

**TESIS**  
**"EVALUASI MODEL KONTAK DALAM ANALISIS ELEMEN HINGGA  
NON-LINEAR PADA BALOK BETON BERTULANG"**

**AHMAD YANI**



**REKAYASA STRUKTUR**  
**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT**  
**2024**

**TESIS**  
**"EVALUASI MODEL KONTAK DALAM ANALISIS ELEMEN HINGGA  
NON-LINEAR PADA BALOK BETON BERTULANG"**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister dari  
Universitas Lambung Mangkurat**

**Oleh :  
AHMAD YANI  
2220828310070**



**REKAYASA STRUKTUR  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT  
2024**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

Judul Tesis : **EVALUASI MODEL KONTAK DALAM ANALISA ELEMEN  
HINGGA NON - LINIER PADA BALOK BETON BERTULANG**

Nama : AHMAD YANI

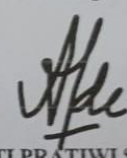
NIM : 2220828310070

Disetujui Komisi Pembimbing

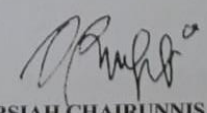
Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

  
WIKU ADHIWICAKSANA KRASNA, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP.19860628 201212 1 002

  
ADE YUNIATI PRATIWI, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19900306 202203 2 010

Koordinator Program  
Studi Magister Teknik Sipil

  
Dr. NURSI AH CHAIRUNNISA, S.T., M.Eng  
NIP. 19790723 200501 2 005

LEMBAR PENGESAHAN  
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL

Evaluasi Model Kontak Dalam Analisa Elemen Hingga  
Non - Linier Pada Balok Beton Bertulang

oleh

AHMAD YANI, ST  
NIM: 2220828310070

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 12 Juli 2024  
dan dinyatakan

LULUS

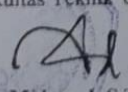
Komite Penguji :

Ketua/ Penguji I	: Dr. NURSI AH CHAIRUNNISA, S.T., M.Eng NIP 197907232005012005	
Sekretaris/ Penguji II	: Dr. Ir. RATNI NURWIDAYATI, MT., M.Eng. Sc NIP 196901061995022001	
Anggota 1 / Penguji III	: Ir. IDA BARKIAH, M.T NIP 196911101993032010	
Pembimbing Utama	: WIKU ADHIWICAKSANA KRASNA S.T, M.Eng, Ph.D NIP 198606282012121002	
Pembimbing Pendamping	: ADE YUNIATI PRATIWI, S.T., M.Sc, Ph.D. NIP 199003062023032010	

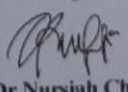
Banjarmasin, 16 juli 2024

diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik  
Fakultas Teknik ULM,

  
Dr. Mahmud, S.T., MT.  
NIP 197401071998021001

Koordinator Program  
Studi Magister Teknik Sipil

  
Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.  
NIP 197907232005012005

## ***ABSTRACT***

" Evaluation of Contact Model in Non-Linear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams "

AHMAD YANI  
2220828310070

Wiku Adhiwicaksana Krasna, S.T., M.Eng., Ph.D  
Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D

The aim of this study is to study the different contact models in Ansys APDL for the analysis of the elements up to the nonlinear of concrete beams. The aim is to determine the most suitable contact model based on calculation accuracy and efficiency considerations. The methodology used was to compare the results of the simulation using two main algorithmic approaches: PENALTY and LAGRANGE. The simulation results were compared with the maximum load and movement reference values provided by BLVAL3\_LINK. The findings showed that the IMPMOD\_Pen\_STD contact model used in the PENALTY method showed the smallest difference in maximum load (13.08%) and movement (6.4%) when compared to the reference value, thus showing a high degree of accuracy. Nevertheless, the contact model IMPMOD\_LGR\_BON was chosen in the LAGRANGE method because of its superior stability and accuracy in managing complex contact interactions, despite showing a larger shift difference of 27.64%. The choice of the model is determined by the priority of stability, and precision in contact analysis, which is essential for applications that involve managing complicated contacts interactions. In addition, the use of the BEAM188 element as a bone has the advantage of more accurate representation of the structural behavior of the bone. This is very beneficial for applications that require careful contact interaction management.

