

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Pembatasan Masalah	6
1.6 Metodologi Penelitian	8
1.7 Sistematika Penulisan	9
1.8 Kerangka Pemikiran	10

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	11
2.1 Landasan Teori	11
2.1.1 Teori Elastisitas	11
2.1.2 Hukum Hooke	12
2.1.3 Hubungan Tegangan, Regangan dan Perpindahan	13
2.2 Teori Pelat	18
2.2.1 Teori Klasik Pelat Lentur Tipis	18
2.2.2 Beberapa Jenis Pondasi Pelat	23
2.2.3 Persamaan Diferensial Pelat	25
2.2.4 Persamaan Diferensial Pelat Di Atas Pondasi Pasternak	27
2.2.5 Persamaan Gerak Elemen Pelat	30
BAB 3 RESPONS DINAMIK STRUKTUR PERKERASAN KAKU	33
3.1 <i>Modified Bolotin Method</i> (MBM)	33
3.1.1 Penyelesaian Persamaan <i>Auxiliary</i> Pertama	37
3.1.2 Penyelesaian Persamaan <i>Auxiliary</i> Kedua	42
3.2 Solusi Homogen dan Solusi Partikuler Persamaan Gerak Pelat	46
3.2.1 Solusi Homogen	46
3.2.2 Solusi Partikuler	49
3.2.3 Fungsi Beban Dinamik	53
3.2.4 Respons Dinamik Pelat	55

BAB IV ANALISIS NUMERIK DAN HASIL ANALISIS STRUKTUR PERKERASAN KAKU	57
4.1 Parameter Penelitian	57
4.2 Beban Dinamik Roda Kendaraan	62
4.3 Hasil Numerik dan Analisis Pelat	63
4.3.1 Partisipasi Ragam Getar dan Frekuensi Alami	64
4.3.2 Kecepatan Kritis	68
4.3.3 Respons Spektra Pelat	73
4.3.4 Riwayat Waktu dan Gaya-Gaya Dalam Pelat	79
4.3.5 Pemetaan <i>Mode Shape</i> dan Defleksi Dinamik Pelat	88
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 94
5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	97
 DAFTAR PUSTAKA	 98
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Struktur Perkerasan Kaku Jalan Bebas Hambatan	1
Gambar 1.2	Struktur Perkerasan Kaku Jalan Utama	2
Gambar 1.3	Struktur Perkerasan Kaku yang Rusak	2
Gambar 1.4	Jenis Pelat Struktur Perkerasan Kaku	3
Gambar 1.5	Pelat Kaku di Atas Pondasi Pasternak dengan Beban Dinamik	4
Gambar 1.6	Denah Tiga Jalur Perkerasan Kaku Jalan Bebas Hambatan	8
Gambar 1.7	Skema 3D Penampang Pelat Beton Perkerasan Kaku	8
Gambar 2.1	Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan	12
Gambar 2.2	Benda Mengalami Regangan Lateral dan Longitudinal Akibat Gaya P ..	13
Gambar 2.3	Tegangan Pada Elemen Tiga Dimensi	14
Gambar 2.4	Deformasi Sebuah Elemen Kecil	15
Gambar 2.5	Deformasi Rotasi Sebuah Elemen Kecil	16
Gambar 2.6	Proyeksi Distorsi Sudut pada Bidang X-Y	17
Gambar 2.7	Pelat Persegi Panjang Memikul Gaya Lateral	18
Gambar 2.8	Elemen Kecil Pelat	19
Gambar 2.9	Penampang Pelat Sebelum dan Sesudah Deformasi	20
Gambar 2.10	Distorsi Sudut Penampang Pelat	21
Gambar 2.11	Skema Pondasi Winkler	23
Gambar 2.12	Skema Pondasi Pasternak	24
Gambar 2.13	Skema Pondasi Kerr	24
Gambar 2.14	Keseimbangan Gaya-Gaya pada Sebuah Elemen Kecil Pelat	25
Gambar 2.15	Gaya-Gaya Dalam dan Luar Di Pusat Elemen Pelat	25

