

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMBANG .....	xiii
DAFTAR ISTILAH .....	xv
INTISARI.....	xviii
<i>ABSTRACT</i> .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Keaslian Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tujuan Penyelenggaraan Perkeretaapian Nasional .....	6
2.2 Penyebab <i>Derailment</i> .....	6
2.3 Laporan Audit Kecelakaan KNKT .....	8

BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Konstruksi Jalan Rel .....	12
3.1.1 Lebar jalan rel.....	13
3.1.2 Dimensi penampang rel .....	13
3.1.3 Bantalan jalan rel .....	14
3.1.4 Lengkung horizontal.....	14
3.1.5 Pelebaran jalan rel .....	15
3.1.6 Peninggian jalan rel .....	16
3.2 Kecepatan rencana .....	16
3.3 Pembebanan .....	17
3.3.1 Beban Gandar .....	17
3.3.2 Beban horizontal.....	18
3.3.3 Konfigurasi beban gandar lokomotif dan kereta .....	18
3.4 <i>Derailment</i> .....	19
3.4.1 <i>Derailment</i> akibat <i>snaking motion</i> (gaya lateral) .....	19
3.4.2 <i>Derailment</i> akibat <i>Track Twisting</i> .....	25
3.4.3 <i>Derailment</i> akibat adanya <i>transverse defect</i> .....	28
3.4.4 <i>Derailment</i> akibat <i>rail rolling</i> (gulingan rel).....	29
3.4.5 <i>Derailment</i> pada tikungan ( <i>curve</i> ) .....	30
BAB IV METODE PENELITIAN .....	33
4.1 Alur Penelitian .....	33
4.2 Kemampuan program.....	45
4.3 Bagian-bagian program.....	45
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
5.1 Tampilan Program.....	48

5.2 Proses perhitungan dan <i>output</i> program.....	53
5.2.1 Data perhitungan .....	53
5.2.2 Perhitungan <i>Nadal's Value (snaking motion)</i> .....	54
5.2.3 Perhitungan nilai <i>track twisting</i> ijin.....	59
5.2.4 Perhitungan nilai angka aman akibat <i>transverse defect</i> .....	60
5.2.5 Perhitungan angka aman terhadap <i>rail rolling</i> .....	63
5.2.6 Perhitungan angka aman pada tikungan.....	64
5.3 Validasi hitungan dengan <i>output</i> program .....	65
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	74
6.1 Kesimpulan .....	74
6.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN .....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Tabel standar dimensi konstruksi jalan rel.....	7
Tabel 3. 2	Tabel standar jari-jari tikungan berdasarkan kecepatan rencana .....	12
Tabel 3. 3	Tabel standar pelebaran jalan rel pada tikungan .....	13
Tabel 3. 4	Koefisien friksi roda dengan rel ( $\mu$ ) .....	20
Tabel 5. 1	Tabel validasi nilai output program dengan hitungan manual (Microsoft Excel) .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Konstruksi Jalan Rel pada lintasan lurus.....	12
Gambar 3. 2	Konstruksi Jalan Rel pada tikungan .....	12
Gambar 3. 5	Lebar Jalan Rel .....	13
Gambar 3. 6	Penampang rel .....	13
Gambar 3. 7	Dimensi rel .....	14
Gambar 3. 8	Distribusi beban pada 3 gandar .....	17
Gambar 3. 9	Distribusi beban pada 2 gandar .....	17
Gambar 3. 10	Konfigurasi roda pada lokomotif.....	19
Gambar 3. 11	Konfigurasi roda pada kereta.....	19
Gambar 3. 12	<i>Snaking motion</i> kereta api .....	20
Gambar 3. 13	Kondisi roda seimbang .....	22
Gambar 3. 14	Kondisi rel dengan sudut masuk.....	22
Gambar 3. 15	Kondisi rel dengan sudut keluar .....	22
Gambar 3. 16	Kondisi roda pada saat akan anjlok .....	24
Gambar 3. 17	Sketsa gaya yang bekerja pada titik kritis .....	25
Gambar 3. 18	Kondisi roda kereta api saat terjadi <i>track twisting</i> .....	26
Gambar 3. 19	Susunan <i>Boogie</i> .....	27
Gambar 3. 20	Pegas Primer dan Lendutan Pegas.....	27
Gambar 3. 21	Contoh <i>transverse defect</i> pada lapangan .....	28
Gambar 3. 22	Mekanisme <i>rail rolling</i> .....	30
Gambar 3. 23	Gaya-gaya kereta api saat berada di tikungan .....	31
Gambar 4. 1	Diagram alur penelitian .....	34
Gambar 4. 3	Diagram Alur Perhitungan Program.....	43
Gambar 4. 2	Tampilan Awal <i>Software Unity</i> .....	44
Gambar 5. 1	Tampilan Awal .....	48
Gambar 5. 2	Tampilan menu <i>Track Geometry</i> .....	49
Gambar 5. 3	Tampilan menu <i>Track Parameter</i> .....	50
Gambar 5. 4	<i>Output</i> pada menu <i>Track Parameter</i> .....	50
Gambar 5. 5	Tampilan menu <i>Train and rail parameter</i> .....	51