Key words : Analisis Elemen Hingga, Model Kontak, Ansys APDL, PENALTY Algoritma, LAGRANGE Algoritma, BEAM188, CONTA174, TARGE170

## ABSTRAK

### "Evaluasi Model Kontak Dalam Analisis Elemen Hingga Non-Linear Pada Balok Beton Bertulang"

AHMAD YANI  
2220828310070

Wiku Adhiwicaksana Krasna, S.T., M.Eng., Ph.D  
Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji model kontak yang berbeda dalam Ansys APDL untuk analisis elemen hingga nonlinier balok beton bertulang. Tujuannya adalah untuk menentukan model kontak yang paling sesuai berdasarkan pertimbangan akurasi dan efisiensi komputasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi model kontak yang memberikan hasil yang paling tepat dan efisien dalam menganalisa struktur balok beton bertulang. Metodologi yang digunakan adalah perbandingan hasil simulasi dengan menggunakan dua pendekatan algoritmik utama: PENALTY dan LAGRANGE. Hasil simulasi dibandingkan dengan nilai referensi beban maksimum dan perpindahan yang disediakan oleh BLVAL3\_LINK. Temuan menunjukkan bahwa model kontak IMPMOD\_Pen\_STD yang digunakan dalam metode PENALTY menunjukkan perbedaan paling kecil dalam beban maksimum (13,08%) dan perpindahan (6,4%) jika dibandingkan dengan nilai referensi, sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi. Namun demikian, model kontak IMPMOD\_LGR\_BON dipilih dalam metode LAGRANGE karena stabilitas dan ketepatannya yang unggul dalam mengelola interaksi kontak yang rumit, meskipun menunjukkan perbedaan perpindahan yang lebih besar yaitu 27,64%. Pemilihan model IMPMOD\_LGR\_BON ditentukan oleh prioritas stabilitas dan ketepatan dalam analisis kontak, yang sangat penting untuk aplikasi yang mencakup manajemen interaksi kontak yang rumit. Selain itu, penggunaan elemen BEAM188 sebagai tulangan memiliki keuntungan berupa penggambaran yang lebih tepat dari perilaku struktural tulangan. Hal ini sangat menguntungkan untuk aplikasi yang membutuhkan manajemen interaksi kontak yang cermat.

Kata kunci : Analisis Elemen Hingga, Model Kontak, Ansys APDL, PENALTY  
Algoritma, LAGRANGE Algoritma, BEAM188, CONTA174, TARGE170

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia Nya, sholawat dan salam ke atas para Nabi Allah dan Rasul Nya beserta keluarga mereka yang suci, dan ke atas semua orang yang beriman hinggalah hari Kiamat.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister dan topik ini yang dipilih tidak lain adalah karena keinginan penulis untuk menggali lebih dalam Metode numerik dengan penggunaan Software berbasis metode elemen hingga. Evaluasi Kontak antara beton dan baja tulangan pada penelitian ini nantinya diharapkan akan membantu untuk memahami bagaimana kontak permukaan antara beton dan baja tulangan mempengaruhi perilaku dari suatu struktur balok beton bertulang. Penelitian ini mengambil judul "**Evaluasi Model Kontak dalam Analisis Elemen Hingga Non-Linear pada Balok Beton Bertulang**".

Terima kasih yang setulusnya kepada Urie Dharmayanty, Aysha Ahmad Putri dan Kayra Ahmad Putri yang sudah memberikan semangat dan dukungan yang luar biasa dan Doa dari mama dan abah. Dan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian tesis ini, serta ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada sponsor dan motivator "ARL" dalam memberikan dorongan agar meningkatkan produktivitas progres penelitian. Dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan oleh karena itu segala koreksi dan masukan sangat diharapkan demi tersusunnya tesis ini dengan baik dan sesuai dengan standar akademik yang bisa memberikan kontribusi di bidang rekayasa struktur dan para pembaca yang memiliki minat sesuai dengan keperluan penggunaannya. Dan Semoga penelitian ini dapat diselesaikan pada rentang waktu yang sudah ditentukan oleh program studi.