Gambar 2.16	Reaksi Pegas Linier Pondasi Jenis Winkler	27
Gambar 2.17	Reaksi Pegas Linier Pondasi Jenis Pasternak	28
Gambar 2.18	Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam Vertikal Elemen Lapisan Geser	29
Gambar 2.19	Deformasi Vertikal Elemen Lapisan Geser	29
Gambar 2.20	Gaya-Gaya pada Pusat Massa Elemen Pelat Berukuran dx, dy dan Tebal h	31
Gambar 3.1	Pelat Dengan Kondisi Tumpuan Jepit Elastis (<i>Elastic Support And Restraint, ES-R</i>) Di Sisi $X = 0$ Dan Sisi $X = A$	37
Gambar 3.2	Pelat Dengan Kondisi Tumpuan Jepit Elastis (<i>Elastic Support And Restraint, ES-R</i>) Di Sisi $Y = 0$ Dan Sisi $Y = B$	42
Gambar 4.1	Lendutan yang Terjadi Antara Dua Pelat W_d Akibat Beban P_t yang Bekerja pada Tengah <i>Dowel</i>	60
Gambar 4.2	Frekuensi Alami Sistem Studi Kasus [1], [2] dan [3]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $V = 90$ km/jam	64
Gambar 4.3	Kecepatan Kritis Studi Kasus [1] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	70
Gambar 4.4	Kecepatan Kritis Studi Kasus [2] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	70
Gambar 4.5	Kecepatan Kritis Studi Kasus [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	71
Gambar 4.6	Kecepatan Kritis Studi Kasus [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	71
Gambar 4.7	Kecepatan Kritis Studi Kasus [1] dan [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	72
Gambar 4.8	Kecepatan Kritis Studi Kasus [1] [2] [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3 ..	72
Gambar 4.9	Respons Spektra Studi Kasus [1] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	76
Gambar 4.10	Respons Spektra Studi Kasus [2] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	76
Gambar 4.11	Respons Spektra Studi Kasus [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3	77
Gambar 4.12	Respons Spektra Studi Kasus [1] dan [2] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3 ..	77

Gambar 4.13	Respons Spektra Studi Kasus [1] dan [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3 .	78
Gambar 4.14	Respons Spektra Studi Kasus [1] [2] [3] untuk Alfa (α) = 1/3, 1/2, 2/3 ...	78
Gambar 4.15	Riwayat Waktu. Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [1] di Pusat Pelat pada Interval Waktu $0 \leq t \leq t_0$	82
Gambar 4.16	Riwayat Waktu. Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [2] di Pusat Pelat pada Interval Waktu $0 \leq t \leq t_0$	83
Gambar 4.17	Riwayat Waktu. Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [3] di Pusat Pelat pada Interval Waktu $0 \leq t \leq t_0$	84
Gambar 4.18	Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [1] Akibat Beban Bergerak pada Saat $t = 0,1000$ detik	85
Gambar 4.19	Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [2] Akibat Beban Bergerak pada Saat $t = 0,0996$ detik	86
Gambar 4.20	Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [3] Akibat Beban Bergerak pada Saat $t = 0,1000$ detik	87
Gambar 4.21	Ragam Getar <i>Mode</i> (1,1) sampai (3,3) akibat Beban Dinamik $P_0 = 80$ kN, $V = 90$ km/jam, <i>dowel</i> 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $\text{Acc} = 0$ m/det ² , $\zeta = 5$ %, posisi $x = a/2$ dan $y = b/2$ pada Saat $t = 0,1000$ detik	88
Gambar 4.22	Ragam Getar <i>Mode</i> (1,1) sampai (3,3) akibat Beban Dinamik $P_0 = 80$ kN, $V = 90$ km/jam, <i>dowel</i> 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $\text{Acc} = 2$ m/det ² , $\zeta = 5$ %, posisi $x = a/2$ dan $y = b/2$ pada Saat $t = 0,0996$ detik	89

