

**PENERAPAN METODE ELEMEN BATAS PADA  
INTERAKSI DINAMIK BALOK DIATAS MEDIUM  
ELASTIK DENGAN BEBAN HARMONIK**

**TESIS**



**Oleh:  
FRANKY KURNIAWAN  
2013831016**

**PEMBIMBING:  
Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2018**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENERAPAN METODE ELEMEN BATAS PADA INTERAKSI DINAMIK  
BALOK DIATAS MEDIUM ELASTIK DENGAN BEBAN HARMONIK**



**Oleh :**

**Franky Kurniawan**

**2013831016**

**Disetujui Untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari/Tanggal:**

**Kamis, 11 Januari 2018**

**Pembimbing Tunggal**

**Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2018**

## Pernyataan

Yang bertandatangan dibawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut :

Nama : Franky Kurniawan  
Nmor Pokok Mahasiswa : 2013831016  
Program Studi : Magister Teknik Sipil  
Sekolah Pascasarjana  
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul :

Penerapan Metode Elemen Batas pada Interaksi Dinamik pada Balok Diatas  
Medium Elastik dengan Beban Harmonik

adalah benar-benar karya saya sendiri dibawah bimbingan Pembimbing, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung  
Tanggal : 11 Januari 2018

---

Franky Kurniawan

**PENERAPAN METODE ELEMEN BATAS PADA INTERAKSI DINAMIK  
PADA BALOK DIATAS MEDIUM ELASTIK DENGAN BEBAN  
HARMONIK**

**Franky Kurniawan (NPM : 2013831016)  
Pembimbing : Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.  
Magister Teknik Sipil  
Bandung  
Januari 2018**

**ABSTRAK**

Pada penulisan tesis ini dipelajari analisis interaksi dinamik balok diatas medium elastik akibat beban harmonik. penerapan metode elemen batas dengan studi kasus balok yang terletak diatas medium elastik. Material balok dan medium elastik dianggap homogen dan bersifat linear elastik dan balok dimodelkan dengan panjang berhingga dimana beban terpusat harmonik bekerja pada tengah bentang balok sedangkan medium elastik merupakan medium *half space*.

Analisa dilakukan dengan memodelkan medium elastik dengan metode elemen batas dan balok dengan metode elemen hingga sehingga didapatkan dua persamaan dari dua metode tersebut. Melalui persamaan kompatibilitas dan persamaan keseimbangan, kedua persamaan tersebut dapat digabungkan sehingga didapatkan gaya interaksi antara balok dan medium elastik. Setelah mendapatkan gaya interaksi kemudian dapat dihitung peralihan dan gaya dalam.

Dalam studi ini, dilakukan studi parameter yaitu dengan memvariasikan parameter modulus elastisitas tanah dan frekuensi beban. Kesimpulan yang didapat adalah bahwa metode elemen batas dapat diterapkan pada kasus balok diatas medium elastik. Penerapan metode elemen batas yang digabungkan dengan metode elemen hingga membuat perhitungan lebih efisien, karena diskretisasi hanya cukup dilakukan pada bidang kontak antara balok dan medium elastik. Dengan memodelkan medium elastik dengan metode elemen batas juga membuat redaman radiasi termodelkan secara eksak. Pada frekuensi beban yang ditinjau didapatkan amplitudo peralihan membesar 1.3 kali hingga 1.5 kali , amplitudo momen membesar 1.3 kali hingga 1.6 kali, sedangkan amplitudo gaya lintang membesar 1.2 kali hingga 1.3 kali untuk nilai frekuensi beban yang membesar 3 kali semula. Dan Amplitudo peralihan membesar 2.1 kali hingga 2.3 kali, Amplitudo momen membesar 1.75 hingga 1.9 kali, sedangkan amplitudo gaya lintang membesar 1.6 hingga 1.8 kali untuk frekuensi beban yang membesar 6x dari nilai semula. Dan pada modulus elastisitas yang dinaikkan 2 kali dari nilai semula didapatkan amplitudo peralihan mengecil 0.25 kali hingga 0.4 kali, dan amplitudo momen mengecil 0.25 kali hingga 0.35 kali, sedangkan amplitudo gaya lintang mengecil 0.6 hingga 0.7 kali dibandingkan dengan nilai frekuensi beban yang sama. Untuk mengetahui apakah metode yang diterapkan memberikan hasil yang valid, dilakukan pula perbandingan dengan hasil analisis balok diatas medium elastik akibat beban statik dengan metode elemen hingga dengan bantuan program komputer SAP 2000, dimana dari pemeriksaan tersebut didapatkan selisih hasil peralihan antara kedua metode berkisar 2% hingga 6% sehingga dapat disimpulkan metode yang dipakai telah mampu menyajikan hasil yang valid.