Banjarmasin, Juli 2024

AHMAD YANI

NIM : 2220828310070

## DAFTAR ISI

<b>TESIS</b> .....	i
<b>TESIS</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	2
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Beton Bertulang</b> .....	5
2.1.1 Sifat Mekanik Beton Mutu Normal .....	6
2.1.2 Sifat Mekanik Baja Tulangan .....	7
<b>2.2 Landasan Teori Analisis</b> .....	8
2.2.1 Metode numerik Analisis Elemen Hingga .....	9
2.2.2 Software berbasis metode elemen hingga .....	9
<b>2.3 Analisis Non-Linear</b> .....	10
2.3.1 <i>Rate-Independent Plasticity</i> .....	11
2.3.2 <i>Rate-Dependent Plasticity</i> .....	14
2.3.3 <i>Nonlinear Elasticity</i> .....	14
2.3.4 <i>Concrete</i> .....	15
2.3.5 <i>Cohesive Zone Material (CZM) Model Interface Elements</i> .....	16
2.3.6 <i>Contact Elements</i> .....	17
<b>2.4 Model Kontak dalam Analisis Elemen Hingga</b> .....	19
2.4.1 Teori Formulasi Kontak .....	20
2.4.2 Implementasi Model Kontak .....	22
2.4.3 <i>Contact Behaviour</i> .....	23

<b>2.5</b>	<b>Pemodelan Balok Beton Bertulang Menggunakan Ansys APDL .....</b>	<b>24</b>
2.5.1	Elemen Solid65 untuk Beton .....	25
2.5.2	Elemen LINK180 untuk Rebar ( <i>validasi model</i> ) .....	26
2.5.3	Elemen BEAM188 untuk Rebar ( <i>Implementasi model</i> ).....	27
2.5.4	Analisis permukaan Kontak.....	28
2.5.5	<i>Material model SOLID65</i> .....	29
2.5.6	<i>Material model LINK180</i> .....	35
2.5.6	<i>Material model BEAM188</i> .....	36
<b>2.6</b>	<b>Studi Literatur dan Penelitian Terdahulu.....</b>	<b>37</b>
2.6.1	Evaluasi Penelitian Terdahulu .....	37
2.6.2	Nomenklatur Validasi eksperimental.....	38
2.6.3	Validasi eksperimental .....	39
<b>2.7</b>	<b>Prosedur Penelitian Dengan Komputasi Numerik.....</b>	<b>41</b>
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Pendekatan dan rancangan penelitian.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Validasi model .....</b>	<b>43</b>
3.2.1	Langkah pemodelan (GUI) .....	43
3.2.2	Variasi tegangan – regangan beton terhadap balok vasudevan .....	65
<b>3.3</b>	<b>Implementasi Model.....</b>	<b>70</b>
3.3.1	Langkah pemodelan Gabungan <i>GUI</i> dan <i>Command Script</i> .....	70
3.3.2	Model dengan Variasi Algoritma kontak dan Variasi Perilaku kontak .....	96
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Pola pengembangan retak, Algoritma Penalty vs Perilaku Kontak .....</b>	<b>99</b>
4.1.1	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>STANDARD</i> .....	99
4.1.2	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>ROUGH</i> .....	99
4.1.3	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>NOSEPARATION</i> .....	100
4.1.4	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED</i> .....	100
4.1.5	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>NOSEPARATION (always)</i> ..	101
4.1.6	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED (always)</i> .....	101
4.1.7	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED (initial)</i> .....	102
<b>4.2</b>	<b>Pola pengembangan retak, Algoritma Lagrange vs Perilaku Kontak.....</b>	<b>102</b>
4.2.1	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>STANDARD</i> .....	102
4.2.2	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>ROUGH</i> .....	103
4.2.3	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>NOSEPARATION</i> .....	103
4.2.4	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED</i> .....	104