- Gambar 4.23** Ragam Getar *Mode* (1,1) sampai (3,3) akibat Beban Dinamik
 $P_0 = 80 \text{ kN}$, $V = 90 \text{ km/jam}$, *dowel* 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100 \text{ rad/det}$,
 $\text{Acc} = 0 \text{ m/det}^2$, $\zeta = 0 \%$, posisi $x = a/2$ dan $y = b/2$
pada Saat $t = 0,10000$ detik 90
- Gambar 4.24** Urutan Bentuk Defleksi Dinamik Total Pelat Beton
Persegi Panjang Orthotropik akibat Beban $P_0 (1 + 0.5\cos \omega t)$,
 $P_0 = 80 \text{ kN}$, $V = 90 \text{ km/jam}$, *dowel* 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100 \text{ rad/det}$,
 $\text{Acc} = 0 \text{ m/det}^2$, $\zeta = 5\%$ pada Interval Waktu $0 < t < t_0$91
- Gambar 4.25** Urutan Bentuk Defleksi Dinamik Total Pelat Beton
Persegi Panjang Orthotropik akibat Beban $P_0 (1 + 0.5\cos \omega t)$,
 $P_0 = 80 \text{ kN}$, $V = 90 \text{ km/jam}$, *dowel* 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100 \text{ rad/det}$,
 $\text{Acc} = 2 \text{ m/det}^2$, $\zeta = 5\%$ pada Interval Waktu $0 < t < t_0$92
- Gambar 4.26** Urutan Bentuk Defleksi Dinamik Total Pelat Beton
Persegi Panjang Orthotropik akibat Beban $P_0 (1 + 0.5\cos \omega t)$,
 $P_0 = 80 \text{ kN}$, $V = 90 \text{ km/jam}$, *dowel* 22 mm, $\omega_{\text{beban}} = 100 \text{ rad/det}$,
 $\text{Acc} = 0 \text{ m/det}^2$, $\zeta = 0\%$ pada Interval Waktu $0 < t < t_0$93

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Parameter dan Kombinasi Satuan	57
Tabel 4.2	Parameter dari Pelat Beton	59
Tabel 4.3	Konstanta Pegas k dan Geser G_s dari Pondasi Pasternak	62
Tabel 4.4	Kasus Variasi Alfa (α) dan Variasi Rasio Redaman	63
Tabel 4.5	Partisipasi Ragam Studi Kasus [1]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $V = 90$ km/jam, $\text{Acc} = 0$ m/det ² , Rasio Redaman Kritis $\zeta = 5\%$	65
Tabel 4.6	Partisipasi Ragam Studi Kasus [2]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $V = 90$ km/jam, $\text{Acc} = 2$ m/det ² , Rasio Redaman Kritis $\zeta = 5\%$	66
Tabel 4.7	Partisipasi Ragam Studi Kasus [3]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det, $V = 90$ km/jam, $\text{Acc} = 0$ m/det ² , Rasio Redaman Kritis $\zeta = 0\%$	67
Tabel 4.8	Lendutan Absolut Kecepatan Kritis [1] [2] [3]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $\omega_{\text{beban}} = 100$ rad/det	69
Tabel 4.9	Respons Spektra [1] [2] [3]. Parameter Beban $P_0 = 80$ kN, $V = 90$ km/jam	74
Tabel 4.10	Riwayat Waktu Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [1] [2] [3] di Pusat Pelat pada Waktu $0 \leq t \leq t_0$	81
Tabel 4.11	Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [1] [2] [3] Akibat Beban Bergerak pada Saat t (detik)	81

DAFTAR NOTASI

a	= Dimensi pelat di arah sumbu x
b	= Dimensi pelat di arah sumbu y
a_0, b_0	= Konstanta koefisien yang berhubungan dengan kondisi awal pelat
a_{ij}, b_{ij}	= Konstanta elemen-elemen matriks $\{A\}$ dan $\{B\}$
$\{A_i\}$	= Matriks syarat batas fungsi posisi $X(x)$
$\{B_i\}$	= Matriks syarat batas fungsi posisi $Y(y)$
A_d	= Luas penampang <i>dowel</i>
c	= Konstanta redaman
c_R	= Konstanta redaman kritis
$k_{sx1}, k_{sx2}, k_{sy1}, k_{sy2}$	= Konstanta kekakuan translasi vertikal elastis tepi pelat
d_d	= Diameter <i>dowel</i>
D, D_x, D_y, D_{xy}, D_t	= Ketegaran lentur dan puntir pelat orthotropik
E, E_x, E_y	= Modulus elastisitas pelat di sumbu utama
E_x', E_y', E''	= Modulus elastisitas ekuivalen pelat orthotropik
$k_{rx1}, k_{rx2}, k_{ry1}, k_{ry2}$	= Konstanta kekakuan rotasi elastis tepi pelat
f_i	= Fungsi frekuensi
f_y	= Tegangan leleh baja tulangan
f_c'	= Kekuatan tekan beton (silinder)
g	= Lebar celah (<i>gap</i>) pada sambungan antara dua pelat pekerasan kaku
G	= Modulus geser bahan pelat beton
G_d	= Modulus geser bahan <i>dowel</i>
G_s	= Konstanta lapisan geser pondasi Pasternak
G_{xy}	= Konstanta kekakuan puntir pelat
$G(t)$	= Fungsi Green
h	= Tebal pelat beton
I, I_d	= Momen inersia penampang, indeks d untuk <i>dowel</i>
k	= Konstante pegas vertikal elastis pondasi Winkler dan Pasternak
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	= Akar-akar persamaan karakteristik fungsi posisi $X(x)$ dan $Y(y)$
K	= Konstanta pegas Winkler di sekitar <i>dowel</i>

L	= Panjang <i>dowel</i>
L_d	= Panjang <i>dowel</i> yang tertanam dalam pelat
L_s	= Panjang sisi pelat yang menggunakan <i>dowel</i>
M_x, M_y, M_{xy}	= Gaya dalam momen sesuai indeks
V_x, V_y, V_{xy}	= Gaya dalam geser sesuai indeks
(m, p)	= Indeks integer (<i>frequency number</i>), mode di arah x dengan $m > 1$
(p, q)	= Indeks integer (<i>frequency number</i>), mode di arah y dengan $n > 1$
$P(x, y)$	= Beban transversal di atas permukaan pelat
$P(x, y, t)$	= Fungsi beban transversal di atas permukaan pelat
p	= Tegangan yang bekerja pada bidang kontak
(p, q)	= Pasangan bilangan riil pengganti bilangan bulat (m, n) , Penunjuk setengah gelombang sinus dalam <i>Modified Bolotin Method</i> (MBM)
$P_z(x, y, t)$	= Beban dinamik transversal di atas permukaan pelat
P_0	= Beban tengah ekuivalen rata-rata dari beban kendaraan
P_t	= Beban terpusat pada tengah sambungan <i>dowel</i>
Q_{mn}, Q_{pq}	= Konstanta normalisasi
S_d	= Jarak antara <i>dowel</i>
$T(t)$	= Fungsi <i>temporal</i> lendutan
$\dot{T}(t)$	= Fungsi <i>temporal</i> kecepatan
u, v, w	= Lendutan bidang pelat di arah sumbu x, y dan z
V	= Kecepatan gerak beban di arah x
V_0	= Kecepatan awal beban di arah x
Acc	= Akselerasi (percepatan) beban di arah x
$w_{pq}(x, y, t), w_d$	= Fungsi lendutan pelat, lendutan <i>dowel</i> di arah sumbu z
$W, W(x, y), X(x), Y(y)$	= Fungsi <i>spatial</i> , fungsi <i>spatial</i> lendutan, fungsi posisi di arah x dan di arah y
$X_{pq}(x), Y_{pq}(y)$	= Fungsi posisi di arah x dan di arah y
x, y, z	= Harga-harga variabel posisi dalam sistem koordinat kartesian
x_0, y_0	= Posisi konstan dalam sistem koordinat kartesian
α_{ij}	= Koefisien penyelesaian fungsi $X(x)$

β_{ij}	= Koefisien penyelesaian fungsi $Y(y)$
β, θ	= Konstanta pemisah sistem
β_d	= Kekakuan relatif <i>dowel</i>
$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$	= Regangan aksial (<i>normal strain</i>) di arah sumbu x
$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$	= Regangan aksial (<i>normal strain</i>) di arah sumbu y
$\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$	= Regangan aksial (<i>normal strain</i>) di arah sumbu z
$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$	= Regangan geser (<i>shear strain</i>)
ζ	= Rasio redaman (c/c_R)
$\delta(\cdot)$	= Fungsi Dirac Delta
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	= Tegangan normal di arah sumbu x, y dan z
τ_{xy}	= Tegangan geser
ν, ν_x, ν_y	= Poisson's <i>ratio</i> (sesuai arah sumbu yang ditunjuk indeks)
$\nabla^2 = \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right]$	= Operator Laplace
$\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2 = \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right]^2$	= Operator biharmonik
γ	= Redaman <i>viscous</i> ekuivalen pelat
γ_m	= Berat jenis pelat beton
$\pi = 3.14159\dots$	= Konstanta PI
t, τ	= Variabel waktu
$\omega, \omega_{\text{beban}}$	= Frekuensi beban dinamik
ω_{ij}	= Frekuensi alami pelat <i>mode</i> (i,j)
ω_D	= Frekuensi sistem dengan redaman
ρ_m	= Massa jenis pelat beton