Kata Kunci : Metode Elemen Batas, Metode elemen hingga, Beban Harmonik, Gaya Interaksi.

# **APPLICATION OF BOUNDARY ELEMENT METHOD ON DYNAMIC INTERACTION IN THE CASE OF BEAM ON ELASTIC MEDIUM WITH HARMONIC LOADING**

**Franky Kurniawan (NPM : 2013831016)**  
**Advisor : Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**  
**School of Postgraduate of Civil Engineering**  
**Bandung**  
**January 2018**

## **ABSTRACT**

This thesis discuss application of boundary element method with case studies for beam resting on elastic medium. Beam and medium elastic medium considered as homogen material with linear elastic behaviour and beam modeled with finite span with harmonic point loading applied on midspan of the beam. and elastic medium also considered as half space.

Analysis done with modeled the elastic medium with boundary element method, and the beam modeled with finite element method. Therefore two equation are obtained from two equations. Through the compatibility equations, the two equations can be combined so that interaction forces can be computes. After getting interaction forces then the displacement and the internal forces also can be computes.

In this study, the parameter study is done by varying the modulus of soil elasticity and load frequency. It can be concluded that the boundary element method can be applied for the case of beam on elastic medium. Application of combined boundary element method and finite element method make calculation more efficient, because discretisation are only applied on interface between beam and elastic medium. By modeled elastic medium with boundary element also possible to modeled the real condition of radiation damping. At the frequencies that are considered, amplitude of displacement value are greater 1.3 times to 1.5 times, amplitude of moment value are greater 1.3 times to 1.6 times, and amplitude of axial force value are greater 1.2 times to 1.3 times for frequencies are greater 3 times than initial value. Also amplitude of displacement value are greater 2.1 times to 2.3 times, amplitude of moment value are greater 1.75 times to 1.9 times, and amplitude of axial force value are greater 1.6 times to 1.8 times with the value of frequencies 6 times greater than the initial value. And in the elastic modulus under consideration, the amplitude of displacement value are smaller 0.25 times to 0.4 times, amplitude of moment value are smaller 0.25 times to 0.35 times, and amplitude of axial force value are smaller 0.6 times to 0.7 times for modulus elasticity value 2 times greater than the initial value. Verification also done with finite element method with SAP 2000 software by modeled beam on medium elastic with static point load, from the comparison, it shown error of two methods are between 2% to 6% on displacement. By the checked, it can be conclude that the used method have performed valid results.

*Keywords : Boundary Element Method, Finite Element Method, Harmonic Loading, Interaction Equation*

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yesus karena atas karunia dan rahmat-Nya sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Tesis yang berjudul “Penerapan Metode Elemen Batas pada Interaksi Dinamik pada Balok Diatas Medium Elastik dengan Beban Harmonik” dibuat sebagai prasyarat untuk menyelesaikan program pendidikan magister (S-2) pada Program Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam pembuatan tesis ini penulis mendapatkan banyak kendala dan masalah selama penyusunan tesis ini, namun semua kendala dan masalah yang ada dapat diatasi berkat bantuan dari pihak pihak terkait yang telah membantu penulis.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas sebesar besarnya kepada:

1. Pimpinan PT. Recta Optima Bapak P. Rudyanto Herlambang, ST., M.Sc. dan Bapak Hansen Setiawan, ST., yang telah mendukung penuh penulis selama ini untuk memungkinkan penulis menempuh dan menyelesaikan studi di Sekolah Pascasarjana UNPAR.
2. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya. Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan sejak studi literatur, memberikan masukan, arahan dan meluangkan waktu untuk mengkoreksi penulis dalam penyusunan tesis ini.

3. Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D selaku komite tesis, dan Ibu Dr-Ing.Dina Rubiana Widarda selaku komite tesis dan komite jurnal mekanika UNPAR.

Dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu dengan kelapangan dan keterbukaan, penulis siap menerima masukan, kritik, dan saran dari para pembaca ataupun penagamat, agar karya ilmiah ini dapat terus berkembang kearah yang lebih baik dan dapat menjadi tolak ukur serta bagi penelitian selanjutnya.

Akhir kata mengutip apa yang dikatakan oleh Pramoedya Ananta Toer bahwa “Orang boleh pandai setinggi langit, tapi selama ia tidak menulis, ia akan hilang didalam masyarakat dan dari sejarah. Menulis adalah bekerja untuk keabadian”. Semoga tesis ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Bandung, 11 Januari 2018

Penulis

Franky Kurniawan

# DAFTAR ISI

**ABSTRAK**

**ABSTRACT**

**KATA PENGANTAR..... i**

**DAFTAR ISI..... iii**

**DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN..... vi**

**DAFTAR GAMBAR..... ix**

**DAFTAR TABEL ..... xii**

**DAFTAR LAMPIRAN..... xiv**

**BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1**

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.1.1 Permasalahan dan Metoda..... 1

1.1.2 Balok diatas Medium Elastik ..... 4

1.2 Tujuan Penulisan ..... 5

1.3 Ruang Lingkup Penulisan ..... 5

1.4 Metodologi Analisis ..... 5

1.5 Sistematika Penulisan..... 6

**BAB 2 METODE ELEMEN BATAS UNTUK ELASTODINAMIK..... 7**

2.1 Persamaan Integral untuk Elastodinamik ..... 7



2.2	Diskretisasi .....	10
2.3	Persamaan Elemen Batas .....	11
2.4	Permodelan Medium Elastik dengan Elemen Batas.....	13
<b>BAB 3 PERUMUSAN ELEMEN HINGGA .....</b>		<b>15</b>
3.1	Pendahuluan .....	15
3.2	Persamaan Gerak Sistem Akibat Beban Harmonik.....	16
3.3	Persamaan Interaksi .....	21
3.4	Kondensasi .....	23
<b>BAB 4 STUDI KASUS BALOK DIATAS MEDIUM ELASTIK .....</b>		<b>25</b>
4.1	Pendahuluan .....	25
4.2	Diskretisasi Struktur Balok .....	28
4.3	Verifikasi dengan Bantuan Program Komputer SAP 2000.....	31
4.4	Studi Kasus dengan Variasi Parameter.....	35
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN A SOLUSI FUNDAMENTAL AKIBAT BEBAN HARMONIK</b>		
.....		<b>LA-1</b>
A.1	Pendahuluan .....	LA-1
A.2	Solusi Akibat Beban Satu Satuan pada $(0,0,-c)$ .....	LA-4

A.3	Solusi Akibat Beban Ganda pada (0,0,-c) .....	LA-5
A.4	Solusi Akibat Pusat Tekan Dinamik pada (0,0,-c) .....	LA-6
A.5	Solusi Akibat Beban Satu Satuan pada Pusat Tekan $Z = -c$ sampai $Z = -\infty$ LA-6	
A.6	Solusi Akibat <i>Dynamic Doublet</i> pada (0,0,-c).....	LA-9

**LAMPIRAN B PERHITUNGAN DENGAN  $E_s=25\text{MPa}$  dan  $E_s=50\text{MPa}$   
DENGAN  $\omega=60 \text{ rad/det}$ .....LB-1**

B.1	Pendahuluan .....	LB-1
B.2	Perhitungan.....	LB-2
B.2.1	Menghitung Matriks Massa.....	LB-2
B.2.2	Menghitung Matriks Kekakuan .....	LB-4
B.2.3	Menghitung Matriks Kekakuan Dinamik dan Kondensasi .....	LB-6
B.2.4	Menghitung Solusi Fundamental .....	LB-8
B.2.5	Menghitung Matriks Beban Nodal Ekuivalen.....	LB-110