4.2.5	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>NOSEPARATION (always)</i>	104
4.2.6	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED (always)</i> .....	105
4.2.7	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED (initial)</i> .....	105
<b>4.3</b>	<b><i>Load-displacement, Variasi Algoritma Penalty vs Perilaku Kontak</i></b> .....	<b>106</b>
4.3.1	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>STANDARD</i> .....	106
4.3.2	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>ROUGH</i> .....	107
4.3.3	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>NOSE</i> .....	109
4.3.4	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED</i> .....	110
4.3.5	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>NOSEPARATION (always)</i> ..	111
4.3.6	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED (always)</i> .....	113
4.1.7	Model Algoritma Penalty Perilaku kontak <i>BONDED (initial)</i> .....	114
<b>4.4</b>	<b><i>Load-displacement, Variasi Algoritma Lagrange vs Perilaku Kontak</i></b> .....	<b>116</b>
4.4.1	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>STANDARD</i> .....	116
4.4.2	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>ROUGH</i> .....	117
4.4.3	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>NOSEPARATION</i> .....	119
4.4.4	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED</i> .....	120
4.4.5	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>NOSEPARATION(always)</i>	121
4.4.6	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED(always)</i> .....	123
4.4.7	Model Algoritma Lagrange Perilaku kontak <i>BONDED(initial)</i> .....	124
<b>4.4</b>	<b>Hasil dan Pembahasan</b> .....	<b>125</b>
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		<b>129</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan</b> .....	<b>129</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran</b> .....	<b>130</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>131</b>
A	Lampiran Usulan Model Tegangan Regangan Beton Normal .....	131
B	Perhitungan Lendutan Balok Validasi.....	135
<b>DAFTAR RUJUKAN</b> .....		<b>137</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Command Material SOLID65.....	16
Tabel II.2	Kode Model balok validasi .....	38
Tabel III.1	Load-displacement.....	64 - 65
Tabel III.2	Load-displacement variasi tegangan-regangan beton.....	66 - 67
Tabel III.3	Data tabel untuk plotting.....	95 - 96
Tabel III.4	kode variasi dan Properties balok .....	98
Tabel IV.1	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_STD pada Gambar IV.15 ...	106
Tabel IV.2	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_ROU pada Gambar IV.16 ..	106
Tabel IV.3	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_NOSE pada Gambar IV.17	109
Tabel IV.4	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_BON pada Gambar IV.18 .....	110
Tabel IV.5	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_NOSE (always) pada Gambar IV.19 .....	112
Tabel IV.6	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_BON (always) pada Gambar IV.20 .....	113
Tabel IV.7	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_Pen_BON (initial) pada Gambar IV.21 .....	114 - 115
Tabel IV.8	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_STD pada Gambar IV.22 .....	116
Tabel IV.9	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_ROU pada Gambar IV.23 .....	118
Tabel IV.10	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_NOSE pada Gambar IV.24.....	119
Tabel IV.11	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_BON pada Gambar IV.25 .....	120
Tabel IV.12	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4	

	untuk IMPMOD_LGR_NOSE (always) pada Gambar IV.26 .....122
Tabel IV.13	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_BON(always) pada Gambar IV.27 .....123
Tabel IV.14	Nilai A1,A2,A3,A4 untuk BLVAL3_LINK dan B1,B2,B3,B4 untuk IMPMOD_LGR_BON(initial) pada Gambar IV.28.....125
Tabel IV.15	Nilai tegangan maksimum pada elemen 848.....128
Tabel IV.16	Nilai regangan maksimum pada elemen 848 .....128