Gambar 5. 6	Tampilan proses simulasi pada menu <i>Analysis</i> .....	51
Gambar 5. 7	Tampilan menu <i>Summary</i> .....	51
Gambar 5. 8	Tampilan menu <i>Help</i> .....	52
Gambar 5. 9	Tampilan menu <i>About</i> .....	52
Gambar 5. 10	Tampilan menu <i>Credit</i> .....	52

## DAFTAR LAMBANG

Lambang	Arti	Dimensi
$V$	Kecepatan kereta api yang direncanakan	$LT^{-2}$
$V_{maks}$	Kecepatan maksimum yang direncanakan	$LT^{-2}$
$d_1$	Tebal <i>ballast</i>	L
$d_2$	Tebal <i>sub ballast</i>	L
$b$	Jarak tepi <i>ballast</i> (bagian atas) dan <i>center line gauge</i>	L
$C$	Jarak tepi <i>ballast</i> (bagian bawah) dan <i>center line gauge</i>	L
$e$	Peninggian pada <i>ballast</i>	L
$k_1$	Jarak tepi <i>sub ballast</i> (bagian atas) dan <i>center line gauge</i>	L
$k_2$	Jarak tepi <i>sub ballast</i> (bagian bawah) dan <i>center line gauge</i>	L
$H$	Tinggi total badan rel	L
$B$	Lebar <i>footing</i> rel	L
$C$	Lebar <i>head</i> rel	L
$E$	Tinggi <i>head</i> rel	L
$F$	Tinggi <i>footing</i> rel	L
$G$	Jarak tepi bawah <i>footing</i> dengan <i>center</i> badan rel	L
$R$	Jari-jari kelengkungan <i>head</i> dan <i>footing</i> rel	L
$A$	Luas penampang	$L^2$
$W$	Berat rel per meter	$ML^{-1}$
$I_x$	Momen inersia sumbu x	$L^4$
$Yb$	Jarak tepi bawah rel ke garis netral	L
$L_{curve}$	Panjang lengkung horizontal	L
$R_{curve}$	Jari-jari tikungan	L
$\theta$	Sudut tikungan	-
$I_p$	Faktor beban dinamis kereta	-
$P_d$	Beban dinamis kereta	$MLT^{-2}$
$P_s$	Beban statis kereta	$MLT^{-2}$
$y$	Posisi roda kereta (pada satu <i>axle</i> ) saat <i>snaking motion</i>	L
$y_o$	Celah antara sayap/ <i>flange</i> roda dan kepala rel	L

$x$	Jarak absis untuk gerakan <i>snaking motion</i>	L
$L$	Panjang gelombang <i>snaking motion</i>	L
$r$	Jari-jari roda kereta pada kondisi setimbang	L
$s$	<i>Track gauge</i>	L
$\gamma$	Konisitas roda kereta	-
$f$	Frekuensi gerakan <i>snaking motion</i>	$T^{-1}$
$Y$	Gaya <i>lateral</i>	$MLT^{-2}$
$Q$	Beban dinamis roda kereta	$MLT^{-2}$
$\beta$	Sudut persentuhan sayap roda dan kepala rel	-
$\mu$	Koefisien friksi rel	-
$\alpha$	Sudut masuk roda pada <i>snaking motion</i>	-
$A$	Amplitudo gerakan ( $y_0$ )	L
$Z_o$	Nilai <i>track twist</i>	L
$f$	Pemegasan spesifik pegas pada <i>boogie</i> kereta api	$L^2T^2M^{-1}$
$T$	Berat total 4 roda kereta	$MLT^{-2}$
$G$	<i>Dynamic Gauge</i>	L
$a$	Jarak antar pusat pegas	L
$T_w$	<i>Track twist in site</i>	L
$\Delta$	Selisih elevasi rel kanan dan kiri pada roda depan dan belakang	L
$G$	Jarak <i>center</i> roda	L
$H_s$	<i>Transverse force static</i>	$MLT^{-2}$
$H_d$	<i>Transverse force dynamic</i>	$MLT^{-2}$
$P(t)$	Beban dinamis <i>axle/gandar</i>	$MLT^{-2}$
$NT$	<i>Transverse defect</i> (perbedaan elevasi kiri dan kanan)	L
$d$	Lebar <i>footing</i> untuk titik setimbang beban roda	L
$h$	Tinggi rel	L
$h$	Peninggian jalan rel	L
$G$	<i>Track gauge</i>	L
$\alpha$	Sudut peninggian rel pada tikungan	-



