

29291/07



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



RSS  
629.18391  
SUG  
U-1  
2007

TUGAS AKHIR - PS 1380

# USULAN METODA STRUT-AND-TIE UNTUK MEMPREDIKSI LEBAR RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG

SUGIARTO  
NRP 3103 100 020

Dosen Pembimbing :  
TAVIO, ST. MT. PhD  
JANUARTI J.E, ST. MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28 - 2 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	727801



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - PS 1380

*A PROPOSED STRUT-AND-TIE METHOD FOR  
PREDICTING CRACK WIDTH IN REINFORCED  
CONCRETE BEAMS*

SUGIARTO  
NRP 3103 100 020

Dosen Pembimbing :  
TAVIO, ST. MT. PhD  
JANUARTI J.E, ST. MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2007

# USULAN METODA STRUT-AND-TIE UNTUK MEMPREDIKSI LEBAR RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Oleh :

**SUGIARTO**

NRP. 3103.100.020

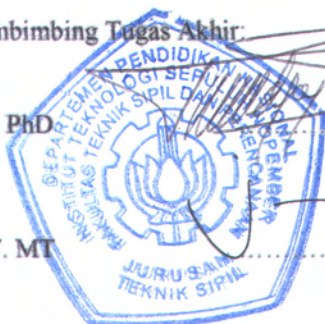
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Tavo, ST. MT. PhD

..... (Pembimbing I)

2. Januarti J.E, ST. MT

..... (Pembimbing II)



**SURABAYA**  
**FEBRUARI, 2007**

# USULAN METODA STRUT-AND-TIE UNTUK MEMPREDIKSI LEBAR RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG

Nama Mahasiswa : Sugiarto  
NRP : 3103.100.020  
Jurusan : Teknik Sipil  
Dosen Pembimbing : Tavio ST. MT. PhD  
Co-Dosen Pembimbing : Januarti J.E, ST. MT

## Abstrak

*Dalam perancangan beton bertulang dikenal kondisi layan (serviceability) yang membahas lebar retak maksimum yang diijinkan. Lebar retak perlu dibatasi, sehubungan dengan pencegahan korosi terhadap tulangan, keawetan beton dan juga perasaan 'nyaman' bagi pemakai struktur.*

*Peraturan beton yang ada saat ini, seperti ACI 318-02 dan SNI 03-2847-2002 memperkirakan lebar retak yang terjadi dengan pendekatan rumus empiris dari serangkaian percobaan di laboratorium. Untuk itu, dirasa perlu melakukan suatu pendekatan yang lebih konseptual dalam memperkirakan lebar retak yang mungkin terjadi.*

*Pendekatan yang diambil adalah dengan menerapkan metoda Strut-and-Tie pada balok beton bertulang. Melalui metoda strut-and-tie ini, dapat diketahui tegangan tarik maksimum yang terjadi pada balok yang dibebani. Selain itu dalam metoda ini digunakan perumusan dalam memperkirakan luas penampang saat beton telah mengalami retak yaitu luas efektif.*

*Hasil evaluasi dari usulan metoda ini adalah urutan penyelesaian dalam memprediksi lebar retak pada balok beton bertulang, usulan perumusan luas efektif penampang saat beton telah mengalami retak.*

Kata kunci: Balok beton bertulang, Lebar retak, Luas efektif penampang, Metoda *Strut-and-Tie*, Serviceability.

# A PROPOSED STRUT-AND-TIE METHOD FOR PREDICTING CRACK WIDTH IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

Name : Sugiarto  
NRP : 3103.100.020  
Department : Civil Engineering  
Supervisors : Tavio ST. MT. PhD  
Co-Supervisors : Januarti J.E, ST. MT

## Abstract

*In the reinforced concrete design, one of the serviceability requirements is the crack width control. Crack width is necessary to be limited for corrosion protection of reinforcement, durability of concrete, and aesthetic requirements.*

*The existing concrete codes, such as ACI 318-02, and SNI 03-2847-2002, provide an empirical formula to predict the crack width of reinforced concrete elements. The formula was mainly derived from the experimental data. hence, it is deemed necessary to the author to propose a more conceptual approach for predicting the actual crack width in concrete elements.*

*One possible way for predicting crack width in reinforced concrete beams is using the Strut-and-Tie method. In this method, the maximum tensile stress occurred in the beam subjected to gravity loading can be predicted. The method also uses an effective cross-sectional area to account for the effects of progressive cracking in beams under gravity loading.*

*This final assignment provides a step-by-step procedure for computing crack width in reinforced concrete beams under gravity loading that takes into account the effects of progressive cracking.*

**Keyword:** Crack width, Effective cross-sectional area, Reinforced concrete beams, Serviceability, *Strut-and-Tie method.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan YME atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Usulan Metoda *Strut-And-Tie* Untuk Memprediksi Lebar Retak Pada Balok Beton Bertulang” dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik bagi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dalam menyelesaikan jenjang S-1.

Atas terselesaikannya Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa tidak akan berhasil tanpa adanya bimbingan, dorongan, doa dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya ucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada: Bapak Tavio, ST. MT. PhD selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu memberikan semangat dan dorongan.

Ibu Januarti JE, ST. MT selaku Dosen Pembimbing 2 yang banyak memberikan koreksi dan saran.

Bapak Prof. Dr. Ir. IGP Raka selaku Dosen Wali selama saya belajar di ITS.

Bapak Ir. Indrasurya B. Mochtar MSc, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS.

Orang tua tercinta yang selalu memberikan dorongan moral dan doa.

Dan rekan – rekan mahasiswa Teknik Sipil ITS.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan tambahan ilmu yang bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi semua pihak pada umumnya.

Salam damai.

Surabaya, 4 Februari 2007

(Sugiarto)

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. BATASAN MASALAH	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. DASAR TEORI	5
2.1.1 Retak Lentur	5
2.1.1(a) Lebar Retak Menurut Gergely dan Lutz (1968)	6
2.1.1(b) Lebar Retak Menurut CEB-FIP Code (1978)/ <i>Comite Euro International du Beton-Federation Internationale de la Precontrainte</i>	7
2.1.1(c) Lebar Retak Menurut British Standard BS 8110-2 (1985)	9
2.1.1(d) Lebar Retak Menurut Byung Hwan Oh dan Young Jin Kang (ACI Struktural Journal no 84-S10/1987)	10
2.1.1(e) Lebar Retak Menurut SNI 03-2847-2002	12
2.1.2 Metoda <i>Strut-and-tie</i>	13
2.2. METODA PERHITUNGAN	
2.2.1 Kekuatan Strut	18

2.2.2 Kekuatan Tie	19
2.2.3 Kekuatan Nodal Zone	20
2.2.4 Luas Penampang Tie	20
BAB III METODOLOGI	
3.1. SKEMA PENELITIAN	23
3.2. URAIAN PELAKSANAAN	25
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN	
4.1. UMUM	27
4.2. DATA EKSPERIMEN	27
4.3. ANALISA DATA EKSPERIMEN	30
4.3.1 Perhitungan Beban	30
4.3.1.1 Beban Berat Sendiri (Beton + Tulangan)	30
4.3.1.1(a) Berat Tulangan	30
4.3.1.1(b) Berat Beton	32
4.3.1.2 Beban Luar P (Terpusat)	33
4.3.2 Perencanaan Model Rangka	36
4.3.2.1 Permodelan Rangka Balok ST-2B	36
4.3.2.2 Permodelan Rangka Balok ST-6B	44
4.3.3 Perhitungan Pembebanan	52
4.3.3.1 Pembebanan Untuk Balok ST-2B	52
4.3.3.1(a) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $25^{\circ}$	53
4.3.3.1(b) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $35^{\circ}$	54
4.3.3.1(c) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $45^{\circ}$	55
4.3.3.1(d) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $50^{\circ}$	56



4.3.3.1(e) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$	57
4.3.3.1(f) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$	58
4.3.3.1(g) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$	59
4.3.3.2 Pembebanan Untuk Balok ST-6B	60
4.3.3.2(a) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$	61
4.3.3.2(b) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$	62
4.3.3.2(c) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$	63
4.3.3.2(d) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$	64
4.3.3.2(e) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$	65
4.3.3.2(f) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$	66
4.3.3.2(g) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$	67
4.3.4 Perhitungan Gaya Dalam	68
4.3.4.1 Gaya Dalam Aksial Tarik pada Balok ST-2B	69
4.3.4.1(a) Model Rangka Sudut $25^0$	69

4.3.4.1(b) Model Rangka Sudut $35^0$	70
4.3.4.1(c) Model Rangka Sudut $45^0$	71
4.3.4.1(d) Model Rangka Sudut $50^0$	72
4.3.4.1(e) Model Rangka Sudut $55^0$	73
4.3.4.1(f) Model Rangka Sudut $60^0$	74
4.3.4.1(g) Model Rangka Sudut $65^0$	75
4.3.4.2 Gaya Dalam Aksial Tarik pada Balok ST-6B	76
4.3.4.2(a) Model Rangka Sudut $25^0$	76
4.3.4.2(b) Model Rangka Sudut $35^0$	77
4.3.4.2(c) Model Rangka Sudut $45^0$	78
4.3.4.2(d) Model Rangka Sudut $50^0$	79
4.3.4.2(e) Model Rangka Sudut $55^0$	80
4.3.4.2(f) Model Rangka Sudut $60^0$	81
4.3.4.2(g) Model Rangka Sudut $65^0$	82
4.3.5 Perhitungan Luas Penampang Gross	83
4.3.5.1 Umum	83
4.3.5.2 Luas Penampang Gross untuk Balok ST-2B	83
4.3.5.3 Luas Penampang Gross untuk Balok ST-6B	85
4.3.6 Perhitungan Tegangan dan Prediksi Lebar Retak Berdasarkan Luas Penampang Gross	88
4.3.6.1 Tegangan Berdasarkan Luas Penampang Gross	88
4.3.6.2 Regangan berdasarkan luas penampang gross	89
4.3.6.3 Prediksi Lebar Retak	89
4.3.6.3.1 Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B	91
4.3.6.3.1(a) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$	91

4.3.6.3.1(b) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$	91
4.3.6.3.1(c) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$	91
4.3.6.3.1(d) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$	91
4.3.6.3.1(e) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$	92
4.3.6.3.1(f) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$	92
4.3.6.3.1(g) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$	92
4.3.6.3.2 Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B	103
4.3.6.3.2(a) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$	103
4.3.6.3.2(b) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$	103
4.3.6.3.2(c) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$	104
4.3.6.3.2(d) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$	104
4.3.6.3.2(e) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$	104

4.3.6.3.2(f) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$	104
4.3.6.3.2(g) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$	104

## BAB V ANALISA USULAN LUAS PENAMPANG EFEKTIF

5.1. UMUM	117
5.2. PENENTUAN KOEFISIEN 'a'	117
5.2.1 Penentuan Koefisien $a$ Untuk Balok ST-2B	118
5.2.1(a) Nilai Koefisien $a$ Dengan Trial and error	118
5.2.1(b) Perhitungan Lebar Retak Dengan Luas Efektif	119
5.2.1(c) Perhitugnan Lebar Retak Menurut Perumusan SNI (03-2847-2002)	120
5.2.2 Penentuan Koefisien $a$ Untuk Balok ST-6B	134
5.2.2(a) Nilai Koefisien $a$ Dengan Trial and error	134
5.2.2(b) Perhitungan Lebar Retak Dengan Luas Efektif	134
5.2.2(c) Perhitugnan Lebar Retak Menurut Perumusan SNI (03-2847-2002)	134
5.3. HUBUNGAN PARAMETER $L$ , $H$ , $A_g$ , dan $A_s$ TERHADAP KOEFISIEN 'a'	147
5.3.1 Hubungan Parameter $L$ dengan Koefisien $a$	147
5.3.2 Hubungan Parameter $L$ , dan $H$ dengan Koefisien $a$	148

5.3.3 Hubungan Parameter $L$ , $H$ , $A_g$ dan $A_s$ dengan Koefisien $a$	149
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 UMUM	153
6.2 KESIMPULAN	153
6.3 SARAN	155
DAFTAR PUSTAKA	157
LAMPIRAN	159
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gbr.2.1.	Lentur dari suatu panjang balok	6
Gbr.2.2.	Parameter Penampang dalam Perhitungan Lebar Retak Menurut Gergely-Lutz	7
Gbr.2.3.	Definisi dari $A_{cefs}$ , $d_b$ dan $s$	8
Gbr.2.4.	Parameter Perhitungan Lebar Retak Menurut British Standard 8110-2	10
Gbr.2.5.	Parameter Penampang dalam Menghitung Lebar Retak Menurut Byung Hwan Oh dan Young Jin Kang	11
Gbr.2.6.	Parameter Penampang dalam Perhitungan Lebar Retak Menurut SNI 03-2847-2002	13
Gbr.2.7.	Pola Retak pada Balok Akibat Beban F	14
Gbr.2.8.	Kontur Tegangan	14
Gbr.2.9.	Arah Aliran Tegangan	15
Gbr.2.10.	Analogi Rangka	16
Gbr.2.11.	(a) Trayektori Tegangan Akibat Beban Merata (b) Analogi Rangka	16
Gbr.2.12.	Elemen dari <i>Strut-and-tie</i>	18
Gbr.2.13.	Penentuan a Minimum dalam Luas Penampang <i>Tie</i>	21
Gbr.3.1.	Bagan Prosedur Penelitian	23
Gbr.4.1.	Penampang Balok ST-2B	28
Gbr.4.2.	Penampang Balok ST-6B	28
Gbr.4.3.	Posisi Pembebanan	29
Gbr.4.4.	Grafik Hasil Pengukuran Lebar Retak	29
Gbr.4.5.	Ukuran Tulangan Balok ST-2B	31
Gbr.4.6.	Ukuran Tulangan Balok ST-6B	32
Gbr.4.7.	Model Pembebanan Balok	33
Gbr.4.8.	Tinggi Rangka Untuk Balok ST-2B	36

Gbr.4.9.	Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut $45^0$	38
Gbr.4.10.	Penambahan Bentang Utama pada Ujung dan Tengah Rangka Sudut $45^0$	39
Gbr.4.11.	Permodelan Akhir Rangka Sudut $45^0$ Untuk Setengah Bentang Balok	40
Gbr.4.12.	Model Rangka Sudut $25^0$ , dan $35^0$ Untuk Balok ST-2B	41
Gbr.4.13.	Model Rangka Sudut $45^0$ , dan $50^0$ Untuk Balok ST-2B	42
Gbr.4.14.	Model Rangka Sudut $55^0$ , $60^0$ , dan $65^0$ Untuk Balok ST-2B	43
Gbr.4.15.	Tinggi Rangka Untuk Balok ST-6B	44
Gbr.4.16.	Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut $55^0$	46
Gbr.4.17.	Penambahan Bentang Utama pada Ujung dan Tengah Rangka Sudut $55^0$	47
Gbr.4.18.	Permodelan Akhir Rangka Sudut $55^0$ Untuk Setengah Bentang Balok	48
Gbr.4.19.	Model Rangka Sudut $25^0$ , dan $35^0$ Untuk Balok ST-6B	49
Gbr.4.20.	Model Rangka Sudut $45^0$ , dan $50^0$ Untuk Balok ST-6B	50
Gbr.4.21.	Model Rangka Sudut $55^0$ , $60^0$ , dan $65^0$ Untuk Balok ST-6B	51
Gbr.4.22.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Setengah Bentang Balok	53
Gbr.4.23.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Setengah Bentang Balok	54
Gbr.4.24.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Setengah Bentang Balok	55

Gbr.4.25.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Setengah Bentang Balok	56
Gbr.4.26.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Setengah Bentang Balok	57
Gbr.4.27.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Setengah Bentang Balok	58
Gbr.4.28.	Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Setengah Bentang Balok	59
Gbr.4.29.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Setengah Bentang Balok	61
Gbr.4.30.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Setengah Bentang Balok	62
Gbr.4.31.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Setengah Bentang Balok	63
Gbr.4.32.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Setengah Bentang Balok	64
Gbr.4.33.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Setengah Bentang Balok	65
Gbr.4.34.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Setengah Bentang Balok	66
Gbr.4.35.	Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Setengah Bentang Balok	67
Gbr.4.36.	Penentuan $a$ Minimum Dalam Luas Penampang <i>Tie</i>	83



Gbr.4.37.	Penentuan Luas Penampang Gross pada Balok ST-2B	84
Gbr.4.38.	Penentuan Luas Penampang Gross pada Balok ST-6B	85
Gbr.4.39.	Luas Parsial $A_4$	85
Gbr.4.40.	Luas Parsial $A_1$	86
Gbr.4.41.	Luas Parsial $A_2$	87
Gbr.4.42.	Luas Parsial $A_3$	87
Gbr.4.43.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-2B	100
Gbr.4.44.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-2B	100
Gbr.4.45.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-2B	101
Gbr.4.46.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-2B	101
Gbr.4.47.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-2B	102
Gbr.4.48.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-2B	102
Gbr.4.49.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-2B	103
Gbr.4.50.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-6B	112
Gbr.4.51.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-6B	112

Gbr.4.52.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-6B	113
Gbr.4.53.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-6B	113
Gbr.4.54.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-6B	114
Gbr.4.55.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-6B	114
Gbr.4.56.	Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-6B	115
Gbr.5.1.	Perhitungan $I_{cr}$ Untuk Balok ST-2B	120
Gbr.5.2.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $25^0$ Untuk Balok ST-2B.	130
Gbr.5.3.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $35^0$ Untuk Balok ST-2B.	130
Gbr.5.4.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $45^0$ Untuk Balok ST-2B.	131
Gbr.5.5.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $50^0$ Untuk Balok ST-2B.	131
Gbr.5.6.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi	

	Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $55^0$ Untuk Balok ST-2B.	132
Gbr.5.7.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $60^0$ Untuk Balok ST-2B.	132
Gbr.5.8.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $65^0$ Untuk Balok ST-2B.	133
Gbr.5.9.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $25^0$ Untuk Balok ST-6B.	143
Gbr.5.10.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $35^0$ Untuk Balok ST-6B.	143
Gbr.5.11.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $45^0$ Untuk Balok ST-6B.	144
Gbr.5.12.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $50^0$ Untuk Balok ST-6B.	144
Gbr.5.13.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $55^0$ Untuk Balok ST-6B.	145
Gbr.5.14.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $60^0$ Untuk Balok ST-6B.	145

Gbr.5.15.	Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan $A_g$ dan $A_{eff}$ pada Model Rangka Sudut $65^0$ Untuk Balok ST-6B.	146
Gbr.5.16.	Hubungan Antara Panjang $L$ dengan Koefisien $a$ .	148
Gbr.5.17.	Hubungan Antara $L/H$ dengan Koefisien $a$ .	149
Gbr.5.18.	Hubungan Antara $L/H$ dengan Koefisien $\frac{a}{(A_g / A_s)}$ .	150
Gbr.5.19.	Hubungan Antara $L/H$ dengan Koefisien $\frac{a}{(A_g / A_s)^{1/5}}$ .	151
Gbr.L.1.	Contoh Soal Prediksi Lebar Retak dengan Metoda <i>Strut-and-tie</i> .	159
Gbr.L.2.	Penentuan Tinggi Model Rangka ( $H$ ).	161
Gbr.L.3.	Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut $45^0$ .	162
Gbr.L.4.	Penambahan Bentang Utama pada Tengah Rangka Sudut $45^0$ .	163
Gbr.L.5.	Permodelan Akhir Rangka Sudut $45^0$ Untuk Setengah Bentang Balok.	164
Gbr.L.6.	Pembebanan Balok Model Rangka Sudut $45^0$ pada Setengah Bentang Balok.	165
Gbr.L.7.	Potongan I-I	166
Gbr.L.8.	Penentuan $a$ minimum dalam luas penampang <i>tie</i> .	166
Gbr.L.9.	Penentuan Luas Penampang Gross $A_g$ .	167
Gbr.L.10.	Luas Parsial $A1$ .	167
Gbr.L.11.	Luas Parsial $A2$ .	168

## DAFTAR TABEL

Tbl.4.1.	Tabel Momen, Beban P dan Lebar Retak ( $w$ ) Untuk Balok ST-2B dan ST-6B	34
Tbl.4.2.	Panjang Bentang Utama Untuk Model Rangka Balok ST-2B	37
Tbl.4.3.	Panjang Bentang Utama Untuk Model Rangka Balok ST-6B	45
Tbl.4.4.	Beban Luar P yang Bekerja pada Balok ST-2B	52
Tbl.4.5.	Beban Luar P yang Bekerja pada Balok ST-6B	60
Tbl.4.6.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-2B	69
Tbl.4.7.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-2B	70
Tbl.4.8.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-2B	71
Tbl.4.9.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-2B	72
Tbl.4.10.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-2B	73
Tbl.4.11.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-2B	74
Tbl.4.12.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-2B	75

Tbl.4.13.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-6B	76
Tbl.4.14.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-6B	77
Tbl.4.15.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-6B	78
Tbl.4.16.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-6B	79
Tbl.4.17.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-6B	80
Tbl.4.18.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-6B	81
Tbl.4.19.	Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-6B	82
Tbl.4.20.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-2B	93
Tbl.4.21.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-2B	94
Tbl.4.22.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-2B	95
Tbl.4.23.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-2B	96
Tbl.4.24.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-2B	97
Tbl.4.25.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-2B	98
Tbl.4.26.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-2B	99

Tbl.4.27.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $25^{\circ}$ pada Balok ST-6B	105
Tbl.4.28.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $35^{\circ}$ pada Balok ST-6B	106
Tbl.4.29.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $45^{\circ}$ pada Balok ST-6B	107
Tbl.4.30.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $50^{\circ}$ pada Balok ST-6B	108
Tbl.4.31.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $55^{\circ}$ pada Balok ST-6B	109
Tbl.4.32.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $60^{\circ}$ pada Balok ST-6B	110
Tbl.4.33.	Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut $65^{\circ}$ pada Balok ST-6B	111
Tbl.5.1.	Nilai Koefisien $a$ Untuk Balok ST-2B	118
Tbl.5.2.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Pada Balok ST-2B Dengan Perumusan SNI	122
Tbl.5.3.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $25^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	123
Tbl.5.4.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $35^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	124
Tbl.5.5.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $45^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	125
Tbl.5.6.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $50^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	126
Tbl.5.7.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $55^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	127
Tbl.5.8.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $60^{\circ}$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	128

Tbl.5.9.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif	129
Tbl.5.10.	Nilai Koefisien $a$ Untuk Balok ST-6B	134
Tbl.5.11.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Pada Balok ST-6B Dengan Perumusan SNI	135
Tbl.5.12.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $25^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	136
Tbl.5.13.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $35^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	137
Tbl.5.14.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $45^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	138
Tbl.5.15.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $50^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	139
Tbl.5.16.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $55^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	140
Tbl.5.17.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $60^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	141
Tbl.5.18.	Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut $65^0$ pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif	142
Tbl.5.19.	Hubungan Panjang $L$ dengan Koefisien $a$	147
Tbl.5.20.	Hubungan Panjang $L$ dan Tinggi $H$ dengan Koefisien $a$	148
Tbl.5.21.	Hubungan $L/H$ , dan $A_g/A_s$ dengan Koefisien $a$	150
Tbl.5.22.	Hubungan $L/H$ , dan $(A_g/A_s)^{1/5}$ dengan Koefisien $a$	151