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Tegangan lekatan pada balok beton bertulang .....	6
Gambar II.2	Model tegangan-regangan beton normal.....	7
Gambar II.3	(a) Bilinier isotropic (b) tegangan-regangan baja tulangan .....	8
Gambar II.4	(a) Kinematic Hardening (b) Anisotropic (c) Drucker-Prager.....	12
Gambar II.5	(a) Isotropic Hardening (b) Kinematic Hardening .....	13
Gambar II.6	Perilaku Tegangan-Regangan untuk Elastisitas Nonlinier .....	14
Gambar II.7	Skema Elemen Antarmuka .....	17
Gambar II.8	Tegangan Kontak Normal dan Kurva Celah Kontak untuk Material Zona Kohesif Bilinear .....	18
Gambar II.9	Penetrasi kecil pada penalty Formulation .....	21
Gambar II.10	Geometri SOLID65 .....	26
Gambar II.11	Geometri LINK180.....	27
Gambar II.12	Geometri BEAM188.....	28
Gambar II.13	Geometri CONTA174 .....	28
Gambar II.14	Linear Isotropic Material SOLID65 (Kent park 1971).....	29
Gambar II.15	Multilinear Kinematic Hardening SOLID65 (Kent park 1971)....	30
Gambar II.16	Material Model Beton (Kent park 1971).....	30
Gambar II.17	Linear Isotropic Material SOLID65 (Hognestad 1951) .....	31
Gambar II.18	Multilinear Kinematic Hardening SOLID65 (Hognestad 1951) ..	32
Gambar II.19	Material Model Beton (Hognestad 1951).....	32
Gambar II.20	Linear Isotropic Material SOLID65 (Desayi 1978) .....	33
Gambar II.21	Multilinear Kinematic Hardening SOLID65 (Desayi 1978) .....	34
Gambar II.22	Material Model Beton (Desayi 1978) .....	34
Gambar II.23	Material Model LINK180 (a) Linear isotropic, (b) Bilinear isotropic.....	36
Gambar II.24	Material Model BEAM188. (a) Linear isotropic, (b) Bilinear isotropic.....	37
Gambar II.25	Tampak memanjang Balok Eksperimental Vasudevan .....	39
Gambar II.26	Potongan melintang Balok Eksperimental Vasudevan.....	39

Gambar II.27	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs Balok Vasudevan .....	40
Gambar II.28	Bagan alir pemodelan penelitian dengan Ansys APDL .....	41
Gambar III.1	Mendefinisikan elemen yang akan digunakan .....	44
Gambar III.2	Mendefinisikan pengaturan Real Constat .....	45
Gambar III.3	Mendefinisikan Material model .....	46
Gambar III.4	Linear Elastic Isotropic .....	47
Gambar III.5	Linear Isotropic Material SOLID65 (Hognestad 1951) .....	47
Gambar III.6	Multilinear Kinematic Hardening SOLID65 (Hognestad 1951) ..	47
Gambar III.7	Material Model Beton (Hognestad 1951).....	48
Gambar III.8	Material Model Linier Isotropic Tulangan tarik.....	48
Gambar III.9	Material Model Bilinier Isotropic Hardening Tulangan tarik.....	49
Gambar III.10	Material Model Linier Isotropic Tulangan tekan .....	49
Gambar III.11	Material Model Bilinier Isotropic Hardening Tulangan tekan .....	50
Gambar III.12	Material Model Linier Isotropic sengkang.....	50
Gambar III.13	Material Model Bilinier Isotropic Hardening sengkang.....	50
Gambar III.14	Material Model Bilinier Isotropic Hardening pelat beban dan perletakan .....	51
Gambar III.15	Section Link 2 (luas penampang tul. Tarik).....	51
Gambar III.16	Section Link 3 (luas penampang tul. Tekan).....	51
Gambar III.17	Section Link 4 (luas penampang sengkang).....	52
Gambar III.18	Volume balok (Geometri untuk memodelkan beton).....	52
Gambar III.19	Link tulangan (Geometri untuk memodelkan tulangan).....	53
Gambar III.20	Volume untuk pelat beban dan perletakan (Geometri pelat beban dan perletakan) .....	53
Gambar III.21	Mesh attribute (penyiapan attribute elemen yang digunakan).....	53
Gambar III.22	ukuran mesh dengan menggunakan garis sebagai acuan.....	54
Gambar III.23	Memilih garis dan ukuran mesh yang akan dijadikan acuan .....	54
Gambar III.24	Meshing volume sesuai besar mesh pada acuan garis.....	55
Gambar III.25	Mesh attribute (penyiapan attribute elemen solid185) .....	55
Gambar III.26	Hasil meshing Solid65 dan Solid185 (Balok beton, pelat bebandan perletakan) .....	55