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A$	= Luas penampang
$b$	= Lebar penampang balok
$b_i$	= <i>body force</i>
$b_i(x,t,\Omega)$	= vektor <i>body force</i>
$\underline{\underline{B}}$	= Matriks regangan peralihan
$B_i(x)$	= Amplitudo beban
$\underline{\underline{E}}$	= Matriks konstitutif yang dibentuk oleh modulus elastisitas material
$E$	= Modulus elastistas balok
$E_s$	= Modulus elastistas tanah
$e$	= bilangan natural
$\underline{f}_{mn}$	= vektor momen ujung jepit
$\underline{f}_n$	= vektor gaya nodal ekuivalen elemen
$\underline{F}$	= vektor gaya nodal ekuivalen balok
$ G $	= Jacobian
$I$	= bilangan imajiner
$I_y$	= Momen inersia penampang balok
$i$	= arah koordinat
$\underline{\underline{K}}$	= matriks kekakuan balok
$\underline{\underline{k}}_n$	= matriks kekakuan elemen
$L$	= panjang elemen

$\underline{\underline{M}}$	= matriks massa balok
$\underline{\underline{m_n}}$	= matriks massa elemen
$\underline{\underline{N}}$	= matriks <i>shape function</i>
$N$	= jumlah elemen
$P_i(\underline{x}, \omega)$	= amplitudo traksi di titik $\underline{x}$ diarah $i$
$P_{ij}^*(\xi, \underline{x}, \omega)$	= penyelesaian fundamental untuk traksi
$\underline{P}$	= vektor gaya luar
$\underline{u_b}$	= vektor peralihan balok fungsi frekuensi beban dan waktu
$\underline{U_b}$	= vektor peralihan balok
$u_i$	= peralihan
$u_i(\underline{x}, t)$	= peralihan <i>steady state</i>
$U_i(\underline{x}, \omega)$	= amplitudo peralihan fungsi frekuensi dan koordinat
$U_{ij}^*(\xi, \underline{x}, \omega)$	= penyelesaian fundamental untuk peralihan
$\underline{U_s}$	= vektor peralihan titik diskret pada tanah
$T$	= gaya interaksi per satuan panjang
$\underline{T_s}$	= vektor gaya interaksi titik diskret pada tanah
$\underline{T_{sn}}$	= vektor traksi titik diskret pada elemen
$V$	= volume
$w_1$	= koefisien bobot untuk integrasi numerik
$X$	= koordinat lokal
$\Delta(\xi, \underline{x})$	= beban sebesar dirac delta
$\underline{\underline{\phi}}$	= matriks interpolasi untuk perpindahan dan gaya traksi

$\xi$	= vektor koordinat titik dimana dikerjakan <i>body force</i> harmonik dengan amplitudo sebesar dirac delta.
$\Gamma$	= batas / <i>boundary</i>
$\Omega$	= domain interior
$\lambda, \mu$	= <i>Lame constant</i>
$\rho$	= Massa jenis material
$\nu$	= <i>Rasio Poisson</i>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Model dinamik tanah (Roesset, 1980) .....	2
1.2 Model balok diatas medium elastik dengan beban harmonik terpusat .....	4
2.1 Benda padat dengan domain $\Omega$ dan batas $\Gamma$ .....	7
2.2 Diskretisasi bidang kontak balok dan <i>half space</i> .....	10
2.3 Koordinat lokal pada suatu elemen balok .....	11
3.1 Derajat kebebasan dan titik nodal pada elemen balok (Cook et al, 2002)	16
3.2 Beban nodal ekuivalen dari elemen pertama dari kedua elemen yang saling beredampingan .....	20
3.3 Beban nodal ekuivalen dari elemen kedua dari kedua elemen yang saling beredampingan .....	20
3.4 Traksi pada balok dan tanah.....	22
4.1 Hubungan peralihan nilai real dan imajiner terhadap nilai R atau amplitudo peralihan.....	27
4.2 Amplitudo peralihan (mm) pada setiap titik nodal elemen antara variasi jumlah diskretisasi elemen pada balok.....	29
4.3 Momen (N-m) pada setiap titik nodal elemen antara variasi diskretisasi pada balok .....	29
4.4 Penentuan dimensi model dengan elemen hingga untuk balok diatas medium elastik untuk verifikasi dengan bantuan program komputer SAP 2000.....	32
4.5 Permodelan dengan elemen hingga untuk balok diatas medium elastik untuk verifikasi dengan bantuan program komputer SAP 2000 .....	33