## DAFTAR NOTASI

$A$	Luas efektif beton yang melingkupi tulangan dalam inci <sup>2</sup>
$a$	Koefisien pangkat dalam perumusan luas efektif
$a'$	Jarak dari bidang tekan ke titik retak
$A_l$	Luas efektif beton daerah tarikan baja= $b \times h_l / m$
$A_c$	Luas cross-section di ujung strut
$A_{cef}$	Luas beton efektif sekeliling tulangan yang mempengaruhi lebar retak
$a_{cr}$	Jarak titik retak terhadap titik yang regangannya nol
$A_{eff}$	Luas penampang efektif beton
$A_g$	Luas penampang gross
$A_g'$	Luas gross parsial
$A_{ps}$	Luas tulangan pratekan
$A_s$	Luas tulangan baja
$A_{sl}$	Luas satu tulangan baja
$A_{st}$	Luas tulangan tarik beton
$A_n$	Luas area dipermukaan nodal zone dari arah dimana $F_u$ bekerja
$b_l$	Lebar balok
$\beta$	Perbandingan jarak-jarak ke sumbu netral dari serat yang tertarik ekstrim dan dari sentroid $A_s = (h_2/h_1)$
$c$	Tebal selimut beton yang diukur terhadap titik berat tulangan sampai permukaan terluar beton ( <i>surface</i> )
$d$	Kedalaman efektif
$d_b$	Diameter tulangan
$d_c$	Penutup beton diukur dari serat tertarik terluar terhadap sumbu batang, dalam inci.
$E_c$	Modulus elastis beton
$E_s$	Modulus elastis baja
$\epsilon$	Regangan pada beton dengan luas penampang gross
$\epsilon_1$	Regangan pada titik retak
$\epsilon_{cr}$	Regangan batas retak beton

$\varepsilon_m$	Regangan beton rata-rata pada daerah retak
$\varepsilon_s$	Regangan baja teoritis
$f$	Gaya tarik maksimum pada frame model rangka batang
$f_c$	Kuat tekan beton
$f_{cu}$	Tegangan efektif tekan
$F_n$	Kekuatan nominal dari komponen strut atau tie atau nodal zone
$f_r$	Tegangan batas retak beton
$f_s$	Tegangan baja dalam Ksi
$f_{se}$	Tegangan efektif dalam tulangan pratekan setelah kehilangan gaya prategang
$F_u$	Gaya dalam komponen strut atau tie atau gaya pada salah satu sisi nodal zone akibat beban luar
$f_y$	Tegangan leleh tulangan
$H$	Tinggi model rangka batang
$h$	Tinggi balok
$h_2$	jarak dari garis netral ke serat tarik terluar balok
$h_1$	jarak dari garis netral ke titik berat tulangan tarik
$I_g$	Momen Inersia gross
$I_{cr}$	Momen Inersia penampang retak
$K_1$	Koefisien dari karakteristik lekatan pada tulangan
$K_2$	Koefisien untuk memperhitungkan tingkat regangan sekitar daerah $A_{cef}$
$L$	Panjang frame yang mengalami gaya tarik maksimum dalam model rangka batang
$m$	Jumlah tulangan
$M_d$	Momen akibat berat sendiri
$M_L$	Momen akibat beban luar P
$n$	Rasio antara modulus baja dengan modulus beton
$s$	Spasi antar tulangan diukur dari as ke as tulangan
$Sh$	Spasi tulangan horizontal
$S_m$	Spasi rata-rata retakan
$S_v$	Spasi tulangan vertikal

$\omega$	Lebar retak maksimum
$w_a$	Hasil analisa perhitungan rumus lebar retak menggunakan $A_{eff}$
$w_e$	Data eksperimen lebar retak dari literatur atau jurnal
$W_k$	Lebar retak karakteristik
$W_m$	Lebar retak rata-rata
$x$	Kedalaman sumbu netral
$y_a$	Hasil analisa perhitungan rumus atau teori
$y_e$	Data eksperimen dari percobaan di laboratorium
$\theta$	Sudut antara strut diagonal dengan tie horisontal dalam rangka batang
$\phi$	Faktor reduksi kekuatan
$\Delta f_p$	Tegangan tambahan dalam tendon pratekan akibat faktor beban
$\lambda$	Jarak bentang utama dalam model rangka batang
$\sigma$	Tegangan tarik yang terjadi
$\Sigma R^2$	Jumlah kwadrat selisih antara data analisa dengan data eksperimen

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Tujuan perhitungan tegangan di dalam perencanaan beton bertulang adalah untuk meyakinkan bahwa struktur cukup kuat untuk melaksanakan fungsinya. Selain cukup kuat menahan beban, struktur juga harus memenuhi kriteria kondisi layan (*serviceability*). Di dalam kondisi layan itu dibahas masalah lendutan dan lebar retak maksimum yang boleh terjadi.

Pada struktur beton bertulang, retakan hingga batas tertentu adalah wajar dan dapat diterima. Walaupun tidak membahayakan bagi pengguna, tetapi retak dapat mempermudah proses korosi terhadap tulangan baja jika lebarnya terlalu besar di samping menimbulkan perasaan 'tidak nyaman' bagi penghuni struktur itu sendiri. Dalam peraturan ACI (ACI-10.6.4-2002), lebar retak dihitung dengan mengacu pada rumus pendekatan oleh Gergely-Lutz. Rumus itu didasarkan pada pendekatan empiris dari serangkaian percobaan yang dilakukan di laboratorium.

Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) juga mengadopsi perumusan Gergely-Lutz menjadi  $\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A}$ . Nilai lebar retak dibatasi 0,4 mm untuk penampang dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

Pada dasarnya ada 2 macam pendekatan yang dapat diambil dalam menurunkan sebuah perumusan yaitu:

- pendekatan empiris
- pendekatan teoritis (model)

Saat ini rumus lebar retak yang ada dalam peraturan beton di Indonesia (SNI 03-2847-2002) hanya didasarkan pada rumus pendekatan empiris yang diadopsi dari perumusan Gergely-Lutz. Meskipun cara ini pada umumnya telah menghasilkan

perhitungan yang aman dan konservatif, pendekatan berdasarkan model lebih disukai karena mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan pendekatan empiris, antara lain:

- Flow (aliran) dari beban menjadi lebih jelas. Sebagai akibatnya perilaku struktur yang sebenarnya juga lebih mudah dipahami dan tidak semata-mata memasukkan angka ke dalam rumus yang ada.
- Lebih bersifat general (tidak terbatas pada kondisi tertentu).

Mengingat hal diatas, pada saat ini dan khususnya masa mendatang ada trend perumusan empiris mulai digantikan dengan perumusan yang didasarkan model (Bruggeling, 1991).

Salah satu pendekatan teoritis (model) yang dapat dipakai dalam memprediksi lebar retak adalah dengan 'Metoda *Strut-and-tie*' yang telah diperkenalkan oleh Ritter(1899) dan Morsch(1902). Dalam tugas akhir ini, diusulkan penggunaan metoda *strut-and-tie* untuk memprediksi lebar retak sebagai alternatif perhitungan dari rumus-rumus lebar retak yang sudah ada. Selain itu, diusulkan juga perumusan untuk menghitung luas efektif beton dalam menahan tegangan tarik setelah tegangan ijin tarik beton dilampaui. Luas efektif ini berada diantara luas netto tulangan baja ( $A_s$ ) dan luas penampang gross beton ( $A_g$ ).

## 1.2 PERMASALAHAN

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan model *strut-and-tie* yang paling cocok pada balok beton bertulang dalam memprediksi lebar retak berdasarkan pendekatan yang sudah ada.
2. Bagaimana menentukan proporsi antara luas penampang gross ( $A_g$ ) dan luas netto tulangan baja

( $A_s$ ) dalam menghitung luas efektif penampang saat retak sudah terjadi.

3. Bagaimana memprediksi lebar retak dengan pendekatan metoda *strut-and-tie* selain percobaan empiris yang dilakukan di laboratorium.

### 1.3 TUJUAN

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari pembahasan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Memberi alternatif lain bagi perencana struktur dalam memprediksi lebar retak pada balok beton bertulang dengan memakai perumusan yang berdasarkan model yang jelas dan tidak semata-mata memakai perumusan empiris murni.
2. Menentukan model *strut-and-tie* yang paling cocok pada balok beton bertulang dalam memprediksi lebar retak.
3. Menentukan proporsi yang tepat antara luas gross ( $A_g$ ) dan luas netto baja ( $A_s$ ) dalam mencari luas efektif penampang saat retak terjadi.
4. Menyusun urutan penyelesaian perhitungan lebar retak dengan metoda *strut-and-tie*.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Dalam tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan pada:

1. Pendekatan lebar retak terbatas hanya pada balok beton bertulang.
2. Retakan yang terjadi diasumsikan hanya akibat beban berat sendiri balok dan beban luar (retak lentur), bukan akibat pengaruh susut dan rangkai pada beton.
3. Beban luar yang bekerja adalah beban vertikal gravitasi saja (tidak ada gaya normal) dan bersifat monotonik.

Data-data lain tentang balok beton bertulang menyesuaikan dengan data dari literatur yang dipakai.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 DASAR TEORI

#### 2.1.1 Retak Lentur

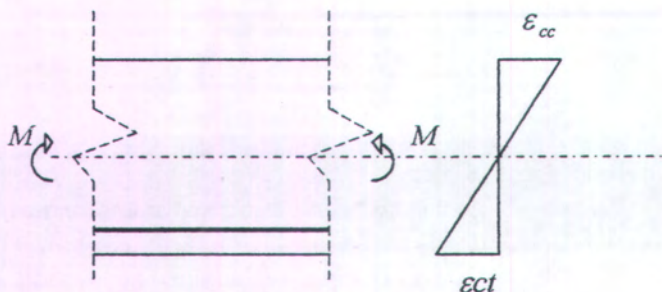
Bagian-bagian konstruksi yang mengalami lentur pada umumnya memperlihatkan suatu rangkaian retak-retak lentur (*flexural cracking*) yang tersebar, walaupun hanya pada saat beban kerja. Retak-retak ini tidak mencolok dan tidak merugikan kecuali bila lebarnya menjadi melebihi batas, sehingga penampilan struktur terganggu dan tulangan juga terbuka terhadap pengaruh korosi.

Mekanisme retak lentur dapat digambarkan dengan meninjau perilaku dari suatu bagian konstruksi yang mengalami momen merata. Suatu panjang balok yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1 mula-mula akan berperilaku elastis seluruhnya, sampai momen merata yang diberikan naik. Bila batas regangan tarik beton tercapai, maka akan terjadi retak, dan daerah tarik yang berdekatan tidak akan dipengaruhi lebih jauh lagi oleh gaya-gaya tarik langsung.

Akan tetapi, kelengkungan balok akan menyebabkan tegangan-tegangan tarik langsung bekerja lebih jauh untuk menimbulkan retak pada suatu jarak dari retak semula, untuk mempertahankan keseimbangan dalam. Hal ini menyebabkan terjadinya retak-retak lebih lanjut, dan proses ini akan berlanjut sampai jarak antara retak-retak tidak memungkinkan lagi tegangan tarik yang cukup untuk menyebabkan retak selanjutnya.

Begitu momen yang diberikan meningkat, terjadinya retak akan banyak dipengaruhi oleh tulangan. Tegangan – tegangan tarik dalam beton yang mengelilingi batang tulangan akibat lekatan, akan menyebabkan timbulnya retak-retak lebih lanjut di antara retak-retak yang telah terbentuk.





Gambar 2-1. Lentur dari suatu panjang balok

Aksi ini akan berlanjut sampai lekatan antara beton dan baja tidak mampu lagi menimbulkan tarikan di dalam beton yang cukup untuk menimbulkan retak selanjutnya.

Lebar retak yang sesungguhnya di dalam konstruksi beton bertulang sangat bervariasi dan tidak dapat ditaksir secara tepat. Untuk itu muncul banyak usulan rumus lebar retak, diantaranya seperti yang diuraikan berikut:

### 2.1.1(a) Lebar Retak Menurut Gergely dan Lutz (1968)

ACI Code (318-83) melakukan pembatasan retak berdasarkan perumusan lebar retak dari penelitian Gergely dan Lutz. Lebar retak yang diusulkan oleh mereka didasarkan atas perumusan empiris hasil dari serangkaian percobaan yang dilakukan di laboratorium. Pendekatan dari Gergely dan Lutz ini merupakan perumusan sederhana yang melibatkan tiga variabel, yaitu tegangan baja tulangan pada retakan, tebal selimut beton dan luas beton di sekeliling baja tulangan (Gambar 2.2) menurut Persamaan 2.1:

$$\omega = 0,076 \cdot \beta \cdot f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:  $\omega$  = lebar retak maksimum yang diharapkan dalam satuan 0,001 inci

- $\beta$  = perbandingan jarak-jarak ke sumbu netral dari serat yang tertarik ekstrim dan dari sentroid  $A_s = (h_2/h_1)$
- $f_s$  = tegangan baja dalam Ksi
- $d_c$  = penutup beton diukur dari serat tertarik terluar terhadap sumbu batang, dalam inci.
- $A$  = luas efektif beton yang melingkupi tulangan dalam inci<sup>2</sup>



Gambar 2.2 Parameter Penampang dalam Perhitungan Lebar Retak Menurut Gergely-Lutz

### 2.1.1(b) Lebar Retak Menurut CEB-FIP Code (1978)/Comité Euro International du Béton-Fédération Internationale de la Précontrainte

CEB-FIP Code menyatakan bahwa spasi rata-rata retakan adalah ditentukan berdasarkan Persamaan (2.2).

$$S_m = 2 \left( c + \frac{s}{10} \right) + K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{d_b}{\rho_{ef}} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana (Gambar 2.3):

- $S_m$  = spasi rata-rata retakan
- $c$  = tebal bersih dari selimut beton
- $s$  = spasi maksimum antara tulangan longitudinal  $< 15 d_b$

$d_b$  = diameter tulangan

$$\rho_{ef} = \frac{A_s}{A_{cef}}$$

$A_s$  = luas baja tulangan yang dianggap efektif melekat pada beton

$A_{cef}$  = luas beton efektif sekeliling tulangan yang mempengaruhi lebar retak

$K_1$  = koefisien dari karakteristik lekatan pada tulangan

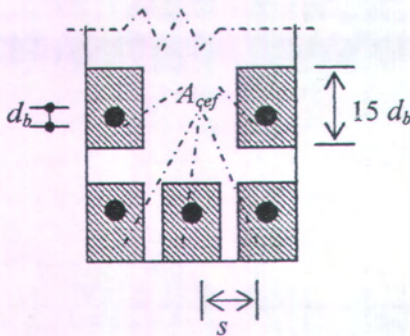
= 0,4 untuk baja tulangan ulir

= 0,8 untuk baja tulangan polos

$K_2$  = koefisien untuk memperhitungkan tingkat regangan sekitar daerah  $A_{cef}$

$$= \frac{0,25(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2 \cdot \varepsilon_1} \text{ dimana } \varepsilon_1 \text{ dan } \varepsilon_2 = \text{regangan tarik}$$

terbesar dan terkecil pada daerah  $A_{cef}$



Gambar 2.3 Definisi dari  $A_{cef}$ ,  $d_b$  dan  $s$

Persamaan (2.2) tersebut belum mengikutsertakan adanya pengaruh tulangan transversal yang akan mempengaruhi jarak antara retakan. Jarak antara retakan yang bervariasi juga akan mengakibatkan bervariasinya lebar retakan, dan CEB-FIP selanjutnya menentukan berdasarkan lebar retak karakteristik:

$$W_k = 1,7 W_m \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$W_m = \varepsilon_{cf} \cdot S_m \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

- dimana:  $W_k$  = lebar retak karakteristik  
 $W_m$  = lebar retak rata-rata  
 $\varepsilon_{cf}$  = regangan tarik  
 $S_m$  = spasi rata-rata retakan

### 2.1.1(c) Lebar Retak Menurut British Standard BS 8110-2 (1985)

British Standard memberikan perumusan lebar retak menurut Persamaan (2.5):

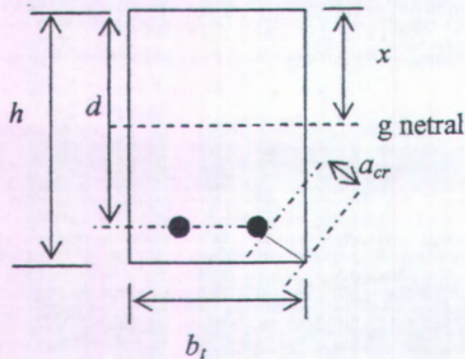
$$W_{maks} = \frac{3 \cdot a_{cr} \cdot \varepsilon_m}{1 + 2 \left( \frac{a_{cr} - c_{min}}{h - x} \right)} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_1 - \frac{b_t \cdot (h - x)(a' - x)}{3 \cdot E_s \cdot A_s (d - x)} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana (Gambar 2.4):

- $a_{cr}$  = jarak titik retak terhadap titik yang regangannya nol  
 $\varepsilon_m$  = regangan beton rata-rata pada daerah retak  
 $c_{min}$  = penutup minimum untuk tulangan  
 $h$  = tinggi struktur  
 $x$  = kedalaman sumbu netral  
 $\varepsilon_1$  = regangan pada titik retak  
 $b_t$  = lebar balok  
 $a'$  = jarak dari bidang tekan ke titik retak

- $E_s$  = modulus elastis baja  
 $A_s$  = luas tulangan baja  
 $d$  = kedalaman efektif



Gambar 2.4. Parameter Perhitungan Lebar Retak Menurut British Standard 8110-2

### 2.1.1(d) Lebar Retak Menurut Byung Hwan Oh dan Young Jin Kang (ACI Struktural Journal no 84-S10/1987)

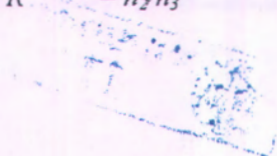
Melalui penelitian yang telah dilakukan, Byung Hwan Oh dan Young Jin Kang menyimpulkan bahwa spasi retakan pada balok beton bertulang sangat dipengaruhi oleh regangan aksial dan diameter tulangan baja yang digunakan. Maka dalam perumusan matematis yang mereka usulkan, terdapat parameter regangan baja ( $\epsilon_s$ ), diameter tulangan ( $D$ ) serta parameter-parameter non dimensional seperti yang dapat dilihat dalam persamaan berikut ini:

$$W_{max} = a_0 (\epsilon_s - 0,0002) \cdot R \cdot D \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

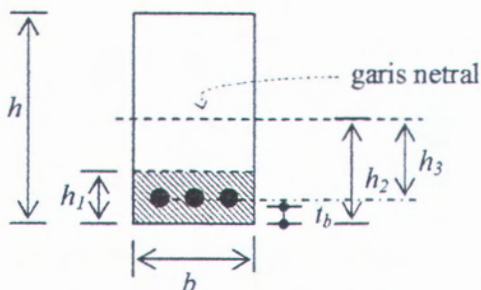
dimana (Gambar 2.5):

$$a_0 = 159 \cdot \left( \frac{t_b}{h_2} \right)^{4,5} + 2,83 \cdot \left( \frac{A_1}{A_{s1}} \right)^{1/3}$$

$$R = h_2/h_3$$



- $\epsilon_s$  = regangan baja teoritis  
 $D$  = diameter tulangan  
 $t_b$  = tebal selimut beton  
 $h_1$  = tinggi ekivalen =  $\frac{h_2^3}{(3 \cdot h_3)^2}$   
 $h_2$  = jarak netral dari serat bawah penampang  
 $h_3$  = jarak garis netral dan cgs  
 $A_1$  = luas efektif beton daerah tarikan baja =  $b \cdot h_1 / m$   
 $m$  = jumlah tulangan  
 $A_{s1}$  = luas satu tulangan baja



Gambar 2.5. Parameter Penampang dalam Menghitung Lebar Retak Menurut Byung Hwan Oh dan Young Jin Kang

Meskipun demikian, perumusan yang diusulkan ini masih menghasilkan lebar retak yang cukup besar dari kenyataannya (lebar retak aktual). Hal ini menunjukkan dalam penurunan rumus diatas mengandung faktor keamanan (*safety factor*) yang besar, sehingga terkesan perencanaan struktur yang berlebihan (*over desain*).

### 2.1.1(e) Lebar Retak Menurut SNI 03-2847-2002

Dalam SNI 2847 dijelaskan bahwa kontrol retak tidak diperlukan bila tulangan tarik yang digunakan mempunyai tegangan leleh dibawah 300 MPa. Bila tegangan leleh dari tulangan melebihi 300 MPa, maka penampang harus didesain sedemikian rupa sehingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang dalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Tegangan pada tulangan akibat kerja  $f_s$  (MPa) harus dihitung sebagai momen maksimum tak terfaktor dibagi dengan hasil kali luas tulangan baja dengan lengan momen dalam. Bila tidak dihitung dengan cara diatas,  $f_s$  boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh  $f_y$  yang diisyaratkan.

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh:

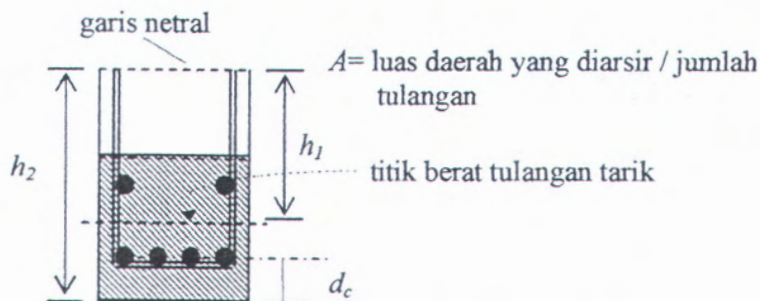
$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana (Gambar 2.6):

- $\omega$  = lebar retak maksimum
- $\beta$  = perbandingan jarak-jarak ke sumbu netral dari serat yang tertarik ekstrim dan dari sentroid  $A_s = (h_2/h_1)$
- $f_s$  = tegangan baja
- $d_c$  = penutup beton dari batang terluar dengan luas  $A_s$  diukur terhadap sumbu batang
- $A$  = luas efektif beton yang melingkupi tulangan

Nilai lebar retak tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.





Gambar 2.6 Parameter Penampangan dalam Perhitungan Lebar Retak Menurut SNI 03-2847-2002

### 2.1.2 Metoda *Strut-and-tie*

“*Strut-and-tie Model*” berawal dari “*Truss-analogi-model*” yang pertama kali dicetuskan oleh Hennebique lebih dari satu abad yang lampau. Model ini kemudian diperkenalkan oleh Ritter (1899), Morsch (1902).

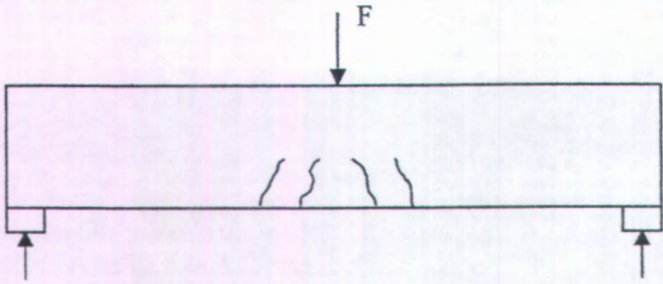
Sebenarnya, ide dasar dari model *strut-and-tie* ini adalah adanya aliran tegangan yang timbul akibat beban luar yang diberikan. Dalam gambar 2.7 ditunjukkan bahwa akibat beban  $F$ , balok mengalami tegangan tarik di bagian serat bawah. Hal ini dibuktikan dengan munculnya retak lentur di tengah bentang.

Berdasarkan analisa, seperti pada analisa elemen hingga kita dapat menurunkan kontur tegangan pada balok akibat beban  $F$  (Gambar 2.8). Tegangan yang diperoleh merupakan tegangan normal atau tegangan utama. Kontur tegangan menghubungkan daerah yang sama tegangannya. Berdasarkan kontur tegangan, dapat ditentukan aliran tegangan yang terjadi. Aliran tegangan ini kemudian disebut *trayektori tegangan*.