Gambar III.27	Mesh attribute (penyiapan attribute elemen tulangan tarik) .....	56
Gambar III.28	Membuat ukuran mesh dengan menggunakan garis sebagai acuan.....	56
Gambar III.29	Memilih garis dan ukuran mesh yang akan dijadikan acuan .....	57
Gambar III.30	Meshing Line sesuai besar mesh pada acuan garis .....	57
Gambar III.31	Meshing Line sesuai besar mesh pada acuan garis .....	57
Gambar III.32	Numbering controls dengan merge item pada node .....	58
Gambar III.33	Pengisian solution control pada tab Basic.....	58
Gambar III.34	Pengisian solution control pada tab Advance NL .....	59
Gambar III.35	Mengaplikasikan boudary conditon .....	59
Gambar III.36	Mengaplikasikan beban .....	60
Gambar III.37	Beban diaplikasikan pada node pelat perletakan.....	60
Gambar III.38	Running Solve .....	60
Gambar III.39	Time step end at 0.8.....	61
Gambar III.40	Pilih read pada last time step 0.75.....	61
Gambar III.41	40 Displacement max at time step 0.775. 13.40 mm.....	62
Gambar III.42	Mid node 557 sumbu X,Z, acuan yang sama untuk nilai displacement .....	62
Gambar III.43	Add data untuk melihat hasil Load – displacemet.....	63
Gambar III.44	Add node 557 untuk mengambil tabel data Load-Displacemen...	63
Gambar III.45	data Load-Displacement pada node 557 .....	64
Gambar III.46	BLVAL1_LINK Load-displacement variasi teg-reg (Kentpark 1971).....	68
Gambar III.47	BLVAL2_LINK Load-displacement variasi teg-reg (Hognestaad 1951).....	68
Gambar III.48	BLVAL3_LINK Load-displacement variasi teg-reg (Desayi 1978) .....	69
Gambar III.49	Mendefinisikan elemen yang akan digunakan .....	71
Gambar III.50	Pengaturan kontak algoritma yang akan digunakan.....	73
Gambar III.51	Mendefinisikan pengaturan Real constant set 1 .....	73
Gambar III.52	Memilih Tipe 1 Elemen untuk Real Constatnt set 1.....	73

Gambar III.53	Real Constant untuk Tulangan merujuk pada Real Constatnt 1 set 1 .....	74
Gambar III.54	Memilih Tipe 1 Elemen untuk Real Constatnt set 1 .....	74
Gambar III.55	Real Constant untuk Tulangan merujuk pada Real Constatnt 1 set 1 .....	74
Gambar III.56	Mendefinisikan pengaturan Real constant set 2 .....	75
Gambar III.57	Mendefinisikan pengaturan Real constant set 2 untuk KONTA174 .....	76
Gambar III.58	Mendefinisikan pengaturan Real constant set 2 untuk TARGE170.....	76
Gambar III.59	Mendefinisikan Material model .....	77
Gambar III.60	Linear Elastic Isotropic .....	77
Gambar III.61	Linear Isotropic Material SOLID65 (Desayi 1978) .....	78
Gambar III.62	Multilinear Kinematic Hardening SOLID65 (Desayi 1978) .....	78
Gambar III.63	Material Model Beton (Desayi 1978) .....	79
Gambar III.64	Material Model Linier Isotropic Tulangan tarik.....	79
Gambar III.65	Material Model Bilinier Isotropic Hardening Tulangan tarik.....	80
Gambar III.66	Material Model Linier Isotropic Tulangan tekan .....	80
Gambar III.67	Material Model Bilinier Isotropic Hardening Tulangan tekan .....	80
Gambar III.68	Material Model Linier Isotropic sengkang.....	81
Gambar III.69	Material Model Bilinier Isotropic Hardening sengkang .....	81
Gambar III.70	Material Model Bilinier Isotropic Hardening pelat tumpuan dan perletakan .....	82
Gambar III.71	Section Common beam (Radius tul. Tarik).....	82
Gambar III.72	Section Common beam (Radius tul. Tekan) .....	83
Gambar III.73	Section Common beam (Radius sengkang).....	83
Gambar III.74	membuat node untuk menjadikan elemen.....	84
Gambar III.75	membuat node untuk menjadikan elemen.....	84
Gambar III.76	mendefinisikan elemen attribute untuk membuat elemen .....	85
Gambar III.77	membuat elemen balok dengan blok per blok.....	86
Gambar III.78	membuat elemen tulangan dengan node yang berurutan.....	87