4.6	Perbandingan nilai peralihan pada titik titik nodal antara metode elemen hingga dan metode elemen batas pada setiap titik diskret .....	34
4.7	Amplitudo peralihan (mm) pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas 25 MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 10 rad/det.....	36
4.8	Momen pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastistas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 10 rad/det.....	36
4.9	Gaya Lintang pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50 MPa dan frekuensi beban 10 rad/det.....	37
4.10	Amplitudo peralihan (mm) pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 30 rad/det .....	38
4.11	Momen (N-m) pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50 MPa dan frekuensi beban 30 rad/det.....	39
4.12	Gaya lintang (N) pada setiap titik nodal elemen pada modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 30 rad/det.....	39
4.13	Amplitudo peralihan (mm) pada modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 60 rad/det.....	41
4.14	Momen (N-m) pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 60 rad/det.....	41
4.15	Gaya lintang (N) pada setiap titik nodal elemen pada modulus elastisitas tanah 25MPa dan 50MPa dan frekuensi beban 60 rad/det.....	42
4.16	Amplitudo peralihan (mm) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 25MPa .....	42
4.17	Amplitudo peralihan (mm) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 50MPa .....	43

4.18	Bidang momen (N-m) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 25MPa .....	44
4.19	Bidang momen (N-m) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 50MPa .....	45
4.20	Gaya lintang (N) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 25MPa .....	46
4.21	Gaya lintang (N) pada setiap titik nodal elemen pada variasi frekuensi beban dengan modulus elastisitas tanah 50MPa .....	47
A.1	Parameter parameter koordinat dalam ruang semi tak hingga yang digunakan dalam menghitung solusi peralihan Banerjee dan Mamoon	LA-2
A.2	Batas integrasi numerik untuk solusi A5 .....	LA-8



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1	Tabel variasi nilai modulus elastisitas tanah berdasarkan jenis tanah (Das, 2007) ..... 25
4.2	Tabel variasi nilai modulus elastisitas tanah berdasarkan jenis tanah (Burk Look-2013)..... 26
4.3A	Hasil Analisis pada setiap titik diskret pada frekuensi antara model 4 elemen dan 6 elemen..... 30
4.3B	Hasil Analisis pada setiap titik diskret pada frekuensi antara model 6 elemen dan 8 elemen..... 30
4.4	Hasil perbandingan peralihan pada setiap titik nodal elemen antara Metode Elemen Hingga dan Metode Elemen Batas pada setiap titik diskret ..... 33
4.5	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 25MPa dan frekuensi beban 10 rad/det..... 35
4.6	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas tanah 50MPa dan frekuensi beban 10 rad/det..... 35
4.7	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas 25MPa dan frekuensi beban 30 rad/det..... 37
4.8	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas 50MPa dan frekuensi beban 30 rad/det..... 38
4.9	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas 25MPa dan frekuensi beban 60 rad/det..... 40

4.10	Amplitudo peralihan dan reaksi pada setiap titik nodal elemen dengan modulus elastisitas 50MPa dan frekuensi beban 60 rad/det.....	40
------	--	----

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A	SOLUSI FUNDAMENTAL AKIBAT BEBAN HARMONIK.....LA-1
B	PERHITUNGAN DENGAN $E_s=25\text{MPa}$ DAN $E_s=50\text{MPa}$ DENGAN $\omega=60\text{rad/det}$ .....LB-1



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

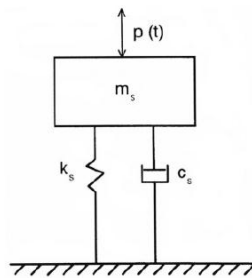
#### 1.1.1 Permasalahan dan Metoda

Banyaknya kasus kasus rekayasa struktur untuk balok diatas medium elastik diantaranya seperti pondasi mesin, jalan rel, terowongan, ataupun lantai konstruksi yang pada lantai terbawahnya lazim diletakkan peralatan peralatan *mechanical electrical*, Telah memacu pengembangan pengembangan metoda yang dimaksudkan untuk menemukan metoda metoda yang mampu menganalisa secara tepat, memberikan kemudahan, dan efisien dalm perhitungan. Pada umumnya terdapat dua metoda yang telah dikembangkan yaitu metode analitik dan metode numerik

Metode analitik yang telah dikembangkan yang cukup dikenal dikembangkan oleh Hetenyi (1961) dimana metode metode analitik lainnya juga pernah dikembangkan oleh reissner (1936), Quinlan (1953), Richart (1962) dimana semua metode metode yang dikembangkan tersebut mempunyai anggapan bahwa tanah sebagai media perambatan gelombang bersifat homogen dan elastik, hal ini didasarkan atas asumsi tingkat getaran yang terjadi yang dihasilkan oleh beban harmonik masih dalam rentang regangan yang kecil.

Penyelesaian secara sistem untuk balok diatas medium elastik dengan beban harmonik dapat dilakukan secara analitis dengan mencari parameter parameter response dinamik berupa amplitudo dan frekuensinya, pendekatan yang dipakai dalam metode analisis tersebut dikenal sebagai pendekatan struktural, dimana

parameter berupa subgrade tanah sebagai tumpuan struktur atas dimodelkan dengan elemen struktur berupa pegas. Solusi dengan permodelan tanah sebagai pegas winkler merupakan metode analitis yang paling dikenal, dimana pada awalnya model ini dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan desain pondasi mesin, gagasannya adalah mengurangi amplitudo gerakan (*motion*) pondasi agar tingkat tingkat ketidaknyamanan lingkungan saat mesin beroperasi dapat dikurangi. Metode yang dipakai didasarkan dari reaksi elastis pegas winkler tersebut dengan menambahkan massa sebagai bagian dari tanah untuk dapat bergetar bersesuaian dengan pondasi, analogi model kekakuan pondasi sederhana yang pernah digambarkan oleh Roeset (1980) melalui gambar 1.1 sebagai berikut:



**Gambar 1.1** Model Dinamik Tanah (Roeset 1980)

Namun dengan memodelkan medium elastis sebagai pegas, kondisi yang ada di sekitar struktur dan pegas tidak dapat diketahui dari hasil analisisnya sehingga mengakibatkan kondisi ujung awal dan kondisi ujung akhir balok tidak akurat.

Selain metode analitis dikembangkan pula metode numerik, dimana pada metode ini pendekatan yang dipakai adalah tanah sebagai media *continuum* dan untuk solusi analistisnya dikembangkan untuk kondisi semi tak hingga elastis, Pada metode ini metode mula mula yang dikembangkan adalah metode elemen hingga, Was (1972) mengembangkan solusi 2 dimensi dengan batas model (*boundary*)

yang mampu menyerap energi perambatan, sedangkan Kausel (1974) mengembangkannya untuk kasus aksis simetri, yang memungkinkan analisis pondasi pada kondisi berada di permukaan tanah ataupun terbenam dalam tanah berlapis, dalam perkembangannya metode elemen hingga tidak praktis digunakan bila model melibatkan elemen dalam jumlah banyak, untuk kasus dinamik semua kondisi permodelan yang dianalisis diharuskan membuat suatu batas model berupa tanah keras pada ujung model yang terkadang bukan kondisi sebenarnya.

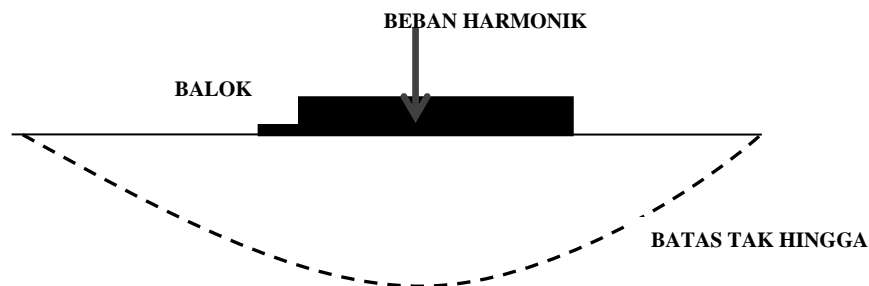
Metode lain dalam metode numerik adalah metode elemen batas, Domingues (1978) mengembangkan metode untuk menganalisa kekakuan dinamik pondasi dengan tapak persegi, metode ini dikembangkan dengan 2 kondisi baik pada kondisi berada di permukaan atau dibenamkan dalam medium *viscoelastic* semi tak hingga. Otternstrener dan Schmid (1981) dan Otternstrener (1982) mengikuti pola yang sama untuk mempelajari kekakuan dinamik interaksi antar 2 pondasi, Apsel dan Luco (1983) memakai elemen batas tak langsung yang digabungkan dengan fungsi green sederhana pada kondisi berlapis pada medium tak hingga, Beskos dan Karabalis (1984) mempelajari pengaruh beban tidak harmonik pada domain waktu

Pada penulisan ini metode yang dipakai adalah metode elemen batas yang telah diselesaikan dari integrasi batas, dimana integrasi batas tersebut sudah memodelkan medium elastik dengan batas tak hingga. Dengan demikian metode tersebut cocok untuk menyelesaikan permasalahan yang dipelajari dalam penulisan ini.

### 1.1.2 Balok di atas medium Elastik

Penelitian penelitian terdahulu tentang balok diatas medium elastik telah dilakukan, seperti oleh Reisner (1936) dalam penelitiannya tanah bersifat linear elastis, kasus yang dipelajari adalah pondasi dengan tapak cakram dengan beban harmonik terpusat, hal ini untuk dimaksudkan untuk membuktikan asumsi bahwa distribusi tegangan yang terjadi akan seragam pada medium tanah, setelah dipelajari ternyata hasilnya tersebut jauh dari yang diperkirakan. Zissimos dan Parson (1985) melakukan studi balok yang diletakkan rotor diatas medium elastik dengan metode elemen hingga, studi tersebut memasukkan pengaruh geser dan aksial, model yang dipakai adalah model interaksi pegas pada bidang horizontal dan aksial, hasil studi tersebut bahwa distribusi beban geser dan momen tidak berpengaruh terlalu besar, melainkan deformasi rotor itu sendiri yang paling berpengaruh

Penelitian penelitian yang telah dilakukan banyak dimaksudkan untuk mempelajari kondisi kondisi yang sebenarnya ada di lapangan, dimana Reisner (1936) memodelkan pondasi tapak cakram dapat dipakai untuk mewakili landasan suatu reaktor nuklir yang juga umumnya berbentuk cakram, sedangkan Zissimos dan Parson (1985) mempelajari pengaruh rotor yang dapat dipakai pada suatu turbin.



**Gambar 1.2.** Model Balok Diatas Medium Elastik dengan Beban Harmonik Terpusat



Pada penulisan ini akan dipelajari kecenderungan dari model balok diatas tanah (Gambar 1.2) akibat beban harmonik, dimana pengaruh beban harmonik pada sistem balok diatas tanah tersebut akan ditunjukkan melalui peralihan dan gaya dalam pada beberapa variasi parameter parameter.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Mempelajari penerapan metode elemen batas untuk analisis *steady state* balok diatas pondasi elastis akibat beban harmonik
2. Mempelajari perilaku balok diatas medium elastik akibat beban harmonik.

## 1.3 Ruang Lingkup Penulisan

1. Analisis pada komponen balok dengan material isotropis dan berada pada permukaan medium elastic dengan beban terpusat harmonik.
2. Medium elastik / ruang semi tak hingga dianggap berupa tanah yang bersifat homogen dan linear
3. Gaya interaksi dianggap hanya dalam arah vertikal saja.

## 1.4 Metodologi Analisis:

Metodologi Analisis dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Balok dimodelkan dengan metode elemen hingga.
2. *Elastic halfspace* dimodelkan dengan metode elemen batas .

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan ini akan disusun dalam sistematika sebagai berikut:

### **Bab 1 : Pendahuluan**

Penjabaran mengenai latar belakang, batasan batasan masalah untuk melakukan analisis pada BAB 4, metode dan sistematika penulisan

### **Bab 2 : Metode Elemen Batas Untuk Elastodinamik**

Memberikan persamaan persamaan berdasarkan integrasi batas untuk elastodinamik, dan penyelesaian penyelesaian yang sudah diturunkan untuk kasus medium elastik dengan beban harmonik.

### **Bab 3 : Perumusan Elemen Hingga**

Memberikan gambaran bagaimana persamaan elemen batas akan diinteraksikan dengan metode elemen hingga, dimana metode elemen hingga ini dipakai pada permodelan struktur balok

### **Bab 4 : Studi Kasus Balok Diatas Medium Elastik**

Penyajian hasil analisa pada studi kasus dengan menggunakan metode metode yang telah dipaparkan pada BAB 2 dan BAB 3 serta hasil hasil analisa dengan parameter parameter yang divariasikan.

### **Bab 5 : Kesimpulan dan Saran**

Pembahasan mengenai kesimpulan dan saran saran, dari hasil hasil yang didapatkan pada BAB 4