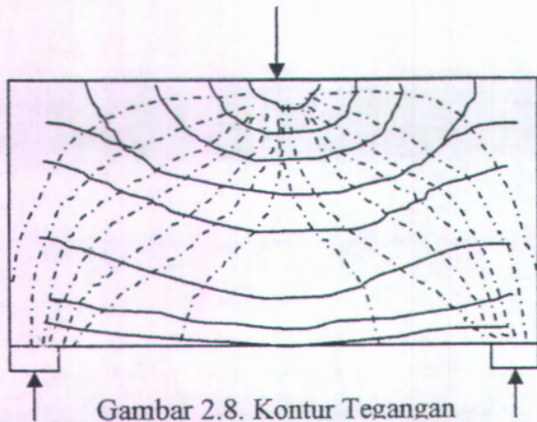
Dari *trayektori tegangan* kita dapat memperoleh dua informasi yaitu: jenis *trayektori tegangan* yaitu *trayektori tegangan tekan* (*compressive stress trajectories*) yang



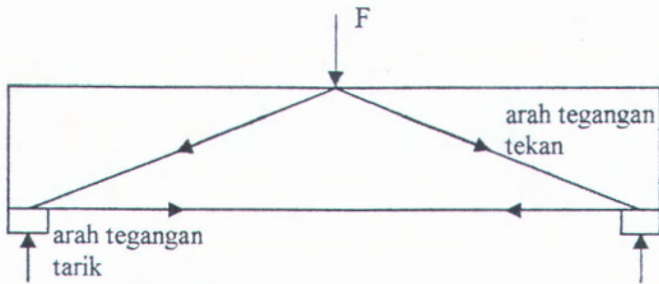
disimbolkan dengan garis putus-putus (-----) dan teyektori tegangan tarik (*tensile stress trajectories*) yang disimbolkan dengan garis penuh (—) serta arah aliran tegangan (Gambar 2.9).



Gambar 2.7. Pola Retak pada Balok Akibat Beban F



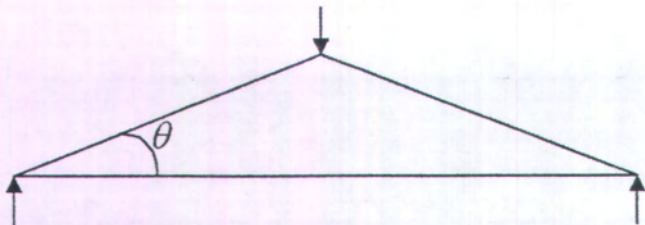
Gambar 2.8. Kontur Tegangan



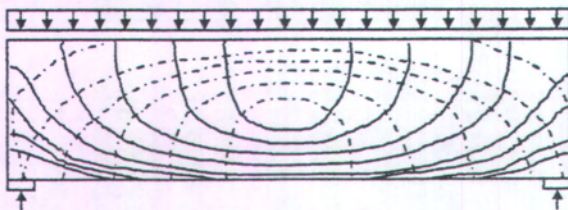
Gambar 2.9. Arah Aliran Tegangan

Dengan memperhatikan pola dan arah tegangan yang terjadi, dicoba untuk menganalogikan aliran itu dengan menggunakan rangka batang atau truss (Gambar 2.10 dan 2.11). Rangka batang tersebut berupa elemen struktur yang hanya bisa menerima gaya pada arah aksial. Batang yang menerima gaya aksial tekan disebut *strut* dan yang menerima gaya aksial tarik disebut *tie*. Sedangkan titik pertemuan antar batang disebut *nodal*.

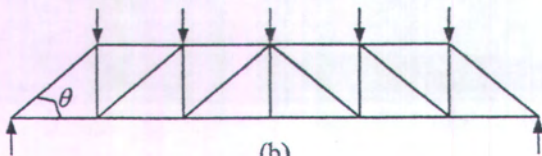
Rangka batang yang diusulkan bisa terdiri dari batang tekan dan tarik, sejajar dengan arah memanjang dari balok, atau batang tekan diagonal dengan sudut tertentu dan batang tarik vertikal. Batang tekan dan batang tarik yang sejajar diperlukan untuk memikul momen lentur, yang kita peroleh dari standar penulangan lentur. Batang tarik vertikal adalah penulangan geser yang dipasang untuk memikul gaya lintang, sedangkan batang tekan diagonal akan dipikul oleh betonnya sendiri.



Gambar 2.10. Analogi Rangka



(a)



(b)

Gambar 2.11. (a) Trayektori Tegangan Akibat Beban Merata  
(b) Analogi Rangka

Sampai saat ini belum ada kepastian yang jelas mengenai berapa besarnya sudut antara batang tekan diagonal dengan batang tarik horisontal dalam *strut-tie*. Beberapa peneliti dan peraturan memberikan kisaran sudut yang dapat dibuat seperti:

1. Rogowsky, Ramirez, dan Mac Gregor:  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$
2. Thurliman & Swiss code (1976):  $0,5 < \tan \theta < 2$  atau  $26,6^{\circ} < \theta < 63,4^{\circ}$

3. CEB-FIP Code (1978):  $31^{\circ} < \theta < 59^{\circ}$
4. ACI 318-02:  $\theta > 25^{\circ}$

Truss analogi dari kemudian dikembangkan/disempurnakan oleh Rusch (1964), Kupfer (1964), Leonhardt (1965), Elfgren (1972), Nielsen (1978), Mueller (1978), Collins dan Mitchell (1980), Hsu (1982), Thurlimann (1983), Marti (1985), MacGregor (1986), Hardjasaputra (1987), Reineck (1990), dan Collins (1991) serta peneliti-peneliti lainnya.

Karena keunggulan dan kesederhanaannya untuk menganalisa, metode ini sudah diadopsi oleh banyak peraturan perencanaan di berbagai negara, salah satunya adalah peraturan ACI 318-02. Untuk mendesain struktur beton dengan menggunakan metoda strut-tie diperlukan beberapa tahap analisa yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi:

1. Pemodelan struktur, yaitu pembuatan model yang sesuai dengan keadaan aktual struktur.
2. Optimasi model, yaitu memilih model yang paling baik berdasarkan kriteria optimasi dari beberapa model yang diusulkan.
3. Penentuan dimensi komponen-komponen struktur menurut keadaan batas struktur dan kriteria kekuatan batas yang diisyaratkan.
4. Desain tulangan yang dibutuhkan berdasarkan prinsip kesetimbangan dan pembuatan detilnya.

## 2.2 METODA PERHITUNGAN

Dalam peraturan ACI 318-02 dijelaskan syarat kekuatan dari masing-masing elemen dalam model strut-and-tie seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12.

Dalam desain untuk komponen strut, tie dan nodal zone harus memenuhi kriteria (ACI-A.2.6):

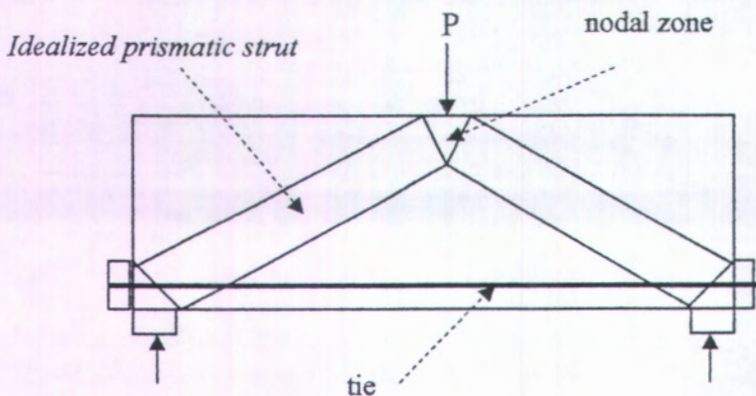
$$\phi \cdot F_n \geq F_u \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

$F_u$  = gaya dalam komponen strut atau tie atau gaya pada salah satu sisi nodal zone akibat beban luar

$F_n$  = kekuatan nominal dari komponen strut atau tie atau nodal zone

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan (ACI-9.3.2.6) = 0.75



Gambar 2.12. Elemen dari *Strut-and-tie*

### 2.2.1 Kekuatan Strut

Nilai nominal dari kekuatan tekan strut dihitung dengan rumus (ACI-A.3.1):

$$F_{ns} = f_{cw} A_c \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

$A_c$  = luas cross-section di ujung strut

$f_{cu}$  = tegangan efektif tekan yang diambil dari nilai terendah antara:

1. Tegangan efektif tekan strut (ACI-A.3.2):

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

2. Tegangan efektif tekan nodal zone (ACI-A.5.2):

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c' \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

nilai  $\beta_s$  dalam Persamaan (2.12) diambil:

- (ACI-A.3.2.1) Untuk strut dengan luas cross-section sama di sepanjang komponen strut  $\dots\dots\dots \beta_s = 1$

- (ACI-A.3.2.2) Untuk strut dengan luas cross-section membesar ditengah komponen strut atau bentuk strut botol (bottle-shaped strut):

(a) dengan tulangan  $\dots\dots\dots \beta_s = 0,75$

(b) tanpa tulangan  $\dots\dots\dots \beta_s = 0,6 \lambda$

dimana  $\lambda$  dapat dilihat dalam ACI.11.7.4.3

- (ACI-A.3.2.3) Untuk strut dalam komponen tension atau komponen tension flanges  $\dots\dots\dots \beta_s = 0,4$

- (ACI-A.3.2.4) Untuk kasus lain  $\dots\dots\dots \beta_s = 0,6$

nilai  $\beta_n$  dapat dilihat dalam sub bab 2.2.3

### 2.2.2 Kekuatan Tie

Nilai nominal dari kekuatan tarik tie dihitung dengan rumus (ACI-A.4.1):

$$F_{mt} = A_{st} \cdot f_y + A_{ps} (f_{se} + \Delta f_p) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana:

$A_{st}$  = luas tulangan tarik beton

$f_y$  = tegangan leleh tulangan

$A_{ps}$  = luas tulangan pratekan (bila ada)

$f_{se}$  = tegangan efektif dalam tulangan pratekan setelah kehilangan gaya prategang

$\Delta fp$  = tegangan tambahan dalam tendon pratekan akibat faktor beban

### 2.2.3 Kekuatan Nodal Zone

Nilai nominal dari kekuatan nodal zone dihitung dengan rumus (ACI-A.5.1):

$$F_{nm} = f_{cu} \cdot A_n \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana:

$A_n$  = luas area dipermukaan nodal zone dari arah dimana  $F_u$  bekerja

$f_{cu}$  = tegangan efektif nodal zone diambil (ACI-A.5.2):

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c' \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

nilai  $\beta_n$  dalam persamaan (2.16) diambil:

- (ACI-A.5.2.1) Untuk nodal zone dengan gaya tekan (strut) pada semua sisinya  $\dots\dots\dots \beta_n = 1$

- (ACI-A.5.2.2) Untuk nodal zone dengan satu gaya tarik (tie) pada salah satu sisinya  $\dots\dots\dots \beta_n = 0,8$

- (ACI-A.5.2.3) Untuk nodal zone dengan dua atau lebih gaya tarik (tie) pada sisinya  $\dots\dots\dots \beta_n = 0,6$

### 2.2.4 Luas Penampang Tie

Luas penampang tie dalam menahan tegangan tarik dihitung dengan rumus (ACI-RA.4.2):

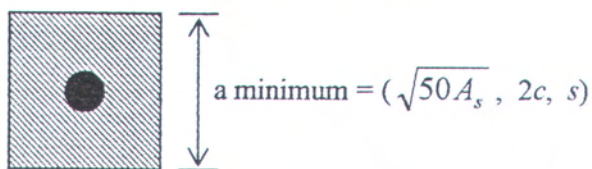
$$A_{maksimum} = F_{nt} / f_{cu} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana:

$F_{nt} = F_u / \phi$  = kekuatan nominal dari komponen tie

$f_{cu}$  = tegangan efektif nodal zone

Selain itu, perumusan luas penampang tie juga dapat dihitung menggunakan usulan oleh Hsu (2003) yaitu:



Gambar 2.13. Penentuan a Minimum dalam Luas

dimana:  $A_s$  = luas tulangan baja  
 $c$  = tebal selimut beton terhadap titik berat tulangan  
 $s$  = spasi antar tulangan



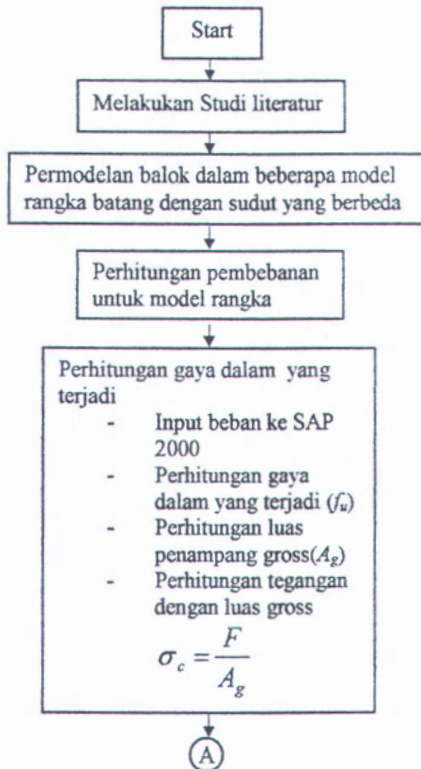
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

## BAB III METODOLOGI

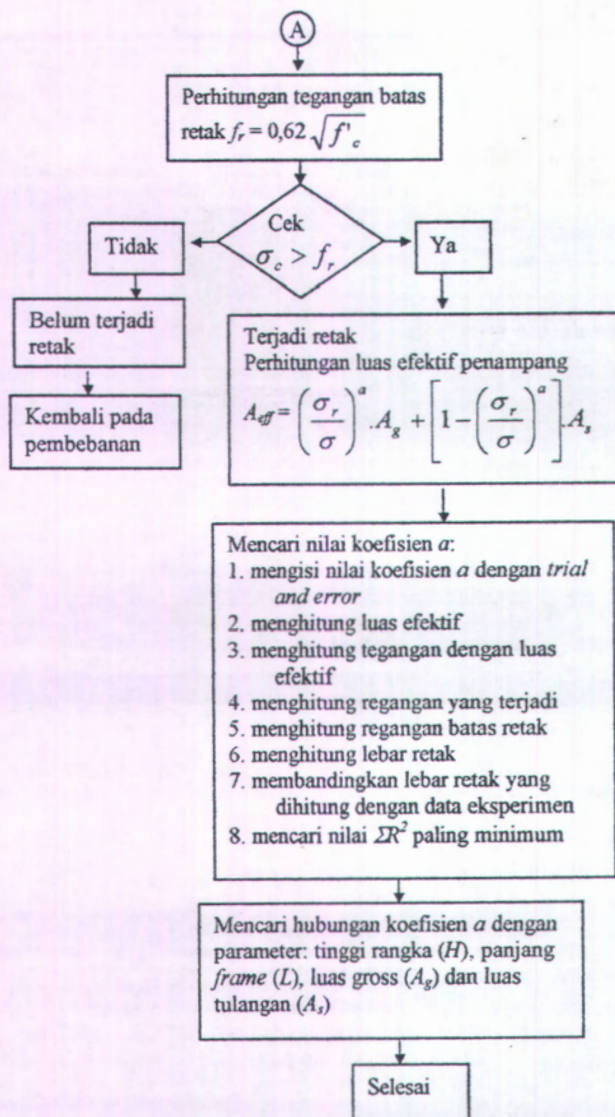
Dalam bab ini akan diuraikan mengenai seluruh prosedur penelitian yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini, sehingga penyelesaian tugas akhir ini dapat lebih jelas dan terarah.

### 3.1 SKEMA PENELITIAN

Tahapan dalam penyusunan tugas akhir ini secara sederhana dapat digambarkan dengan skema alir dalam Gambar 3.1



Gambar 3.1 Bagan Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 Lanjutan

### 3.2 URAIAN PELAKSANAAN

Langkah-langkah yang diambil dalam penyusunan tugas akhir ini seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dengan mengambil data-data hasil eksperimen lebar retak dalam beberapa literatur dan jurnal.
2. Permodelan balok ke dalam bentuk rangka batang dengan beberapa pilihan besar sudut.
3. Perhitungan pembebanan dengan mengambil data berat balok yang terdapat dalam literatur. Perhitungan pembebanan ini nantinya akan menjadi input dalam mencari gaya dalam aksial.
4. Perhitungan gaya dalam dilakukan menggunakan bantuan program SAP 2000. Didapatkan gaya dalam aksial tarik maksimum pada frame rangka di tengah bentang. Setelah itu dilakukan perhitungan luas penampang gross menggunakan usulan rumus dari Hsu (2003). Setelah mendapatkan luas gross, dilanjutkan dengan perhitungan tegangan berdasarkan luas gross.
5. Perhitungan tegangan batas retak. Rumus diambil dari peraturan ACI 9.6.2.3
6. Perbandingan tegangan berdasarkan luas gross dengan tegangan batas retak. Jika tegangan yang terjadi lebih besar dari tegangan batas retak maka retak telah terjadi dan dilanjutkan dengan perhitungan luas efektif.
7. Dalam menghitung luas efektif, dilakukan dengan cara *trial and error* untuk mencari nilai koefisien  $a$ . Cara *trial and error* ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program exell sampai didapatkan nilai  $\Sigma R^2$  paling minimum. Nilai  $\Sigma R^2$  adalah kwadrat selisih antara lebar retak prediksi dengan lebar retak dari data.

8. Mencari hubungan antara nilai koefisien  $a$  dalam perumusan luas efektif dengan parameter dari balok (model rangka) seperti:  $H$ ,  $L$ ,  $A_g$  dan  $A_s$ .
9. Mengambil kesimpulan mengenai perumusan luas penampang efektif beserta nilai koefisien  $a$ .

## BAB IV ANALISA PERHITUNGAN

### 4.1 UMUM

Dalam perhitungan lebar retak pada balok beton bertulang akibat beban lentur yang bekerja, ada banyak perumusan yang dapat digunakan. Rumus-rumus tersebut dapat dilihat pada beberapa peraturan beton bertulang seperti: ACI 318, CEB-FIP Code 1978, British Standard 8110-2.

Peraturan beton bertulang di Indonesia juga mempunyai perumusan lebar retak yang diadopsi dari perumusan lebar retak dalam ACI 318. Selain menggunakan perumusan yang ada, lebar retak pada balok beton bertulang juga dapat diprediksi menggunakan pendekatan 'metoda *Strut-and-tie*'.

### 4.2 DATA EKSPERIMEN

Data eksperimen yang digunakan dalam perhitungan, tidak didapatkan melalui percobaan pengukuran lebar retak secara langsung di laboratorium. Data ini diperoleh dari penelitian terdahulu yang terdapat pada literatur.

Data yang dipakai dalam perhitungan antara lain:

Data beton:

- Data berat:           - berat semen               = 340 kg
- berat agregat             = 1022 kg
- berat pasir                = 880 kg
- berat air                   = 170 kg
- Data kuat tekan:  $f'_c = 46$  MPa
- Data modulus Elastisitas:  $E_c = 30$  GPa

Data Baja tulangan:

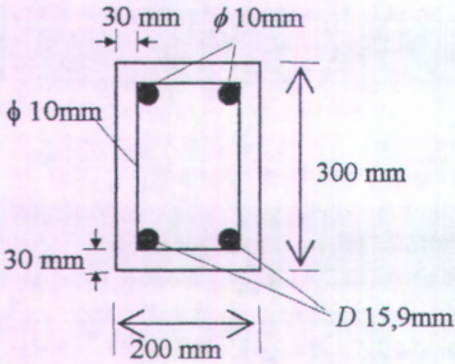
- Tulangan tekan             $D$  10 mm
- Tulangan Tarik             $D$  15,9 mm
- Tulangan sengkang        $\phi$  10 mm
- $f_y$  tulangan               = 480 MPa



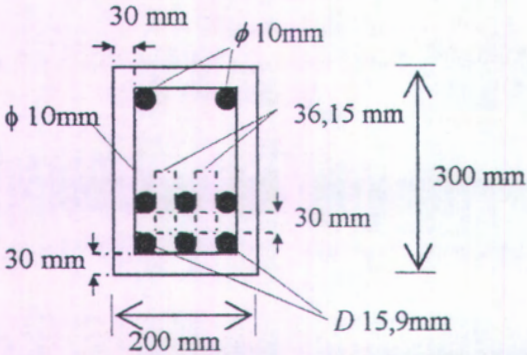
$f_u$  tulangan = 600 MPa

$E$  tulangan = 200 GPa

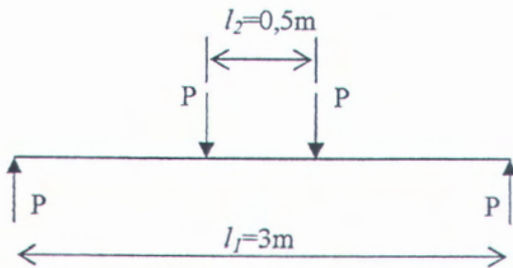
Data yang lain dapat dilihat dalam Gambar 4.1 – 4.4



Gambar 4.1. Penampang Balok ST-2B

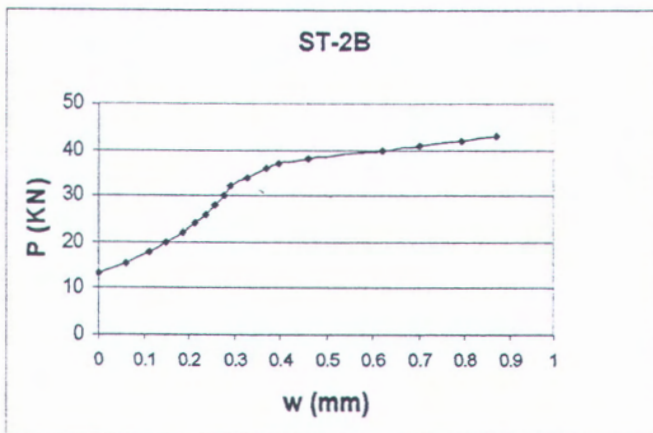


Gambar 4.2. Penampang Balok ST-6B



Gambar 4.3 Posisi Pembebanan

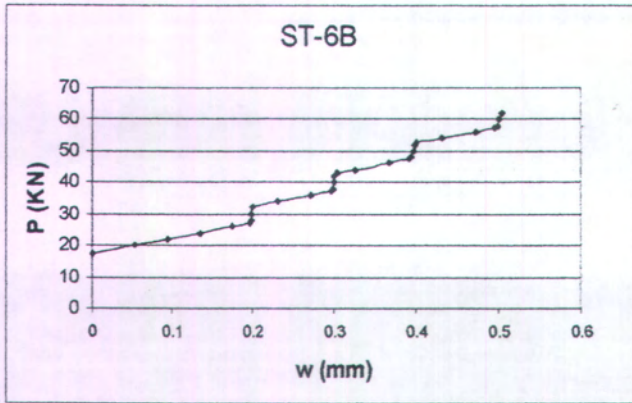
Selain itu dapat dilihat juga data hasil pengukuran lebar retak dari eksperimen dalam Gambar 4.4 dibawah.



(a) Grafik lebar retak balok ST-2B

Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran Lebar Retak ( $w$ ) terhadap pembebanan  $P$  (KN)





(b) Grafik lebar retak balok ST-6B

Gambar 4.4 Lanjutan

### 4.3 ANALISA DATA EKSPERIMEN

#### 4.3.1 Perhitungan Beban

Sebagai masukan atau input dalam analisa perhitungan, diperlukan besarnya beban yang bekerja pada balok. Beban yang bekerja terdiri dari beban berat sendiri dan beban luar P.