## DAFTAR ISTILAH

<i>Derailment</i>	: Kejadian anjlokkan kereta api
Gaya kontak	: Gaya yang terjadi pada saat persentuhan roda kereta dan rel
<i>Creep</i>	: Pergerakan <i>longitudinal</i> rel berdasarkan gerakan lokomotif kereta.
<i>Narrow Gauge</i>	: Lebar <i>track</i> yang digunakan (1067 mm)
R54	: Profil rel yang digunakan
Kelas Jalan	: Kelas jalan rel untuk menentukan spesifikasi konstruksi
Momen Inersia	: Ukuran kelembaman suatu benda untuk berputar pada porosnya
Panjang lengkung horizontal	: Panjang lengkung horizontal yang disarankan untuk jari-jari dan sudut belokan tertentu
Pelebaran jalan rel	: Pelebaran yang disarankan untuk tikungan dengan kecepatan tertentu
Jari-jari tikungan	: Jari-jari yang dibutuhkan pada suatu tikungan untuk menahan gaya <i>sentrifugal</i> yang terjadi pada saat kereta melewati suatu tikungan
Sudut tikungan	: Sudut tikungan yang direncanakan
Peninggian jalan rel	: Peninggian jalan rel yang dibutuhkan untuk menahan gaya <i>sentrifugal</i> pada tikungan.
Kecepatan rencana	: Kecepatan yang direncanakan untuk suatu <i>track</i>
Kecepatan maksimum	: Kecepatan maksimum yang direncanakan
Beban gandar	: Beban gandar yang dihitung dari lokomotif maupun kereta
Faktor dinamis	: Faktor dinamis untuk mengonversi nilai beban gandar statis menjadi beban gandar dinamis
Gaya <i>sentrifugal</i>	: Efek semu yang ditimbulkan ketika benda melakukan gerakan melingkar

<i>Gaya lateral</i>	: Gaya yang bekerja secara lateral (sumbu y) pada <i>axle</i> /gandar kereta api.
Amplitudo getaran	: Posisi y terbesar untuk menentukan posisi pada <i>snaking motion</i> .
Konisitas roda kereta api	: Nilai sudut kekerucutan badan roda kereta api.
<i>Snaking movement</i>	: Gerakan <i>osilasi</i> secara <i>longitudinal</i> pada kereta api saat melintas
Sudut persentuhan roda dan rel	: Sudut singgung pada saat <i>flange</i> /sayap roda bersentuhan dengan kepala rel
Koefisien friksi	: Koefisien gesek lapisan permukaan kepala rel yang didasarkan kondisi rel
Sudut masuk roda	: Sudut masuk roda pada gerakan <i>snaking motion</i>
<i>Track twist</i>	: Selisih elevasi rel pada persentuhan 4 roda yang dapat menyebabkan adanya <i>off loading</i>
Defleksi spesifik pegas	: Kemampuan defleksi pemegasan untuk menahan beban roda
<i>Transverse Static Force</i>	: Gaya yang terjadi karena adanya kecacatan ( <i>defect</i> ) pada <i>track</i>
<i>Transverse Dynamic Force</i>	: Gaya dinamis yang terjadi karena faktor kecepatan dan beban saat melintas pada <i>defect track</i>
<i>Transverse Defect</i>	: Kecacatan ( <i>defect</i> ) pada <i>track</i> lurus
<i>Rail rolling</i>	: Kejadian gulingan rel akibat dimensi profil rel yang tidak memenuhi untuk menahan gaya <i>lateral</i> yang terjadi
<i>Nadal's Formula</i>	: Formula/rumus untuk menghitung nilai aman untuk kejadian <i>derailment</i>
<i>User Interface</i>	: Tampilan suatu program komputer untuk <i>User</i> (pengguna)
<i>Unity</i>	: Program komputer untuk merancang <i>software</i> berupa <i>game</i> atau simulasi

<i>Coding</i>	: <i>Code</i> yang digunakan/dirancang sebagai <i>background</i> pada program komputer
Validasi	: Suatu kegiatan untuk membandingkan nilai <i>output</i> program komputer dengan <i>output</i> metode hitungan lain
<i>Flowchart</i>	: Alur/urutan kerja untuk mencapai tujuan tertentu.
<i>Software</i>	: <i>Utility</i> (peralatan) untuk menunjang suatu pekerjaan
<i>C#</i>	: Bahasa pemrograman yang digunakan pada <i>software Unity</i>
<i>Track Geometry</i>	: Geometri lintasan
<i>Track parameter</i>	: Data-data parameter <i>track</i> yang digunakan dalam hitungan (diambil dari lapangan atau dari data perencanaan)
<i>Train parameter</i>	: Data-data parameter kereta api (beban, pegas, kondisi roda)
Frekuensi natural	: Frekuensi natural gerakan badan kereta api
Lokomotif	: Bagian kereta bagian depan yang berisi permesinan kereta untuk berjalan
Kereta	: Bagian kereta yang berisi penumpang ataupun barang
<i>Stasioning</i>	: Posisi/titik pada <i>track</i> yang ditinjau (pada sumbu x/ <i>longitudinal</i> )
Elevasi	: Ketinggian yang diukur dari <i>benchmark</i> (titik 0)
<i>Safety Factor</i>	: Nilai keamanan kereta saat melewati <i>track</i>