Gambar III.79	Multiplotting keseluruhan elemen yang berhasil diterapkan .....	87
Gambar III.80	penerapan KONTA174 dan TARGE170 .....	89
Gambar III.81	Pengisian solution control pada tab Basic .....	89
Gambar III.82	Pengisian solution control pada tab Advance NL .....	90
Gambar III.83	Mengaplikasikan boudary conditon .....	90
Gambar III.84	Mengaplikasikan beban .....	91
Gambar III.85	Time step end at 0.72.....	92
Gambar III.86	Pilih read pada last time step 0.725.....	92
Gambar III.87	Displacement max at time step 0.725. 11.69 mm.....	92
Gambar III.88	Mid node 603 sumbu X,Z, acuan yang sama untuk nilai displacemen .....	93
Gambar III.89	Add data untuk melihat hasil Load – displacemet.....	93
Gambar III.90	Add node 603 untuk mengambil tabel data Load-Displacement..	94
Gambar III.91	data Load-Displacement pada node 603 .....	95
Gambar IV.1	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_STD .....	99
Gambar IV.2	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_ROU .....	99
Gambar IV.3	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_NOSE ...	100
Gambar IV.4	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_BON .....	100
Gambar IV.5	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_NOSE (always) .....	101
Gambar IV.6	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_NOSE (always).....	101
Gambar IV.7	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_Pen_BON (initial).....	102
Gambar IV.8	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_LGR_STD .....	102
Gambar IV.9	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_LGR_ROU ...	103
Gambar IV.10	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_LGR_NOSE .	103
Gambar IV.11	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_LGR_BON ...	104
Gambar IV.12	Pola perkembangan retak balok model IMPMOD_LGR_NOSE (always).....	104
Gambar IV.13	Pola perkembangan retak balok model	

	IMPMOD_LGR_BON (always).....	105
Gambar IV.14	Pola perkembangan retak balok model	
	IMPMOD_LGR_BON (initial).....	105
Gambar IV.15	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_Pen_STD....	106
Gambar IV.16	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_Pen_ROU...	107
Gambar IV.17	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_Pen_NOSE	109
Gambar IV.18	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_Pen_BON...	110
Gambar IV.19	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_Pen_NOSE (always).....	111
Gambar IV.20	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_Pen_BON (always).....	113
Gambar IV.21	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_Pen_BON (initial).....	114
Gambar IV.22	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_LGR_STD..	116
Gambar IV.23	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_LGR_ROU.	117
Gambar IV.24	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_LGR_NOSE	119
Gambar IV.25	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs IMPMOD_LGR_BON.	120
Gambar IV.26	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_LGR_NOSE(always).....	121
Gambar IV.27	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_LGR_BON(always).....	123
Gambar IV.28	Load-Displacement BLVAL3_LINK vs	
	IMPMOD_LGR_BON(initial).....	124
Gambar IV.30	Diagram perbandingan beban maksimum PENALTY Algoritma	126
Gambar IV.31	Diagram perbandingan beban maksimum LAGRANGE Algoritma	126
Gambar IV.32	Diagram perbandingan displacement PENALTY Algoritma .....	127
Gambar IV.33	Diagram perbandingan displacement LAGRANGE Algoritma...	127
Gambar IV.34	Nomor elemen yang akan diekstrak nilai tegangannya .....	128



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran