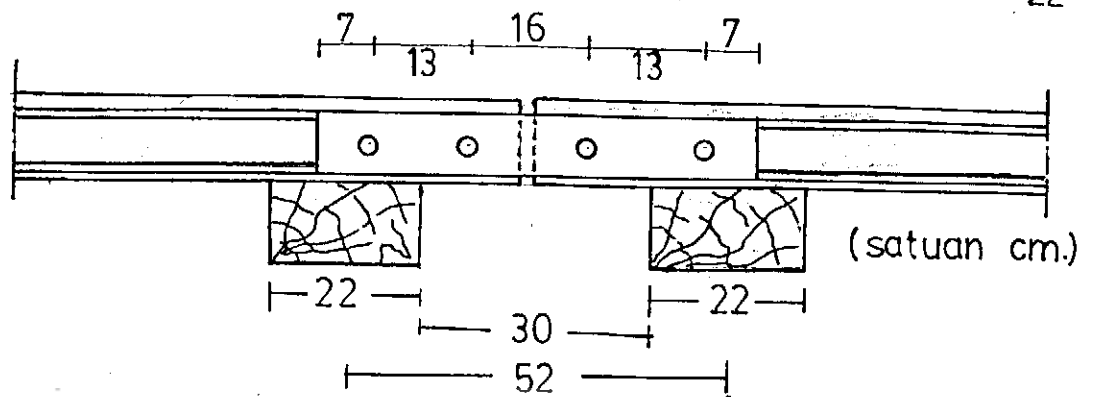
Fungsi dari sambungan rel diantaranya adalah :

- a. Untuk menahan momen lentur dan gaya-gaya sentuhan yang ditimbulkan oleh kereta.
- b. Untuk menahan agar ujung-ujung rel tidak bergeser ke samping.

Sambungan ada dua macam yang dibedakan terhadap jenis bantalan yang dipakai, dua macam sambungan rel itu adalah :

1) Sambungan Rel Melayang

Bantalan yang dipakai pada daerah sambungan adalah ukuran $13 \times 22 \times 200 \text{ cm}^3$. Jarak antara kedua bantalan ujung sebesar 30 cm adalah jarak minimum yang diperlukan untuk pekerjaan memadatkan ballast di bawah bantalan.

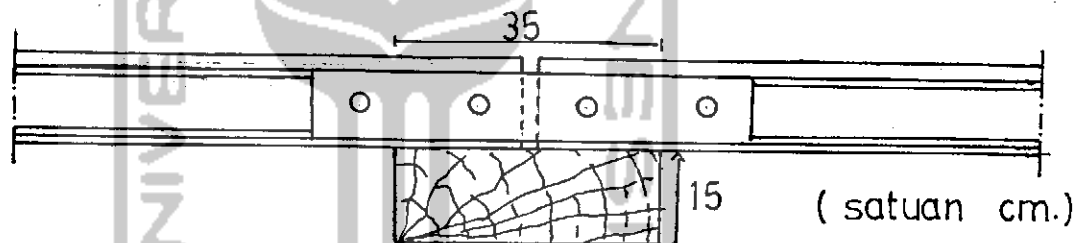


Gambar No.2.12. Sambungan Rel Melayang

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

2) Sambungan Menumpu

Sambungan ini menggunakan bantalan dengan ukuran khusus yaitu $15 \times 35 \times 200 \text{ cm}^3$.



Gambar No.2.13. Sambungan Rel Menumpu

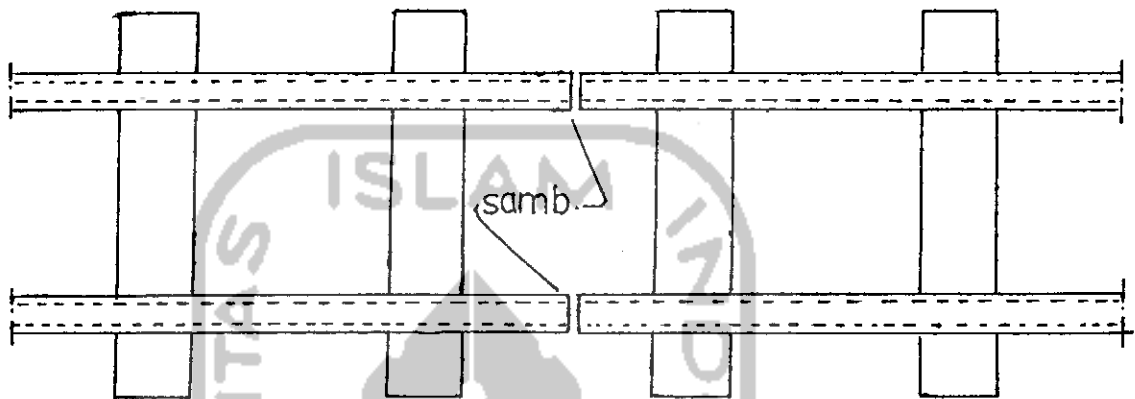
Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

1. Penempatan Sambungan Rel

Berdasarkan cara penempatannya, sambungan rel dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. Penempatan secara siku, dimana kedua sambungan berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur. Sambungan siku memungkinkan pemasangan rel dan bantalan dengan sistem panel. Pada sistem ini penyetelan rel di atas

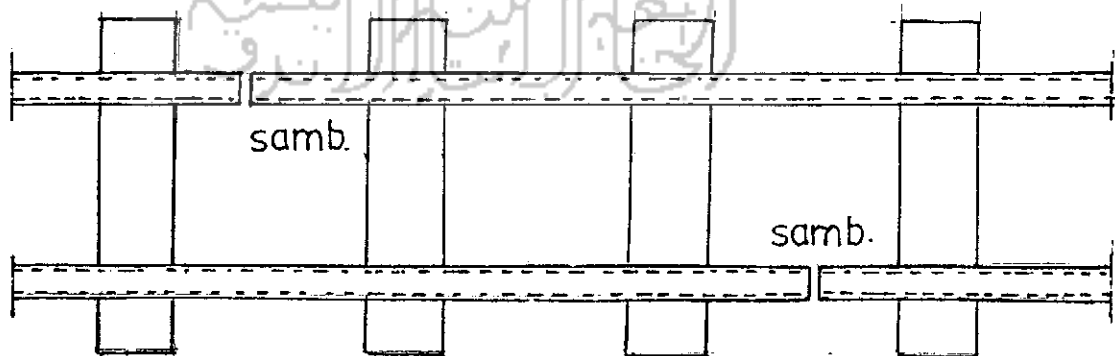
bantalannya dilakukan di luar sepur, setelah rel dan bantalan menjadi satu kesatuan kemudian diangkat dan diletakkan di tempatnya.



Gambar No.2.14. Sambungan Rel Secara Siku

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

b. Penempatan secara berselang, dimana kedua sambungan rel tidak berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur. Pada sambungan ini tidak ada masalah penyimpangan kedudukan seperti pada sambungan siku.



Gambar No.2.15. Sambungan Rel Secara Berselang.

Sumber : Peraturan Dinas No. 10, tahun 1986.

2.2.3. Bantalan

Menurut R. Agor bantalan adalah suatu benda yang diletakkan melintang pada track guna mendukung rel-rel dan memindahkan beban dari rel-rel ke lapisan ballast.

Fungsi bantalan menurut R. Agor adalah :

1. Mendukung rel-rel dengan kokoh dan sama tinggi disemua bagian.
2. Menyebarkan beban yang diterima melalui rel-rel ke lapisan ballast dengan luas sebaran yang lebih luas atau pada girder di jembatan.
3. Memegang rel-rel agar lebar sepur tetap dalam semua situasi, misal pada tikungan dan jalan lurus.
4. Sebagai bahan elastis antara rel-rel dan ballast dan juga sebagai peredam getaran akibat beban gerak.
5. Menopang track agar tepat dan sejajar.
6. Sebagai bahan isolasi pada track untuk kereta listrik.
7. Untuk mempermudah penggantian pada pengunci rel tanpa adanya gangguan lalu lintas yang serius.

Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja ataupun beton. Pemilihan didasarkan pada kelas yang sesuai dengan Klasifikasi Jalan Rel Indonesia. Ukuran-ukuran dan jenis bantalan-bantalan tersebut adalah :

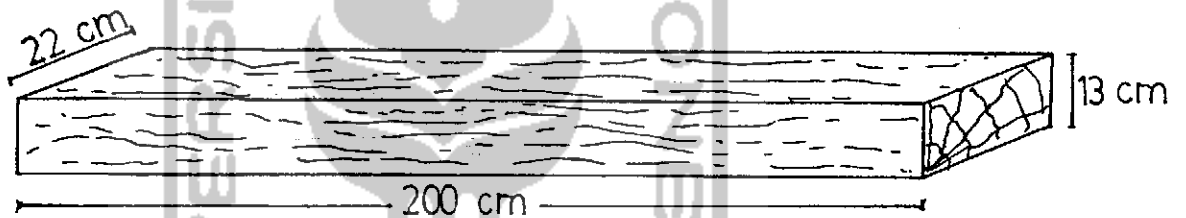
a. Bantalan Kayu

1) Pada jalan yang lurus bantalan kayu mempunyai ukuran, panjang, lebar dan tinggi adalah :

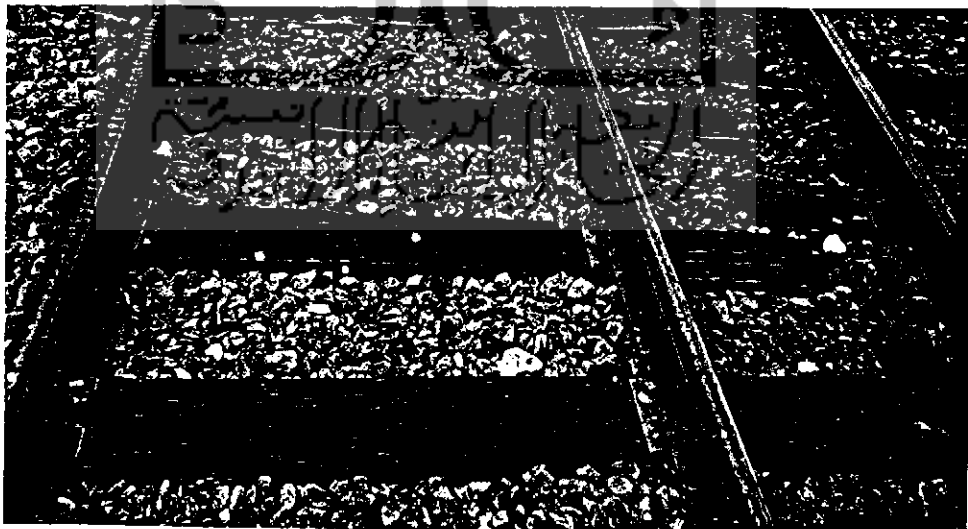
$200 \times 22 \times 13 \text{ cm}^3$, $200 \times 22 \times 20 \text{ cm}^3$ dan $200 \times 20 \times 14 \text{ cm}^3$

2) Pada jembatan mempunyai ukuran, panjang, lebar dan tinggi adalah :

$180 \times 22 \times 20 \text{ cm}^3$ dan $180 \times 22 \times 24 \text{ cm}^3$.



Gambar No. 2.16. Dimensi Bantalan Kayu



Gambar No.2.17. Bantalan Kayu

b. Bantalan Baja

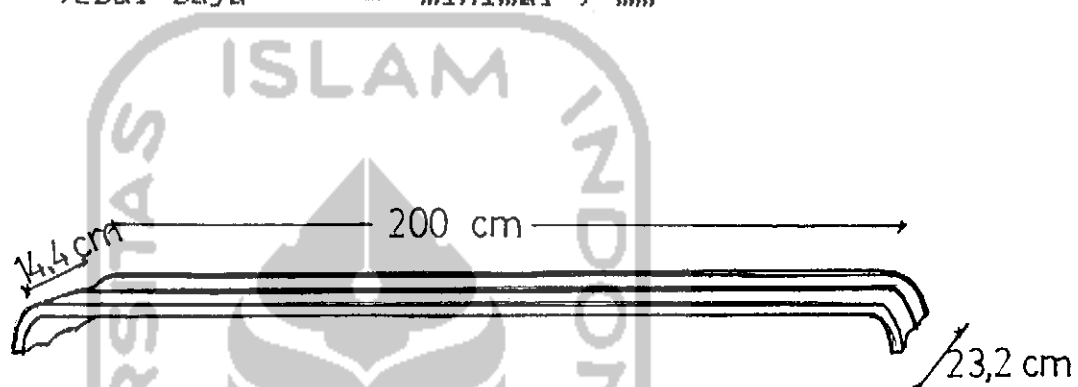
1) Pada jalur lurus bantalan baja mempunyai ukuran :

Panjang = 2000 mm

Lebar atas = 144 mm

Lebar bawah = 232 mm

Tebal baja = minimal 7 mm



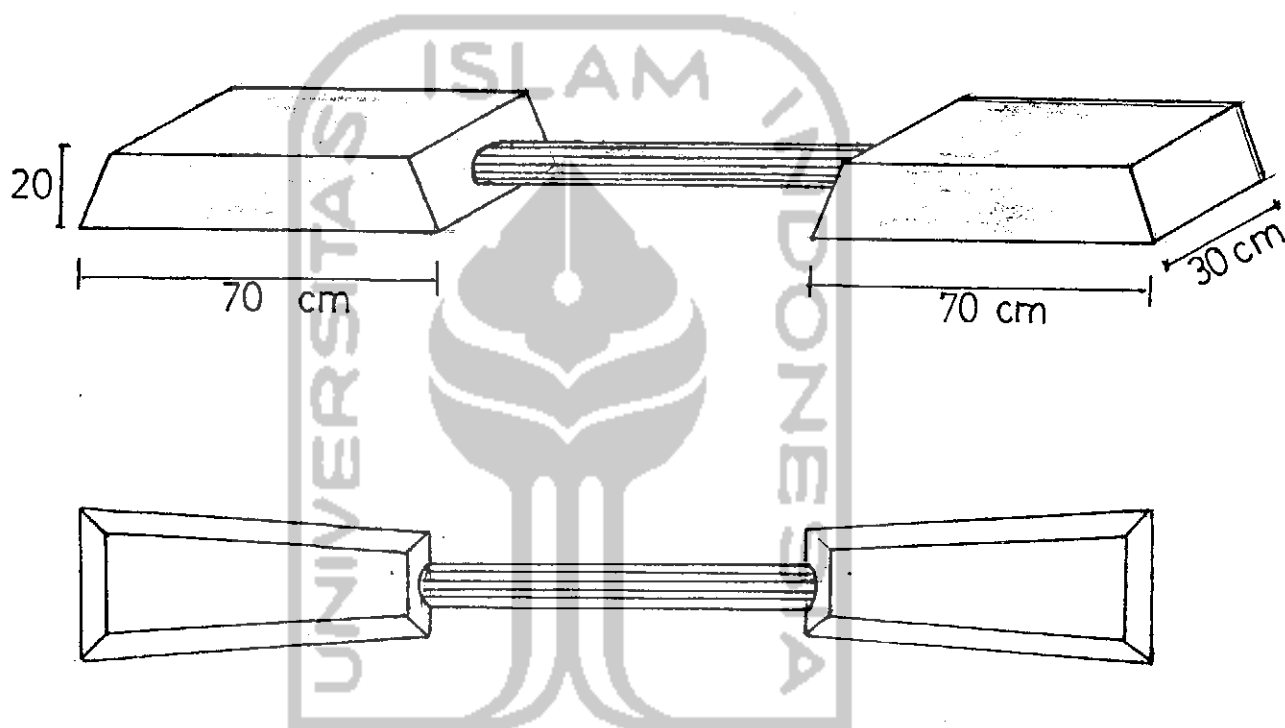
Gambar No.2.18. Dimensi bantalan Baja



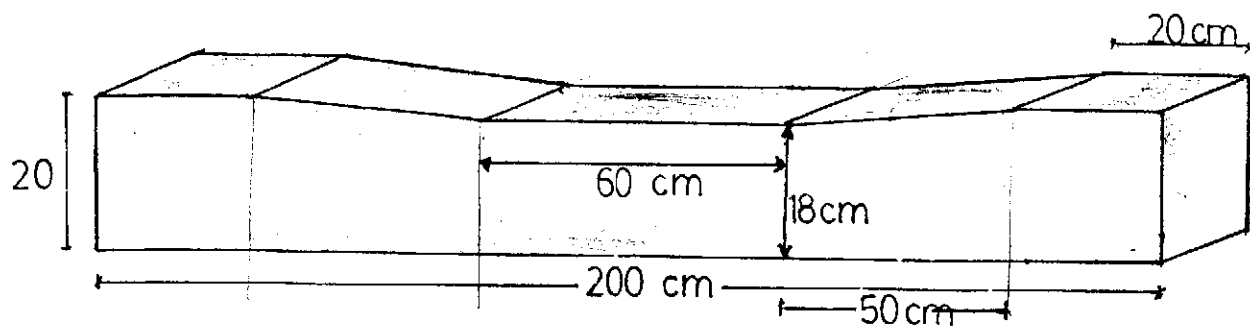
Gambar No. 2.19. Bantalan Baja

c. Bantalan beton

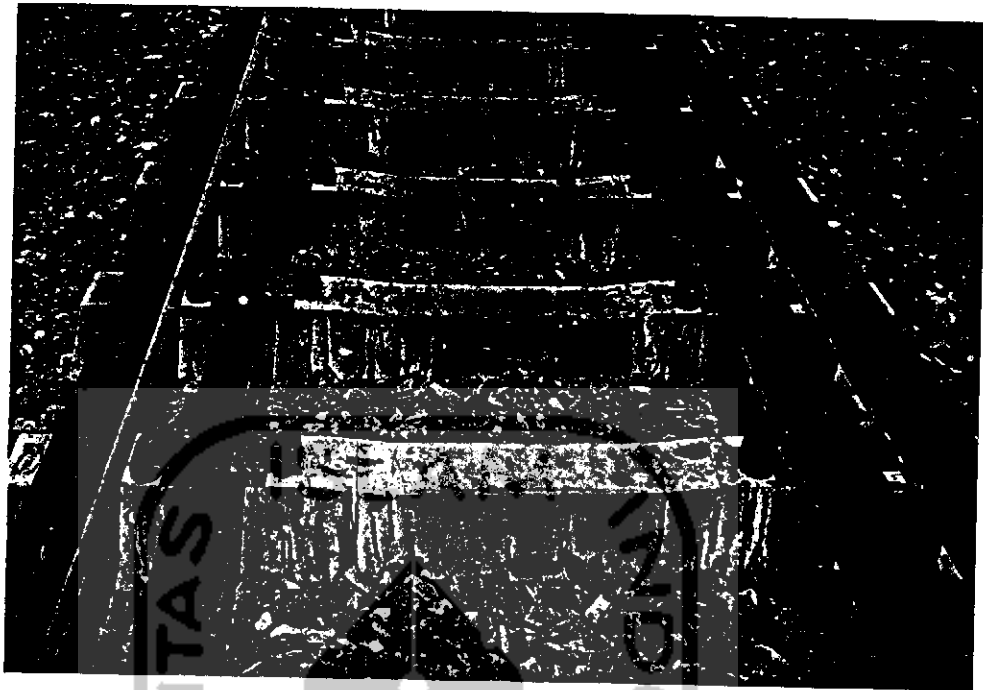
Bantalan beton blok ganda mempunyai ukuran adalah panjang = 70 cm , lebar = 30 cm dan tebal = 20 cm



Gambar No.2.20. Dimensi Bantalan Beton Ganda



Gambar No.2.21. Dimensi Bantalan Beton



Gambar No.2.22. Bantalan Beton

2.2.4. Ballast

Menurut Peraturan Dinas No.10 ballast adalah suatu lapisan yang tersusun dari lapisan tanah dasar, dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih.

Ballast merupakan lapisan yang memerlukan perawatan yang intensif dikarenakan, pada lapisan ini sering sekali terjadi kerusakan atau lapisan tidak bekerja seperti yang diharapkan.

Untuk menghemat biaya pembuatan jalan rel maka lapisan ballast dibagi menjadi dua, yaitu lapisan ballast atas dan lapisan ballast bawah. Lapisan ballast atas

material pembentuk harus lebih baik jika dibanding pada lapisan ballast bawah. Fungsi ballast menurut Peraturan Dinas No.10 adalah :

- a. Meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar.
- b. Mengokohkan kedudukan bantalan.
- c. Meluluskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan dan rel.

Menurut Imam Subarkah Fungsi ballast adalah :

- a. Melimpahkan tekanan kendaraan di atas rel dan bantalan kepada tubuh jalan secara merata dan dengan luas bidang tekanan yang lebih besar, sehingga tekanan spesifik pada tubuh jalan menjadi kecil, tidak melampaui daya penahan dari tanah tubuh jalan.
- b. Memberi kedudukan yang kuat dan kokoh pada sepur (yaitu bantalan-bantalan dengan rel-relnya) baik kearah memanjang maupun kearah siku-siku pada sumbu sepur.
- c. Mengalirkan air secepat-cepatnya supaya bantalan tetap kering dan tidak lekas lapuk atau rusak (sebagai bahan yang poreus).
- d. Untuk kelentingan baja.

Menurut R. Agor fungsi dari ballast adalah :

- a. Memberikan dukungan yang kuat dan rata pada bantalan.
 - b. Memegang bantalan-bantalan dalam posisi penyokong selama kereta bergerak.
 - c. Memberikan luas dasar elastis yang besar pada track .
 - d. Memindahkan dan menyalurkan beban gerak kereta dari bantalan ke tanah dasar.
 - e. Melindungi lapisan permukaan subgrade/tanah dasar dari pengaruh langsung matahari, hujan dan embun.
 - f. Sebagai drainasi pada track , menjaga agar bantalan tetap kering.
 - g. Untuk menghambat tumbuhnya tanaman pada track.
 - h. Memberikan kedudukan yang tetap pada superelevasi di luar rel pada daerah lengkung.
1. Ukuran tebal ballast, tergantung pada :
- a. Daya dukung tanah dasar tubuh jalannya.
 - b. Beratnya beban kereta.
 - c. Kecepatan kereta.
 - d. Jenis bahan ballastnya sendiri.

Pada tanah keras, alas ballast tak perlu setebal pada tanah lembek, demikian pula untuk beban ringan cukup memakai alas ballast yang lebih tipis dari pada beban berat. Beban

bergerak yang ditimbulkan oleh kereta yang bergerak adalah lebih besar jika dibanding dengan kereta yang berhenti. Semakin besar kecepatannya semakin besar pula meningkatnya beban. Maka dari itu jalan rel kelas I ballastnya lebih tebal bila dibandingkan dengan jalan rel kelas II.

Tabel 2.5. Tebal Lapisan Ballast

Kelas Jalan	V maks. km/jam	Tebal Lapisan Ballast Atas cm	Tebal Lapisan Ballast Bawah cm
I	120	30	15 - 50
II	110	30	15 - 50
III	100	30	15 - 50
IV	90	25	15 - 35
V	80	25	15 - 35

Sumber : Peraturan Dinas No.10, tahun 1986.

Walaupun jalan rel terletak pada tanah yang keras, namun jalan rel ini harus tetap menggunakan alas ballast walaupun tipis. Hal ini dikarenakan untuk menjaga kelentingan jalan rel serta untuk menjaga agar bantalan tidak cepat rusak.

2. Bentuk Dan Lapisan Ballast Atas Menurut PD.10.

- a. Tebal lapisan ballast atas adalah seperti yang tercantum pada klasifikasi jalan rel Indonesia (tabel 2.1.).

b. Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan ballast atas adalah :

$$b > 1/2 L + X$$

Di mana : L = panjang bantalan (cm)

X = 50 cm untuk kelas I dan II

= 40 cm untuk kelas III dan IV

= 35 cm untuk kelas V

c. Kemiringan lereng lapisan ballast atas tidak boleh lebih curam dari 1 : 2 .

d. Bahan ballast atas dihamparkan hingga mencapai elevasi yang sama dengan elevasi bantalan.

2. Bentuk Dan Ukuran Ballast Bawah

a. Ukuran terkecil dari tebal lapisan ballast bawah adalah d_2 (tabel 2.1.), yang dihitung dengan persamaan :

$$d_2 = d - d_1 > 15 \text{ cm}$$

di mana d dihitung dengan persamaan :

$$d = \sqrt[1,35]{\frac{58 \cdot \sigma_1}{\sigma_t} - 10}$$

σ_1 dihitung dengan menggunakan rumus "Beam on elastic foundation" yaitu :

$$\lambda_1 = \frac{Pd \cdot \lambda}{2b} \frac{1}{(\sin \lambda_1 + \sinh \lambda_1)} (2 \cosh^2 \lambda a) \\ (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda_1) + 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c +$$

$$\cos \lambda l) + \sinh 2 \lambda a (\sin 2 \lambda c - \sinh \lambda l) - \sin 2 \lambda a (\sinh 2 \lambda c - \sin \lambda l))$$

$$P_d = \{ P + 0,01 P (V/1,6) - 5 \}$$

di mana :

P_d = Beban roda akibat beban dinamis

P = Beban roda akibat beban statis

V = Kecepatan kereta (km/jam)

% beban = Prosentase beban yang masuk ke dalam bantalan.

$$\lambda = \sqrt[4]{k / (4EI)}$$

$$k = b \times k_e$$

di mana :

b = lebar bawah bantalan (cm)

k_e = modulus reaksi ballast (kg/cm³)

EI = kekakuan lentur bantalan (kg/cm²)

l = panjang bantalan (cm)

a = jarak dari sumbu rel ke ujung bantalan (cm)

c = setengah jarak antara sumbu vertikal rel (cm)

$b.$ = Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan

ballast bawah dihitung dengan persamaan :

1) Pada sepur lurus

$$k_1 > b + 2 d_1 + m$$

2) Pada tikungan

$$k_{1d} = k_1$$

$$k_1 > b + 2 d_1 + m$$

2) Pada tikungan

$$k_{1d} = k_1$$

$$k_{1l} = b + 2 d_1 + m + 2e$$

$$e = (b + 1/2) \times h/l + t$$

di mana ; l = jarak antara kedua sumbu rel

t = tebal bantalan (cm)

h = peninggian rel (cm)

harga m berkisar antara 40 cm sampai 90 cm.

c. Pada tebing lapisan ballast bawah dipasang konstruksi penahan yang dapat menjamin kemantapan lapisan itu. Pemilihan konstruksi penahan harus mendapat persetujuan dari pemberi tugas.

2.2.5. Tanah Dasar/Subgrade

Menurut Peraturan Dinas No.10, tanah dasar/subgrade adalah bagian dari tubuh jalan merupakan lapisan tanah, baik dalam keadaan asli maupun dalam bentuk diperbaiki ataupun dalam bentuk buatan.

Tanah dasar/subgrade berfungsi untuk memikul beban yang dikerjakan oleh lapisan ballast atas ataupun lapisan ballast bawah. Oleh karena itu lapisan ini harus padat, menurut percobaan CBR (ASTM D.1883) kekuatan minimum adalah 8 % .

2.3. Jenis Material Ballast

Material ballast dibedakan ukuran dan jenisnya untuk tiap lapisnya.

1. Lapisan Ballast Atas

Lapisan ballast atas terdiri dari batu pecah yang keras, dengan bersudut tajam ("angular") dengan salah satu ukurannya antara 2 - 6 cm, serta memenuhi syarat-syarat lain yang tercantum dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia (PBJRI). Lapisan ini harus dapat meneruskan air dengan baik. Substansi yang merugikan tidak boleh terdapat dalam ballast melebihi prosentase tertentu.

Jumlah substansi material yang merugikan tersebut dibatasi :

- material yang lunak dan pecah < 3 %
- material yang lewat saringan no.200 < 1 %
- gumpalan-gumpalan lempung < 0,05 %

Syarat-syarat untuk material ballast atas harus memenuhi :

- keausan pada tes Los Angeles < 4 %
- berat padat per meter minimal > 1400 kg
- partikel pipih/tipis atau panjang < 5 %

Yang dimaksud dengan partikel tipis/pipih adalah partikel yang mempunyai panjang sama atau lebih dari lima kali ketebalan rata-rata (panjang $\geq 5 \times$ ketebalan rata-rata).

- gradasi yang diperbolehkan atau disyaratkan adalah :

Tabel No.2.6 Gradasi Ukuran Ballast Atas

% lolos Saringan	Ukuran Nominal		
	2,5" - 0,75"	2" - 1"	,5" - 0,75"
3"	100	-	-
2,5"	90 - 100	100	-
2"	25 - 60	95 - 100	100
1,5"	25 - 60	35 - 70	90 - 100
1"	-	0 - 15	20 - 45
0,75"	0 - 10	-	0 - 15
0,5"	0 - 5	0 - 5	-
3/8 "	-	-	0 - 5

Untuk kelas I dan II ukuran minimal 2,5" - 0,75"

Untuk kelas III dan IV dipakai ukuran minimal 2" - 1"

Sumber : Peraturan Dinas No.10, tahun 1986.

2. Lapisan Ballast Bawah

Pada umumnya lapisan ballast bawah tidak memerlukan kualitas yang sangat baik seperti yang disyaratkan untuk material ballast atas.

Lapisan ballast bawah terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar yang memenuhi syarat-syarat gradasi sebagai berikut :

Gradasi yang disyaratkan untuk lapisan ballast bawah :

Tabel 2.7 . Gradasi Lapisan Ballast Bawah

Ukuran sar.	2"	1"	3/8"	No.10	No.40	No.200
% lolos (opt)	100	95	67	38	21	7
Daerah yang diperbolehkan (% lolos)	100	90-100	50-84	20-50	12-30	0-10

Sumber : Peraturan Dinas No. 10 , tahun 1986.

Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (filter) antara tanah dengan lapisan ballast atas dan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Tebal minimum lapisan ballast bawah adalah 15 cm.

Selain material yang tercantum di atas, ada material lain yang bisa digunakan untuk lapisan ballast, baik ballast atas maupun ballast bawah. Menurut R. Agor dalam buku "Railway Track Engineering", tahun 1990. Material-material tersebut adalah :

- a. Gravel (kerikil) adalah lapisan dari batuan bundar biasanya bercampur dengan material yang baik seperti pasir atau lempung yan dibentuk oleh gaya dari aliran air.
- b. Moorum adalah agregat halus berwarna merah atau kuning dibentuk oleh pembusukan dari laterite.
- c. Cinder (or ash) adalah material yang berasal dari sisa batu bara yang telah dihentikan pada pembakaran lokomotif atau tungku-tungku.

- d. Brick bats adalah material yang berasal dari pecahan batu bata.
- e. Kankar adalah material yang ditemukan dalam bentuk batuan lime agglomerat.

2.4. Tegangan Yang Terjadi Pada Ballast

2.4.1. Tegangan Maksimum Pada Ballast

Tegangan vertikal maksimum di atas ballast menurut Eisenmann adalah :

$$\sigma_{max} = \sigma_{avr} (1 + t s)$$

dengan :

$$\sigma_{avr} = \frac{Q \cdot a}{2 \cdot L \cdot Ab}$$

$$\sigma_{avr} = \frac{Q}{2} \sqrt[4]{\frac{C \cdot a^3}{4EI \cdot Ab^3}}$$

$$L = \sqrt[4]{4EI/k}$$

$$C = C \cdot Ab$$

$$k = C/a$$

di mana :

Q = Beban roda efektif (KN)

a = Jarak bantalan (cm)

L = Characteristic length track (cm)

Ab = Luas efektif bantalan yang mendukung (di dalam satu rel), (cm²)

E = Modulus elatisitas rel (KN/cm²)

I = Inertia rel (cm⁴)

k = Modulus dukungan track (N/m^2)

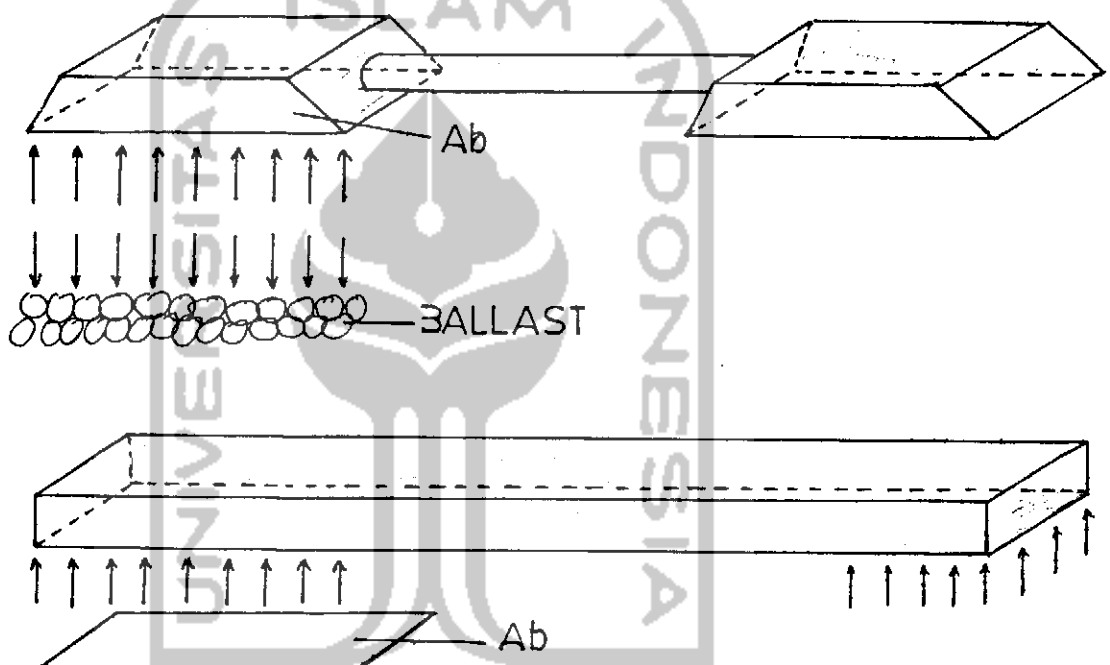
c = Kekakuan dukungan track / rel (N/m)

C = Kekakuan dukungan track / luas (N/m^3)

$(1 + \bar{\epsilon} \bar{s})$ = Faktor dinamik

$\bar{\sigma}_b$ = Tegangan ijin pada ballast

= $0,25 - 0,5 \text{ N/mm}^3$ (tergantung jenis ballast)



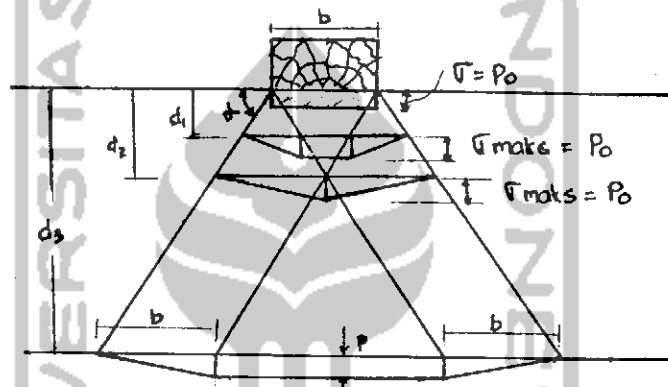
Gambar No.2.23. Tekanan Vertikal Di Atas Ballast

Pada tikungan di bawah rel luar terjadi tegangan vertikal pada ballast yang cukup besar, untuk itu lebar bantalan di bawah rel luar diperbesar.

Menurut Imam Subarkah pelimpahan tekanan dari bantalan kepada tubuh jalan melalui ballast berlangsung seperti kerucut (gambar No.2.24.), langsung di bawah bantalan tekanannya merata sebesar P_0 kg tiap cm^2 .

Sedalam d_1 tegangan maksimum sebesar P_0 dan nilai maksimum ini tidak berubah sampai kedalaman tertentu, yaitu d_2 . Lebih dari d_2 tekanan maksimum itu berkurang.

$$(b + c) P = b P_0 \text{ atau } P = \frac{b}{b + c} P_0 = \frac{d_4}{d_3} P_0$$



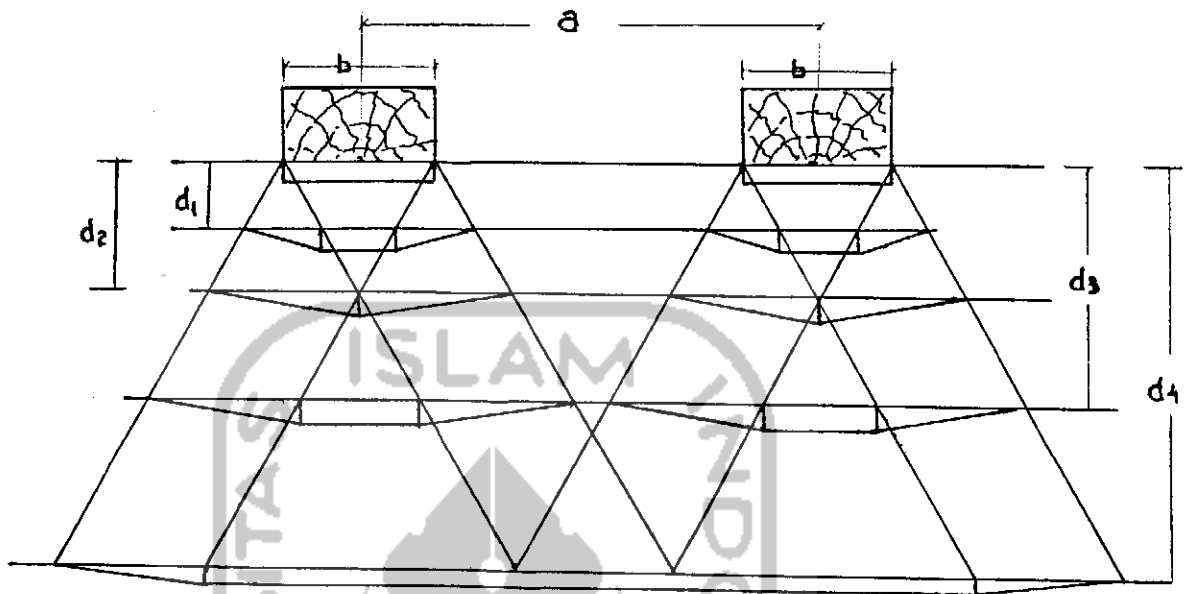
Gambar No.2.24. Skema Tekanan Yang Terjadi Pada Ballast

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.

Di bawah bantalan pelimpahan tekanan berlangsung seperti pada gambar No.2.25. Diagram tekanan yang merata didapat sedalam d_4

$$d_4 = 1/2 a \operatorname{tg} \alpha \quad \text{dan tekanan max.} \quad P = \frac{d_2}{d_4} P_0$$

Tekanan maksimum ini tidak dapat dibuat lebih kecil lagi. Oleh karena itu tidak berguna membuat alas ballast lebih tebal lagi.



Gambar No.2.25. Skema Tekanan Pada Ballast Dua Bantalan

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981.

Kenyataannya tebal ballast di bawah bantalan untuk jalan kelas I tingkat 1 diambil paling sedikit 0,40 m terdiri dari kricak setebal 0,25 m dan lapisan bawah dari pasir setebal 0,15 m.

2.4.2. Tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar (sub grade)

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{avr}} (1 + \sqrt{s \cdot t})$$

$$\sigma_{\text{avr}} = \frac{Q \cdot a}{2 \cdot L \cdot Ab}$$

$$H_e = 0,9 H \sqrt[3]{E_b/E_s}$$

$$\sigma_i = \sigma_{\max} \cdot \eta (xi)$$

$$\sigma_{si} = \sigma_i \cdot f(xi/b)$$

$$f(xi) = 1/\pi (\alpha_1 - \alpha_2) + 1/2 (\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2)$$

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{xi - b/2}{He}$$

$$\sigma_{s \max} = \sum \sigma_{si} \leq \bar{\sigma}_s$$

$$\bar{\sigma}_s = \frac{0,006 \cdot E_{dyn}}{1 + 0,7 \log n}$$

dimana :

H = Tebal ballast (cm)

E_b = Modulus ballast (N/m)

E_s = Modulus sub grade (N/m)

b = Lebar bantalan (cm)

xi = Absis beban terhadap bantalan (cm)

E_{dyn} = Modulus dinamik sub grade

= 10 - 100 (N/mm²)

n = Jumlah repitisi beban persumbu

tunggal atau bogie selama periode

musim hujan.

η = lihat pada "Master Diagram".

BAB III

PENYEBAB PENGOTORAN BALLAST

3.1. Umum

Sebagaimana kita ketahui bersama bahwa untuk menciptakan pengangkutan yang aman, nyaman dan ekonomis maka pihak PERUMKA selalu berusaha meningkatkan mutu pelayanannya terhadap pengguna jasa kereta.

Sejalan dengan itu juga, pihak PERUMKA selalu memberikan perhatian yang cukup besar terhadap pemeliharaan jalan rel karena tanpa jalan rel yang baik akan mengakibatkan pengangkutan yang tidak aman dan nyaman terhadap pengguna jasa kereta.

Sebagian besar, ± 40 % dari seluruh pekerjaan pemeliharaan jalan rel terdiri atas pekerjaan pemeliharaan ballast-nya. Faktor utama dari kebutuhan pekerjaan ballast tersebut adalah turunnya (memadatnya) ballast. Menurunnya ballast tersebut tergantung pada passing tonnage, banyaknya gandar yang melalui, keadaan kereta dan gerbong, kecepatan kereta, beratnya lokomotif, kekakuan rel, cara penambatan rel (kenyal atau tidak), jarak antara bantalan-bantalan dan kualitas dari material ballast kurang baik serta tidak memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Selain itu juga, menurunnya ballast dapat juga disebabkan :

1. Umur jalan rel milik PERUMKA (termasuk tubuh jalan rel-nya) sudah berumur melampaui 100 tahun.
2. Banyak tubuh jalan rel terbuat dari tanah yang tidak memenuhi syarat.
3. Mungkin pemampatan permukaan dari tubuh jalan rel itu sendiri belum memenuhi syarat.
4. Keterbatasan dana baik bagi pemeliharaan maupun stabilitasi.

Disebabkan faktor-faktor tersebut diatas maka dapat menghasilkan ballast yang kotor. Dengan adanya ballast yang kotor dapat mengurangi sifat kenyal ballast dan mengganggu keseimbangan jalan rel. Untuk itulah, perlu kiranya penulis paparkan sebab-sebab pengotoran pada ballast sehingga dapat diambil tindakan-tindakan untuk pemeliharaan jalan rel khususnya pemeliharaan pada ballast.

3.2. Penyebab Internal

Berdasarkan letak terjadinya pengotoran ballast yang disebabkan penyebab internal maka dapat penulis bagi menjadi 2 bagian yaitu :

1. Pada lapisan ballast.

Lapisan ballast menerima beban kereta yang bergerak secara berulang-ulang dan berubah serta getaran dari kereta menyebabkan terjadinya gesekan antara batu-batu pada ballast.

Akibat dari gesekan antara batu-batu tersebut dapat menghasilkan bubuk dari batu-batu.

Bubuk-bubuk batu yang ada di dalam ballast, oleh getaran dan air hujan akan turun ke bawah dan lapisan terbawah dari ballast menjadi semakin padat.

Proses ini berlangsung terus dan lama-kelamaan bubuk dan remukan batu semakin banyak mengisi rongga-rongga di antara batu-batu dan lapisan ballast-nya akan semakin rapat dan padat karena adanya air hujan serta beban dari kereta. Sejalan dengan itu, lapisan ballast sudah banyak kehilangan porositas dan kelentingannya (sifat kenyal) dan tidak dapat lagi mengikuti kelentingan rel-nya dengan sempurna sehingga kedudukan rel-nya sudah tidak kokoh lagi di dalam ballast dan rel-nya melekuk serta bengkok-bengkok.

Pengotoran oleh bubuk dan remukan batu cepat terjadi pada sambungan rel karena di situ terdapat tekanan-tekanan yang paling keras akibat sentuhan roda-roda pada ujung rel dan juga terdapat percepatan getaran yang paling besar.

Di lapangan, ballast yang kotor terlihat adanya debu bubuk pada sisi bantalan di musim kering sedangkan di musim penghujan terlihat lumpur bubuk di tempat itu. Ballast yang sudah mati, juga terlihat dari melorotnya batu-batu ballast yang paling atas.

2. Pada tubuh jalan.

Pada jalan rel yang ballast-nya sudah kotor atau sudah kurang ketebalannya, terjadi tekanan akibat beban dari atas (rangkaian kereta) yang lebih besar dari pada keadaan ballast semula. Sebagai akibatnya dapat terjadi suatu proses yang dinamakan "Proses Mudpumping" (pemompaan lumpur) yaitu proses naiknya lumpur ke atas mengisi rongga-rongga batu ballast sebagai akibat dari beban kereta yang berulang-ulang, lihat gambar No.3.1. Proses Mudpumping dan kantong ballast.

Adanya "Proses Mudpumping" akan mengakibatkan elastisitas jalan rel berkurang di musim kemarau karena batu ballast diikat menjadi satu oleh lumpur yang mengering dan juga dapat berakibat deformasi jalan rel di musim penghujan, karena melunaknya tanah pada tubuh jalan rel, di sertai ketidakstabilan jalan rel.

Peristiwa "Mudpumping" (pemompaan lumpur) selalu di sertai amblesnya batu ballast ke dalam tubuh jalan rel dan batu ballast menyurut ke tanah dasar membuat cekungan. Proses ini makin dipercepat di musim penghujan dan cekungan ini lebih dikenal dengan sebutan "Kantong ballast".

Timbulnya "Kantong ballast" dapat terjadi dari beberapa proses yaitu :

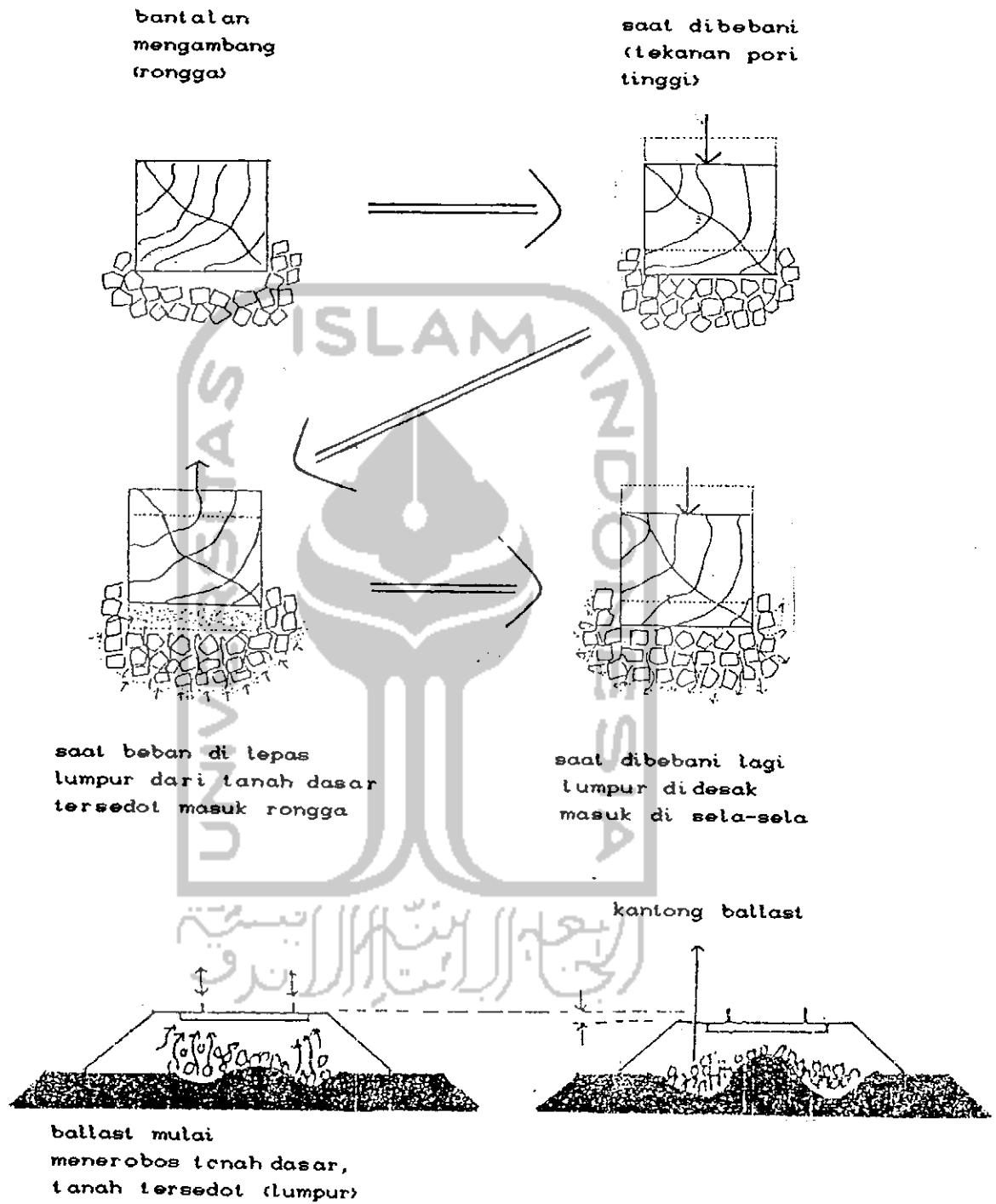
- a. Amblesnya batu ballast setempat, kemudian disitu timbul suatu legokan / shalicyw setempat pada tubuh

jalan rel. Dan pada musim penghujan, permukaan legokan itu menjadi lembek karena terisi air dan oleh beban kereta, ballast akan tertekan lebih dalam lagi dengan mendesak tanah di sampingnya.

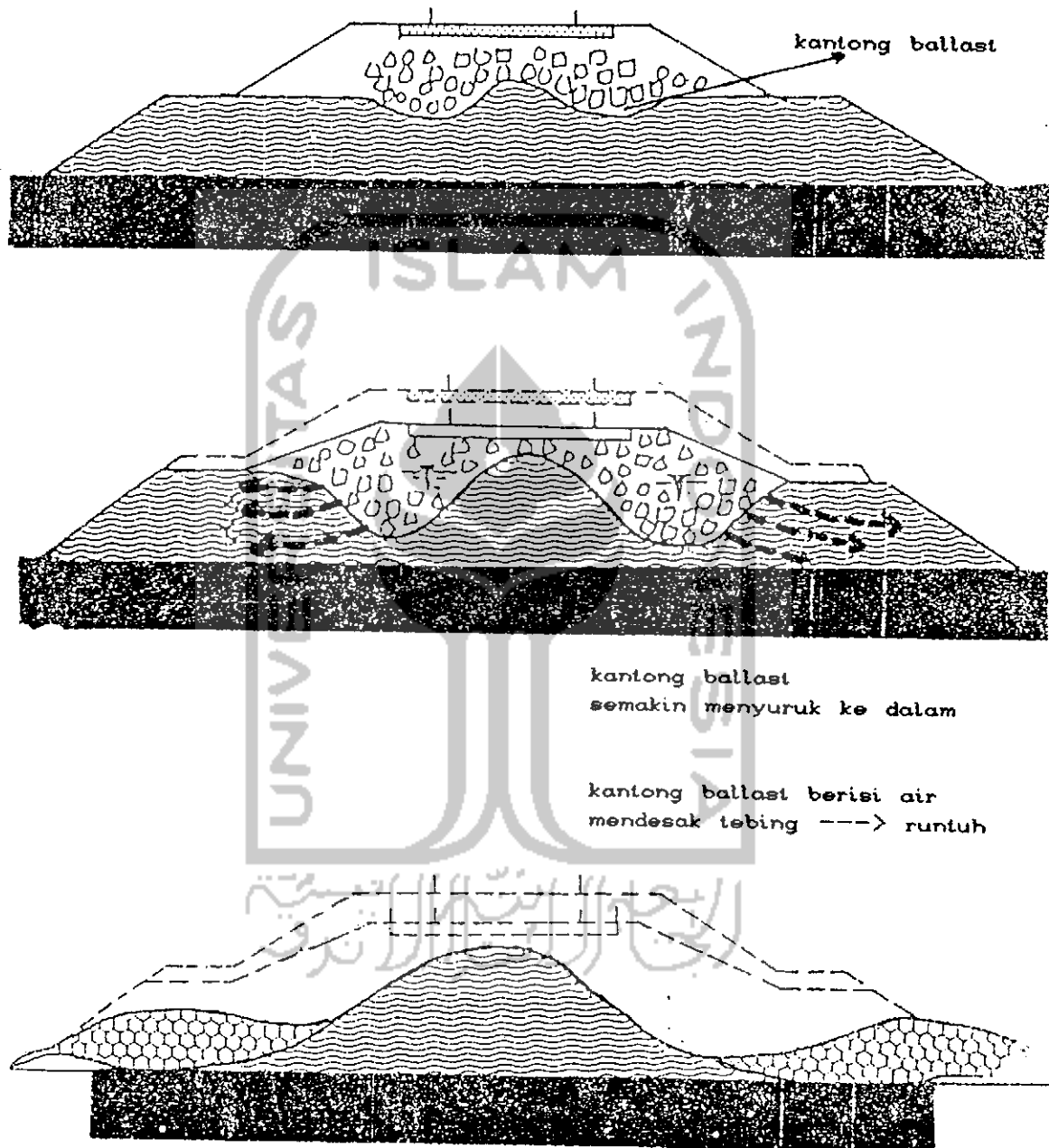
Lama-kelamaan tanah disamping legokan tersebut (kantong ballast) yang di sebelah luar makin terdesak, dan lereng tubuh jalan semakin kelihatan menggelembung. Jika tegangan geser dari tanah tersebut tidak dapat lagi mengimbangi desakan, tersebut maka akan terjadi keruntuhan tubuh jalan rel, lihat gambar No.3.2. Proses runtuhnya tubuh jalan rel.

- b. Adanya penipisan dari lapisan ballast sehingga pembagian tegangan tanahnya tidak sama dan tidak merata. Pada keadaan ini, puncak tubuh jalan ke arah sumbu rel menjadi bergelombang dan pada tempat-tempat tertentu menderita tekanan yang lebih besar, akibatnya puncak tubuh jalan akan memadat lebih banyak.

Oleh beban kereta yang silih berganti maka batu ballast akan ambles dan kemudian akan terbentuk kantong-kantong ballast.



Gambar No.3.1. Proses Pemompaan lumpur dan kantong ballast



Gambar No.3.2. Proses Runtuhnya Tubuh Jalan Kereta
Akibat pertumbuhan Kantong Ballast

Dengan adanya kantong-kantong ballast tersebut dapat mengakibatkan tidak kokohnya kedudukan rel sehingga rel-nya dapat ambles dan memerlukan perbaikan kedudukan rel-nya berulang-ulang serta dibutuhkan juga penambahan ballast untuk mengangkat kembali rel-nya.

Untuk menghindari longsoran, dapat dilakukan perbaikan dengan cara lapisan ballast yang kotor dikeruk, puncak tubuh jalan digali sampai $\pm 5 - 10$ Cm di bawah kantong ballast dan diratakan lagi dengan kemiringan arah luar 1 : 15. Dan juga sering-sering mengeruk dan membersihkan seluruh lapisan ballast-nya yang ada di ujung bantalan yang disebut Ballast Shoulders.

Bisa juga dengan cara membuat saringan-saringan (Ballast Drains) untuk mengeluarkan air dari kantong ballast. Saringan itu dibuat tiap-tiap 3 - 6 meter berloncatan, dimulai dari sumbu sepur dengan kedalaman ± 10 Cm di bawah kantong ballast.

Untuk kedua cara diatas biasanya tidak banyak hasilnya karena yang dikeluarkan dari dalam ballast-nya hanya airnya saja bukan kotoran yang terdapat pada ballast.

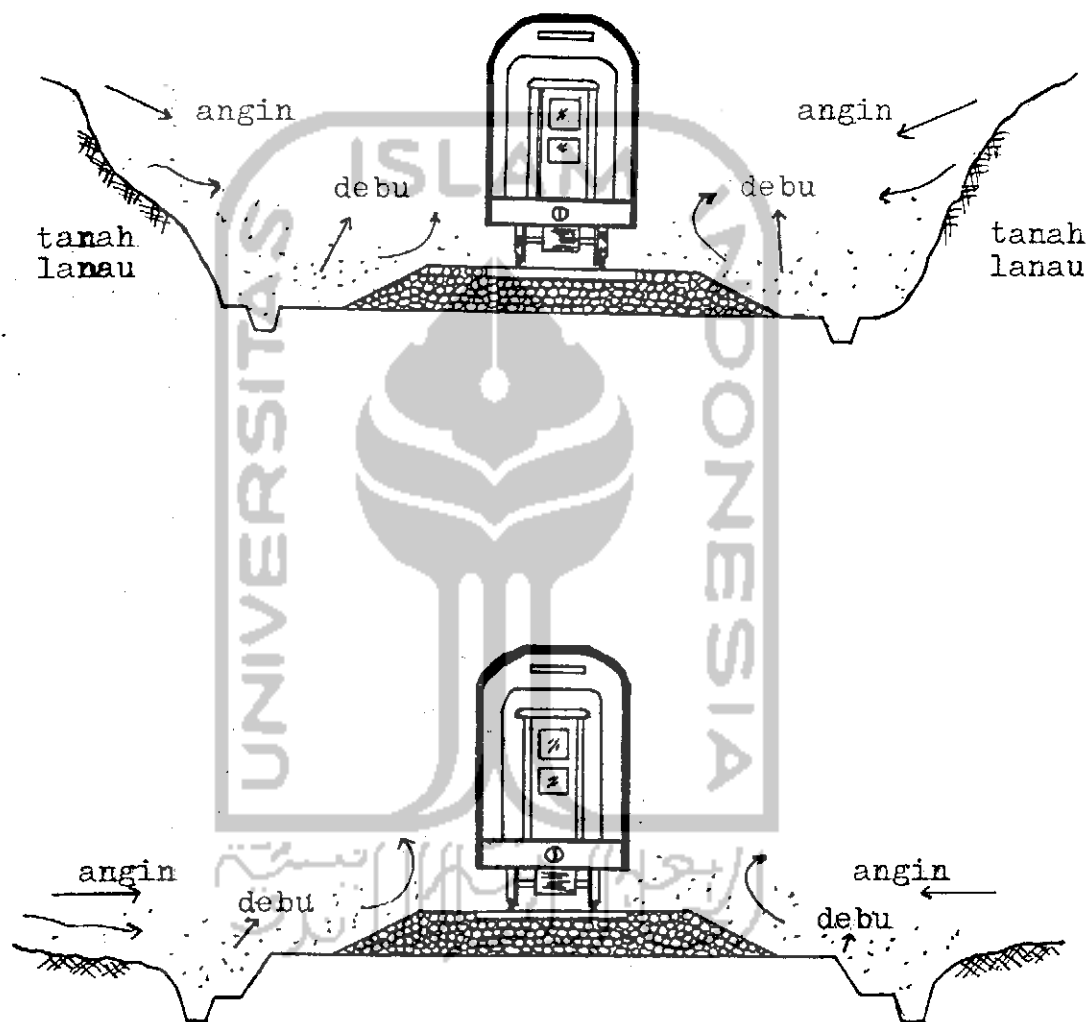
3.3. Penyebab Eksternal

Pengotoran yang terjadi pada ballast dapat juga disebabkan adanya debu-debu yang dibawa oleh angin dimana debu-debu ini berasal dari areal disekitar jalan rel,

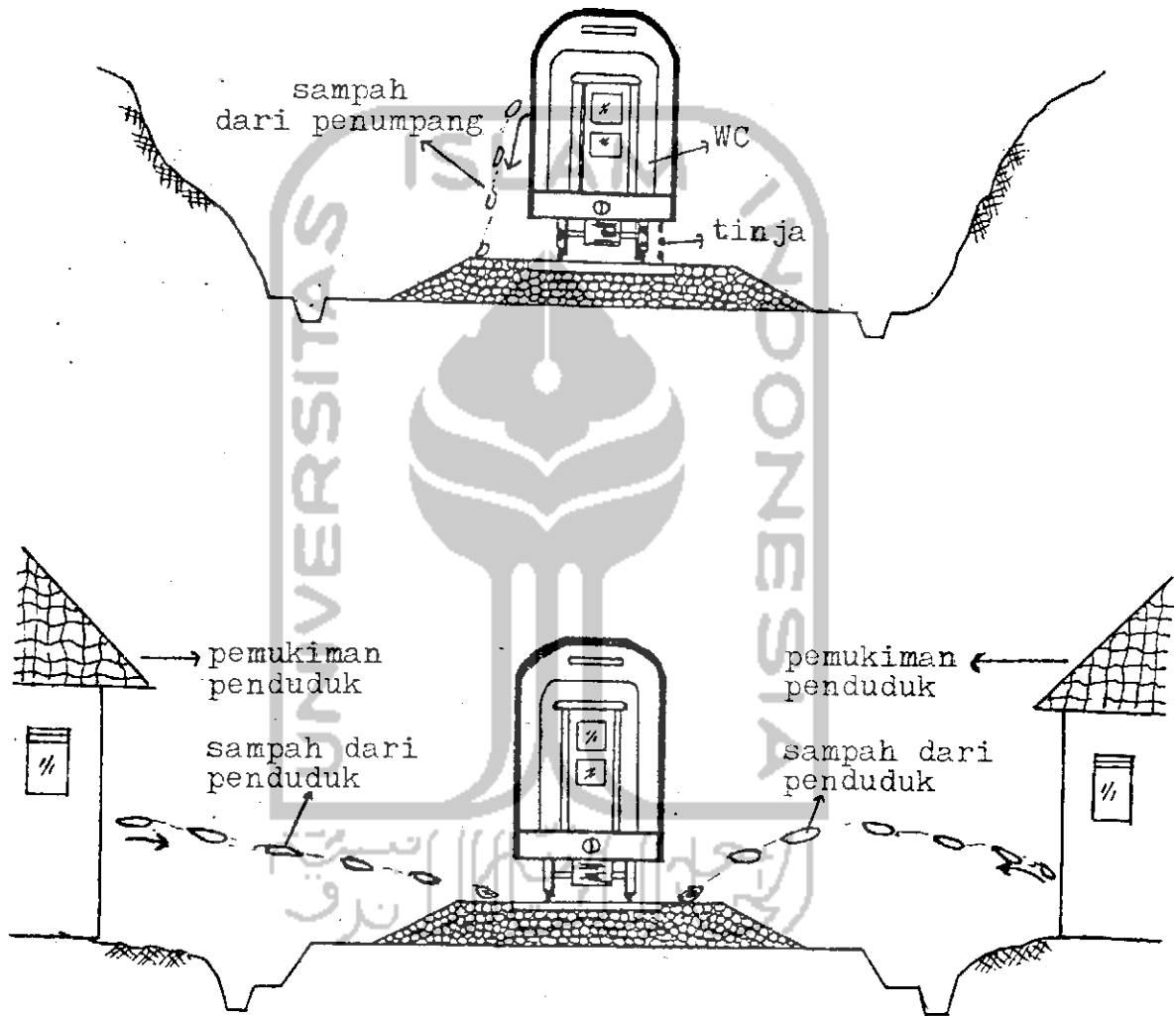
(lihat gambar No.3.3 proses pengotoran ballast akibat debu), sampah-sampah hasil buangan dari pengguna jasa angkutan jalan rel maupun hasil buangan dari pemukiman sekitar jalan rel (lihat gambar No.3.4. proses pengotoran ballast akibat sampah), partikel hasil pengereman lokomotif dan tetesan oli serta solar dari lokomotif (lihat gambar No.3.5. proses pengotoran ballast akibat oli atau solar), dan dapat juga diakibatkan oleh erosi tanah di sekitar jalan rel serta juga pengaruh air akibat banjir (lihat gambar No.3.6. proses pengotoran ballast akibat erosi dan banjir).

Sejalan dengan itu juga, ballast terus menerima pembebanan dari kereta yang berulang-ulang maka semua penyebab pengotoran tersebut diatas akan mengisi rongga-rongga dari batu ballast, dan pada waktu musim penghujan kotoran-kotoran tersebut diatas akan turun ke bawah sehingga lapisan yang paling bawah dari ballast akan memadat.

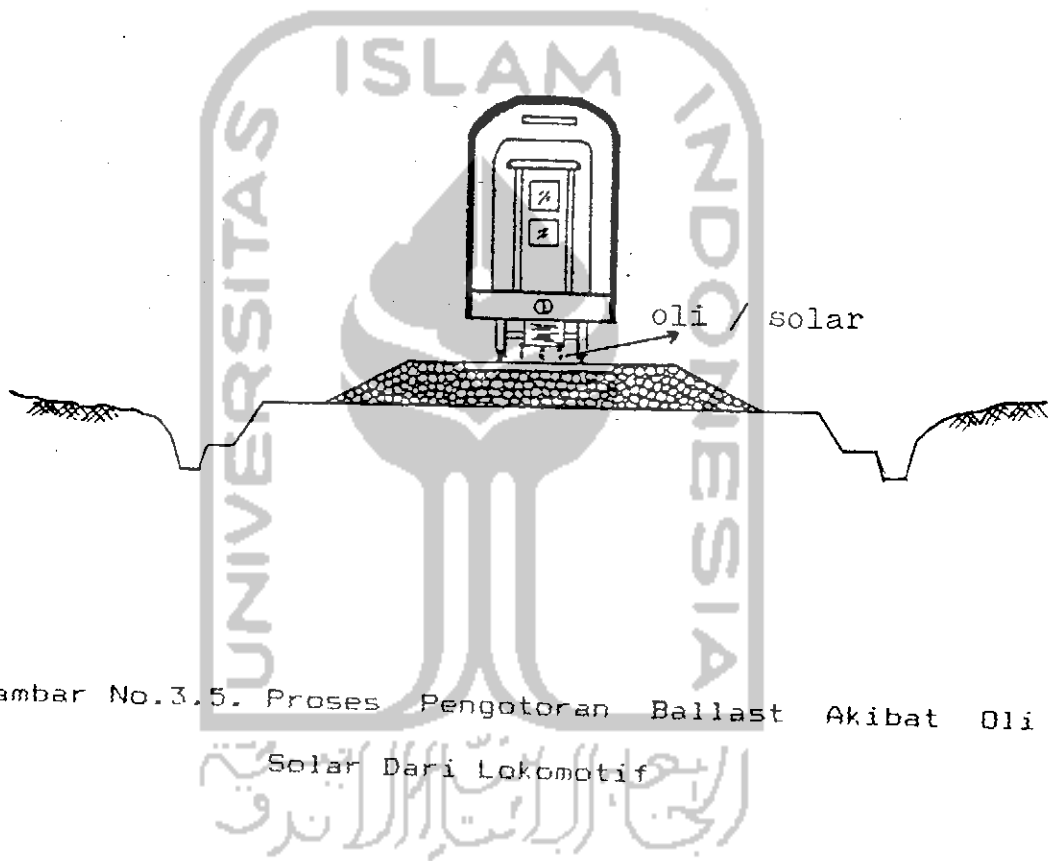
Sejalan dengan waktu maka lapisan ballast tersebut makin rapat dan makin padat, ini telah menunjukkan indikasi bahwa ballast telah kehilangan sifat kekenyalannya dan itu artinya ballast telah kotor.



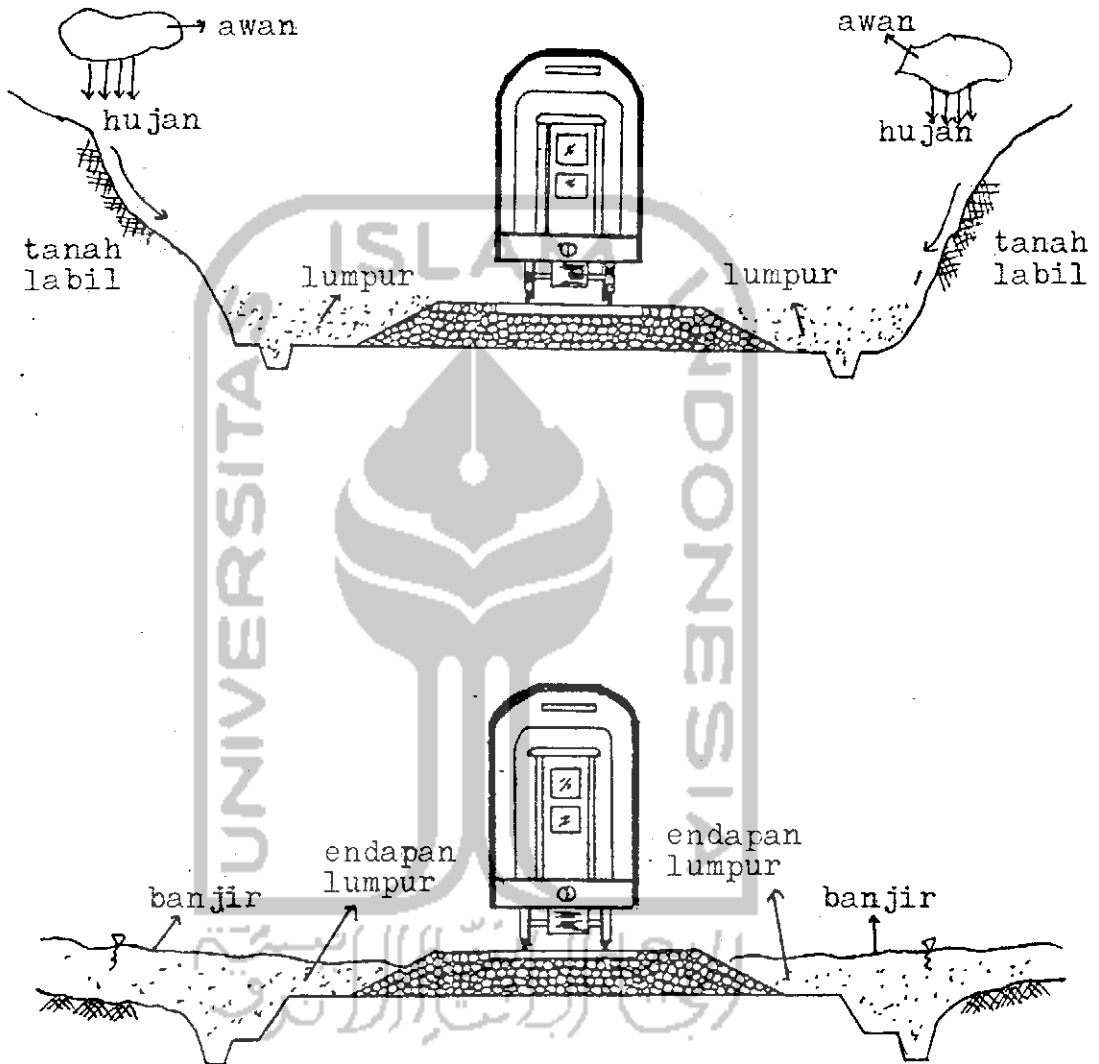
Gambar No.3.3. Proses Pengotoran Ballast Akibat Debu



Gambar No.3.4. Proses Pengotoran Ballast Akibat Sampah



Gambar No.3.5. Proses Pengotoran Ballast Akibat Oli Dan Solar Dari Lokomotif



Gambar No.3.6. Proses Pengotoran Ballast Akibat Erosi Dan Banjir

BAB IV

DESKRIPSI KONDISI LINTAS YOGYAKARTA - SOLO

4.1. Kondisi Lalu Lintas Angkutan Jalan Rel Lintas Yogyakarta - Solo

Angkutan jalan rel merupakan sarana transportasi yang banyak disukai. Hal ini disebabkan karena biayanya murah, ketepatan waktu yang baik, keamanan yang tinggi dan nyaman. Ini karena kereta mempunyai jalur tersendiri yang tidak dipengaruhi oleh angkutan lainnya.

Angkutan jalan rel ini bisa mengangkut orang (penumpang), barang dan hewan dalam jumlah yang besar dengan jarak tempuh jauh, sedang dan pendek. Angkutan jalan rel yang melewati lintas Yogyakarta-Solo terdiri dua macam, yaitu : angkutan orang/penumpang dan angkutan barang/hewan.

Untuk kereta penumpang setiap harinya yang melalui lintas Yogyakarta-Solo berjumlah 26 rangkaian kereta ditambah dengan 4 rangkaian kereta "fakultatif" yaitu kereta tambahan yang sewaktu-waktu bisa digunakan apabila jumlah penumpang terlalu banyak. Misalkan : untuk angkutan transmigran, angkutan lebaran dan angkutan pada waktu musim liburan. Sedangkan untuk kereta barang/hewan yang lewat lintas Yogyakarta-Solo tiap harinya berjumlah 13 rangkaian kereta. Untuk lebih jelasnya lihat tabel 4.1. , tabel 4.2. tabel 4.3. dan tabel 4.4.



Tabel 4.1. Jadwal Kereta Penumpang Jurusan Yogya-Solo

NO LOK	KERETA	BERANGKAT	DATANG	ASAL - TUJUAN
44	BIMA II	00.20	01.17	JAK-SBY
52	MUTIARA	01.05	02.02	BD -SBY
82	MATARMAJA	01.35	02.37	PSE- ML
58	SENJA UTAMA SOLO	05.40	06.50	GMB-SLO
86	SENJA EKON. SOLO	06.05	07.50	TNB-SLO
104	SEN.EK.KAHURIPAN	07.10	08.13	PSE- KD
302	ARGOPURO	07.30	08.51	YK - BW
128F	PARAMEK 2	09.00	10.00	YK -SLO
300	FURBAYA	09.30	10.57	PWT-SBY
98	BADRASURYA	13.45	14.52	BD -SBY
130F	PARAMEK 4	15.00	16.00	YK -SLO
68	FAJAR PAJAJARAN	15.31	16.37	BD -SLO
80	GAYA BARU MALAM	23.09	00.24	PSE-SBY
70	JAYABAYA	23.55	00.52	JAK-SBY
102	EKSP. SIANG	19.15	21.26	TPK-SLO

Sumber : Perumka Daop VI Yogyakarta

Keterangan :

JAK : Jakarta

PWT : Purwokerto

PSE : Pasarsenen

SLO : Solo

GMB : Gambir

BD : Bandung

TNB : Tanah Abang

YK : Yogyakarta

TPK : Tanjung Periuk

ML : Malang

BW : Banyuwangi

KD : Kediri

Tabel 4.2. Jadwal Kereta Barang Jurusan Yogya-Solo

NO. KERETA	BERANGKAT	DATANG	ASAL-TUJUAN
2355	20.31	22.40	LEMP.- SOLO
2350	03.50	05.05	LEMP.- SOLO
1006	05.30	07.20	LEMP.- SOLO
3360	06.26	08.24	LEMP.- SOLO
3558	14.00	16.17	LEMP.- SOLO
2354	16.55	18.56	LEMP.- SOLO

Sumber : Perumka Daop VI Yogyakarta

Keterangan :

LEMP. : Lempuyangan

Tabel 4.3. Jadwal Kereta Barang Jurusan Solo-Yogya

NO. KERETA	BERANGKAT	DATANG	ASAL-TUJUAN
3359	06.00	08.44	SOLO-LEMP.
1005	09.40	12.00	SOLO-LEMP.
3361	10.25	12.23	SOLO-LEMP.
2353	13.50	15.23	SOLO-LEMP.
2357	14.53	16.26	SOLO-LEMP.
3393	20.23	22.40	SOLO-LEMP.
2355	23.35	01.23	SOLO-LEMP.

Sumber : Perumka Daop VI Yogyakarta

Tabel 4.4. Jadwal Kereta Penumpang Solo - Yogya

NO LOK	KERETA	BERANGKAT	DATANG	ASAL-TUJUAN
81	MATARMAJA	22.48	23.48	ML -PSE
101	EKSP. SIANG	05.30	07.10	SLO-TPK
127F	PARAMEK 1	07.00	08.00	SLO- YK
97	BADRASURYA	10.15	11.20	SBY- BD
129F	PARAMEK 3	13.00	14.00	SLO- YK
301	PURBAYA	13.28	14.59	SBY-PWT
79	GAYA BARU MAL.	16.50	17.55	SBY-PSE
85	SENJA EK.SOLO	17.00	18.36	SLO-TNB
57	SENJA UT.SOLO	18.00	19.05	SLO-GMB
303	ARGOPURO	18.10	19.41	BW - YK
69	JAYABAYA	19.21	20.18	SBY-JAK
43	BIMA 1	19.57	20.53	SBY-JAK
67	SENJA MATARAM	20.15	21.20	SLO- BD
103	SENJA EK.KAH.	21.10	22.10	KD -PSE
51	MUTIARA	22.01	22.58	SBY- BD

Sumber : Perumka Daop VI Yogyakarta

Kereta penumpang dan kereta barang yang lewat lintas Yogyakarta-Solo melaju dengan kecepatan yang tidak tetap, terkadang cepat, terkadang lambat. Hal ini dipengaruhi oleh keadaan konstruksi jalan rel yang belum stabil semuanya, atau dipengaruhi oleh kontur jalan yang naik turun, serta adanya tikungan dan jembatan.

Kereta penumpang yang lewat jalur lintas Yogyakarta-Solo bisa melaju dengan kecepatan 100 km/jam. Untuk kereta

barang bisa melaju dengan kecepatan 60 km/jam. Ini bisa tercapai bila kereta berjalan pada jalan yang lurus dengan keadaan konstruksi jalan yang mantap (tidak mengalami kerusakan).

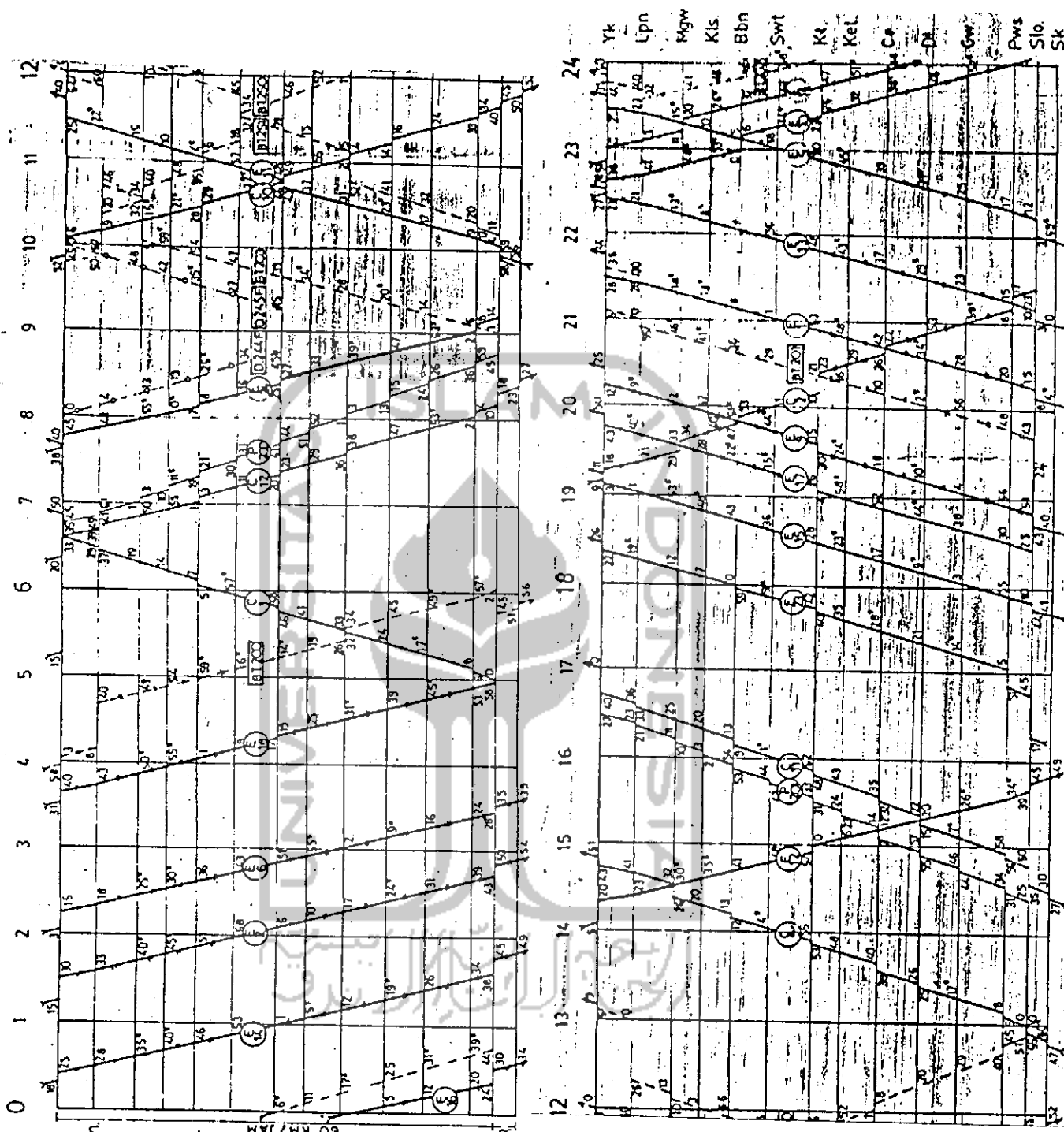
Agar supaya kereta-kereta yang lewat lintas Yogyakarta-Solo berjalan lancar, maka dibuat Grafik Perjalanan Kereta, apalagi lintas Yogyakarta-Solo merupakan jalur tunggal yang tentunya lebih rumit dalam pengaturan perjalanan kereta. Grafik ini berfungsi untuk mengetahui letak kereta yang akan berpapasan dan juga untuk mengetahui kapan kereta yang ada dibelakang akan diberangkatkan agar tidak terjadi sundulan dengan kereta yang ada di depannya.

Dengan adanya grafik perjalanan kereta ini, maka lalu lintas jalan rel akan berjalan dengan aman dan lancar, tanpa mengalami tabrakan dan sundulan antar kereta. Untuk lebih jelasnya lihat contoh gambar Grafik Perjalanan Kereta.

الجامعة الإسلامية
الائتلاف الأندلسي

BERLAKU MULAI TANGGAL 29 - 5 - 1989

JARAK SEI	DAJAK SEI	LETAK SEI	D K M
1.315	542.654	162093	
6.147	165.718		
40.43	759.631		
4.516	155.598		
5.845	151.072		
6.724	145.227		
3.812	138.433		
5.481	134.681		
6.268	129.200		
5.543	122.932		
6.639	117.389		
2.936	110.750		
2.156	107.814		
	260.634		



Gambar No.4.1. Contoh Grafik Perjalanan Kereta

Sumber : Perumka Daop VI Yogyakarta, 1986

4.2. Kondisi Jaringan Jalan Rel Lintas Yogyakarta - Solo

Jalan rel lintas Yogyakarta-Solo merupakan jalur tunggal, oleh karena itu antara Yogyakarta dan Solo perlu dibangun stasiun-stasiun sedang atau kecil. Stasiun-stasiun ini berfungsi untuk berhenti bagi rangkaian kereta karena ada kereta lain yang lewat (cross) atau untuk keperluan bagi rangkaian kereta yang akan menyiap (menyusul).

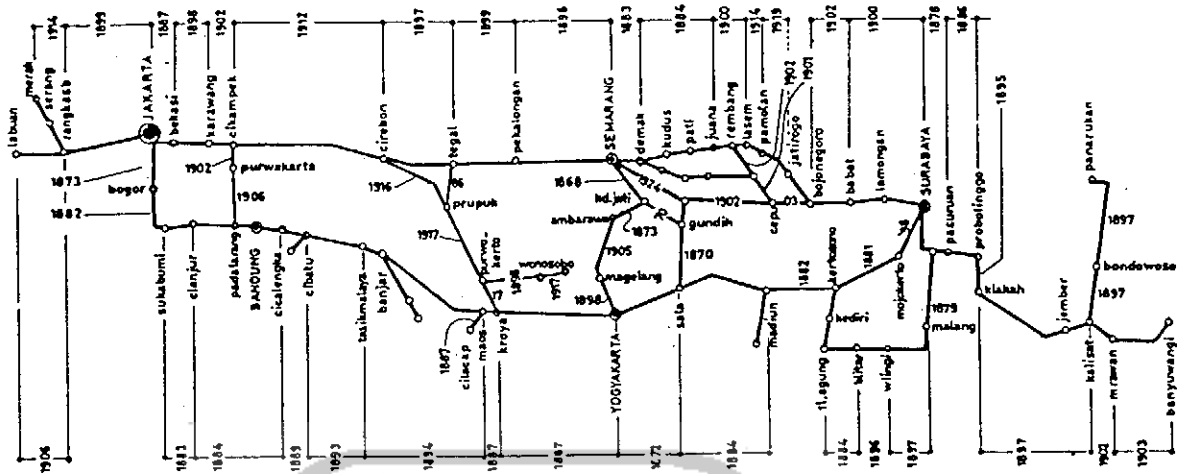
Selain itu stasiun juga berfungsi untuk memberi kesempatan bagi penumpang untuk naik atau turun dari kereta. Bisa juga untuk mengirim atau menerima barang .

Stasiun-stasiun atau jaringan jalan rel yang ada pada lintas Yogyakarta-Solo adalah : stasiun Yogyakarta, Lempuyangan, Maguwo, Kalasan, Brambanan, Srowot, Klaten, Ketandan, Ceper, Delanggu, Gawok, Purwosari dan Solobalapan



Gambar No.4.2. Jaringan Jalan Rel Lintas Yogya-Solo

Sedangkan jaringan jalan rel yang ada di Pulau Jawa bisa dilihat pada gambar di bawah.

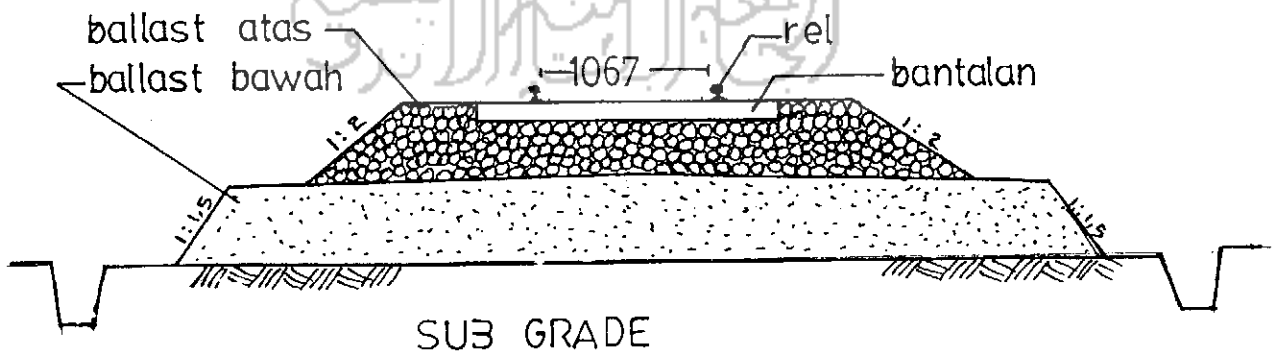


Gambar No.4.3. Jaringan Jalan Rel Yang Ada Di Pulau Jawa Dan Tahun Pembuatannya

Sumber : Jalan Kereta Api, Imam Subarkah, 1981

4.3. Kondisi Konstruksi Jalan Rel Lintas Yogyakarta-Solo

Konstruksi jalan rel yang ada pada lintas Yogyakarta-Solo adalah sesuai dengan apa yang terdapat dalam Peraturan Dinas No.10. Adapun susunan dari konstruksi jalan rel ini adalah rel, penambat rel, bantalan, ballast atas dan ballast bawah. Lihat gambar di bawah.



Gambar No. 4.4. Fotongan Melintang Jalan Rel Yogyakarta - Solo

Rel yang dipergunakan pada lintas Yogyakarta-Solo menggunakan rel tipe R 50 . Dan untuk penambat rel yang digunakan adalah penambat jenis pandrol untuk bantalan beton dan penambat jenis de clip serta penambat jenis nabla untuk bantalan kayu.

Adapun bantalan yang dipergunakan adalah bantalan beton dan bantalan kayu. Bantalan beton dipergunakan/dipakai dari Solo sampai Brambanan. Sedangkan bantalan kayu dipakai dari Brambanan sampai Yogyakarta. Bantalan kayu juga dipakai pada setiap jembatan yang ada di sepanjang lintas Yogyakarta Solo.

Perumka mempunyai Rencana bahwa pada Pelita mendatang semua bantalan kayu akan diganti dengan bantalan beton, karena bantalan beton umurnya lebih lama serta kestabilannya lebih baik. Sehingga kereta bisa melaju dengan kecepatan yang maksimum.

Untuk lapisan ballast atas dan lapisan ballast bawah tebal, ukuran (diameter) dan jenis material sesuai dengan Peraturan Dinas No. 10. Dengan tebal lapisan ballast atas 30 cm dan tebal lapisan ballast bawah 25 cm.

BAB V

PROSES PENCUCIAN DAN PEMADATAN BALLAST DI LAPANGAN

5.1. Metode Evaluasi Kondisi Konstruksi Jalan Rel Di Lapangan

Jalan merupakan salah satu sarana transportasi di darat yang memegang peranan penting, baik dari segi ekonomi, sosial - politik, budaya, pertahanan dan keamanan negara. Oleh karena itulah, jalan rel harus selalu dalam kondisi yang baik sehingga diharapkan dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi pemakai jasa jalan rel.

Agar tercipta rasa aman dan nyaman pada jalan rel maka cacat yang dapat membahayakan dan mengurangi ketenangan perjalanan kereta atau yang dapat menyebabkan dapat rusaknya kereta harus segera dihilangkan dan diperbaiki.

Jalan rel haruslah lurus, tak boleh bengkok baik ke arah mendatar maupun ke arah vertikal. Lebar rel juga tidak boleh kurang ataupun melebihi batas-batas yang diijinkan, yaitu minimum 1065 mm dan maksimum 1071 mm untuk lokasi jalan rel yang berada di Indonesia.

Peninggian rel luar dan pelebaran rel harus baik dan juga mengembangnya rel harus mungkin, oleh karena itulah baut-baut sambungan tidak boleh terlalu keras.

Di atas bantalan tidak boleh ada batu ataupun pasir, tepi atas ballast harus rata dengan muka bantalan dan

kelihatan satu bidang datar lurus.

Oleh beban yang berulang-ulang dari beban kereta yang berjalan di atas jalan rel maka kedudukan rel pun akan berubah dan hal ini juga akan dipercepat lagi dengan adanya air hujan. Pada sambungan-sambungan rel yang merupakan tempat-tempat terlemah dari rel, biasanya yang paling mudah dan sering berubah kedudukan rel-nya. Sentuhan keras oleh beban pada ujung rel menyebabkan ballast bergetar lepas dan bantalan di kanan dan kiri sambungan akan menurun.

Dari kondisi jalan rel diatas, perlu kiranya mengetahui dengan cepat dan tepat kondisi konstruksi jalan rel di lapangan. Jalan rel yang kelihatan baik dan bagus sering bergoyang jika dilalui kereta, hal ini disebabkan ballast di bawah bantalan kurang padat. Goyangan demikian mempercepat kerusakan rel antara lain oleh adanya torsi ke arah memanjang dan juga merusak rel.

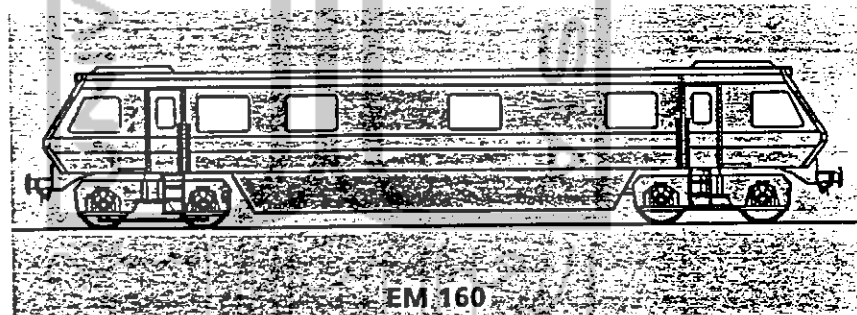
Untuk mengetahui kondisi konstruksi jalan rel di lapangan, pihak PERUMKA menggunakan beberapa metode yang disesuaikan dengan situasi dan kondisi yang memungkinkan untuk terlaksananya pemeriksaan kondisi konstruksi jalan rel di lapangan. Metode yang dipakai PERUMKA yaitu :

a. Dengan Kereta ukur (*Car Recording*)

Untuk mengetahui kondisi konstruksi jalan rel di lapangan, kereta ukur dioperasikan sepanjang jalan rel yang akan diperiksa, lihat gambar No.5.1.

kereta ukur type EM 160, PERUMKA hanya memiliki 1 (satu) buah kereta ukur dengan type EM 120. Dengan menggunakan kereta ukur ini dapat dilakukan dengan cepat dan tepat sehingga dapat memberikan gambaran yang akurat dan cepat mengenai kedudukan rel ke arah vertikal maupun ke arah horizontal, mengenai selisih tinggi rel, mengenai lebar rel, mengenai kondisi ballast dan juga data lainnya yang diperlukan.

Pemeriksaan kondisi konstruksi jalan rel di lapangan dengan menggunakan kereta ukur dilakukan pihak PERUMKA setiap 6 bulan sekali pada suatu lintasan jalan rel.



Gambar No.5.1. Kereta Ukur (Car Recording) Type EM 160

b. Metode "Lok Rit"

Pada metode ini, pemeriksa jalan rel naik pada kereta lokomotif sehingga pada waktu kereta berjalan pada lintasan yang akan diperiksa dapat merasakan goyangan yang terjadi pada jalan rel.

c. Metode "Bordes Rit"

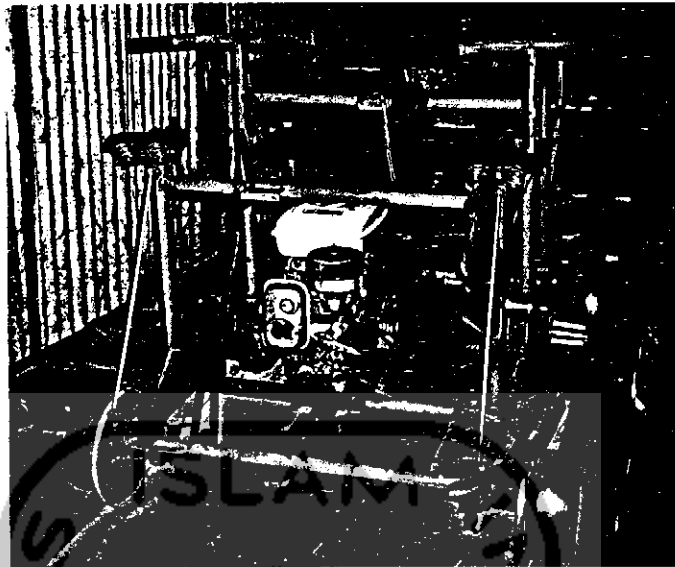
Pada metode ini, Pemeriksa jalan rel naik pada gerbong kereta yang paling belakang dengan cara melihat ke belakang sepanjang lintasan jalan kereta yang akan diperiksa sambil merasakan goyangan yang terjadi pada jalan rel.

d. Metode "Loring Motor"

Pada metode ini, pemeriksa jalan rel naik pada kereta lori sepanjang lintasan jalan rel yang akan diperiksa, lihat gambar No.5.2 dan gambar No.5.3.



Gambar No.5.2. Loring Motor Untuk Pejabat PERUMKA



Gambar No.5.3. Loring Motor Untuk Petugas Lapangan PERUMKA

e. Metode "Jalan Kaki"

Pada metode ini, pemeriksa jalan rel akan berjalan kaki sepanjang lintasan jalan rel yang diperiksa untuk mengetahui kondisi konstruksi jalan rel secara langsung.

Pada metode "Lok Rit", "Bordes Rit", "Loring Motor" dan "Jalan Kaki", data yang dihasilkan tidaklah se-akurat data yang dihasilkan oleh Kereta Ukur, karena hanya berdasarkan perasaan si pemeriksa jalan rel saja.

Pemeriksaan kondisi konstruksi jalan rel dengan menggunakan ke-4 metode diatas dilakukan setiap 1 (satu) minggu sekali dan metode yang digunakan disesuaikan dengan situasi serta kondisi yang memungkinkan untuk terlaksananya pemeriksaan tersebut.

5.2. Proses Pencucian Ballast

Suatu ballast yang baik adalah ballast yang bersih dan dapat ditembus untuk memungkinkan perputaran udara dari lapisan dasar ballast, penguapan dan pengaliran air.

Kekotoran ballast bagian permukaan oleh elemen-elemen dengan butiran kecil dan pengotoran yang disebabkan oleh muatan-muatan kereta (bahan yang bersifat tepung, minyak, oli dan lain-lain) dapat menyebabkan tidak kokohnya kedudukan jalan rel sehingga dapat memperpendek umur teknis jalan rel.

Pencucian ballast memungkinkan angkatan yang baik, karena menjaga material (khususnya bantalan) dalam kondisi yang baik, sehingga diharapkan umur teknis jalan rel akan bertambah panjang dan tercipta suasana aman dan nyaman bagi pengguna jasa jalan rel.

Pada pelaksanaan pencucian ballast, ada beberapa hal yang harus diperhatikan :

1. Lokasi yang benar-benar memerlukan pencucian ballast.
2. Lebar daerah kerja pencucian ballast adalah selebar jalan rel.
3. Kondisi cuaca saat pelaksanaan, dimana saat melaksanakan pencucian ballast tidak pada saat waktu hujan karena gumpalan lumpur pada ballast mengakibatkan pengayakan tidak efisien.

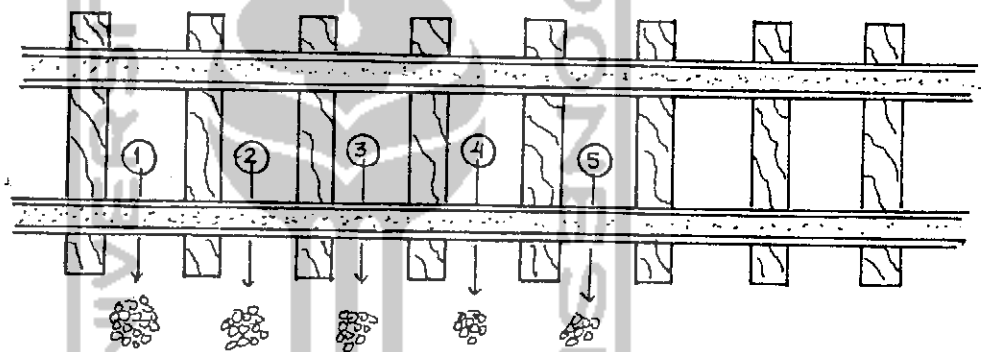
5.2.1. Metode Pencucian Ballast.

Untuk mengadakan pencucian ballast dapat dilaksanakan dengan 2 (dua) cara, yaitu :

1. Cara Manual.

Pencucian ballast dengan cara manual ini, lebih ditekankan pada pengerahan tenaga manusia sehingga sangat dibutuhkan sekali pekerja-pekerja yang cukup trampil dan terlatih dalam melaksanakan pencucian ballast.

Proses pencucian ballast cara manual :



- Ballast pada spasi (1) dikeluarkan semuanya.
- Pada spasi (2) ballast dicangkul dengan belincong dan diambil dengan garpu. Ballast diayak dengan kuat di atas spasi (2) dan dipindahkan ke spasi (1).
- Sisa kotoran ayakan spasi (2) diambil dengan sekop dan dibuang keluar dari jalan rel.
- Penambahan ballast dilakukan secepat mungkin dengan ballast yang baru.

Pencucian ballast dengan cara manual ini, secara bertahap tidak lagi digunakan oleh pihak PERUMKA karena hasil pekerjaan tidak maksimal dan tidak efisien.

2. Cara Mekanis.

Pencucian ballast dengan cara mekanik ini, lebih ditekankan pada pengoperasian alat berat, yaitu Mesin Pencuci Ballast (*Ballast Cleaning Machine*). Sampai saat ini pihak PERUMKA telah mempunyai 2 (dua) buah type Mesin Pencuci Ballast, yaitu :

- Type RM 62
- Type RM 74 HR.

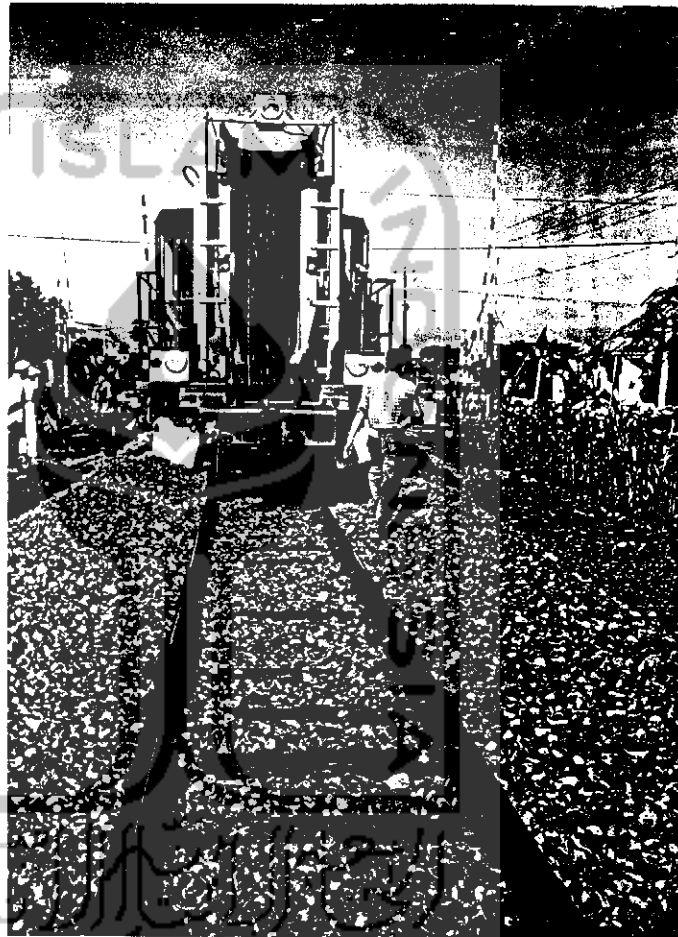
Kedua type Mesin Pencuci Ballast ini buatan dari pabrik *Plasser & Theurer* - Austria, lihat Gambar No.5.4.



Gambar No.5.4. Mesin Pencuci Ballast Type RM 74 HR

Proses pencucian ballast cara mekanis :

- Mesin Pencuci Ballast berada pada daerah yang akan dilaksanakan pencucian ballast, lihat gambar No.5.5.



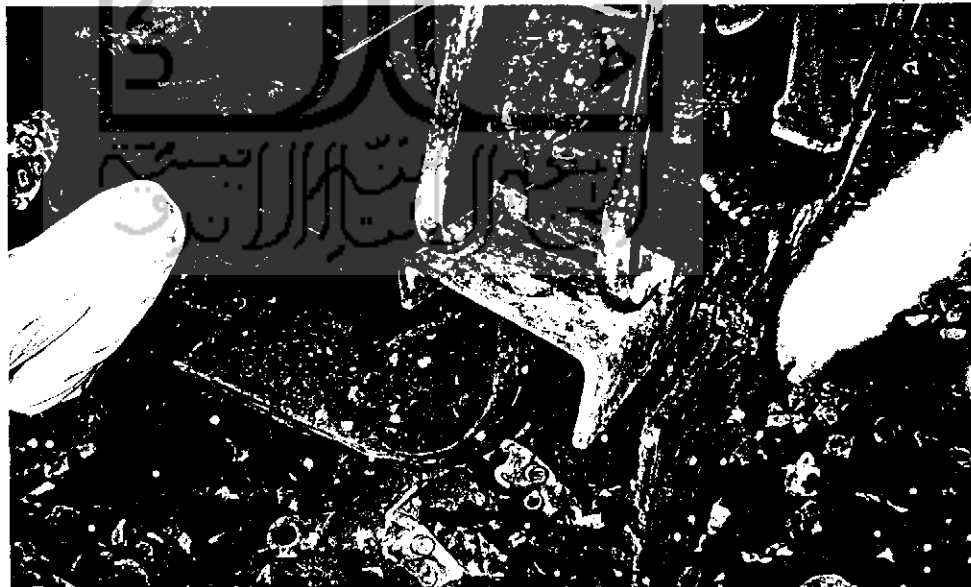
Gambar No.5.5. Kondisi Ballast Sebelum Dicuci

- Ballast pada salah satu posisi diantara kedua bantalan, dikeluarkan seluruhnya kemudian rantai dan blade dimasukkan pada galian tersebut, lihat gambar No.5.6.



Gambar No.5.6. Rantai Dan Blade Pada Galian

- Rantai dan blade pada kedua sisi mesin pencuci ballast disambung, waktunya ± 20 menit, lihat gambar No.5.7.



Gambar No. 5.7. Proses Penyambungan Rantai dan Blade

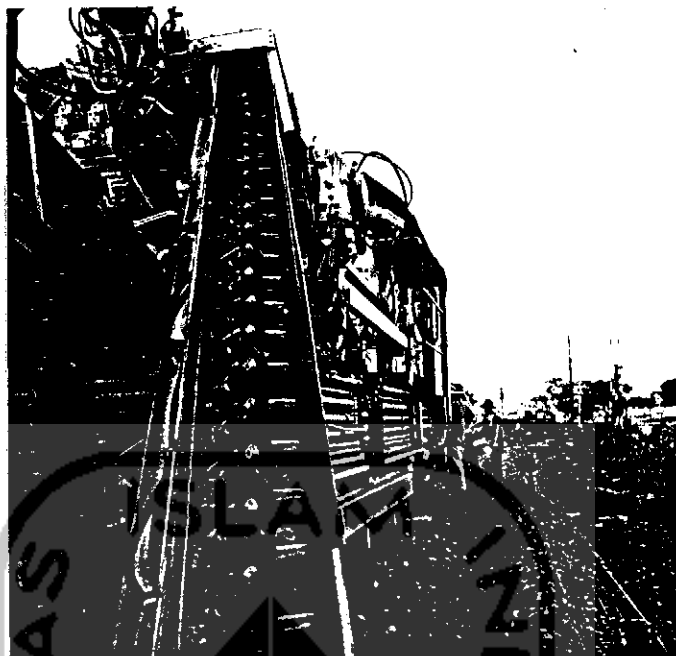
- Setelah rantai dan blade terpasang maka pekerjaan pencucian ballast siap dilaksanakan.

Mesin Pencuci Ballast bergerak maju secara perlahan dengan kecepatan \pm 10 Km/jam dan rantai yang mempunyai gigi-gigi yang berputar secara horizontal sambil mengeruk ballast di bawah bantalan. Pengerukan ballast sedalam \pm 20 - 25 Cm di bawah bantalan, lihat gambar No.5.8.



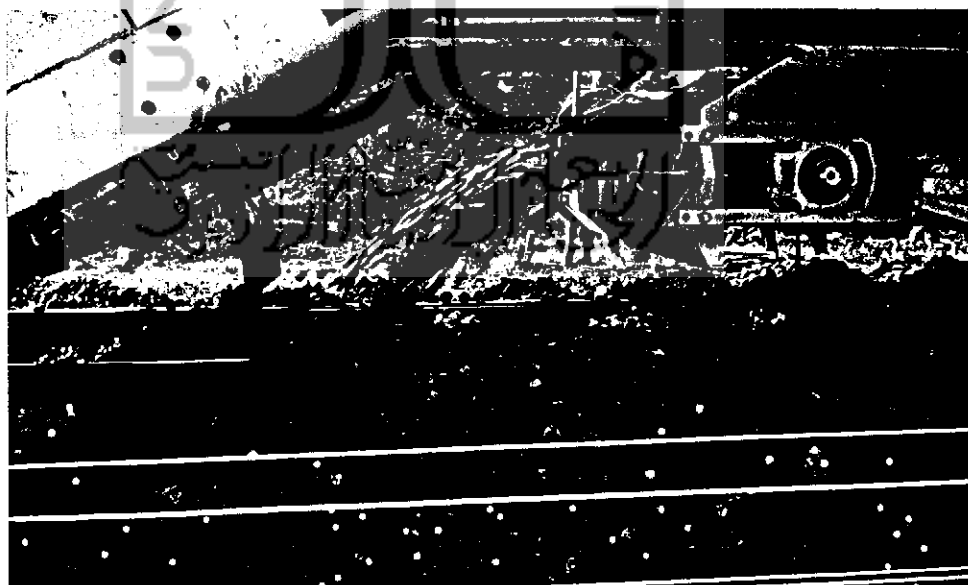
Gambar No.5.8. Pengerukan Ballast Di Bawah Bantalan

- Dengan perantaraan rantai, ballast yang kotor dibawa masuk ke saringan untuk diayak, lihat gambar No.5.9.



Gambar No.5.9. Rantai Membawa Ballast Kotor Ke Saringan

- Ballast yang telah disaring bersih disebar lagi ke tempat semula dengan perantaraan *Conveyor* yang berada di sisi kiri dan kanan Mesin Pencuci Ballast, lihat gambar No.5.10.



Gambar No.5.10. Penyebaran Ballast Melalui *Conveyor*

- Debu dan kotoran yang tidak lolos saringan yang disyaratkan akan dibuang keluar ke sisi kiri atau kanan Mesin Pencuci Ballast dengan perantaraan Conveyor, lihat gambar 5.11.



Gambar No.5.11. Pembuangan Debu Dan Kotoran

- Selama Mesin Pencuci Ballast bekerja, pada sisi kiri dan kanan pada tempat penyambungan rantai dan blade harus selalu ada 2 (dua) orang pekerja yang mengawasi dan mengontrol jika rantai menyentuh benda-benda keras (logam, bongkahan batu) ataupun juga menggeser bantalan jika diperlukan akibat dari kerjanya mesin, lihat gambar No.5.12.



Gambar No.5.12. Pengawasan Dan pengontrolan Kerja Rantai

- Ballast yang sudah bersih disebar kembali ke tempat semula lalu dipadatkan dengan alat pemadat, lihat gambar 5.13.



Gambar No.5.13. Kondisi Ballast Setelah Dicuci

Kemampuan kerja Mesin Pencuci Ballast sangat dipengaruhi oleh keadaan lalu lintas jalan rel. Hal ini disebabkan jalan rel yang ada di Indonesia adalah berjalur tunggal (*Single Track*) maka Mesin Pencuci Ballast tidak dapat bekerja secara optimal.

Sebelum dilaksanakannya pencucian ballast, perlu diketahui terlebih dahulu lalu lintas kereta yang mempunyai jangka waktu yang lama antara kereta yang satu dengan kereta yang lainnya. Pada kondisi normal kemampuan kerja Mesin Pencuci Ballast adalah $\pm 300 - 500$ meter/jam.

5.2.2. Frekuensi Pencucian Ballast.

Ballast hendaknya selalu dalam kondisi yang baik sehingga perlu diadakan pencucian ballast secara teratur. Untuk pencucian ballast, pihak PERUMKA belum bisa melaksanakan secara teratur pencucian ballast yang kotor dikarenakan beberapa faktor, yaitu :

- Belum tersedianya Mesin Pencuci Ballast yang cukup untuk melayani jalan rel yang ada di Indonesia.
- Belum meratanya kemampuan tenaga teknisi Mesin Pencuci Ballast.
- Kemampuan keuangan pihak PERUMKA.

Untuk mengatasi hal-hal tersebut diatas, pihak PERUMKA hanya akan mencuci ballast pada tempat-tempat tertentu dan memang dianggap perlu untuk diadakan pencucian

ballast. Selain itu juga dalam rangka peningkatan Sumber Daya Manusia (SDM), pihak PERUMKA telah mengirimkan tenaga ahlinya untuk belajar ke luar negeri sehingga diharapkan ilmu yang di peroleh dari luar negeri dapat diterapkan di Indonesia khususnya pada PERUMKA.

5.3. Proses Pemadatan Ballast

Pada pekerjaan Pemadatan ballast, biasanya didahului dengan pekerjaan lainnya, yaitu :

- Mengangkat rel (*lifting*)
- Meluruskan rel / listring (*Lining*)
- Memadatkan ballast / pecok (*Tamping*)

Untuk mengetahui apakah kedua rel sama tingginya, digunakan *Waterpass*, lihat gambar No.5.14.



Gambar No.5.14. Selisih Tinggi Rel Diukur Dengan *Waterpass*

Jika ada selisih tinggi rel yang rendah diangkat dengan sebuah alat pengangkat berupa dongkrak yang dipasang di sebelah luar rel di antara dua bantalan dengan tujuan untuk meluruskan kedua rel tersebut, lihat gambar No.5.15. Dongkrak ini dipakai juga untuk menaikkan kembali rel di tempat-tempat yang rel-nya turun. Setelah rel diangkat cukup tingginya, ballast di bawah bantalan dipadatkan dengan alat pemadat (*Tamper*).



Gambar No.5.15. Rel Diangkat Dengan Dongkrak

Berkaitan dengan judul Tugas Akhir ini, penulis tidak akan membahas secara mendetail pekerjaan mengangkat dan meluruskan rel, penulis hanya akan membahas pekerjaan pemadatan ballast saja.

5.3.1. Metode Pemadatan Ballast.

Ballast yang baik adalah ballast yang bersih dan padat. Ballast yang padat berarti rongga-rongga di antara butir-butir material ballast terisi dengan baik. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan metode atau cara pemadatan yang benar dan tepat.

Metode pemadatan ballast yang biasanya dilakukan oleh pihak PERUMKA yaitu :

1. Metode Manual.

Pemadatan ballast dengan Cara Manual ini menggunakan alat pemadat seperti belincong atau dandang, lihat gambar No.5.16.

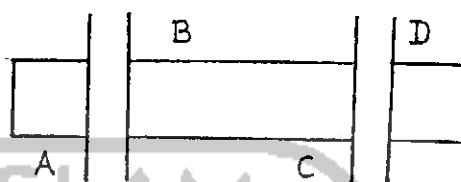


Gambar No.5.16. Dari atas ke bawah : Pemadat Ballast Pasir, Pemadat ballast Batu dan dandang.

Proses pemadatan ballast dengan cara manual :

Langkah - 1. Pemecokan Ballast

- Pemecokan dilakukan oleh 4 orang pada bantalan yang sama pada dua belah sisi.



- Untuk pemecokan ; pada bagian samping atas lapisan dasar bantalan digorek dengan menggunakan bagian daun dari belincong. Kemudian ballast di bawah bantalan dimasukkan dan dipecok dengan bagian bodem dari belincong. Pemecokan dilakukan secara bersamaan agar hasilnya benar-benar padat. Untuk bagian tengah dan ujung bantalan dipadatkan ringan saja.

Langkah - 2. Pemasukkan Ballast Kembali

- Ballast dimasukkan kembali dengan garpu dan diatur kembali profil ballast, ballast yang kotor dibuang dari jalan rel.

Langkah - 3. Pemeriksaan Hasil Pekerjaan

- Bila pemecokan telah selesai, diperiksa lagi apakah tiap bantalan telah dipecok dengan baik.
- Diuji menggunakan tongkat bola untuk membedakan suara yang timbul untuk tahu bahwa bantalan dipecok dengan baik atau tidak dimana tongkat bola ini

dijatuhkan dari ketinggian 30 - 40 Cm (dengan jari tangan menggenggam).

Tongkat bola yang digunakan :

- a. Tongkat bola yang dibuat dari kayu untuk bantalan dari besi.
- b. Tongkat bola yang dibuat dari baja dengan berat 7 Kg untuk bantalan kayu.
- c. Tongkat bola yang dibuat dari baja yang dilapisi dengan karet seberat 8 Kg untuk bantalan beton.

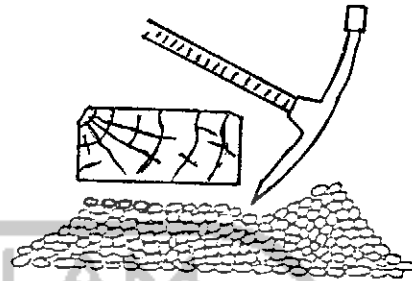
Pada waktu tongkat bola dijatuhkan maka :

- a. Bantalan yang tidak kokoh akan bergetar sedangkan bantalan yang padat tidak akan bergetar.
- b. Jika bantalan kurang padat, tongkat bola tidak memantul dan jika bola memantul berarti bantalan cukup padat.
- c. Jika tongkat bola yang dijatuhkan menghasilkan suara kosong berarti bantalan tidak kokoh kedudukannya.
- d. Jika menghasilkan suara lemah berarti bantalan cukup padat.

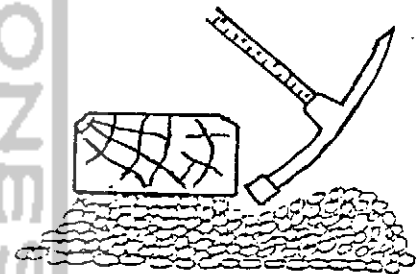
Untuk mendapatkan hasil pemecokan yang baik maka :

- Pemecokan dilakukan pada bagian dari tiap sisi rel selebar 20 Cm, pelaksanaannya harus lebih kuat pada bagian di bawah rel

- Pecok dengan menggunakan belincong, dibuat celah kecil kedalaman beberapa Cm pada daerah pemecokan.

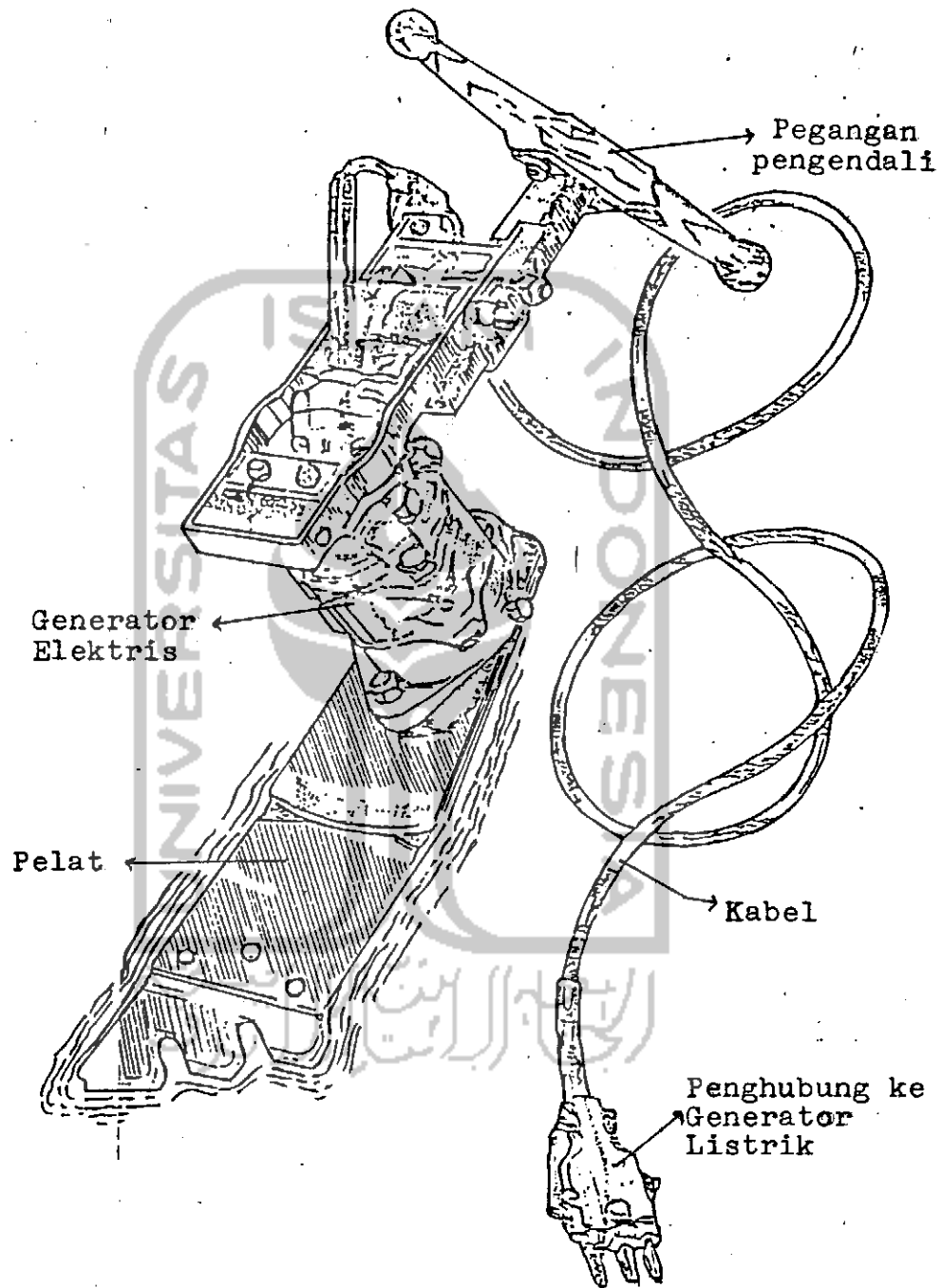


- Ballast yang berada di bawah bantalan dimasukkan dan dipadatkan.



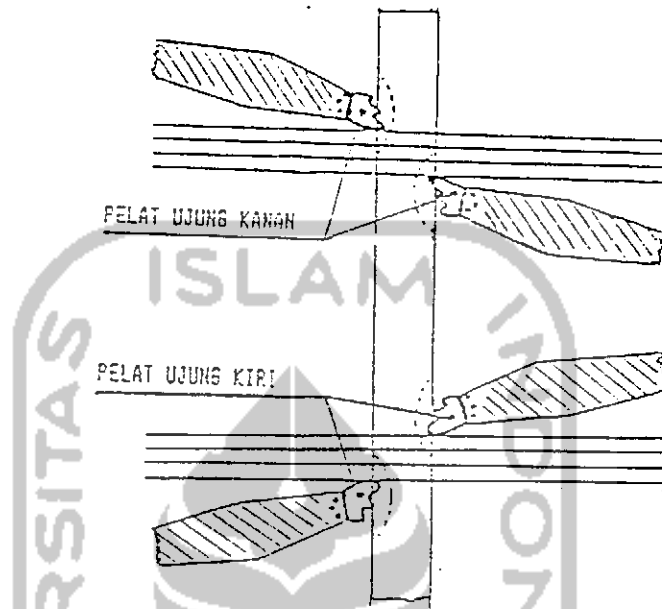
2. Metode Mekanis Menggunakan Mesin Pecok Ringan.

Metode Pemecokan Mekanis menggunakan Mesin Pecok Ringan mempunyai kesamaan dengan Metode Pemecokan Manual. Perbedaan utamanya hanya pada alat pemecok. Untuk Metode Pemecokan Manual, peralatan pecoknya adalah belincong / dandang sedangkan untuk Metode Pemecokan Mekanis menggunakan Mesin Pecok Ringan peralatan pecoknya dengan mesin listrik atau lebih dikenal dengan sebutan *Hand Tie Tamper* (*HTT*), lihat gambar No.5.17.



Gambar No.5.17. Mesin Pecok Ringan "Hand Tie Tanper"

Cara penggunaan perangkat Mesin Pecok Ringan "Hand Tie Tamper", lihat gambar No.5.18.



Gambar No.5.18. Cara Penggunaan Mesin Pecok Ringan

Satu perangkat mesin pemecok terdiri dari 4 buah mesin pemecok; dua dengan pelat ujung ke kiri, dua lagi dengan pelat ujung ke kanan sehingga dua atau empat orang bisa sekaligus mengerjakan kedua rel pada satu bantalan.

Proses pematatan ballast dengan Mesin Pecok Ringan "Hand Tie Tamper" :

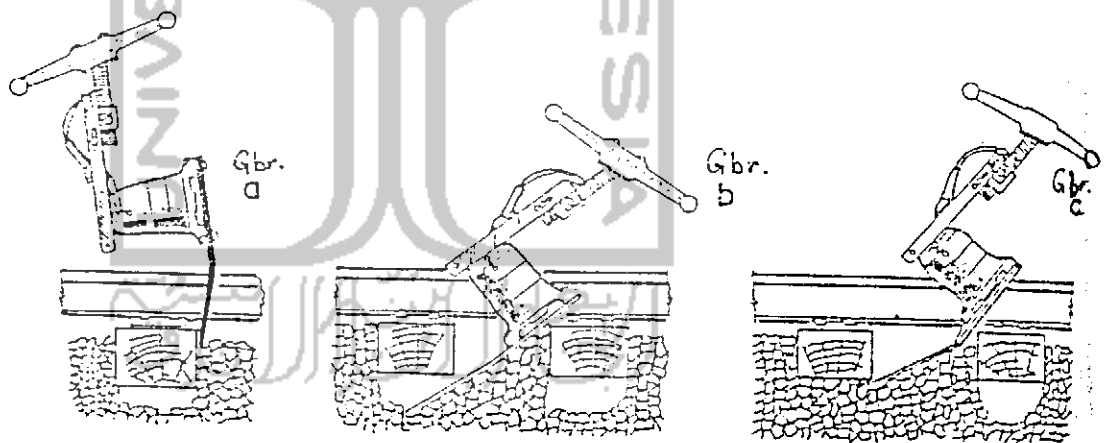
- Bila mesin pemecok telah dihidupkan, sewaktu pemecokan akan dimulai, pelat pemecok di dekatkan pada rel.

Getaran alat akan memaksa pelat tergeser ke arah rel, ballast dipaksa masuk ke daerah dimana



pemadatan harus benar-benar padat. Ujung pelat pemecok digerakkan maju ke arah rel.

- Pelat pemecok diletakkan terlebih dahulu pada posisi vertikal terhadap bantalan, sehingga memungkinkan alat dimasukkan ke dalam ballast tanpa penggorekan, lihat gambar.a.
- Pegangan digerakkan ke bawah serta digoyang ke kiri dan ke kanan untuk memasukkan pelat pemadat ke bawah bantalan, lihat gambar.b.
- Getaran akan membuat ruang yang cukup untuk ballast masuk. Selanjutnya gerakan mundur diulangi terus sampai pemecokan selesai sepenuhnya, lihat gambar.c.



Dalam hal bantalan beton, harus dihindari terjadinya penyentuhan terhadap bantalan sewaktu memasukkan alat, agar bantalan tidak rusak.

Peralatan tidak perlu ditekan, karena dengan beratnya sendiri dan adanya penggetaran sudah cukup untuk pelat pemecok tersebut masuk dan memadatkan ballast.

Spasi bantalan harus diberi ballast yang cukup agar pelat pemecok dapat menghasilkan pemadatan yang baik.

Untuk kapasitas Mesin Pecok Ringan "Hand Tie Tamper" adalah \pm 100 meter/hari untuk tiap unit (1 buah generator dan 4 buah *Hand Tie Tamper*).

3. Metode Mekanis Menggunakan Mesin Pecok Berat

Pemadatan dengan Mesin Pecok Berat ini menggunakan sebuah kereta bermotor dengan generator dan mesin-mesin untuk menggerakkan besi-besi pemadat ballast, alat ini disebut dengan *Multiple Tie Tamper* (*MIT*), lihat gambar No.5.19.

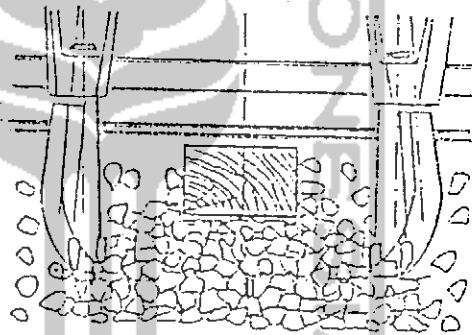


Gambar No.5.19. *Multiple Tie Tamper* Type 08 - 16 GS

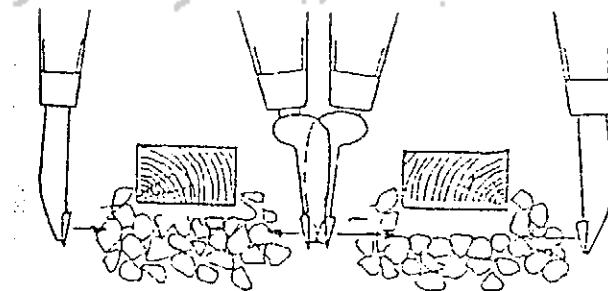
Untuk mesin MTT ini, pihak PERUMKA telah memiliki beberapa type mesin MTT, yaitu :

- type 07 - 16 G
- type 08 - 16 GS
- type 08 - 75 GS

Pemecokan ballast di bawah bantalan dilakukan secara otomatis dengan penggetaran dan penekanan. Dimana pemecokan ini dilakukan tanpa penggorekan ballast terlebih dahulu, lihat gambar No.5.20. dan gambar No.5.21.



Gambar No.5.20. Pemecok Kepala Tunggal Sedang Bekerja



Gambar No.5.21. Pemecok Kepala Ganda Sedang Bekerja

Pemilihan daerah yang akan dipecok :

- a. Pemecokan dengan mesin berat harus dilaksanakan pada panjang daerah yang cukup panjang, tidak dilaksanakan pada daerah yang pendek, dimana untuk daerah yang pendek dapat digunakan mesin pecok ringan (HTT).
- b. Pemecokan menggunakan mesin berat memberikan kemungkinan hasil yang terbaik dalam hal kualitas dan daya tahannya, jika persyaratan-persyaratan yang ditentukan berikut ini dipenuhi :
 - Lapisan di bawah ballast (sub ballast) berada dalam kondisi yang baik.
 - Ballast dalam kondisi bersih.
 - Material jalan rel (rel dan bantalan) harus dalam kondisi yang baik, alat penambat terkunci dengan baik dan sambungan-sambungan terpelihara dengan baik.

Kemampuan kerja *Multiple Tie Tamper* sangat dipengaruhi oleh keadaan lalu lintas jalan rel. Hal ini disebabkan jalan rel yang ada di Indonesia adalah berjalur tunggal (*Single Track*) maka *Multiple Tie Tamper* tidak dapat bekerja secara optimal.

Sebelum dilaksanakannya pemadatan ballast, perlu diketahui terlebih dahulu lalu lintas kereta yang mempunyai

jangka waktu yang lama antara kereta yang satu dengan kereta yang lainnya. Pada kondisi normal kemampuan kerja *Multiple Tie Tamper* adalah $\pm 250 - 500$ meter/jam.

5.3.2. Frekuensi Pemadatan Ballast

Untuk menjaga kondisi jalan rel tetap baik maka perlu diadakan pemadatan ballast secara teratur. Dalam hal ini pihak PERUMKA telah mengadakan pemadatan secara teratur yang metodenya disesuaikan dengan jadwal yang sudah direncanakan oleh pihak PERUMKA, yaitu :

1. Cara Manual.

Untuk pemadatan Cara Manual, frekuensi pemadatan dilaksanakan setiap 2 (dua) bulan sekali pada daerah yang sama.

2. Metode Mekanis Menggunakan Mesin Pecok Ringan.

Untuk pemadatan dengan menggunakan Mesin Pecok Ringan, frekuensi pemadatan dilaksanakan setiap 6 (enam) bulan sekali pada daerah yang sama.

3. Metode Mekanis Menggunakan Mesin Pecok Berat.

Untuk pemadatan dengan menggunakan Mesin Pecok Berat, frekuensi pemadatan dilaksanakan setiap 2 (dua) tahun sekali pada daerah yang sama.

Dengan dilaksanakannya pemadatan secara teratur diharapkan umur konstruksi bertambah panjang serta tercipta suasana aman dan nyaman bagi pengguna jasa jalan rel.

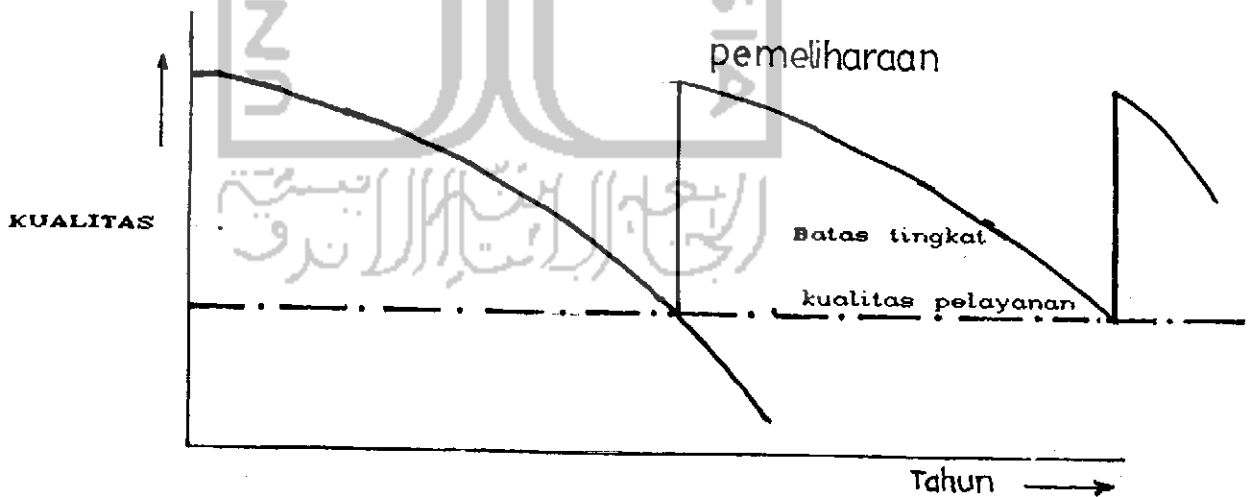
BAB VI
PEMBAHASAN

6.1. Evaluasi Kinerja Jalan Rel

Konstruksi jalan rel (track) mempunyai fungsi melayani arus lalu lintas kereta yang lewat di atasnya dengan aman dan nyaman.

Dengan aman yaitu track harus mampu mendukung beban arus lalu lintas yang lewat selama umur pelayanan. Kenyataan di lapangan, tingkat kualitas pelayanan konstruksi jalan rel akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu.

Dalam hal ini sebenarnya besar penurunan kualitas pelayanan merupakan fungsi dari jumlah kumulatif beban yang lewat di atasnya.



Gambar No.6.1. Perilaku Pelayanan Konstruksi Jalan Rel

Dengan berjalannya waktu (dalam hal ini erat kaitannya pengoperasian jalur jalan rel tersebut), konstruksi jalan rel mengalami pembebanan dari rangkaian

kereta yang lewat di atasnya secara berulang-ulang dan selalu berhubungan langsung dengan cuaca. Hal ini mengakibatkan :

- a. Keausan rel yang diakibatkan oleh gaya jejak arah lateral dan longitudinal ataupun oleh gaya pengereman.
- b. Kerusakan alat penambat rel dan bantalan.
- c. Menurunnya fungsi ballast baik karena proses pengotoran internal maupun eksternal.
- d. Rusaknya tanah dasar akibat masuknya batu ballast karena beban kereta.

Dari semua faktor yang tersebut di atas yang paling dominan atau mudah mengalami kerusakan adalah ballast dan tanah dasar. Ini karena beban yang diterima oleh ballast dan tanah dasar merupakan beban dinamik yang bekerja secara rutin/berkala selama umur pelayanan. Dan ballast adalah material lepas dimana di lapangan pengendalian mutu/kekuatannya agak susah. Sedangkan tanah dasar di setiap lokasi kekuatan daya dukungnya (nilai CBR-nya) bervariasi, dan umumnya pada musim hujan akan mengalami penurunan daya dukungnya.

Adapun rel dan bantalan terutama bantalan beton dan baja tingkat kerusakannya relatif sedikit. Hal ini karena rel dan bantalan beton/baja keseragaman kualitas mudah didapat karena rel dan bantalan beton/baja dibuat dipabrik (pabrikasi).

Konstruksi jalan rel berfungsi melayani arus lalu lintas kereta dengan nyaman. Kenyamanan sangat erat hubungannya dengan perasaan yang diterima oleh penumpang

yang naik kereta, dimana kurang adanya guncangan dan kebisingan dari kereta.

Besarnya guncangan dan kebisingan kereta sangat dipengaruhi oleh kepegasan ballast, sistem pegas kereta dan kecepatan kereta. Kepegasan ballast sangat dipengaruhi oleh kondisi ballast, dimana kalau ballast kotor maka kepegasan ballast berkurang yang berakibat sangat besar.

Sebagai ilustrasi daya dukung ballast atau kekuatan ballast dipengaruhi oleh faktor dinamik yaitu : $(1 + \bar{t} \bar{s})$, harga \bar{s} dipengaruhi dari kondisi track .

Kondisi track	\bar{s}
- sangat bagus	0,1 ϕ
- bagus	0,2 ϕ
- jelek	0,3 ϕ

harga ϕ dipengaruhi oleh :

Kecepatan (km/jam)	ϕ
- $v \leq 60$	1
- $60 \leq v \leq 200$	$1 + \frac{v - 60}{140}$

Sedangkan tegangan ballastnya (σ_b) adalah :

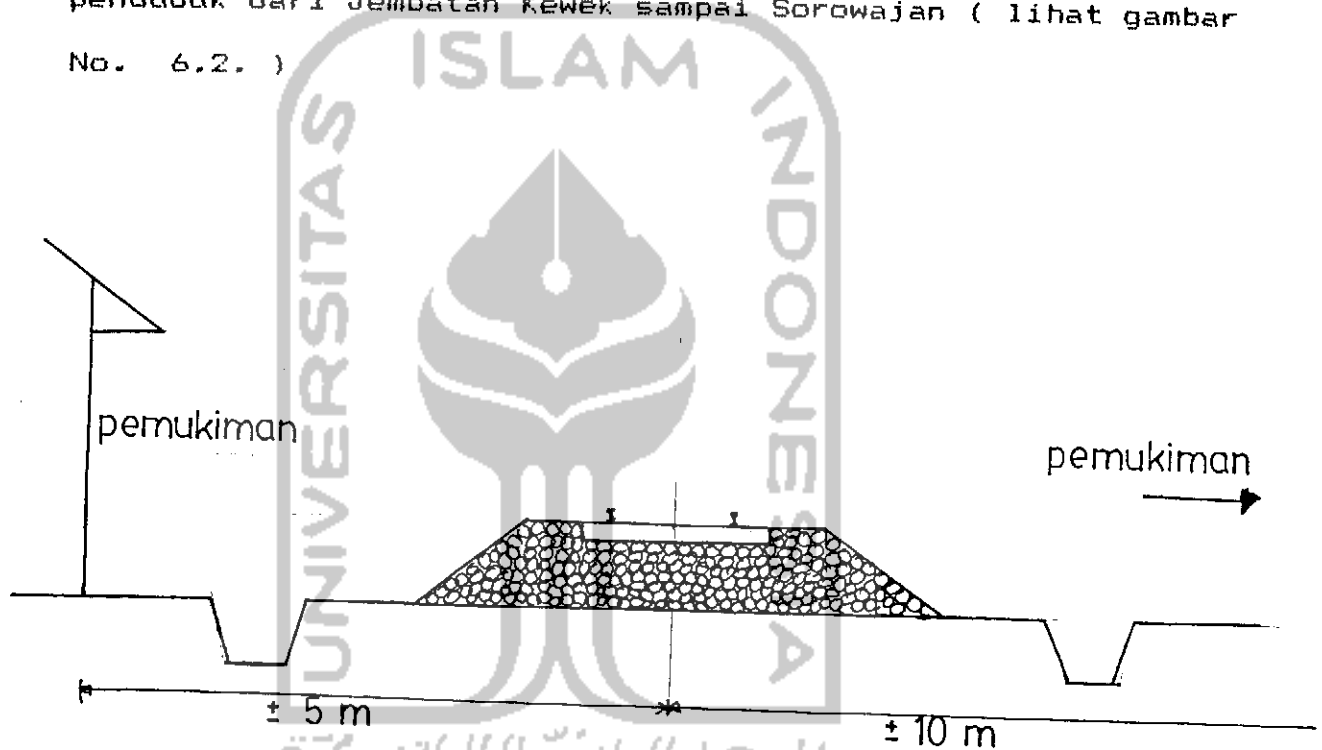
$$\sigma_b = \sigma_{avr} (1 + \bar{t} \bar{s}) \text{ dengan } \sigma_{avr} = Q \cdot a / (2L \cdot Ab)$$

$$\sigma_{avr} = Q/2 \sqrt[4]{\frac{C \cdot a^3}{4 EI \cdot Ab^3}}$$

6.2. Pengotoran Ballast Di Lapangan

Pengotoran ballast di lapangan dipengaruhi oleh dua faktor yaitu : faktor internal dan eksternal.

Pengotoran ballast secara eksternal pada lintas Yogyakarta - Solo disebabkan oleh adanya debu-debu yang dibawa oleh angin disekitar jalan rel, sampah-sampah dari pengguna jasa angkutan rel, partikel dari hasil pengereman lokomotif, tetesan oli serta solar, maupun dari penduduk pemukiman di sekitar jalan rel tersebut. Misal pemukiman penduduk dari Jembatan Kewek sampai Sorowajan (lihat gambar No. 6.2.)



Gambar No.6.2. Pemukiman Penduduk Di Sekitar Jalan Rel

Pengotoran ballast secara internal terjadi karena adanya gesekan antara batuan akibat gaya desakan dari beban kereta secara terus menerus. Selain itu juga disebabkan terjadinya proses "mudpumping" (pemompaan lumpur) . Proses ini terjadi karena batu ballast menyeruak masuk ke lapisan tanah dasar, yang lama kelamaan akibat hujan tanah/lumpur akan tersedot ke atas karena pengaruh dari beban dinamik kereta.

Daya dukung tanah dasar (subgrade) akan menurun akibat adanya genangan air, karena timbulnya pengaruh tegangan air pori.

$$\tau_{t \text{ eff}} = \tau_t - U$$

$\tau_{t \text{ eff}}$ = daya dukung tanah efektif

τ_t = daya dukung tanah total (tanpa adanya pengaruh air)

U = tegangan air pori

Ini akan terjadi pada musim hujan dimana muka air tanah akan naik. Untuk lintas Yogyakarta - Solo terjadi pada bulan Nopember sampai Mei.

6.3. Evaluasi Pencucian Ballast Lintas Yogyakarta - Solo

Dari data lapangan pelaksanaan pencucian ballast lintas Yogyakarta - Solo belum pernah dilaksanakan. Ini dikarenakan adanya beberapa faktor yaitu :

- a. Lintas Yogyakarta - Solo jarang terjadi banjir, karena letaknya jauh dari permukaan air laut.
- b. Tubuh jalan pada lintas Yogyakarta - Solo baik, karena umurnya sudah ratusan tahun sehingga tubuh jalan sudah relatif padat/stabil.
- c. Proyek pencucian ballast adalah dari pusat (biayanya besar), dan untuk lintas Yogyakarta - Solo belum ada paket/rencana.

Kenyataannya di lapangan ballast pada lintas Yogyakarta - Solo mengalami pengotoran dan penurunan. Hal ini terjadi karena pengoperasian jalur jalan rel. Konstruksi jalan rel mengalami pembebanan dari rangkaian kereta yang

lewat di atasnya secara berulang-ulang dan selalu berhubungan langsung dengan cuaca.

Pengotoran ballast pada lintas Yogyakarta - Solo disebabkan oleh dua faktor yaitu :

a. Faktor Internal :

- Akibat adanya gesekan antar batuan yang menimbulkan debu karena pembebanan terus-menerus.
- Adanya proses mudpumping (pemompaan lumpur).

b. Faktor Eksternal :

- Adanya sampah dari penumpang dan dari penduduk di sekitar jalan rel.
- Adanya debu yang dibawa oleh angin di sekitar jalan rel
- Adanya tetesan oli dan solar dari lokomotif.

Laju pengotoran ballast sangat dipengaruhi oleh :

- Jumlah kumulatif beban dinamik.
- Kondisi cuaca.
- Kondisi permukaan batuan ballast.
- Pondasi (tanah dasar).
- Gradasi ballast.
- Tingkat kekerasan ballast (mutu ballast).

Untuk lintas Yogyakarta - Solo perlu dilakukan pencucian ballast. Ini karena kondisi ballast terutama antara Yogyakarta - Brambanan secara visual terlihat kotor, bahkan ada sebagian ballast yang dapat dikatakan sudah mati. Sedangkan untuk jalur Brambanan - Solo secara visual

terlihat bersih, karena jalur ini baru saja mengalami penggantian bantalan, dari bantalan kayu/baja diganti bantalan beton, sekalian penambahan ballast.

Pencucian ballast lintas Yogyakarta - Solo sebaiknya menggunakan mesin pencuci ballast (ballast cleaning), karena dari segi lalu lintas Yogyakarta - Solo relatif cukup padat dimana jadwal kereta dapat dilihat pada tabel 4.1, tabel 4.2 tabel 4.3 dan tabel 4.4. Dari tabel tersebut headway antar kereta relatif pendek, sehingga kalau secara manual akan memerlukan waktu yang cukup lama.

6.4. Evaluasi Pemadatan Ballast Lintas Yogyakarta - Solo

Berdasarkan data lapangan diperoleh frekuensi pemadatan ballast jalan rel lintas Yogyakarta - Solo adalah sebagai berikut :

- a. Pemadatan secara manual yaitu pemadatan yang dikerjakan dengan belicong dengan frekuensi 2 bulan sekali pada daerah yang sama.
- b. Pemadatan dengan mesin pecok ringan yaitu pemadatan yang dikerjakan dengan mesin ringan (HTT = Hand Tie Tamper), frekuensi pemadatan dengan mesin ini adalah 6 bulan sekali pada daerah yang sama.
- c. Pemadatan dengan mesin pecok berat yaitu pemadatan yang dikerjakan dengan mesin berat (MTT = Multiple Tie Tamper) yang berjalan di atas rel, frekuensi pemadatan

dengan mesin ini adalah 2 tahun sekali pada daerah yang sama.

Dari data di atas pemadatan ballast untuk lintas Yogyakarta - Solo sudah cukup baik. Namun akan lebih baik bila frekuensinya ditingkatkan, sehingga tercipta suasana aman dan nyaman.

6.5. Evaluasi Tegangan Yang Terjadi Pada Ballast Lintas Yogyakarta - Solo

Banyaknya kereta yang lewat lintas Yogyakarta - Solo sebesar 43 rangkaian kereta. Sedangkan rel yang digunakan pada lintas ini adalah tipe R.50 yang mempunyai momen Inertia = $I_x = 1960 \text{ cm}^4$. Lintas Yogyakarta - Solo merupakan jalan rel kelas II dengan kecepatan maksimum yang diijinkan sebesar 110 km/jam. Dan bantalan yang dipergunakan pada perhitungan ini adalah bantalan kayu dengan ukuran (200 x 13 x 22) cm.

a. Parameter yang diperlukan :

$$E = 21000 \text{ KN/cm}^2 \quad Q = 18 \text{ ton} = 180 \text{ KN.}$$

$$a = \text{Jarak bantalan} = 65 \text{ cm}$$

$$\text{Kondisi track bagus} = s = 0,2 \quad \bar{t} = 1$$

$$\theta = 1 + (V - 60) / 140$$

$$= 1 + (110 - 60) / 140 = 1,3571$$

$$\bar{s} = 0,2 \cdot 1,3571 = 0,0714$$

$$k = \text{modulus dukungan track (KN/cm}^2 \text{)}$$

k adalah fungsi dari beban, EI dan lendutan maksimum, dimana formula untuk menentukannya adalah

$$k = 1/4 \sqrt[3]{Q^4 / (EI W_{maks}^4)}$$

Karena kondisi daerah Yogyakarta - Solo sangat bervariasi dan keterbatasan alat untuk menentukan nilai k , maka besar nilai k disimulasikan diambil $k = 3, 4, 5$ dan 6 KN/cm^2

b = lebar bantalan = 22 cm

Ab = luas bantalan efektif

Ab dicari dengan (lihat gambar)



Gambar No.6.3. Menentukan Luas Efektif Bantalan

$$\begin{aligned} Ab &= 2 \cdot c \cdot b \\ &= 2 \cdot 48 \cdot 22 = 2112 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan

* Untuk $k = 3 \text{ KN/cm}^2$

$$\begin{aligned} L &= \sqrt[4]{4 EI / k} \\ &= \sqrt[4]{4 \cdot 21000 \cdot 1960 / 3} = 86,07 \approx 86,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{avr} &= Q \cdot a / (2 \cdot L \cdot Ab) \\ &= 130 \cdot 65 / (2 \cdot 86,1 \cdot 2112) \\ &= 0,0322 \text{ KN/cm}^2 = 0,322 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \sigma_{avr} (1 + \bar{i} \bar{s}) \\
 &= 0,322 (1 + 1 \cdot 0,0714) \\
 &= 0,345 \text{ N/mm}^2 < \bar{\sigma}_b = 0,5 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk selanjutnya ditabelkan.

Tabel 6.1. Variasi Nilai k Terhadap Tegangan Ballast

k (KN/cm ²)	L (cm)	σ_{avr} (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
3	86,1	0,322	0,3450
4	80,1	0,345	0,3696
5	76,0	0,364	0,3900
6	72,5	0,382	0,4090

Dengan nilai k (modulus dukungan track) = 3, 4, 5, dan 6 KN/cm², ternyata ballast mampu mendukung beban dengan aman.

6.6. Evaluasi Tegangan Yang Terjadi Pada Subgrade

1. Tegangan yang terjadi (σ_s)

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s$$

$\bar{\sigma}_s$ dihitung berdasarkan rumus :

$$\bar{\sigma}_s = \frac{0,006 \cdot E_{dyn}}{1 + 0,7 \text{ Log } n}$$

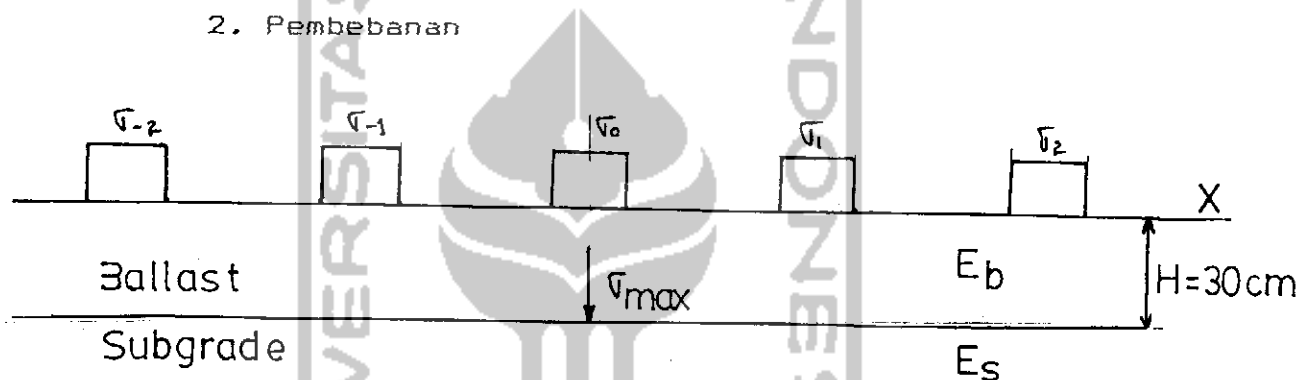
E_{dyn} = dynamic modulus subgrade

$$= 10 - 100 \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

n = jumlah repetisi beban persumbu tunggal atau bogie selama periode musim hujan

Anggapan satu rangkaian kereta (8 gerbong + 1 lok) = $4 \cdot 8 + 6 = 38$ as. Untuk lintas Yogyakarta - Solo banyaknya rangkaian kereta adalah 43 rangkaian. Dan selama periode musim hujan (5 bulan) sebesar $n = 5 \cdot 30 \cdot 43 \cdot 38 = 245100$ as

2. Pembebanan



Gambar No.6.4. Sket Pembebanan

3. Parameter lain yang diperlukan :

$$H_e = 0,9 H \sqrt[3]{E_b/E_s}$$

H_e = tebal ekuivalen terhadap subgrade

H = tebal ballast = 30 cm

E_b/E_s diambil = 3

a = jarak bantalan = 65 cm

b = lebar bantalan = 22 cm

$\bar{\epsilon}$ = 0,2714

L = 72,5 cm untuk $k = 6 \text{ KN/cm}^2$

$\sigma_{avr} = 0,382 \text{ N/mm}^2$ (dari hitungan di atas)

E_{dyn} diambil terkecil = 10 N/mm^2

4. Perhitungan

a. Absis beban terhadap bantalan (x_i)

$$x_1 = 65 \text{ cm} \qquad x_3 = -65 \text{ cm}$$

$$x_2 = 130 \text{ cm} \qquad x_4 = -130 \text{ cm}$$

b. Besarnya $\eta (x_i)$ dari Master Diagram :

$$x_1/L = 65/72,5 = 0,8970 \longrightarrow = 0,578$$

$$x_2/L = 130/72,5 = 1,7931 \longrightarrow = 0,123$$

$$x_3/L = -65/72,5 = -0,8970 \longrightarrow = 0,578$$

$$x_4/L = -130/72,5 = -1,7931 \longrightarrow = 0,123$$

$$\begin{aligned} c. \sigma_{\max} &= \sigma_{\text{avr}} (1 + \xi) \\ &= 0,382 (1 + 1 \cdot 0,0714) = 0,409 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_i = \sigma_{\max} \cdot \eta (x_i)$$

$$x_1 = 65 \quad \sigma_1 = 0,409 \cdot 0,578 = 0,236 \text{ N/mm}^2$$

$$x_2 = 130 \quad \sigma_2 = 0,409 \cdot 0,123 = 0,0503 \text{ N/mm}^2$$

$$d. f (x) = 1/\pi \{ (\alpha_1 - \alpha_2) + 1/2 (\sin 2 \alpha_1 - \sin 2 \alpha_2) \}$$

$$\alpha_1 = \text{arc tg } \frac{x_1 + b/2}{H_e}$$

$$\alpha_2 = \text{arc tg } \frac{x_1 - b/2}{H_e}$$

$$H_e = 0,9 \cdot H \sqrt[3]{E_b/E_s}$$

$$H_e = 0,9 \cdot 30 \cdot \sqrt[3]{3} = 38,9407 \text{ cm}$$

untuk $x = 65$

$$\alpha_1 = \text{arc ty } \frac{65 + 22/2}{38,9407} = 62,8704$$

$$\alpha_2 = \text{arc tg } \frac{65 - \frac{22}{2}}{38,9407} = 54,2037$$

$$f(65) = \frac{1}{\pi} \{ (62,8704 - 54,2037) + \frac{1}{2} (\sin 2 \cdot 62,8704 - \sin 2 \cdot 54,2037) \}$$

$$= 0,0479$$

Untuk selanjutnya ditabelkan.

Tabel No.6.2. Perhitungan Tegangan Pada Subgrade

x_i	x_i/L	(x_i)	σ_i	$f(x_i)$	x_i/b	$\sigma_s = \sigma_i f(x_i)$
65	0,897	0,578	0,236	0,0479	2,9545	0,0113
130	1,793	0,123	0,050	0,0147	5,9091	0,0007
-65	-0,897	0,578	0,236	0,0479	2,9545	0,0113
-130	-1,793	0,123	0,050	0,0147	5,9091	0,0007

$$\bar{\sigma}_s = 0,0241$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_s &= 0,006 \cdot E_{\text{dyn}} / (1 + 0,7 \log n) \\ &= 0,006 \cdot 10 / (1 + 0,7 \log 245100) \\ &= 0,0126 \text{ N/mm}^2 < \sigma_s = 0,0241 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Karena subgrade tak aman, maka E_{dyn} dinaikan (CBR naik) diambil $E_{\text{dyn}} = 20 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_s &= 0,006 \cdot 20 / (1 + 0,7 \log 245100) \\ &= 0,0251 \text{ N/mm}^2 > \sigma_s = 0,0241 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan harga $E_{\text{dyn}} = 20 \text{ N/mm}^2$ ternyata subgrade mampu mendukung beban kereta yang lewat di atasnya.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan di lapangan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab terdahulu maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berkurangnya kemampuan daya dukung pada ballast disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :
 - keadaan cuaca / alam
 - passing tonnage
 - kecepatan kereta
 - berat lokomotif
 - kualitas dari material ballast.
2. Untuk jalan rel lintas Yogyakarta - Solo kondisi konstruksi jalan rel-nya relatif stabil namun demikian antara jembatan Kewek-Sorowajan terjadi pengotoran pada ballast-nya. Hal ini disebabkan oleh 2 faktor yaitu :
 - 2.1. Faktor Eksternal
 - Debu
 - Sampah
 - Partikel hasil pengereman dan tetesan oli/soiar dari lokomotif.

2.2. Faktor Internal

- Gesekan antar batuan ballast
- Pemompaan lumpur (*Mudpumping*)

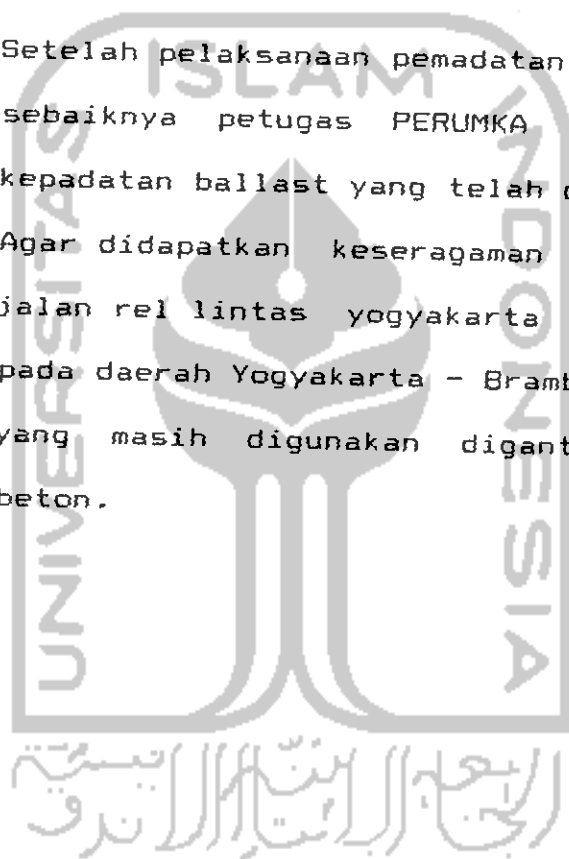
3. Mengingat kondisi lalu lintas jalan rel lintas Yogyakarta - Solo relatif cukup padat maka jika dilaksanakan pencucian dan pemadatan ballast secara manual akan memakan waktu yang cukup lama.
4. Dari hasil perhitungan tegangan yang terjadi pada ballast dan tanah dasar (Subgrade) jalan rel lintas Yogyakarta - Solo terlihat bahwa ballast dan subgrade mampu mendukung beban kereta yang lewat di atasnya akan tetapi kemampuan daya dukung ballast dan subgrade sangatlah dipengaruhi oleh jumlah beban kereta yang lewat di atasnya. Oleh karena itulah, seiring dengan usaha pihak PERUMKA untuk menambah jumlah lintasan kereta yang lewat khususnya pada lintas Yogyakarta - Solo hendaknya juga diikuti dengan usaha perbaikan kondisi ballast dan subgrade secara rutin demi tercapainya kondisi yang aman dan nyaman bagi kereta yang lewat di atasnya.

7.2. Saran

Dari hasil pengamatan di lapangan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab terdahulu maka dapat

dibuat beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kondisi konstruksi jalan rel di lapangan sebaiknya menggunakan kereta ukur (*Car Recording*) sehingga didapatkan data-data kondisi konstruksi jalan rel di lapangan yang lebih akurat.
2. Setelah pelaksanaan pemadatan ballast di lapangan sebaiknya petugas PERUMKA memeriksa kembali kepadatan ballast yang telah dipadatkan tersebut.
3. Agar didapatkan keseragaman kondisi konstruksi jalan rel lintas yogyakarta - Solo, sebaiknya pada daerah Yogyakarta - Brambanan bantalan kayu yang masih digunakan diganti dengan bantalan beton.



PENUTUP

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, kami panjatkan kehadiran Allah SWT, yang dengan berkat dan rahmat-Nya jua-lah, kami dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Namun perlu disadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih memerlukan penyempurnaan.

Untuk itulah, kami berharap kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan sehingga lebih mendorong lagi, agar kami lebih giat untuk menambah ilmu pengetahuan di masa mendatang.

Tugas Akhir ini dapat kami selesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak maka sekali lagi kami ucapkan terima kasih yang tak terhingga dan semoga amal kebaikan tersebut mendapat balasan pahala dari Allah SWT.

Tidak lupa kami mohon maaf kepada bapak-bapak Dosen Pembimbing, seandainya terdapat kekhilafan-kekhilafan baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja selama dalam bimbingan penyelesaian Tugas Akhir ini.

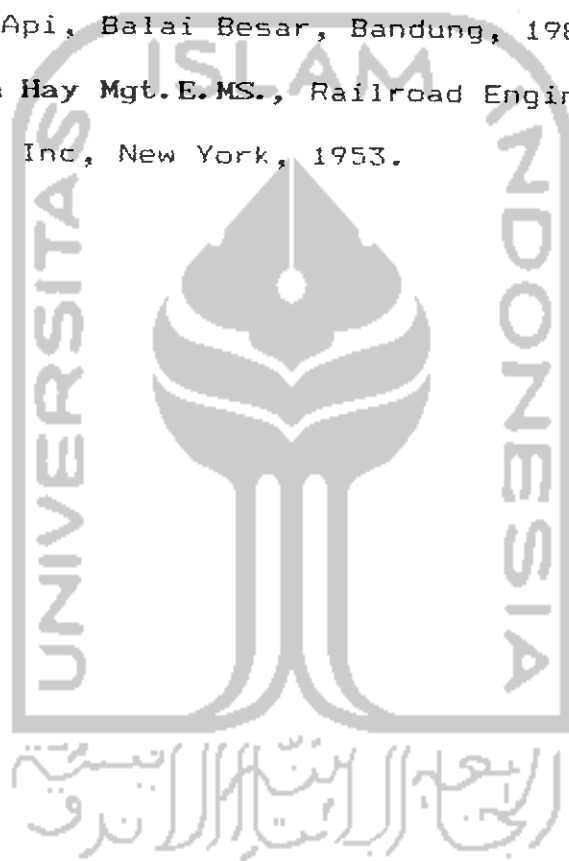
Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan senantiasa mendatangkan ridho-Nya terutama bagi kami sendiri maupun bagi pembaca sekalian.

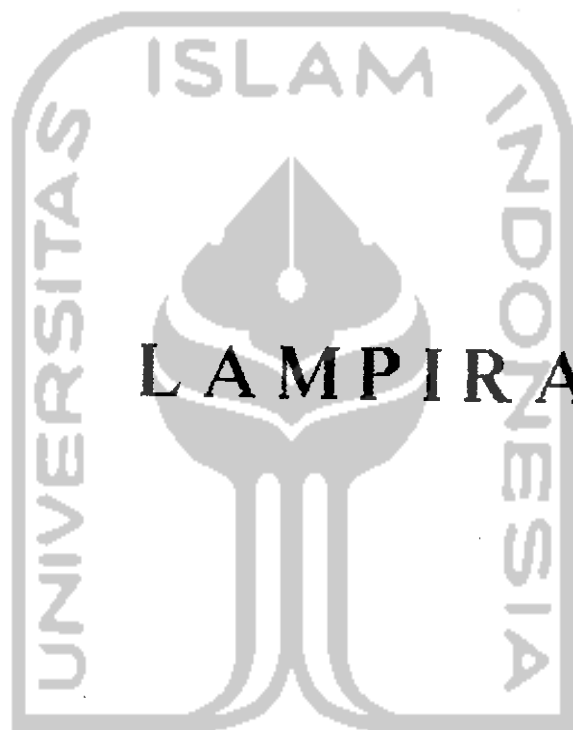
Amien yaa rabbal a'lamir

DAFTAR PUSTAKA

1. -----, Basic Track Maintenance Techniques Course atau Kursus Teknik Dasar Perawatan Jalan Rel, Perusahaan Jawatan Kereta Api, Balai Besar, Bandung, 1987.
2. Bulletin " Today ", Plasser & Theurer.
3. Djoko Murwono, Ir, Diktat Kuliah Jalan Kereta Api I & II Yogyakarta.
4. Eddy Ruslani, Ir, Konstruksi Jalan Rel Cara Eastern Region (E.R), Perusahaan Jawatan Kereta Api, Balai Besar, Bandung.
5. Imam Subarkah, Ir, Jalan Kereta Api, Idea Dharma, Bandung, 1981.
6. N.F. Doyle, Railway Track Design A Review Of Current Practise, Australian Government Publishing Service, Canberra, 1980.
7. P.B. Shahani, Railway Techniques, Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi, 1987.
8. -----, Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10), Perusahaan Jawatan Kereta Api, Balai Besar, Bandung, 1986.
9. -----, Penjelasan Peraturan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Penjelasan Peraturan Dinas No.10), Perusahaan Jawatan Kereta Api, Balai Besar, Bandung, 1986

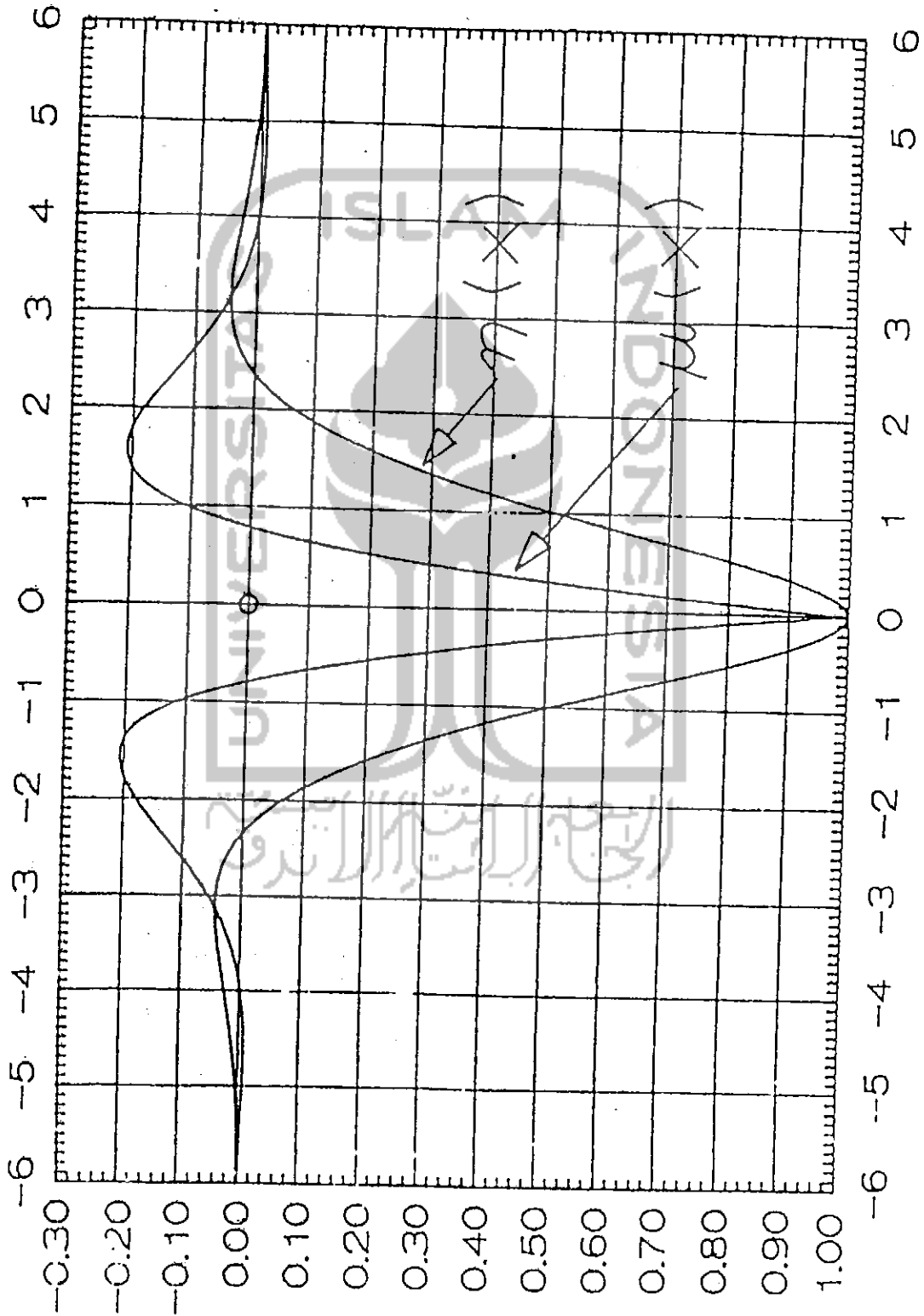
10. R. Agor, Railway Track Engineering, Khanna Publisher, New Delhi, 1990.
11. Suharso, Ir, Mekanisasi Pembangunan & Perawatan Jalan Rel, Perusahaan Jawatan Kereta Api, Bandung.
12. -----, Track And Bridge Contruction Course / Kursus Konstruksi Jalan Rel & Jembatan, Perusahaan Jawatan Kereta Api, Balai Besar, Bandung, 1987.
13. William Hay Mgt. E.M.S., Railroad Engineering, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1953.



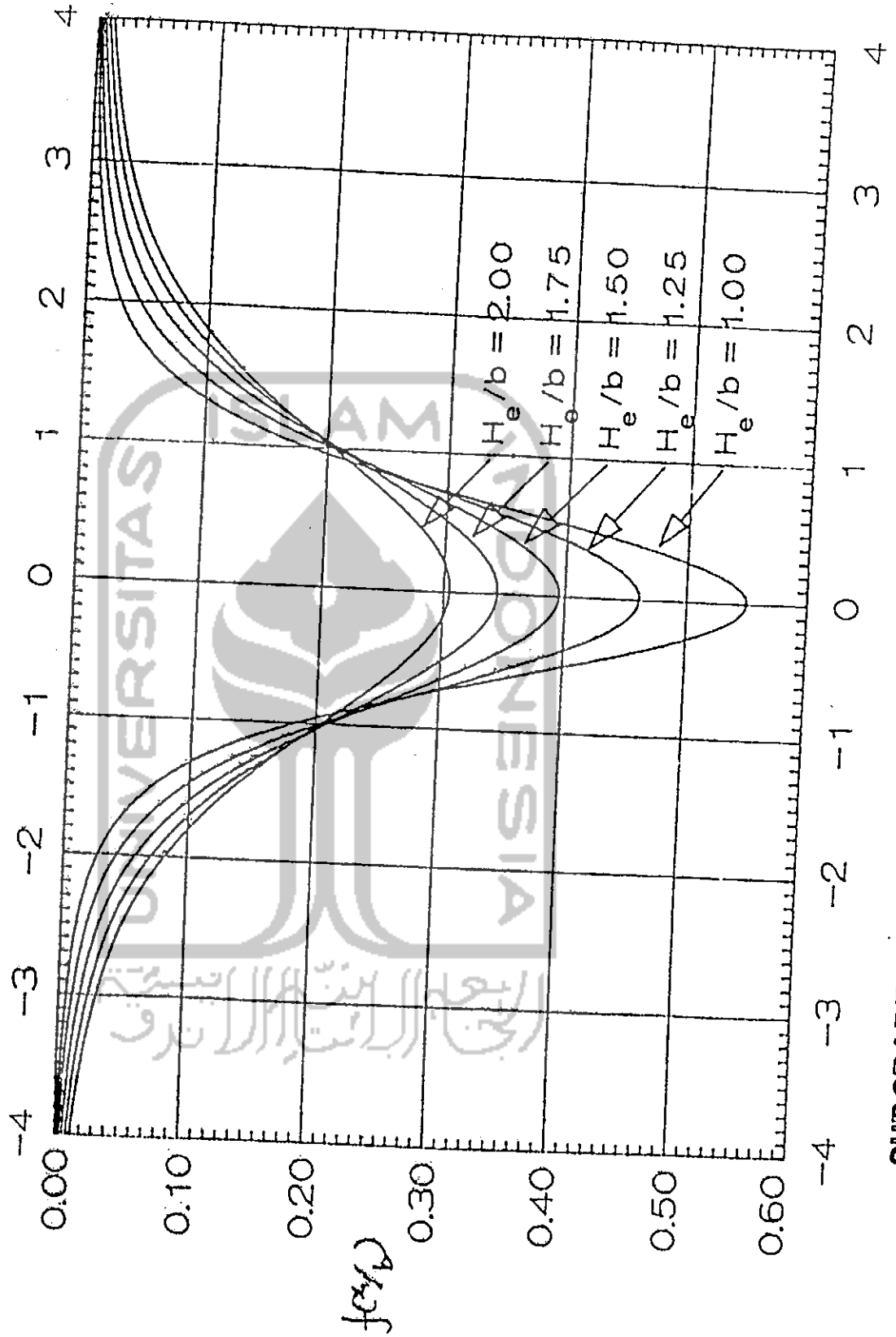


LAMPIRAN

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية



MASTER DIAGRAM $\rightarrow X/L$



SUBGRADE VERTICAL PRESSURE FUNCTION $f(x)$ $\rightarrow x/b$