#### 4.3.1.1 Beban Berat Sendiri (Beton + Tulangan)

##### 4.3.1.1(a) Berat Tulangan:

1. Untuk balok ST-2B

Volume tulangan:

- tulangan tarik bawah:

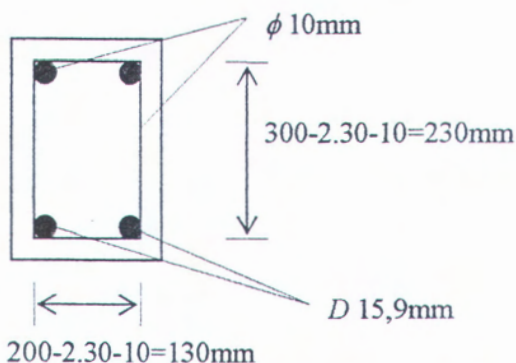
$$(1/4 \cdot \pi \cdot 0,0159^2) \times 2\text{buah} \times 3\text{m} = 1,1907351 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- tulangan tekan atas:

$$(1/4 \cdot \pi \cdot 0,01^2) \times 2\text{buah} \times 3\text{m} = 0,471 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- tulangan sengkang:

$$(1/4 \cdot \pi \cdot 0,01^2) \times 28\text{buah} \times 2 \cdot (0,23 + 0,13)\text{m} = \frac{1,58256 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{= 3,2442951 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}$$



Gambar 4.5. Ukuran Tulangan Balok ST-2B

Berat tulangan:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume} \times \text{berat jenis baja} \\
 &= 3,2442951 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \times 7,83 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 25,403 \text{ kg} \\
 &= 25,403 \text{ kg}/3\text{m} \\
 &= 8,467 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Untuk balok ST-6B

Volume tulangan:

- tulangan tarik bawah:

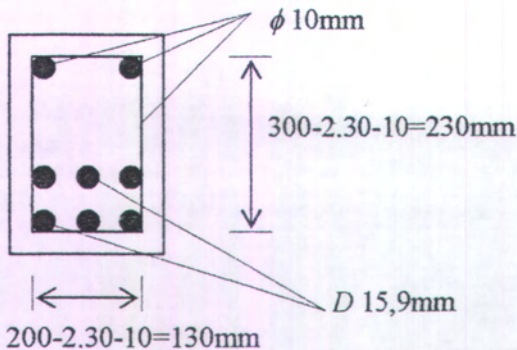
$$(1/4 \cdot \pi \cdot 0,0159^2) \times 6\text{buah} \times 3\text{m} = 3,5722053 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- tulangan tekan atas:

$$(1/4 \cdot \pi \cdot 0,01^2) \times 2\text{buah} \times 3\text{m} = 0,471 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- tulangan sengkang:

$$\begin{aligned}
 (1/4 \cdot \pi \cdot 0,01^2) \times 28\text{buah} \times 2 \cdot (0,23+0,13)\text{m} &= 1,58256 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 &= 5,6257653 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6. Ukuran Tulangan Balok ST-6B

Berat tulangan:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume} \times \text{berat jenis baja} \\
 &= 5,6257653 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \times 7,83 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 44,0497 \text{ kg} \\
 &= 44,0497 \text{ kg/3m} \\
 &= 14,683 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.1.1(b) Berat Beton:

Untuk berat per  $\text{m}^3$ :

$$\begin{aligned}
 - \text{berat semen} &= 340 \text{ kg} \\
 - \text{berat agregat} &= 1022 \text{ kg} \\
 - \text{berat pasir} &= 880 \text{ kg} \\
 - \text{berat air} &= \underline{170 \text{ kg}} \\
 &= 2412 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk berat per meter panjang:

(a) Balok ST-2B

$$\begin{aligned}
 &= 2412 \text{ kg/m}^3 \times \text{volume beton} \\
 &= 2412 \text{ kg/m}^3 \times (0,2 \cdot 0,3 - 3,2442951 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2 \\
 &= 136,895 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

(b) Balok ST-6B

$$\begin{aligned}
 &= 2412 \text{ kg/m}^3 \times \text{volume beton} \\
 &= 2412 \text{ kg/m}^3 \times (0,2 \cdot 0,3 - 5,6257653 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2 \\
 &= 131,151 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Jadi beban berat sendiri (terbagi rata) total:

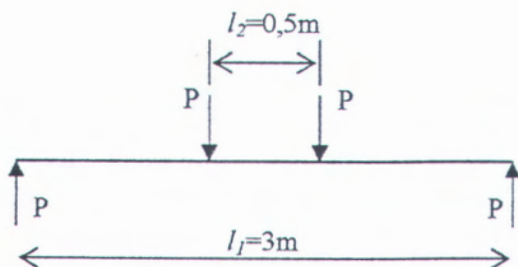
$$\begin{aligned} \text{Untuk balok ST-2B} &= 136,895 + 8,467 \\ &= 145,362 \text{ kg/m} \\ \text{Untuk balok ST-6B} &= 131,151 + 14,683 \\ &= 145,834 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

#### 4.3.1.2 Beban Luar P (Terpusat)

Untuk besarnya beban P dapat diambil dari Gambar 4.4. Hubungan antara variabel momen maksimum dengan beban P dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M \text{ maksimum} &= P \cdot \frac{l_1}{2} - P \cdot \frac{l_2}{2} \\ &= P \cdot \frac{3}{2} - P \cdot \frac{0,5}{2} \\ &= 1,25 \cdot P \text{ (N-m)} \end{aligned}$$

$$P = \frac{M_{maks}}{1,25} \text{ (N)}$$



Gambar 4.7 Model Pembebanan Balok

Tabel 4.1 Tabel Momen, Beban P dan Lebar Retak ( $w$ )  
Untuk Balok ST-2B dan ST-6B

## Balok ST-2B

No	M (KN-m)	P (KN)	w (mm)
1	16.45213	13.1617	0
2	19.13375	15.307	0.061803
3	22.5	18	0.112564
4	25	20	0.148608
5	27.5	22	0.18721
6	30	24	0.215099
7	32.5	26	0.237438
8	35	28	0.256933
9	37.5	30	0.276946
10	40	32	0.292324
11	42.5	34	0.32896
12	45	36	0.370607
13	46.54188	37.2335	0.397741
14	47.5	38	0.462281
15	50	40	0.620428
16	51.25	41	0.703255
17	52.5	42	0.794658
18	53.75	43	0.872125

Tabel 4.1 Lanjutan

## Balok ST-6B

No	M (KN-m)	P (KN)	w (mm)
1	21.815	17.452	0
2	25	20	0.052699
3	27.5	22	0.095184
4	30	24	0.134154
5	32.5	26	0.174009
6	34.02913	27.2233	0.196674
7	35	28	0.197783
8	37.5	30	0.19832
9	40	32	0.19976
10	42.5	34	0.229787
11	45	36	0.272322
12	46.47275	37.1782	0.297659
13	47.5	38	0.298776
14	50	40	0.300207
15	52.5	42	0.301646
16	53.4365	42.7492	0.303639
17	55	44	0.326314
18	57.5	46	0.367955
19	59.33138	47.4651	0.392479
20	60	48	0.394409
21	62.5	50	0.396742
22	65	52	0.398182
23	65.79925	52.6394	0.401032
24	67.5	54	0.431783
25	70	56	0.473424
26	71.52675	57.2214	0.495196
27	72.5	58	0.498092
28	75	60	0.500416
29	77.5	62	0.503642

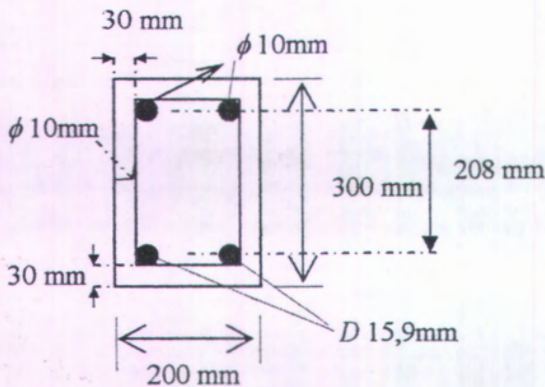
### 4.3.2 Perencanaan Model Rangka

Permodelan rangka ini dibatasi untuk sudut rangka seperti yang diusulkan oleh Schlaich, Thurliman, Collins, dan Mac Gregor (Hardjasaputra, 2002) yaitu  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ . Dengan demikian model rangka yang akan direncanakan meliputi besar sudut:  $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $65^{\circ}$  untuk masing-masing balok (balok ST-2B dan balok ST-6B).

#### 4.3.2.1 Permodelan Rangka Balok ST-2B

Tinggi rangka direncanakan sebagai jarak antara pusat titik berat tulangan tekan atas sampai titik berat tulangan tarik bawah (Gambar 4.8). Dengan demikian, tinggi rangka untuk balok ST-2B adalah:

$$\begin{aligned}
 H &= \text{tinggi balok} - 2 \times \text{tebal selimut beton} - 2 \times \text{diameter} \\
 &\quad \text{sengkang} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan tekan atas} - \frac{1}{2} \text{ diameter} \\
 &\quad \text{tulangan tarik bawah.} \\
 &= 300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - \frac{1}{2} 10 - \frac{1}{2} 15,9 \\
 &= 207,05 \text{ mm} \approx 208 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8. Tinggi Rangka Untuk Balok ST-2B

Untuk besar sudut  $25^{\circ}$ , direncanakan jarak bentang utama

$$\lambda = \frac{H}{\tan(25^{\circ})} = \frac{208}{\tan(25^{\circ})} = 446 \text{ mm}$$

Untuk besar sudut yang lain, maka panjang bentang utama dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4.2 Panjang Bentang Utama Untuk Model Rangka Balok ST-2B

Balok	Sudut	H (mm)	$\lambda$ (mm)
ST-2B	$25^{\circ}$	208	446
	$35^{\circ}$	208	297
	$45^{\circ}$	208	208
	$50^{\circ}$	208	175
	$55^{\circ}$	208	146
	$60^{\circ}$	208	120
	$65^{\circ}$	208	97

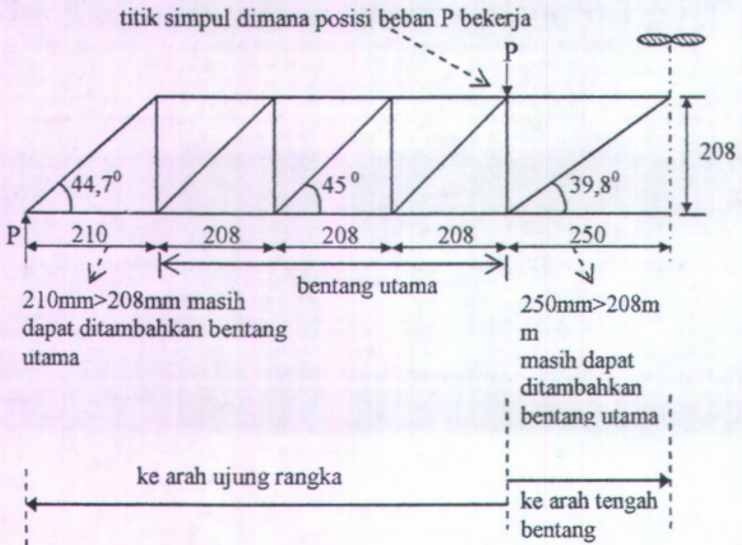
Penempatan jarak bentang utama ini dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban P bekerja sampai pada ujung rangka (Gambar 4.9). Jika pada ujung rangka masih terdapat sisa panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama ini, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama (Gambar 4.10) dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang horisontal pada ujung rangka masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ ).

Demikian juga dengan bentang yang dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban P bekerja sampai pada tengah bentang. Jika masih terdapat panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang



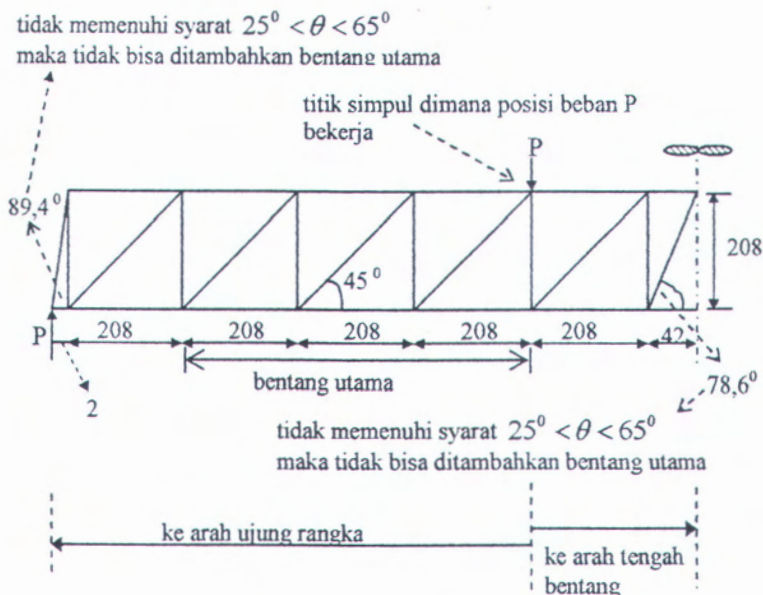
horizontal pada tengah bentang masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ ).

Contoh permodelan rangka untuk besar sudut  $45^{\circ}$ :



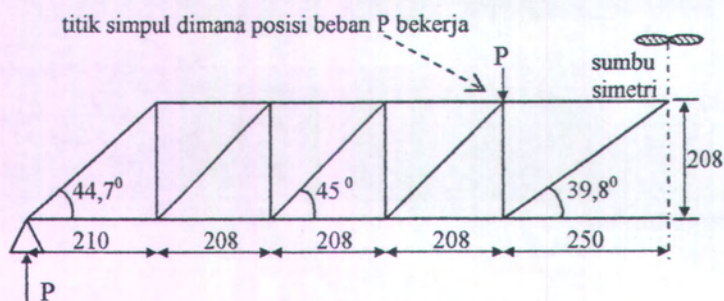
Gambar 4.9 Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut  $45^{\circ}$

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa untuk bentang 210 mm dan 250 mm masih mungkin ditambahkan bentang utama karena sudut yang terbentuk masih memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ .



Gambar 4.10 Penambahan Bentang Utama pada Ujung dan Tengah Rangka Sudut  $45^{\circ}$

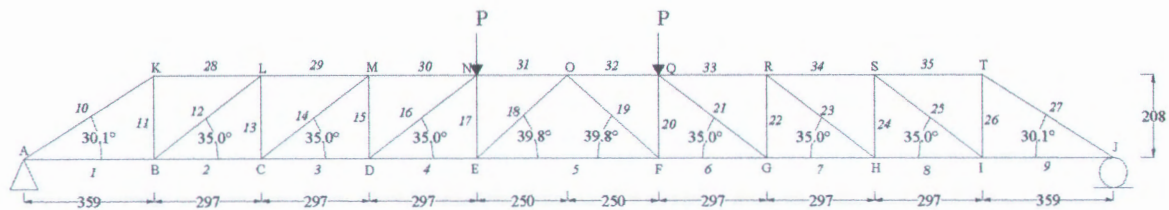
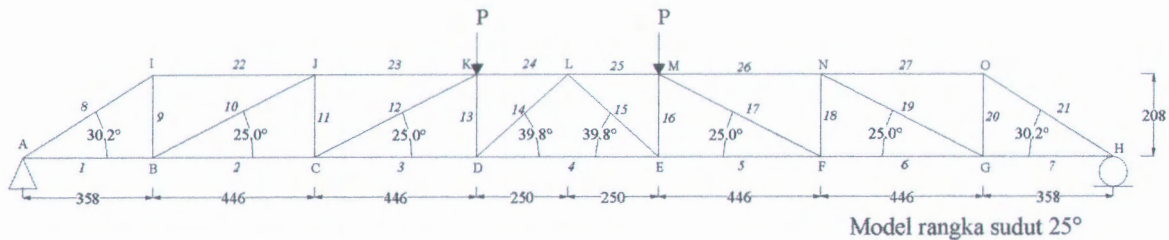
Dari Gambar 4.10 dapat dilihat untuk sudut  $89,4^{\circ}$  tidak memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  maka pada bentang dengan panjang 210 mm tidak dapat ditambahkan lagi bentang utama. Demikian juga untuk sudut  $78,6^{\circ}$  tidak memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  maka pada bentang dengan panjang 250 mm tidak dapat ditambahkan lagi bentang utama.



Gambar 4.11 Permodelan Akhir Rangka Sudut  $45^\circ$  Untuk Setengah Bentang Balok

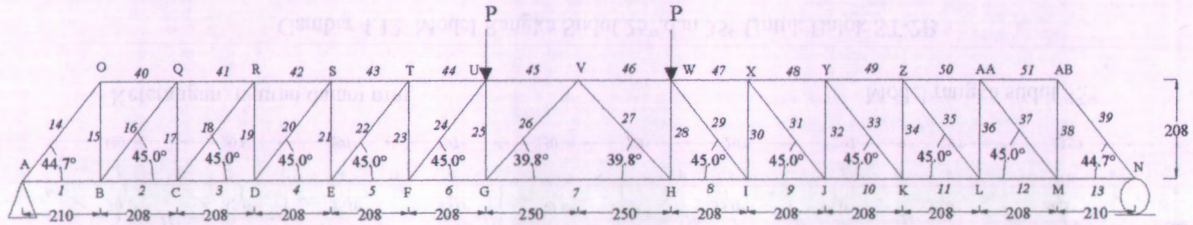
Dengan dipenuhinya syarat sudut  $25^\circ < \theta < 65^\circ$  didapatkan model rangka sudut  $45^\circ$  pada balok ST-2B seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.11.

Untuk permodelan akhir dari rangka batang dengan sudut yang lain dapat dilihat pada gambar 4.12 – 4.14.

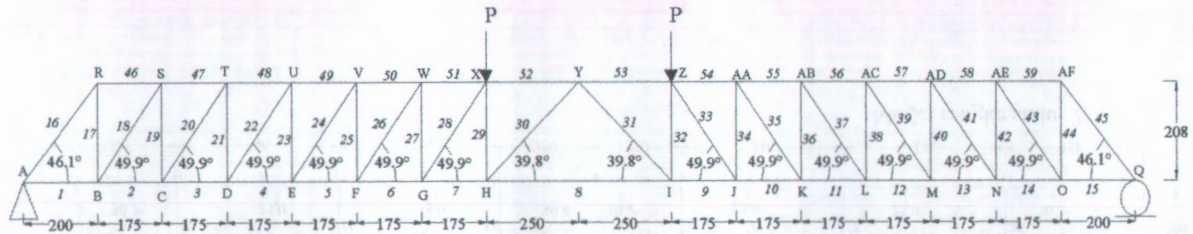


Keterangan: ukuran dalam mm,

Gambar 4.12 Model Rangka Sudut 25°, dan 35° Untuk Balok ST-2B



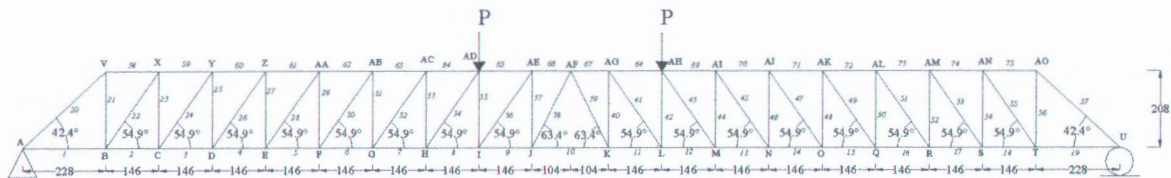
Model rangka sudut 45°



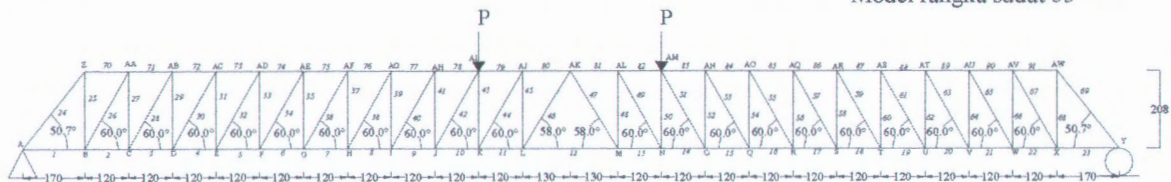
Keterangan: ukuran dalam mm,

Model rangka sudut 50°

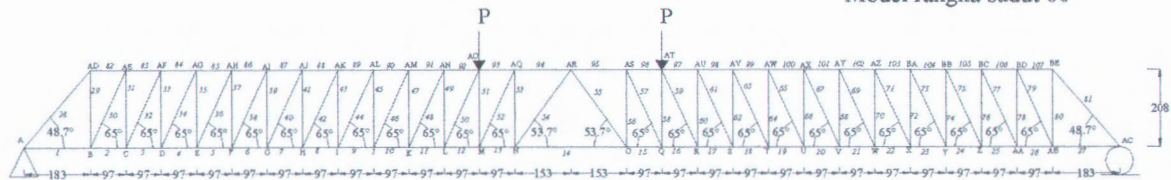
Gambar 4.13 Model Rangka Sudut 45°, dan 50° Untuk Balok ST-2B



Model rangka sudut 55°



Model rangka sudut 60°



Model rangka sudut 65°

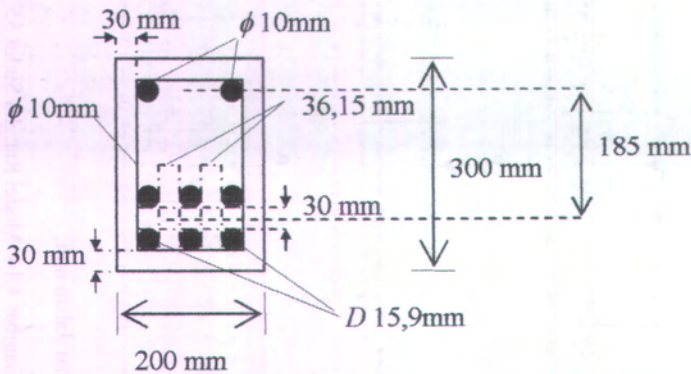
Keterangan: ukuran dalam mm,

Gambar 4.14 Model Rangka Sudut 55°, 60°, dan 65° Untuk Balok ST-2B

### 4.3.2.2 Permodelan Rangka Balok ST-6B

Tinggi rangka direncanakan sebagai jarak antara pusat titik berat tulangan tekan atas sampai titik berat tulangan tarik bawah (Gambar 4.15). Dengan demikian, tinggi rangka untuk balok ST-6B adalah:

$$\begin{aligned}
 H &= \text{tinggi balok} - 2 \times \text{tebal selimut beton} - 2 \times \text{diameter} \\
 &\quad \text{senggang} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan tekan atas} - \text{diameter} \\
 &\quad \text{tulangan tarik} - \frac{1}{2} \text{ spasi vertikal antar tulangan tarik.} \\
 &= 300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - \frac{1}{2} 10 - 15,9 - \frac{1}{2} 30. \\
 &= 184,1 \text{ mm} \approx 185 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.15. Tinggi Rangka Untuk Balok ST-6B

Untuk besar sudut  $25^\circ$ , direncanakan jarak bentang utama

$$\lambda = \frac{H}{\tan(25^\circ)} = \frac{185}{\tan(25^\circ)} = 396 \text{ mm}$$

Untuk besar sudut yang lain, maka panjang bentang utama dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4.3 Panjang Bentang Utama Untuk Model Rangka Balok ST-6B

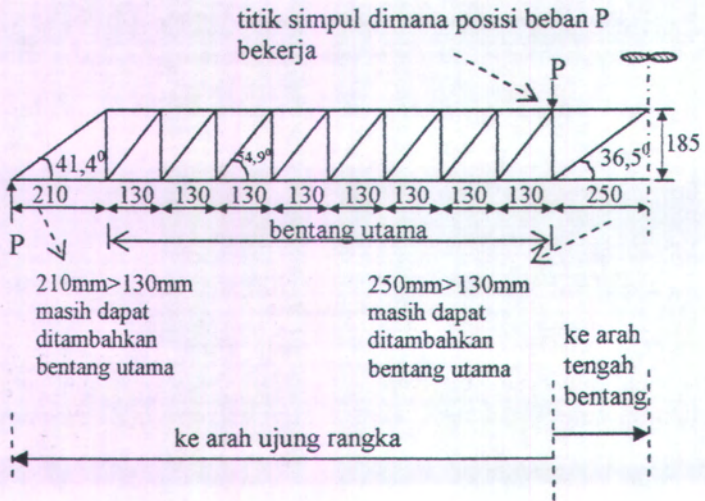
Balok	Sudut	$H$ (mm)	$\lambda$ (mm)
ST-6B	25°	185	396
	35°	185	264
	45°	185	185
	50°	185	155
	55°	185	130
	60°	185	107
	65°	185	87

Penempatan jarak bentang utama ini dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban  $P$  bekerja sampai pada ujung rangka (Gambar 4.16). Jika pada ujung rangka masih terdapat sisa panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama ini, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama (Gambar 4.17) dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang horisontal pada ujung rangka masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^\circ < \theta < 65^\circ$ ).

Demikian juga dengan bentang yang dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban  $P$  bekerja sampai pada tengah bentang. Jika masih terdapat panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang horisontal pada tengah bentang masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^\circ < \theta < 65^\circ$ ).



Contoh permodelan rangka untuk besar sudut  $55^{\circ}$ :



Gambar 4.16 Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut  $55^{\circ}$

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa untuk bentang 210 mm dan 250 mm masih mungkin ditambahkan bentang utama karena sudut yang terbentuk masih memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ .

tidak memenuhi syarat

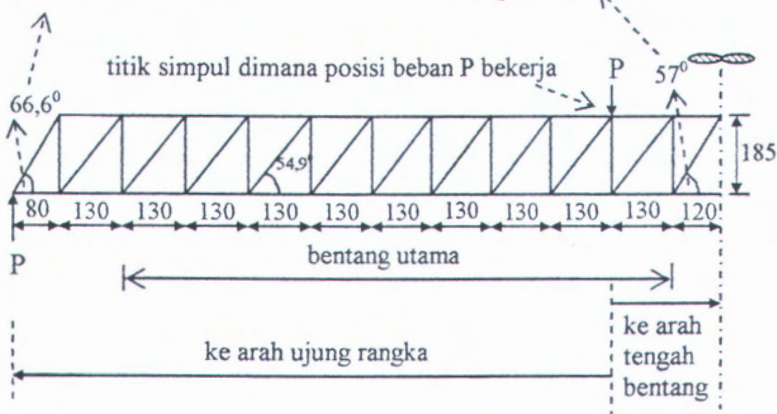
$$25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$$

maka tidak bisa ditambahkan  
bentang utama

memenuhi syarat

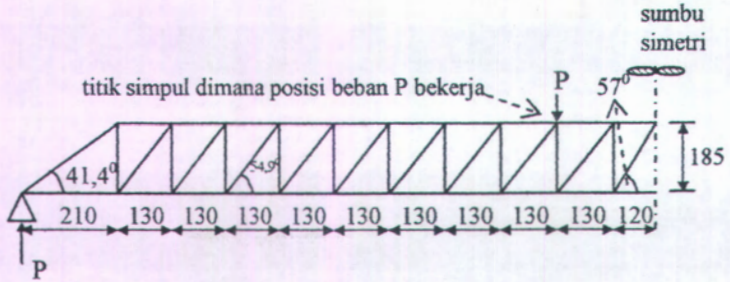
$$25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$$

maka bisa ditambahkan  
bentang utama



Gambar 4.17 Penambahan Bentang Utama pada Ujung dan Tengah Rangka Sudut  $55^{\circ}$

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat untuk sudut  $66,6^{\circ}$  tidak memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  maka pada bentang dengan panjang 210 mm tidak dapat ditambahkan lagi bentang utama. Tetapi untuk sudut  $57,0^{\circ}$  masih memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  maka pada bentang dengan panjang 250 mm dapat ditambahkan lagi bentang utama.

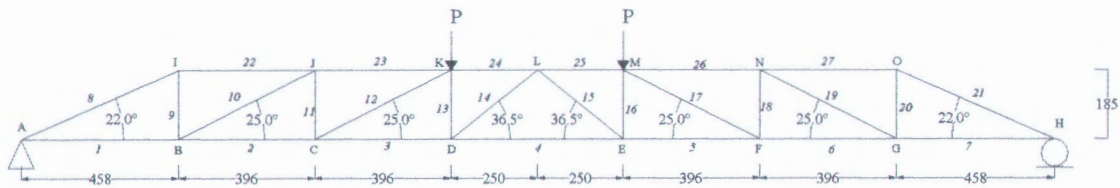


Gambar 4.18 Permodelan Akhir Rangka Sudut  $55^{\circ}$   
Untuk Setengah Bentang Balok

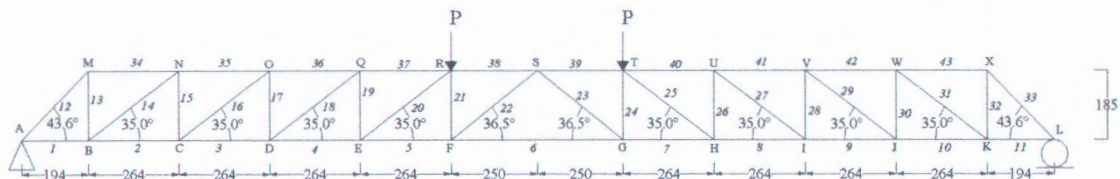
Dengan dipenuhinya syarat sudut  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  didapatkan model rangka sudut  $55^{\circ}$  pada balok ST-6B seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.18.

Untuk permodelan akhir dari rangka batang dengan sudut yang lain dapat dilihat pada gambar 4.19 – 4.21.





Model rangka sudut  $25^\circ$

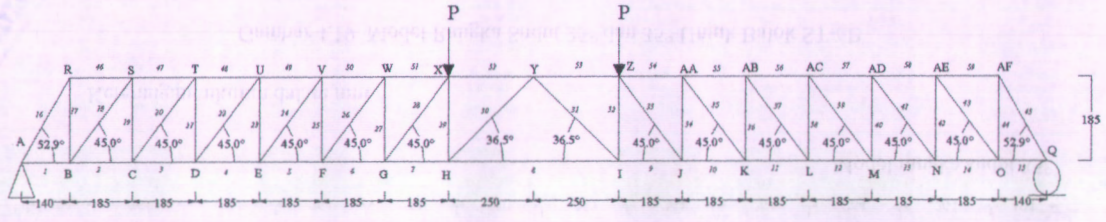


Model rangka sudut  $35^\circ$

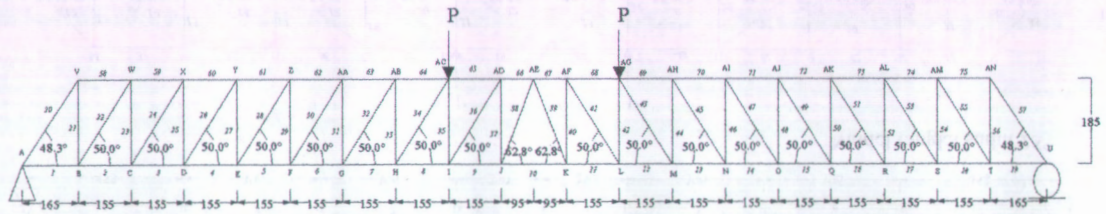
Keterangan: ukuran dalam mm

Gambar 4.19 Model Rangka Sudut  $25^\circ$ , dan  $35^\circ$  Untuk Balok ST-6B





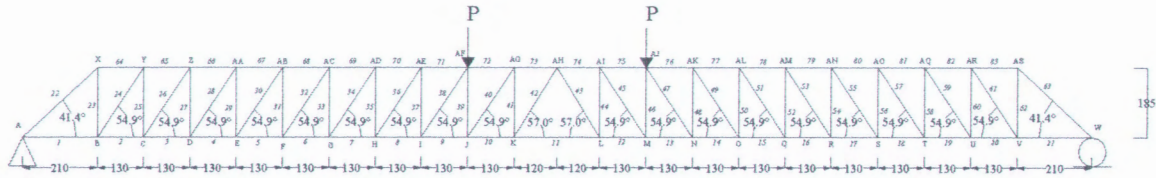
Model rangka sudut 45°



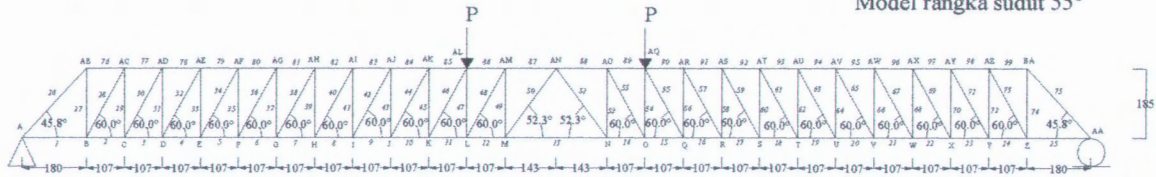
Model rangka sudut 50°

Keterangan: ukuran dalam mm

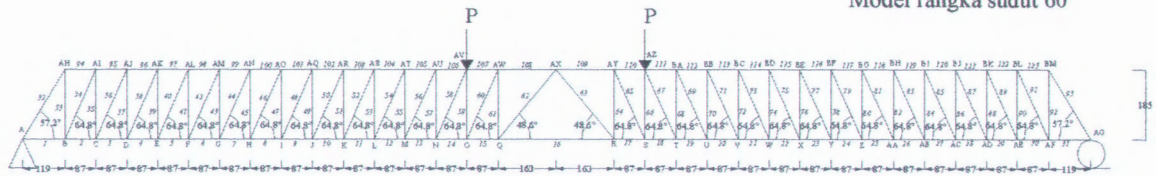
Gambar 4.20 Model Rangka Sudut 45°, dan 50° Untuk Balok ST-6B



Model rangka sudut 55°



Model rangka sudut 60°



Model rangka sudut 65°

Keterangan: ukuran dalam mm

Gambar 4.21 Model Rangka Sudut 55°, 60°, dan 65° Untuk Balok ST-6B

### 4.3.3 Perhitungan Pembebanan

#### 4.3.3.1 Pembebanan Untuk Balok ST-2B

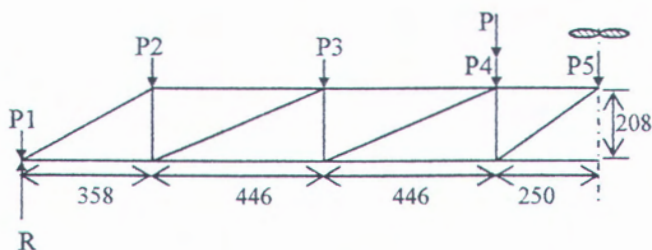
Dari hasil perhitungan beban yang bekerja pada balok ST-2B seperti yang dapat dilihat pada Pasal 4.3.1, didapat:

- Beban berat sendiri (terbagi rata) total: 145,362 kg/m
- Beban luar P seperti yang terdapat dalam Tabel 4.4

Tabel 4.4 Beban Luar P yang Bekerja pada Balok ST-2B

No	M (KN-m)	P (KN)	w (mm)
1	16.45213	13.1617	0
2	19.13375	15.307	0.061803
3	22.5	18	0.112564
4	25	20	0.148608
5	27.5	22	0.18721
6	30	24	0.215099
7	32.5	26	0.237438
8	35	28	0.256933
9	37.5	30	0.276946
10	40	32	0.292324
11	42.5	34	0.32896
12	45	36	0.370607
13	46.54188	37.2335	0.397741
14	47.5	38	0.462281
15	50	40	0.620428
16	51.25	41	0.703255
17	52.5	42	0.794658
18	53.75	43	0.872125

#### 4.3.3.1(a) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 25°



Gambar 4.22 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 25° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,358 = 26,019798 \text{ kg} = 255,2542184 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,358 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,446$$

$$= 58,435524 \text{ kg} = 573,2524904 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,446 = 64,831452 \text{ kg} = 635,9965441 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,446 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,25$$

$$= 50,585976 \text{ kg} = 496,2484246 \text{ N}$$

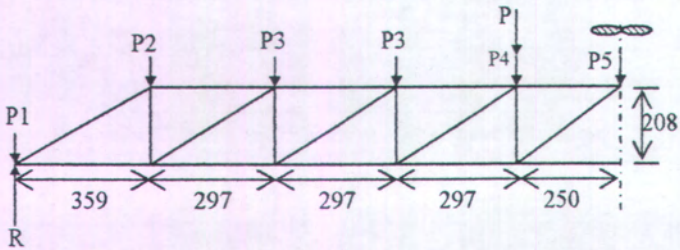
$$P5 = 145,362 \times 0,25 = 36,3405 \text{ kg} = 356,500305 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + P3 + P4 + P + \frac{P5}{2}$$



#### 4.3.3.1(b) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 35°



Gambar 4.23 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 35° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,359 = 26,092479 \text{ kg} = 255,967219 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,359 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,297$$

$$= 47,678736 \text{ kg} = 467,7284002 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,297 = 43,172514 \text{ kg} = 423,5223623 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,297 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,25$$

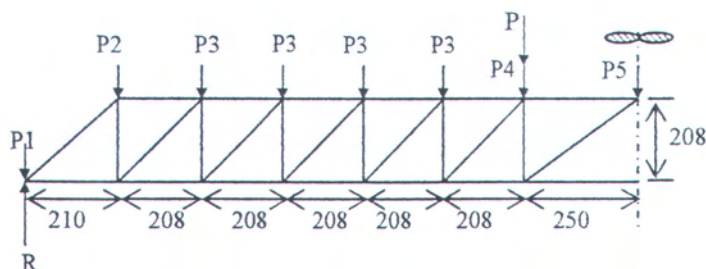
$$= 39,756507 \text{ kg} = 390,0113337 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,25 = 36,3405 \text{ kg} = 356,500305 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 2 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

### 4.3.3.1(c) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 45°



Gambar 4.24 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 45° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,21 = 15,26301 \text{ kg} = 149,730128 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,21 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,208$$

$$= 30,380658 \text{ kg} = 298,034255 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,208 = 30,235296 \text{ kg} = 296,6082538 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,208 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,25$$

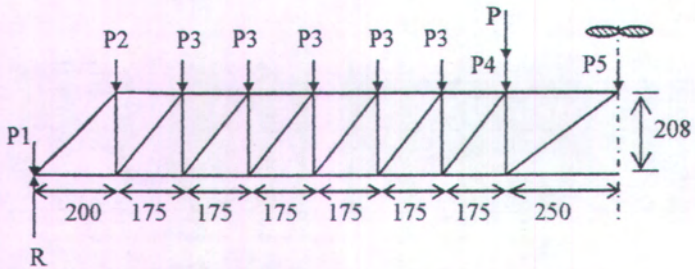
$$= 33,287898 \text{ kg} = 326,5542794 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,25 = 36,3405 \text{ kg} = 356,500305 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 4 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.1(d) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 50°



Gambar 4.25 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 50° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,2 = 14,5362 \text{ kg} = 142,600122 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,2 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,175$$

$$= 27,255375 \text{ kg} = 267,3752288 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,175 = 25,43835 \text{ kg} = 249,5502135 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,175 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,25$$

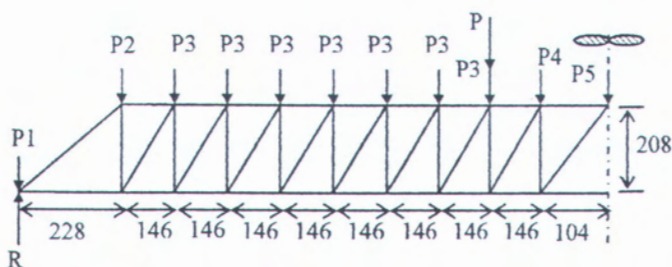
$$= 30,889425 \text{ kg} = 303,0252593 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,25 = 36,3405 \text{ kg} = 356,500305 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 5 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.1(e) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 55°



Gambar 4.26 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 55° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,228 = 16,571268 \text{ kg} = 162,5641391 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,228 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,146$$

$$= 27,182694 \text{ kg} = 266,6622281 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,146 = 21,222852 \text{ kg} = 208,1961781 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,146 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,104$$

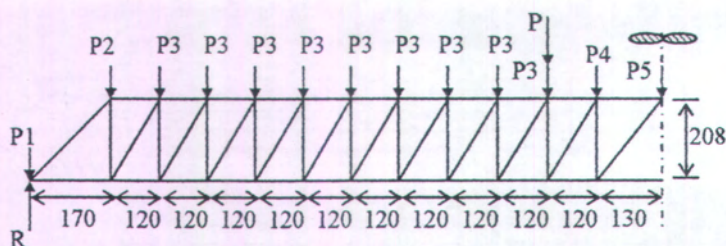
$$= 18,17025 \text{ kg} = 178,2501525 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,104 = 15,117648 \text{ kg} = 148,3041269 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 7 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.1(f) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 60°



Gambar 4.27 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 60° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,17 = 12,35577 \text{ kg} = 121,2101037 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,17 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,12$$

$$= 21,07749 \text{ kg} = 206,7701769 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,12 = 17,44344 \text{ kg} = 171,1201464 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,12 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,13$$

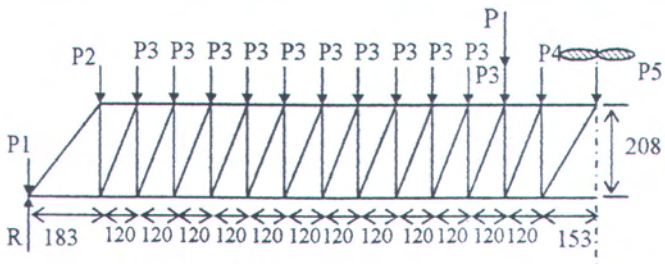
$$= 18,17025 \text{ kg} = 178,2501525 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,13 = 18,89706 \text{ kg} = 185,3801586 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 9 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.1(g) Pembebanan pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 65°



Gambar 4.28 Pembebanan Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut 65° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,183 = 13,300623 \text{ kg} = 130,4791116 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,183 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,097$$

$$= 20,35068 \text{ kg} = 199,6401708 \text{ N}$$

$$P3 = 145,362 \times 0,097 = 14,100114 \text{ kg} = 138,3221183 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,097 + \frac{1}{2} \times 145,362 \times 0,153$$

$$= 18,17025 \text{ kg} = 178,2501525 \text{ N}$$

$$P5 = 145,362 \times 0,153 = 22,240386 \text{ kg} = 218,1781867 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.4

$$R = P1 + P2 + 11 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

### 4.3.3.2 Pembebanan Untuk Balok ST-6B

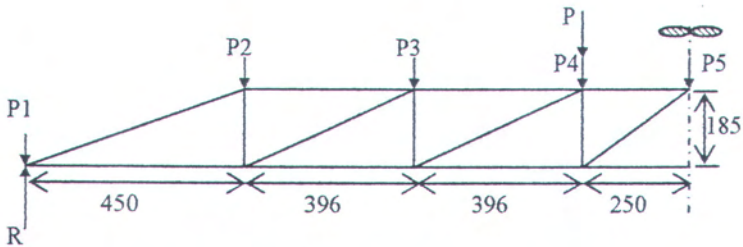
Dari hasil perhitungan beban yang bekerja pada balok ST-6B seperti yang dapat dilihat pada Pasal 4.3.1, didapat:

- Beban berat sendiri (terbagi rata) total: 145,834 kg/m
- Beban luar P seperti yang terdapat dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Beban Luar P yang Bekerja pada Balok ST-6B

No	M (KN-m)	P (KN)	w (mm)
1	21.815	17.452	0
2	25	20	0.052699
3	27.5	22	0.095184
4	30	24	0.134154
5	32.5	26	0.174009
6	34.02913	27.2233	0.196674
7	35	28	0.197783
8	37.5	30	0.19832
9	40	32	0.19976
10	42.5	34	0.229787
11	45	36	0.272322
12	46.47275	37.1782	0.297659
13	47.5	38	0.298776
14	50	40	0.300207
15	52.5	42	0.301646
16	53.4365	42.7492	0.303639
17	55	44	0.326314
18	57.5	46	0.367955
19	59.33138	47.4651	0.392479
20	60	48	0.394409
21	62.5	50	0.396742
22	65	52	0.398182
23	65.79925	52.6394	0.401032
24	67.5	54	0.431783
25	70	56	0.473424
26	71.52675	57.2214	0.495196
27	72.5	58	0.498092
28	75	60	0.500416
29	77.5	62	0.503642

#### 4.3.3.2(a) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 25°



Gambar 4.29 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 25° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,458 = 33,395986 \text{ kg} = 327,6146227 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,458 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,396$$

$$= 62,271118 \text{ kg} = 610,8796676 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,396 = 57,750264 \text{ kg} = 566,5300898 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,396 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,25$$

$$= 47,104382 \text{ kg} = 462,0939874 \text{ N}$$

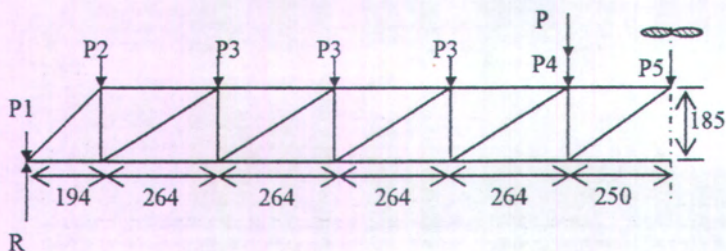
$$P5 = 145,834 \times 0,25 = 36,4585 \text{ kg} = 357,657885 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$



#### 4.3.3.2(b) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 35°



Gambar 4.30 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 35° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,194 = 14,145898 \text{ kg} = 138,7712594 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,194 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,264$$

$$= 33,395986 \text{ kg} = 327,6146227 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,264 = 38,500176 \text{ kg} = 377,6867266 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,264 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,25$$

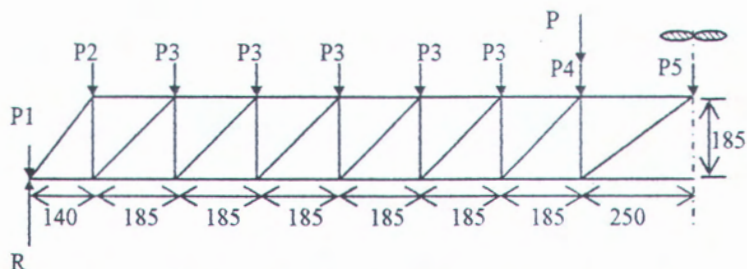
$$= 37,479338 \text{ kg} = 367,6723058 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,25 = 36,4585 \text{ kg} = 357,657885 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 3 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

### 4.3.3.2(c) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 45°



Gambar 4.31 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 45° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,14 = 10,20838 \text{ kg} = 100,1442078 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,14 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,185$$

$$= 23,698025 \text{ kg} = 232,4776253 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,185 = 26,97929 \text{ kg} = 264,6668349 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,185 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,25$$

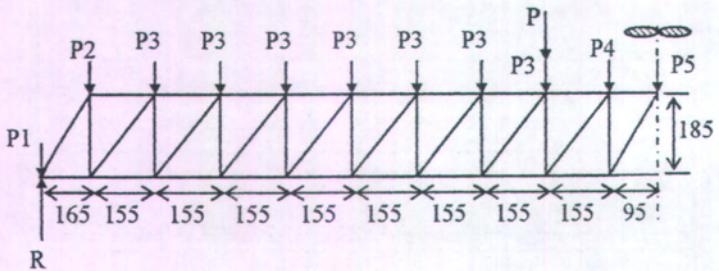
$$= 31,718895 \text{ kg} = 311,16236 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,25 = 36,4585 \text{ kg} = 357,657885 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 5 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.2(d) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 50°



Gambar 4.32 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 50° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,165 = 12,031305 \text{ kg} = 118,0271021 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,165 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,155$$

$$= 23,33344 \text{ kg} = 228,9010464 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,165 = 24,06261 \text{ kg} = 236,0542041 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,155 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,095$$

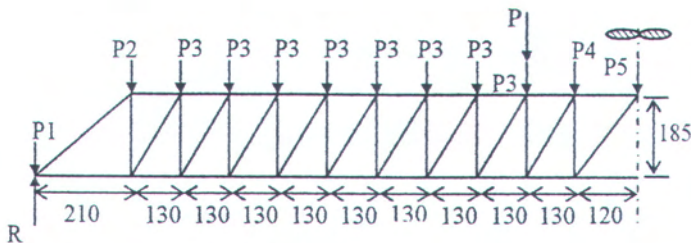
$$= 18,22925 \text{ kg} = 178,8289425 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,095 = 13,85423 \text{ kg} = 135,9099963 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 7 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.2(e) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 55°



Gambar 4.33 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 55° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,21 = 15,31257 \text{ kg} = 150,2163117 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,21 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,13$$

$$= 24,79178 \text{ kg} = 243,2073618 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,13 = 18,95842 \text{ kg} = 185,9821002 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,13 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,12$$

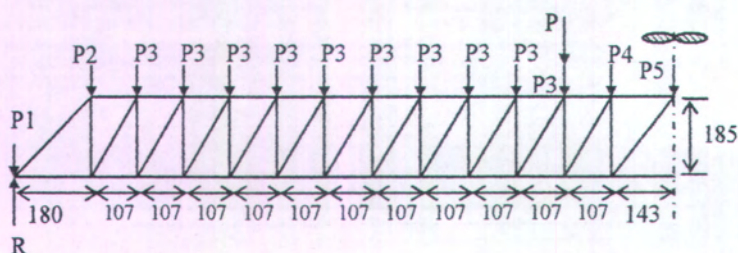
$$= 18,22925 \text{ kg} = 178,8289425 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,12 = 17,50008 \text{ kg} = 171,6757848 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 8 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.3.2(f) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 60°



Gambar 4.34 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 60° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,18 = 13,12506 \text{ kg} = 128,7568386 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,18 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,107$$

$$= 20,927179 \text{ kg} = 205,295626 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,107 = 15,604238 \text{ kg} = 153,0775748 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,107 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,143$$

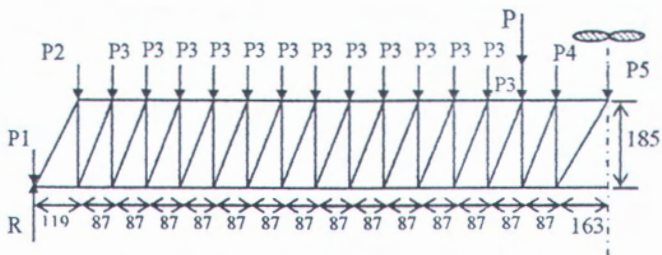
$$= 18,22925 \text{ kg} = 178,8289425 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,143 = 20,854262 \text{ kg} = 204,5803102 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 10 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

### 4.3.3.2(g) Pembebanan pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 65°



Gambar 4.35 Pembebanan Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut 65° pada Setengah Bentang Balok

$$P1 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,119 = 8,677123 \text{ kg} = 85,12257663 \text{ N}$$

$$P2 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,119 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,087$$

$$= 15,020902 \text{ kg} = 147,3550486 \text{ N}$$

$$P3 = 145,834 \times 0,087 = 12,687558 \text{ kg} = 124,464944 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,087 + \frac{1}{2} \times 145,834 \times 0,163$$

$$= 18,22925 \text{ kg} = 178,8289425 \text{ N}$$

$$P5 = 145,834 \times 0,163 = 23,770942 \text{ kg} = 233,192941 \text{ N}$$

P = mengikuti Tabel 4.5

$$R = P1 + P2 + 13 \times P3 + P4 + P5 + \frac{P5}{2}$$

#### 4.3.4 Perhitungan Gaya Dalam

Perhitungan gaya dalam yang terjadi pada rangka batang akibat beban yang bekerja, dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000. Perhitungan dalam program bantu SAP 2000 dilakukan dengan memodelkan rangka-rangka batang yang telah direncanakan sebelumnya (Pasal 4.3.2) kedalam model *frame*. Setelah itu input beban yang bekerja pada balok didapatkan dari perhitungan pada Pasal 4.3.3.

Mengingat pada rangka batang hanya boleh terjadi gaya dalam aksial saja, dan tidak terjadi momen maka pada pemodelan rangka *frame* dilakukan *release* pada semua titik simpul rangka sebelum program SAP di *running*. Gaya dalam yang didapat dari perhitungan menggunakan program bantu SAP 2000 berupa gaya aksial (normal) tarik atau tekan.

Untuk memprediksi lebar retak lentur yang terjadi pada balok, maka yang diperlukan dari *output* SAP adalah gaya dalam tarik terbesar yaitu pada *frame* rangka di tengah bentang.

Berikut diberikan hasil gaya dalam aksial tarik pada *frame* rangka di tengah bentang untuk model rangka sudut  $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $65^{\circ}$  pada balok ST-2B dan ST-6B.

#### 4.3.4.1 Gaya Dalam Aksial Tarik pada Balok ST-2B

##### 4.3.4.1(a) Model Rangka Sudut 25°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 4 (Gambar 4.12).

Tabel 4.6 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 25° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1+P_2+P_3+P_4+\frac{P_5}{2}) \times 2$$



#### 4.3.4.1(b) Model Rangka Sudut 35°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame 5* (Gambar 4.12).

Tabel 4.7 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 35° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 2 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.1(c) Model Rangka Sudut 45°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 7 (Gambar 4.13).

Tabel 4.8 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 45° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+4 \times P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.1(d) Model Rangka Sudut 50°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 8 (Gambar 4.13).

Tabel 4.9 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 50° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+5 \times P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.1(e) Model Rangka Sudut 55°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 10 (Gambar 4.14).

Tabel 4.10 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 55° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 7 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.1(f) Model Rangka Sudut 60°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 12 (Gambar 4.14).

Tabel 4.11 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 60° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =  
 $(P_1 + P_2 + 9 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$

#### 4.3.4.1(g) Model Rangka Sudut 65°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 14 (Gambar 4.14).

Tabel 4.12 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 65° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)
1	13.1617	86809.4
2	15.307	99701.93
3	18	115885.8
4	20	127905.1
5	22	139924.3
6	24	151943.5
7	26	163962.8
8	28	175982
9	30	188001.2
10	32	200020.4
11	34	212039.7
12	36	224058.9
13	37.2335	231471.8
14	38	236078.1
15	40	248097.4
16	41	254107
17	42	260116.6
18	43	266126.2

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+11 \times P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.2 Gaya Dalam Aksial Tarik pada Balok ST-6B

##### 4.3.4.2(a) Model Rangka Sudut 25<sup>0</sup>

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 4 (Gambar 4.19).

Tabel 4.13 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 25<sup>0</sup> pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+ P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.2(b) Model Rangka Sudut 35°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 6 (Gambar 4.19).

Tabel 4.14 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 35° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	F <sub>u</sub> (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 3 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$



#### 4.3.4.2(c) Model Rangka Sudut 45°

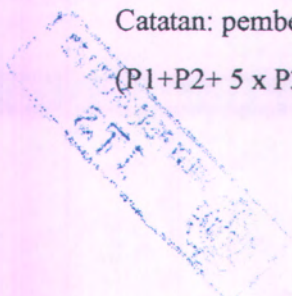
Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 8 (Gambar 4.20).

Tabel 4.15 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 45° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 5 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$



#### 4.3.4.2(d) Model Rangka Sudut 50°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 10 (Gambar 4.20).

Tabel 4.16 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 50° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+ 7 \times P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$



#### 4.3.4.2(e) Model Rangka Sudut 55°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 11 (Gambar 4.21).

Tabel 4.17 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 55° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P1+P2+ 8 \times P3+P4+\frac{P5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.2(f) Model Rangka Sudut 60<sup>0</sup>

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 13 (Gambar 4.21).

Tabel 4.18 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 60<sup>0</sup> pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 10 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$

#### 4.3.4.2(g) Model Rangka Sudut 65°

Gaya dalam aksial tarik terbesar pada *frame* 16 (Gambar 4.21).

Tabel 4.19 Gaya Aksial Tarik Terbesar Untuk Model Rangka Sudut 65° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)
1	17.452	126620
2	20	143834.9
3	22	157348.4
4	24	170862
5	26	184375.5
6	27.2233	192641
7	28	197889
8	30	211402.5
9	32	224916
10	34	238429.5
11	36	251943
12	37.1782	259903.8
13	38	265456.5
14	40	278970.1
15	42	292483.6
16	42.7492	297545.7
17	44	305997.1
18	46	319510.6
19	47.4651	329409.9
20	48	333024.1
21	50	346537.6
22	52	360051.1
23	52.6394	364371.4
24	54	373564.7
25	56	387078.2
26	57.2214	395330.9
27	58	400591.7
28	60	414105.2
29	62	427618.7

Catatan: pembebanan sudah termasuk berat sendiri =

$$(P_1 + P_2 + 13 \times P_3 + P_4 + \frac{P_5}{2}) \times 2$$

### 4.3.5 Perhitungan Luas Penampang Gross

#### 4.3.5.1 Umum

Sebelum terjadi retak, luas penampang beton yang digunakan adalah penampang gross. Batasan retak yang digunakan adalah tegangan retak beton yaitu:

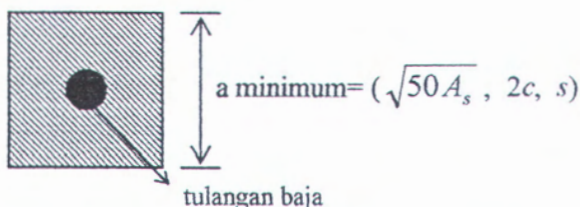
$$f_r = 7,5 \sqrt{f'_c} \quad \dots\dots \text{ACI 9.6.2.3}$$

dimana  $f'_c$  dalam psi atau

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c}$$

dimana  $f'_c$  dalam MPa.

Untuk luas penampang gross digunakan usulan dari Hsu (2003) yaitu:



Gambar 4.36. Penentuan a Minimum Dalam Luas Penampang Tie

dimana:

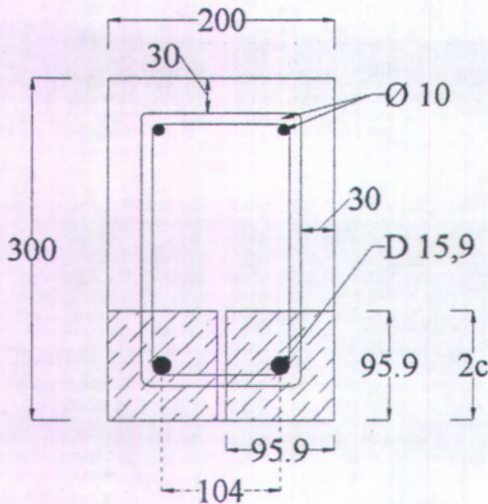
$A_s$  = luas tulangan baja

$c$  = tebal selimut beton yang diukur terhadap titik berat tulangan sampai permukaan terluar beton (*surface*)

$s$  = spasi antar tulangan diukur dari as ke as tulangan

#### 4.3.5.2 Luas Penampang Gross Untuk Balok ST-2B

Penentuan luas penampang gross pada balok ST-2B dapat dilihat dalam Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Penentuan Luas Penampang Gross pada Balok ST-2B

$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 198,456} = 99,613 \text{ mm}$$

$$a_2 = 2 \cdot c = 2 \times \left( 30 + 10 + \frac{15,9}{2} \right) = 95,9 \text{ mm}$$

$$a_3 = s = 200 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 15,9 = 104 \text{ mm}$$

diambil  $a = 95,9 \text{ mm}$

$$A_g' = 2 \times (95,9 \times 95,9) = 18393,62 \text{ mm}^2$$

$$A_g = A_g' + (n-1) \times A_s$$

dimana:

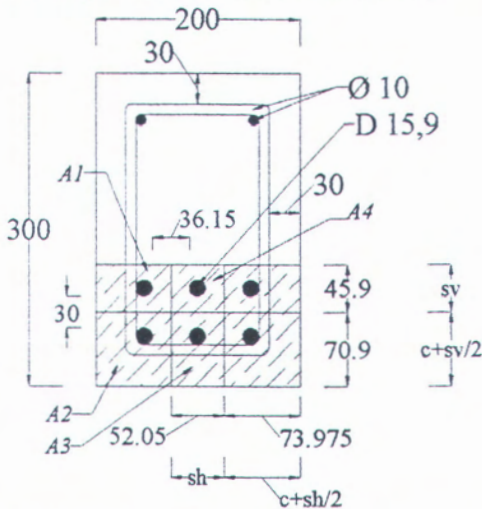
$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200 \text{ GPa}}{30 \text{ GPa}} = 6,67$$

Jadi luas penampang gross untuk balok ST-2B adalah:

$$A_g = 18393,62 + (6,67-1) \times 2 \times 198,456 = 20644,11 \text{ mm}^2$$

### 4.3.5.3 Luas Penampang Gross Untuk Balok ST-6B

Penentuan luas penampang gross pada balok ST-2B dapat dilihat dalam Gambar 4.38, dimana luas gross ini dipecah menjadi luas-luas parsial sisi dalam dan sisi luar.

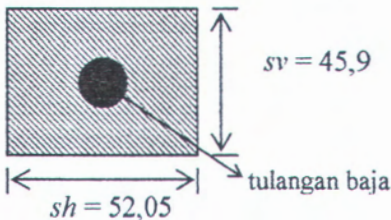


Gambar 4.38 Penentuan Luas Penampang Gross pada Balok ST-6B

$sv = \text{spasi vertikal} = 30 + 15,9 = 45,9 \text{ mm}$

$sh = \text{spasi horizontal} = (200 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 15,9) / 2 = 52,05 \text{ mm}$

Untuk luas parsial sisi dalam yaitu luas  $A4$ , penentuan dimensinya seperti yang tampak dalam Gambar 4.39.



Gambar 4.39 Luas Parsial  $A4$



$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 198,456} = 99,613 \text{ mm}$$

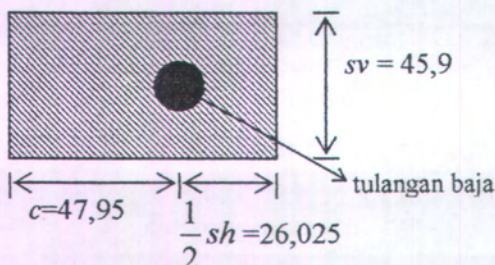
$$a_2 = s_v = 45,9 \text{ mm}$$

$$= s_h = 52,05 \text{ mm}$$

diambil  $a = 45,9 \text{ mm}$  (untuk sisi vertikal) dan  $52,05 \text{ mm}$  (untuk sisi horizontal)

$$A_g A' = 45,9 \times 52,05 = 2389,095 \text{ mm}^2$$

Untuk luas parsial sisi luar, dibagi menjadi luas  $A_1$ ,  $A_2$ , dan  $A_3$  dimana penentuan dimensinya seperti yang tampak dalam Gambar 4.40, 4.41, dan 4.42.



Gambar 4.40 Luas Parsial  $A_1$

$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 198,456} = 99,613 \text{ mm}$$

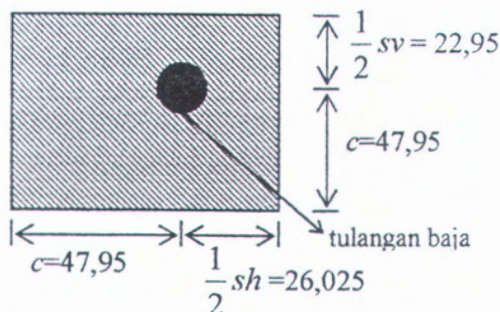
$$a_2 = c = 30 + 10 + \frac{15,9}{2} = 47,95 \text{ mm (untuk sebelah luar)}$$

$$a_3 = \frac{1}{2} s_h = \frac{1}{2} \times 52,05 = 26,025 \text{ mm (untuk sebelah dalam horizontal)}$$

$$= s_v = 45,9 \text{ mm (untuk sebelah dalam vertikal)}$$

diambil  $a = 45,9 \text{ mm}$  (untuk sisi vertikal) dan  $(47,95 + 26,025) \text{ mm}$  (untuk sisi horizontal)

$$\text{didapat } A_g I' = 45,9 \times 73,975 = 3395,4525 \text{ mm}^2$$

Gambar 4.41 Luas Parsial  $A_2$ 

$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 198,456} = 99,613 \text{ mm}$$

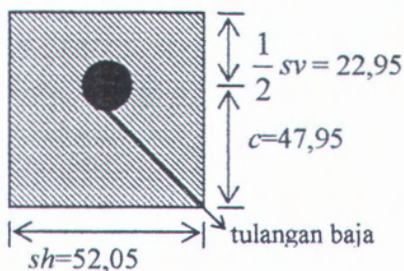
$$a_2 = c = 30 + 10 + \frac{15,9}{2} = 47,95 \text{ mm (untuk sebelah luar)}$$

$$a_3 = \frac{1}{2} sh = \frac{1}{2} \times 52,05 = 26,025 \text{ mm (untuk sebelah dalam horizontal)}$$

$$= \frac{1}{2} sv = 22,95 \text{ mm (untuk sebelah dalam vertikal)}$$

diambil  $a = (47,95 + 22,95) \text{ mm}$  (untuk sisi vertikal) dan  $(47,95 + 26,025) \text{ mm}$  (untuk sisi horizontal)

$$\text{didapat } A_{g2}' = 70,9 \times 73,975 = 5244,8275 \text{ mm}^2$$

Gambar 4.42 Luas Parsial  $A_3$

$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 198,456} = 99,613 \text{ mm}$$

$$a_2 = c = 30 + 10 + \frac{15,9}{2} = 47,95 \text{ mm (untuk sebelah luar)}$$

$$a_3 = sh = 52,05 \text{ mm (untuk sebelah dalam horisontal)}$$

$$= \frac{1}{2} s_v = 22,95 \text{ mm (untuk sebelah dalam vertikal)}$$

diambil  $a = (47,95 + 22,95) \text{ mm}$  (untuk sisi vertikal) dan  $52,05 \text{ mm}$  (untuk sisi horisontal)

$$\text{didapat } A_g^3 = 70,9 \times 52,05 = 3690,345 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{maka } A_g' &= 2 \times A_g^1 + 2 \times A_g^2 + A_g^3 + A_g^4 \\ &= 2 \times 3395,4525 + 2 \times 5244,8275 + 3690,345 + 2389,095 \\ &= 23360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_g = A_g' + (n-1) \times A_s$$

dimana:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200 \text{ GPa}}{30 \text{ GPa}} = 6,67$$

Jadi luas penampang gross untuk balok ST-6B adalah:

$$A_g = 23360 + (6,67 - 1) \times 6 \times 198,456 = 30111,47 \text{ mm}^2$$

### 4.3.6 Perhitungan Tegangan dan Prediksi Lebar Retak Berdasarkan Luas Penampang Gross

#### 4.3.6.1 Tegangan Berdasarkan Luas Penampang Gross

Tegangan diperoleh dari membagi gaya dalam tarik yang terjadi dengan luas penampang gross. Perumusan tegangan yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A_g} \dots \dots \dots (4.1)$$

dimana:

$\sigma$  = tegangan pada beton dengan luas penampang gross

$F$  = gaya dalam tarik yang terjadi

$A_g$  = luas penampang gross yang dihitung pada Pasal 4.3.5

Tegangan tarik maksimum yang terjadi pada masing-masing model rangka batang untuk tiap balok dapat dilihat pada Tabel 4.20-4.33

#### 4.3.6.2 Regangan Berdasarkan Luas Penampang Gross

Regangan diperoleh dari membagi tegangan yang terjadi dengan modulus beton. Perumusan regangan yaitu:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_c} \quad \dots\dots(4.2)$$

dimana:

$\varepsilon$  = regangan pada beton dengan luas penampang gross

$\sigma$  = tegangan tarik yang terjadi

$E_c$  = modulus beton yang dapat dilihat pada Pasal 4.2

Regangan tarik maksimum yang terjadi pada masing-masing model rangka batang untuk tiap balok dapat dilihat pada Tabel 4.20-4.33

#### 4.3.6.3 Prediksi Lebar Retak

Secara teori, untuk mengetahui apakah beton sudah mengalami retak atau belum dapat dilihat dari batasan tegangan retak beton. Tegangan retak beton ini dirumuskan seperti pada Pasal 4.3.5.1 yaitu:

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} \quad \dots\dots(4.3)$$

dimana  $f'_c$  dalam MPa

Dari tegangan retak ini, dapat diketahui regangan batas retak beton yaitu dengan membagi regangan retak dengan modulus beton. Jika pada beton terjadi regangan tarik yang melebihi batas regangan retak ini maka beton telah mengalami retak. Begitu pula sebaliknya jika regangan tarik belum melewati batas regangan retak maka beton belum mengalami retak. Tegangan retak dan regangan retak beton dapat dihitung sebagai berikut:

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} = 0,62 \sqrt{46} = 4,205045 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{f_r}{E_c} = \frac{4,205045}{30000} = 0,0001402 \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

Selanjutnya lebar retak diperoleh dari regangan yang terjadi dikurangi dengan regangan batas retak kemudian dikali dengan jarak sepanjang *frame* yang ditinjau yaitu *frame* pada tengah rangka yang mengalami regangan tarik terbesar. Perumusannya sebagai berikut:

$$w = (\varepsilon - \varepsilon_{cr}) \times L \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

dimana:

$w$  = prediksi lebar retak yang terjadi

$\varepsilon$  = regangan tarik yang terjadi

$\varepsilon_{cr}$  = regangan tarik batas retak =  $\frac{f_r}{E_c}$

$L$  = panjang *frame* yang ditinjau yaitu pada tengah rangka

Contoh perhitungan: untuk balok ST-2B model rangka sudut  $25^0$

Akibat berat sendiri+ P (=13,1617 KN) didapat:

$F_u$  = gaya aksial tarik pada *frame* 4 = 86809.4 N

$A_g$  = 20644,11 mm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{86809,4}{20644,11} = 4.2050444 \text{ MPa} , \quad \varepsilon = \frac{4,2050444}{30000} =$$

$$0.00014017 < \varepsilon_{cr} = 0,0001402$$

$w = 0$  (belum terjadi retak)

Akibat berat sendiri+ P (=18 KN) didapat:

$F_u$  = gaya aksial tarik pada *frame* 4 = 115885.8 N

$A_g$  = 20644,11 mm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{115885,8}{20644,11} = 5.6135053 \text{ MPa} , \quad \varepsilon = \frac{5,6135053}{30000} =$$

$$0.0001871 > \varepsilon_{cr} = 0,0001402$$

$$w = (0,0001871 - 0,0001402) \times 500 = 0.023474 \text{ mm}$$

Prediksi lebar retak dengan menggunakan penampang gross pada masing-masing model rangka batang untuk tiap balok dapat dilihat pada Tabel 4.20 - 4.33.

#### **4.3.6.3.1 Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B**

##### **4.3.6.3.1(a) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $25^0$**

Pada model rangka sudut  $25^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 4 (Gambar 4.12) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.43.

##### **4.3.6.3.1(b) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $35^0$**

Pada model rangka sudut  $35^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 5 (Gambar 4.12) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.44.

##### **4.3.6.3.1(c) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $45^0$**

Pada model rangka sudut  $45^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 7 (Gambar 4.13) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.45.

##### **4.3.6.3.1(d) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut $50^0$**

Pada model rangka sudut  $50^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 8 (Gambar 4.13) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.46.

**4.3.6.3.1(e) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut  $55^0$** 

Pada model rangka sudut  $55^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 10 (Gambar 4.14) dengan panjang  $L = 208$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.47.

**4.3.6.3.1(f) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut  $60^0$** 

Pada model rangka sudut  $60^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 12 (Gambar 4.14) dengan panjang  $L = 260$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.48.

**4.3.6.3.1(g) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-2B Untuk Model Rangka Sudut  $65^0$** 

Pada model rangka sudut  $65^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 14 (Gambar 4.14) dengan panjang  $L = 306$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.49.

Tabel 4.20 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 25<sup>0</sup> pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisa(mm)	w eksp(mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.010409	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.023474	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.033178	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.042881	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.052585	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.062288	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.071992	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.081695	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.091399	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.101102	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.110806	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.116791	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.12051	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.130213	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.135065	0.703255



Tabel 4.21 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 35<sup>0</sup> pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.010409	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.023474	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.033178	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.042881	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.052585	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.062288	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.071992	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.081695	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.091399	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.101102	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.110806	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.116791	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.12051	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.130213	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.135065	0.703255

Tabel 4.22 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 45<sup>0</sup> pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisa(mm)	w eksp (mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.010409	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.023474	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.033178	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.042881	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.052585	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.062288	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.071992	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.081695	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.091399	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.101102	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.110806	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.116791	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.12051	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.130213	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.135065	0.703255

Tabel 4.23 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 50° pada Balok ST-2B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.010409	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.023474	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.033178	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.042881	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.052585	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.062288	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.071992	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.081695	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.091399	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.101102	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.110806	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.116791	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.12051	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.130213	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.135065	0.703255

Tabel 4.24 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 55<sup>0</sup> pada Balok ST-2B

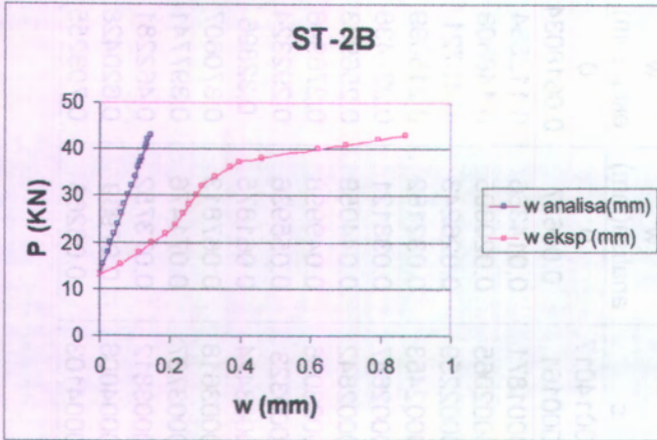
No	+ P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.00433	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.009765	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.013802	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.017839	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.021875	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.025912	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.029949	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.033985	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.038022	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.042059	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.046095	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.048585	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.050132	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.054169	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.056187	0.703255

Tabel 4.25 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 60° pada Balok ST-2B

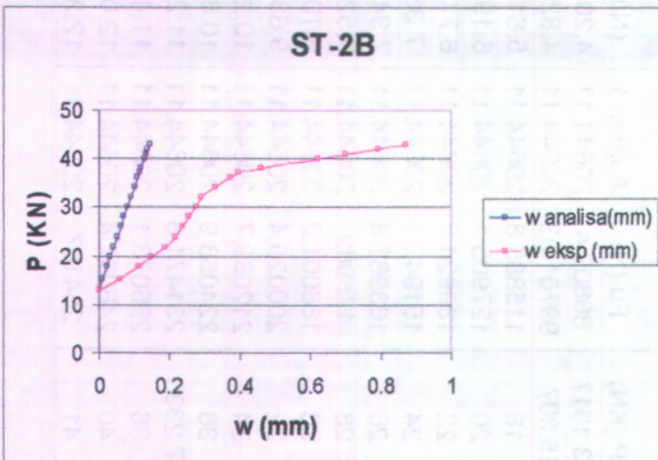
No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisa(mm)	w eksp(mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.005412	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.012207	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.017252	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.022298	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.027344	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.03239	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.037436	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.042482	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.047527	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.052573	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.057619	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.060731	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.062665	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.067711	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.070234	0.703255

Tabel 4.26 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 65<sup>0</sup> pada Balok ST-2B

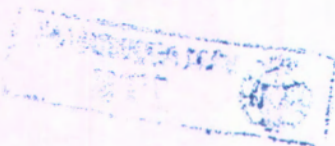
No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisa(mm)	w eksp(mm)
1	13.1617	86809.4	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
2	15.307	99701.93	20644.11	4.8295582	0.000161	0.00637	0.0618034
3	18	115885.8	20644.11	5.6135053	0.0001871	0.014366	0.112564
4	20	127905.1	20644.11	6.1957164	0.0002065	0.020305	0.148608
5	22	139924.3	20644.11	6.7779279	0.0002259	0.026243	0.18721
6	24	151943.5	20644.11	7.360139	0.0002453	0.032182	0.215099
7	26	163962.8	20644.11	7.9423501	0.0002647	0.038121	0.237438
8	28	175982	20644.11	8.5245612	0.0002842	0.044059	0.256933
9	30	188001.2	20644.11	9.1067723	0.0003036	0.049998	0.276946
10	32	200020.4	20644.11	9.6889834	0.000323	0.055936	0.292324
11	34	212039.7	20644.11	10.271195	0.0003424	0.061875	0.32896
12	36	224058.9	20644.11	10.853406	0.0003618	0.067813	0.370607
13	37.2335	231471.8	20644.11	11.212484	0.0003737	0.071476	0.397741
14	38	236078.1	20644.11	11.435617	0.0003812	0.073752	0.462281
15	40	248097.4	20644.11	12.017828	0.0004006	0.07969	0.620428
16	41	254107	20644.11	12.308934	0.0004103	0.08266	0.703255

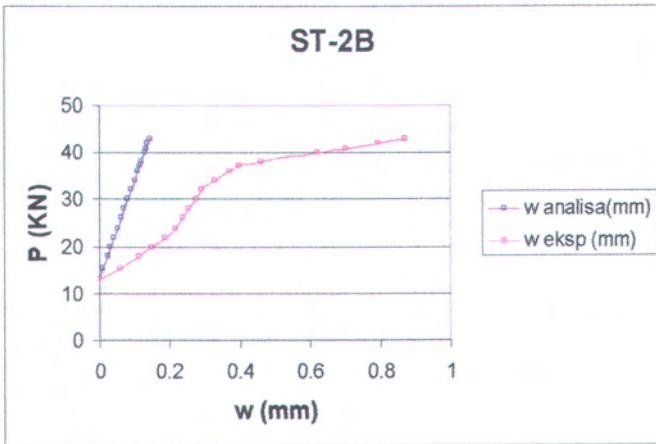


Gambar 4.43 Grafik Lebar Retak Dengan Beban  $P$  Untuk Model Rangka Sudut  $25^\circ$  pada Balok ST-2B

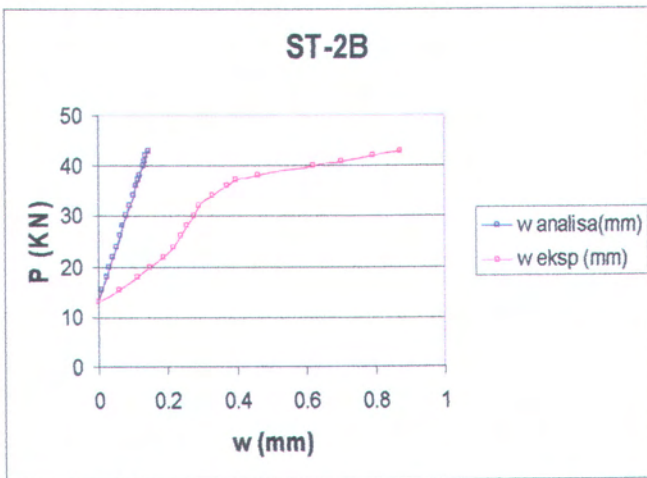


Gambar 4.44 Grafik Lebar Retak Dengan Beban  $P$  Untuk Model Rangka Sudut  $35^\circ$  pada Balok ST-2B



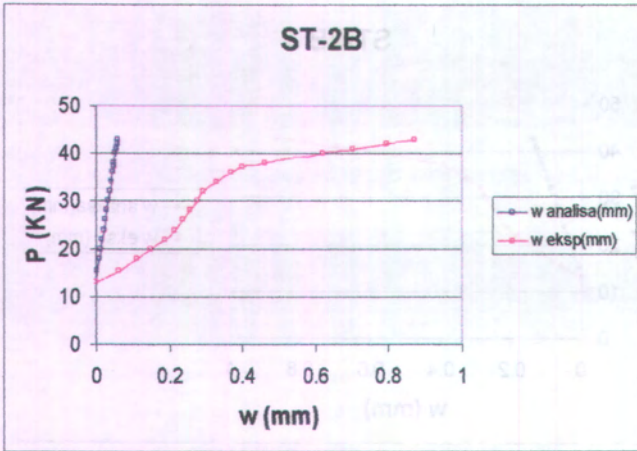


Gambar 4.45 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $45^0$  pada Balok ST-2B

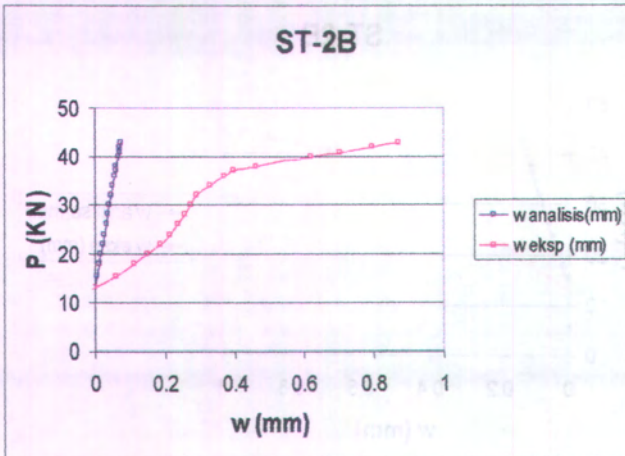


Gambar 4.46 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $50^0$  pada Balok ST-2B

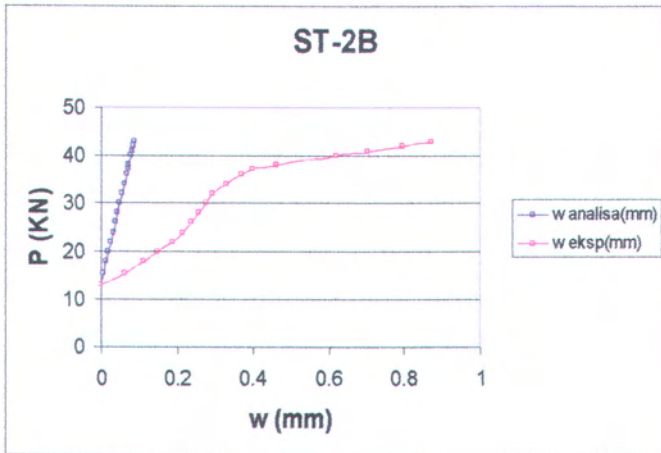




Gambar 4.47 Grafik Lebar Retak Dengan Beban  $P$  Untuk Model Rangka Sudut  $55^{\circ}$  pada Balok ST-2B



Gambar 4.48 Grafik Lebar Retak Dengan Beban  $P$  Untuk Model Rangka Sudut  $60^{\circ}$  pada Balok ST-2B



Gambar 4.49 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $65^{\circ}$  pada Balok ST-2B

#### 4.3.6.3.2 Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B

##### 4.3.6.3.2(a) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $25^{\circ}$

Pada model rangka sudut  $25^{\circ}$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 4 (Gambar 4.19) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan Gambar 4.50.

##### 4.3.6.3.2(b) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut $35^{\circ}$

Pada model rangka sudut  $35^{\circ}$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 6 (Gambar 4.19) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.28 dan Gambar 4.51.

**4.3.6.3.2(c) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut  $45^0$** 

Pada model rangka sudut  $45^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 8 (Gambar 4.20) dengan panjang  $L = 500$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.52.

**4.3.6.3.2(d) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut  $50^0$** 

Pada model rangka sudut  $50^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 10 (Gambar 4.20) dengan panjang  $L = 190$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.30 dan Gambar 4.53.

**4.3.6.3.2(e) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut  $55^0$** 

Pada model rangka sudut  $55^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 11 (Gambar 4.21) dengan panjang  $L = 240$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.54.

**4.3.6.3.2(f) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut  $60^0$** 

Pada model rangka sudut  $60^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 13 (Gambar 4.21) dengan panjang  $L = 286$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.55.

**4.3.6.3.2(g) Prediksi Lebar Retak pada Balok ST-6B Untuk Model Rangka Sudut  $65^0$** 

Pada model rangka sudut  $65^0$  *frame* yang mengalami regangan tarik terbesar adalah *frame* 16 (Gambar 4.21) dengan panjang  $L = 326$  mm. Hasil Prediksi lebar retak dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan Gambar 4.56.

Tabel 4.27 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 25° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.009528	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.017008	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.024488	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.031968	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.036543	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.039447	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.046927	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.054407	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.061886	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.069366	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.073772	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.076846	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.084326	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.091805	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.094607	0.303639

Tabel 4.28 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 35° pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp(mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.009528	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.017008	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.024488	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.031968	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.036543	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.039447	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.046927	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.054407	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.061886	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.069366	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.073772	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.076846	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.084326	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.091805	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.094607	0.303639

Tabel 4.29 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 45<sup>0</sup> pada Balok ST-6B

No	+P(KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.009528	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.017008	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.024488	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.031968	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.036543	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.039447	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.046927	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.054407	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.061886	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.069366	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.073772	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.076846	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.084326	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.091805	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.094607	0.303639

Tabel 4.30 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut  $50^0$  pada Balok ST-6B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp(mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.003621	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.006463	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.009305	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.012148	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.013886	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.01499	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.017832	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.020675	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.023517	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.026359	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.028034	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.029201	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.032044	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.034886	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.035951	0.303639

Tabel 4.31 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 55° pada Balok ST-6B

No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.004574	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.008164	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.011754	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.015344	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.01754	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.018935	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.022525	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.026115	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.029705	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.033296	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.035411	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.036886	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.040476	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.044067	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.045411	0.303639

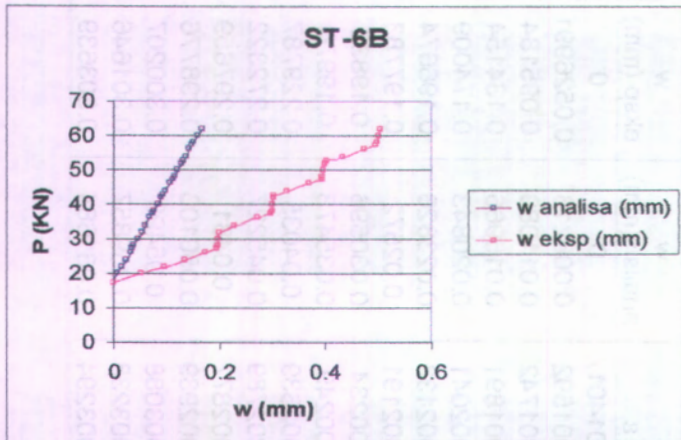


Tabel 4.32 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut  $60^{\circ}$  pada Balok ST-6B

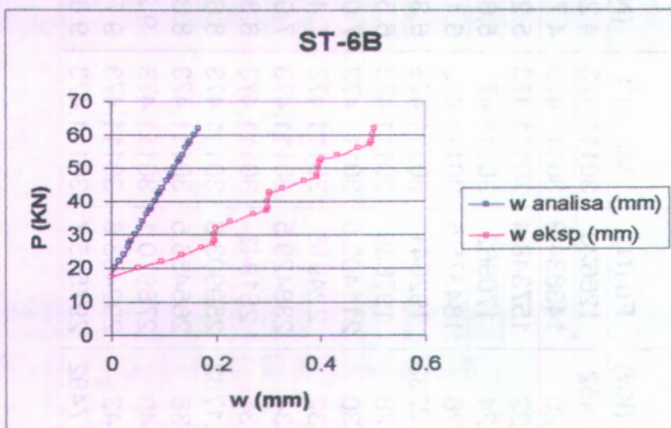
No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.00545	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.009729	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.014007	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.018285	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.020902	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.022564	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.026842	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.031121	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.035399	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.039677	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.042198	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.043956	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.048234	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.052513	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.054115	0.303639

Tabel 4.33 Prediksi Lebar Retak Model Rangka Sudut 65<sup>0</sup> pada Balok ST-6B

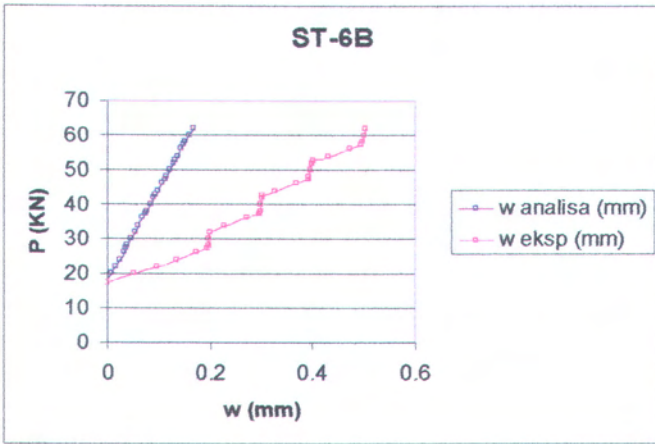
No	+P (KN)	Fu (N)	Ag(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w analisis(mm)	w eksp (mm)
1	17.452	126620	30111.473	4.2050417	0.00014017	0	0
2	20	143834.9	30111.473	4.7767481	0.0001592	0.006213	0.0526991
3	22	157348.4	30111.473	5.2255311	0.0001742	0.011089	0.095184
4	24	170862	30111.473	5.6743139	0.0001891	0.015966	0.134154
5	26	184375.5	30111.473	6.1230967	0.0002041	0.020843	0.174009
6	27.2233	192641	30111.473	6.3975947	0.0002133	0.023826	0.196674
7	28	197889	30111.473	6.5718798	0.0002191	0.02572	0.197783
8	30	211402.5	30111.473	7.0206625	0.000234	0.030596	0.19832
9	32	224916	30111.473	7.4694453	0.000249	0.035473	0.19976
10	34	238429.5	30111.473	7.9182284	0.0002639	0.04035	0.229787
11	36	251943	30111.473	8.3670111	0.0002789	0.045227	0.272322
12	37.1782	259903.8	30111.473	8.6313891	0.0002877	0.0481	0.297659
13	38	265456.5	30111.473	8.8157939	0.0002939	0.050103	0.298776
14	40	278970.1	30111.473	9.264577	0.0003088	0.05498	0.300207
15	42	292483.6	30111.473	9.7133598	0.0003238	0.059857	0.301646
16	42.7492	297545.7	30111.473	9.8814737	0.0003294	0.061684	0.303639



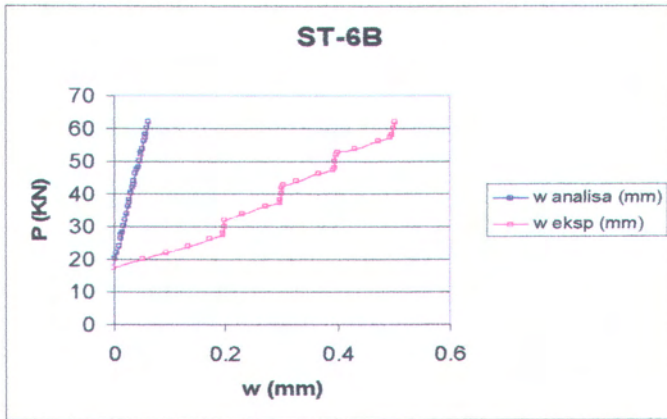
Gambar 4.50 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $25^{\circ}$  pada Balok ST-6B



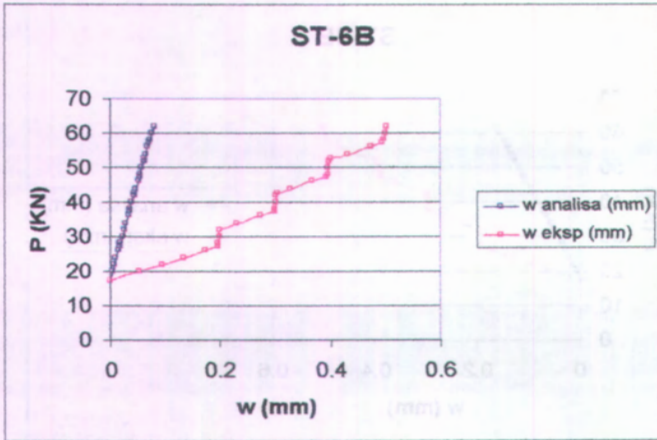
Gambar 4.51 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $35^{\circ}$  pada Balok ST-6B



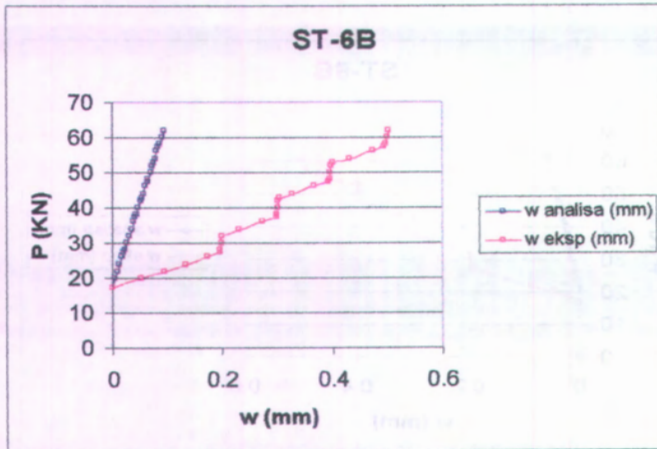
Gambar 4.52 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $45^0$  pada Balok ST-6B



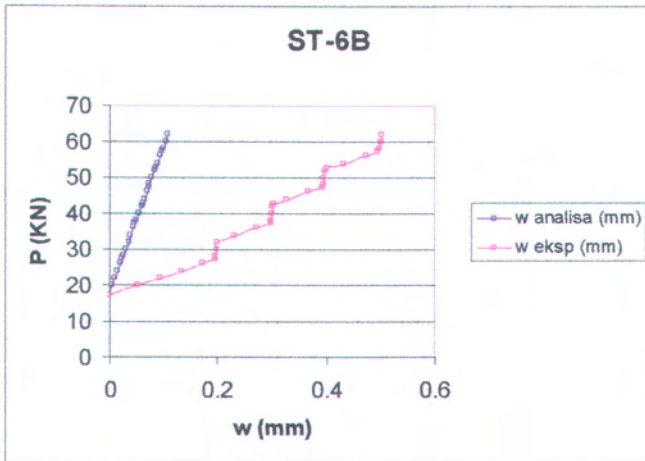
Gambar 4.53 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $50^0$  pada Balok ST-6B



Gambar 4.54 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $55^{\circ}$  pada Balok ST-6B



Gambar 4.55 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $60^{\circ}$  pada Balok ST-6B



Gambar 4.56 Grafik Lebar Retak Dengan Beban P Untuk Model Rangka Sudut  $65^0$  pada Balok ST-6B

Dari Gambar 4.43-4.49 untuk balok ST-2B dan Gambar 4.50-4.56 untuk balok ST-6B dapat dilihat bahwa prediksi lebar retak menggunakan luas penampang gross belum memberikan hasil yang mendekati data percobaan.

Hal ini terjadi dikarenakan saat beton telah mengalami retak ( $f > f_r$ ), penampang beton yang mampu menahan tarik telah berkurang sehingga penggunaan luas penampang gross tidak lagi memberikan hasil prediksi yang akurat. Untuk itu diusulkan penggunaan luas penampang efektif dalam BAB V berikut.

**"Halaman ini sengaja dikosongkan"**



Gambar 4.26. Grafik Hubungan Berat dan Lebar Balok ST-05

Dari Gambar 4.26-4.29 untuk balok ST-05 dan Gambar 4.20-4.25 untuk balok ST-06 dapat dilihat bahwa grafik lebar total menggunakan luas penampang gross menunjukkan hubungan linear yang dapat digunakan untuk menentukan lebar total beton dalam penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa beton telah mengalami tarik (A - A) penampang beton yang mampu menahan tarik telah baik yang sehingga penggunaan luas penampang gross tidak lagi menunjukkan hasil terbaik yang akurat. Untuk ini dapat digunakan luas penampang efektif dalam BAB 7 berikut.

## BAB V

### ANALISA USULAN LUAS PENAMPANG EFEKTIF

#### 5.1 UMUM

Setelah terjadi retak pada penampang beton, maka sesungguhnya luasan penampang beton dalam menahan tegangan tarik tidak lagi utuh berupa luasan gross. Luasan yang menahan tegangan tarik ini disebut luasan efektif. Luasan efektif ini diperkirakan berada antara luasan penampang beton gross sampai luasan penampang tulangan baja saja ( $A_s$ ). Untuk itu diusulkan perumusan luas penampang efektif ini ke dalam bentuk matematis:

$$A_{eff} = \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \cdot A_g + \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \right] \cdot A_s \quad \dots\dots(5.1)$$

dimana:

$A_{eff}$  = luas penampang efektif beton

$\sigma_r$  = tegangan retak beton =  $f_r = 0,62 \sqrt{f'_c}$  dalam Mpa

$\sigma$  = tegangan yang terjadi pada frame rangka yang ditinjau

$$= \frac{F_u}{A_g}$$

$A_g$  = luas penampang gross seperti yang dijelaskan dalam pasal 4.3.5

$A_s$  = luas penampang tulangan baja

$a$  = koefisien yang akan dicari

#### 5.2 PENENTUAN KOEFISIEN 'a'

Untuk mencari besarnya koefisien  $a$ , digunakan cara coba-coba atau *trial and error*. Dalam *trial and error* ini akan dicari besarnya koefisien  $a$  yang paling optimum yaitu koefisien  $a$  yang memberikan harga  $\Sigma R^2$  paling minimum. Dalam metoda kwadrat terkecil, didefinisikan:



$$\Sigma R^2 = \Sigma (y_a - y_e)^2 \dots\dots\dots(5.2)$$

dimana:

$\Sigma R^2$  = jumlah kwadrat selisih antara data analisa dengan data eksperimen

$y_a$  = hasil analisa perhitungan rumus atau teori

$y_e$  = data eksperimen dari percobaan di laboratorium

**5.2.1 Penentuan Koefisien  $a$  Untuk Balok ST-2B**

**5.2.1 (a) Nilai Koefisien  $a$  Dengan Trial and error**

Dalam mencari harga koefisien  $a$  pada balok ST-2B, dicari koefisien yang memberikan harga:

$$\Sigma R^2 = \Sigma (w_a - w_e)^2 = \text{minimum} \dots\dots\dots(5.3)$$

dimana:

$w_a$  = hasil analisa perhitungan rumus lebar retak menggunakan  $A_{eff}$

$w_e$  = data eksperimen lebar retak dari literatur atau jurnal

Dari hasil *trial and error* didapatkan koefisien  $a$  untuk model rangka sudut  $25^\circ$  pada balok ST-2B yang memenuhi  $\Sigma R^2 = \Sigma (w_a - w_e)^2 = \text{minimum}$  adalah  $a = 1,23$  dengan  $\Sigma R^2 = 0,0968139$ . Untuk nilai koefisien  $a$  pada model rangka dengan sudut yang lain dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 5.1 Nilai Koefisien  $a$  Untuk Balok ST-2B

Balok	Sudut	$\Sigma R^2$	$a$
ST-2B	$25^\circ$	0,0968139	1,23
	$35^\circ$	0,0968139	1,23
	$45^\circ$	0,0968139	1,23
	$50^\circ$	0,0968139	1,23
	$55^\circ$	0,0868009	2,11
	$60^\circ$	0,0866384	1,87
	$65^\circ$	0,0876835	1,71

### 5.2.1 (b) Perhitungan Lebar Retak Dengan Luas Efektif

Contoh perhitungan prediksi lebar retak untuk model rangka sudut  $25^\circ$  pada balok ST-2B:

Akibat berat sendiri+P (=18 KN)

$F_u$  = gaya aksial tarik = 115885,8 N

$L$  = 500 mm (frame 4)

$A_g$  = 20644,11 mm<sup>2</sup>

$$A_s = 2 \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 15,9^2 \right) = 396,912 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_u}{A_g} = \frac{115885,8}{20644,11} = 5,6135053$$

$$\sigma_r = 0,62 \sqrt{f'_c} = 0,62 \sqrt{46} = 4,205045 \text{ MPa}$$

$$A_{eff} = \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \cdot A_g + \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \right] \cdot A_s$$

$$= \left( \frac{4,205045}{5,6135053} \right)^{1,23} \cdot 20644,11 + \left[ 1 - \left( \frac{4,205045}{5,6135053} \right)^{1,23} \right] \cdot 396,912$$

$$= 14588,95 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{eff} = \frac{F_u}{A_{eff}} = \frac{115885,8}{14588,95} = 7,9433964 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{eff}}{E_c} = \frac{7,9433964}{30000} = 0,0002648$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{f_r}{E_c} = \frac{4,205045}{30000} = 0,0001402$$

$$w_a = (\varepsilon - \varepsilon_{cr}) \times L$$

$$w_a = (0,0002648 - 0,0001402) \times 500 = 0,062306 \text{ mm}$$

$$w_e = 0,112564 \text{ mm}$$

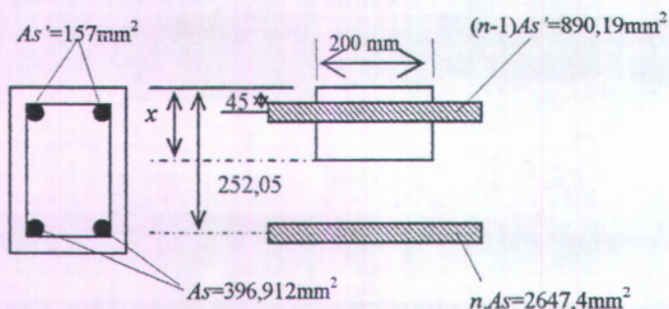
$$R^2 = (w_a - w_e)^2 = (0,062306 - 0,112564)^2 = 0,0025259$$

Hasil lebar retak untuk model rangka dengan sudut yang lain dapat dilihat dalam Tabel 5.3-5.9 dan Gambar 5.2- 5.8.

### 5.2.1 (c) Perhitungan Lebar Retak Menurut Perumusan SNI (03-2847-2002)

Data Balok:  $b=200$  mm,  $h=300$  mm,  $d=252,05$  mm,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 6,67$$



Gambar 5.1. Perhitungan  $I_{cr}$  Untuk Balok ST2-B

Perhitungan letak garis netral dari serat atas balok

$$\rightarrow 200 \cdot \frac{x^2}{2} + 890,19(x-45) = 2647,4(252,05-x), \text{ didapat}$$

$$x = 68,26 \text{ mm}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} (200 \times 68,26^3) + 890,19(68,26-45)^2 + 2647,4(252,05-68,26)^2$$

$$= 111111019,3 \text{ mm}^4$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 200 \times 300^3 = 450000000 \text{ mm}^4$$

$$M_d = (145,362 \times \frac{3}{2}) 1,5 - \frac{1}{2} \times 145,362 \times 1,5^2 = 163,53225 \text{ kg/m}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y} = \frac{0,62 \sqrt{46.450000000}}{150} = 12615133,77 \text{ N-mm}$$

$$dc = 30 + 10 + 15,9/2 = 47,95 \text{ mm}$$

$$A = (2 \times dc \times b)/2 = 9590 \text{ mm}^2$$

$$\beta = (300 - x)/(252,05 - x) = 1.261$$

$$y \text{ tarik} = d - x = 183,79 \text{ mm}$$

contoh perhitungan untuk balok ST-2B model rangka sudut 25<sup>0</sup> dengan beban P = 20 KN = 20000N

$$M_L = 1,25P \text{ (N-m)} \rightarrow \text{ dari pasal 4.3.1.2}$$

$$= 1250 \cdot 20000 = 25000000 \text{ N-mm}$$

$$M = M_L + M_d = 26604251 \text{ N-mm} > M_{cr} \text{ terjadi retak, pakai } I_{eff}$$

$$I_{eff} = \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \right] \cdot I_{cr}$$

$$= 147242012 \text{ mm}^4$$

$$f_s = n \cdot \left( \frac{M \cdot y_{tarik}}{I_{eff}} \right) = 221,49657 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} = 0,2371 \text{ mm}$$

Hasil lebar retak menurut perumusan SNI untuk model rangka dengan sudut yang lain pada balok ST-2B dapat dilihat dalam Tabel 5.2 dan Gambar 5.2- 5.8.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Lebar Retak pada Balok ST-2B Dengan Perumusan SNI

No	Akibat +P(kN)	MI (N-mm)	M tot (N-mm)	I (mm <sup>4</sup> )	f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	w SNI (mm)
1	13.1617	16452125	18056376	226679986	97.6484	0.1045463
2	15.307	19133750	20738001	187394821	135.66163	0.1452448
3	18	22500000	24104251	159690412	185.03868	0.1981098
4	20	25000000	26604251	147242012	221.49657	0.2371431
5	22	27500000	29104251	138708137	257.2185	0.2753884
6	24	30000000	31604251	132663462	292.0397	0.3126694
7	26	32500000	34104251	128262731	325.95358	0.348979
8	28	35000000	36604251	124982999	359.02798	0.3843898
9	30	37500000	39104251	122488893	391.35869	0.4190043
10	32	40000000	41604251	120558584	423.0457	0.4529297
11	34	42500000	44104251	119041357	454.1824	0.4862659
12	36	45000000	46604251	117832368	484.85139	0.5191013
13	37.2335	46541875	48146126	117207076	503.56465	0.5391365
14	38	47500000	49104251	116857153	515.12367	0.5515121
15	40	50000000	51604251	116061833	545.05932	0.5835624
16	41	51250000	52854251	115718815	559.91701	0.5994696

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut 25<sup>0</sup> pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	17473.33	5.7059504	0.0001902	0.025015	0.0013534
18	115885.8	0.112564	14588.95	7.9433964	0.0002648	0.062306	0.0025259
20	127905.1	0.148608	12966.76	9.8640679	0.0003288	0.094317	0.0029475
22	139924.3	0.18721	11652.12	12.008483	0.0004003	0.130057	0.0032664
24	151943.5	0.215099	10567.19	14.378796	0.0004793	0.169563	0.0020736
26	163962.8	0.237438	9658.074	16.976755	0.0005659	0.212862	0.000604
28	175982	0.256933	8886.296	19.80375	0.0006601	0.259978	9.275E-06
30	188001.2	0.276946	8223.716	22.860858	0.000762	0.31093	0.0011549
32	200020.4	0.292324	7649.292	26.148882	0.0008716	0.365731	0.0053885
34	212039.7	0.32896	7146.993	29.668374	0.0009889	0.424389	0.0091067
36	224058.9	0.370607	6704.402	33.419671	0.001114	0.48691	0.0135265
37.2335	231471.8	0.397741	6456.868	35.84892	0.001195	0.527398	0.0168109
38	236078.1	0.462281	6311.758	37.402909	0.0012468	0.553298	0.008284

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $35^{\circ}$  pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	17473.33	5.7059504	0.0001902	0.025015	0.0013534
18	115885.8	0.112564	14588.95	7.9433964	0.0002648	0.062306	0.0025259
20	127905.1	0.148608	12966.76	9.8640679	0.0003288	0.094317	0.0029475
22	139924.3	0.18721	11652.12	12.008483	0.0004003	0.130057	0.0032664
24	151943.5	0.215099	10567.19	14.378796	0.0004793	0.169563	0.0020736
26	163962.8	0.237438	9658.074	16.976755	0.0005659	0.212862	0.000604
28	175982	0.256933	8886.296	19.80375	0.0006601	0.259978	9.275E-06
30	188001.2	0.276946	8223.716	22.860858	0.000762	0.31093	0.0011549
32	200020.4	0.292324	7649.292	26.148882	0.0008716	0.365731	0.0053885
34	212039.7	0.32896	7146.993	29.668374	0.0009889	0.424389	0.0091067
36	224058.9	0.370607	6704.402	33.419671	0.001114	0.48691	0.0135265
37.2335	231471.8	0.397741	6456.868	35.84892	0.001195	0.527398	0.0168109
38	236078.1	0.462281	6311.758	37.402909	0.0012468	0.553298	0.008284

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $45^0$  pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	17473.33	5.7059504	0.0001902	0.025015	0.0013534
18	115865.8	0.112564	14588.95	7.9433964	0.0002648	0.062306	0.0025259
20	127905.1	0.148608	12966.76	9.8640679	0.0003288	0.094317	0.0029475
22	139924.3	0.18721	11652.12	12.008483	0.0004003	0.130057	0.0032664
24	151943.5	0.215099	10567.19	14.378796	0.0004793	0.169563	0.0020736
26	163962.8	0.237438	9658.074	16.976755	0.0005659	0.212862	0.000604
28	175982	0.256933	8886.296	19.80375	0.0006601	0.259978	9.275E-06
30	188001.2	0.276946	8223.716	22.860858	0.000762	0.31093	0.0011549
32	200020.4	0.292324	7649.292	26.148882	0.0008716	0.365731	0.0053885
34	212039.7	0.32896	7146.993	29.668374	0.0009889	0.424389	0.0091067
36	224058.9	0.370607	6704.402	33.419671	0.001114	0.48691	0.0135265
37.2335	231471.8	0.397741	6456.868	35.84892	0.001195	0.527398	0.0168109
38	236078.1	0.462281	6311.758	37.402909	0.0012468	0.553298	0.008284



Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $50^{\circ}$  pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	17473.33	5.7059504	0.0001902	0.025015	0.0013534
18	115885.8	0.112564	14588.95	7.9433964	0.0002648	0.062306	0.0025259
20	127905.1	0.148608	12966.76	9.8640679	0.0003288	0.094317	0.0029475
22	139924.3	0.18721	11652.12	12.008483	0.0004003	0.130057	0.0032664
24	151943.5	0.215099	10567.19	14.378796	0.0004793	0.169563	0.0020736
26	163962.8	0.237438	9658.074	16.976755	0.0005659	0.212862	0.000604
28	175982	0.256933	8886.296	19.80375	0.0006601	0.259978	9.275E-06
30	188001.2	0.276946	8223.716	22.860858	0.000762	0.31093	0.0011549
32	200020.4	0.292324	7649.292	26.148882	0.0008716	0.365731	0.0053885
34	212039.7	0.32896	7146.993	29.668374	0.0009889	0.424389	0.0091067
36	224058.9	0.370607	6704.402	33.419671	0.001114	0.48691	0.0135265
37.2335	231471.8	0.397741	6456.868	35.84892	0.001195	0.527398	0.0168109
38	236078.1	0.462281	6311.758	37.402909	0.0012468	0.553298	0.008284

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut 55<sup>0</sup> pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

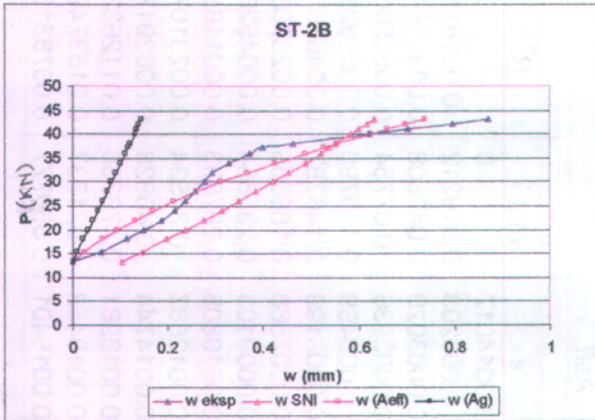
Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	A <sub>eff</sub>				
			A <sub>eff</sub> (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	15514.28	6.4264604	0.0002142	0.015402	0.0021531
18	115885.8	0.112564	11403.1	10.16266	0.0003388	0.041306	0.0050777
20	127905.1	0.148608	9334.242	13.702779	0.0004568	0.065851	0.0068487
22	139924.3	0.18721	7791.37	17.958881	0.0005986	0.09536	0.0084364
24	151943.5	0.215099	6611.2	22.982743	0.0007661	0.130192	0.0072092
26	163962.8	0.237438	5689.017	28.820928	0.0009607	0.17067	0.0044579
28	175982	0.256933	4955.212	35.51452	0.0011838	0.217079	0.0015883
30	188001.2	0.276946	4362.082	43.098959	0.0014366	0.269664	5.302E-05
32	200020.4	0.292324	3876.068	51.603958	0.0017201	0.328632	0.0013183
34	212039.7	0.32896	3473.014	61.053508	0.0020351	0.394149	0.0042497
36	224058.9	0.370607	3135.184	71.465951	0.0023822	0.466342	0.0091652
37.2335	231471.8	0.397741	2953.437	78.373697	0.0026125	0.514236	0.0135711
38	236078.1	0.462281	2849.323	82.854127	0.0027618	0.5453	0.0068922

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $60^0$  pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

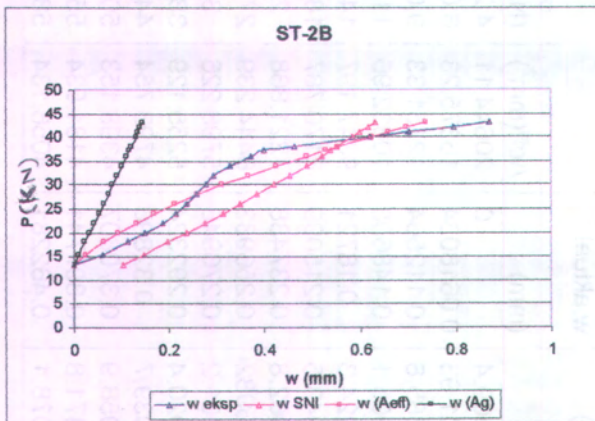
Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	16025.12	6.2216036	0.0002074	0.017477	0.0019648
18	115885.8	0.112564	12193.28	9.5040766	0.0003168	0.045925	0.0044408
20	127905.1	0.148608	10205.46	12.533	0.0004178	0.072176	0.0058419
22	139924.3	0.18721	8689.015	16.103585	0.0005368	0.103121	0.007071
24	151943.5	0.215099	7504.776	20.246243	0.0006749	0.139024	0.0057874
26	163962.8	0.237438	6561.602	24.988217	0.0008329	0.180121	0.0032853
28	175982	0.256933	5797.726	30.353619	0.0010118	0.226621	0.0009188
30	188001.2	0.276946	5170.054	36.363488	0.0012121	0.278707	3.099E-06
32	200020.4	0.292324	4647.761	43.035868	0.0014345	0.336534	0.0019545
34	212039.7	0.32896	4208.314	50.385894	0.0016795	0.400234	0.00508
36	224058.9	0.370607	3834.925	58.425893	0.0019475	0.469914	0.0098619
37.2335	231471.8	0.397741	3631.906	63.732858	0.0021244	0.515908	0.0139634
38	236078.1	0.462281	3514.872	67.1655	0.0022389	0.545657	0.0069516

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $65^0$  pada Balok ST-2B dengan Luas Penampang Efektif

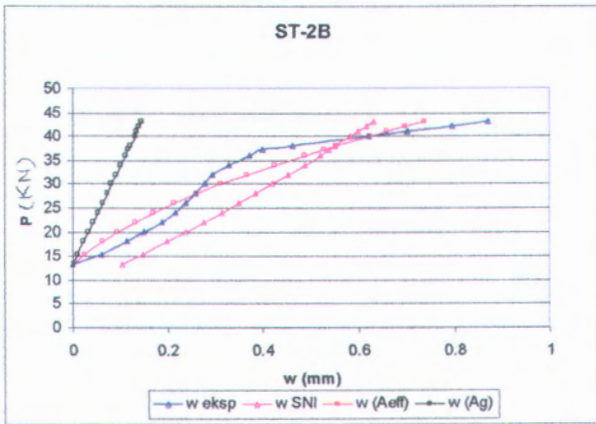
Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
13.1617	86809.4	0	20644.11	4.2050444	0.00014017	0	0
15.307	99701.93	0.0618034	16375.23	6.0885827	0.000203	0.019212	0.001814
18	115885.8	0.112564	12751.33	9.0881358	0.0003029	0.049808	0.0039384
20	127905.1	0.148608	10832.96	11.807025	0.0003936	0.07754	0.0050506
22	139924.3	0.18721	9347.197	14.969652	0.000499	0.109799	0.0059925
24	151943.5	0.215099	8170.787	18.595946	0.0006199	0.146787	0.0046665
26	163962.8	0.237438	7221.868	22.70365	0.0007568	0.188686	0.0023768
28	175982	0.256933	6444.239	27.308417	0.0009103	0.235654	0.0004528
30	188001.2	0.276946	5798.226	32.42392	0.0010808	0.287833	0.0001185
32	200020.4	0.292324	5255.129	38.061946	0.0012687	0.34534	0.0028107
34	212039.7	0.32896	4793.754	44.232491	0.0014744	0.40828	0.0062917
36	224058.9	0.370607	4398.153	50.943858	0.0016981	0.476736	0.0112633
37.2335	231471.8	0.397741	4181.534	55.355705	0.0018452	0.521737	0.0153749
38	236078.1	0.462281	4056.134	58.202744	0.0019401	0.550777	0.0078315



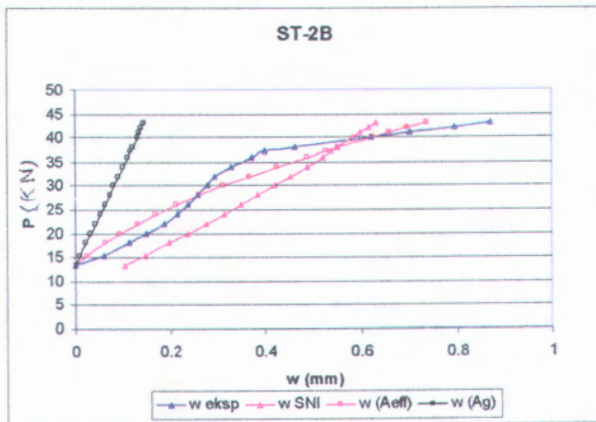
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $25^\circ$  Untuk Balok ST-2B.



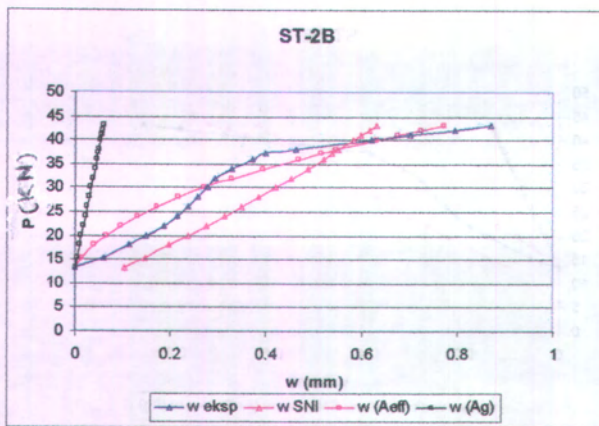
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $35^\circ$  Untuk Balok ST-2B.



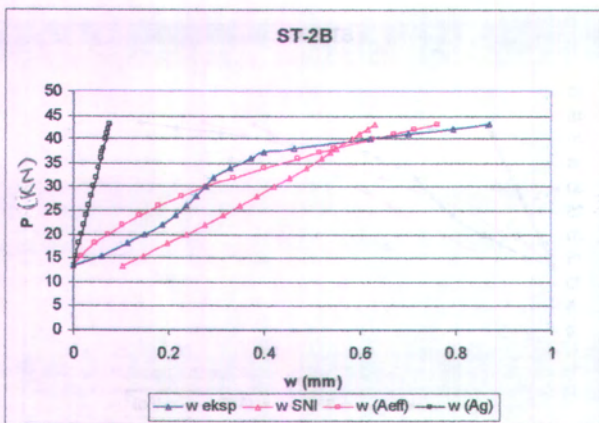
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $45^0$  Untuk Balok ST-2B.



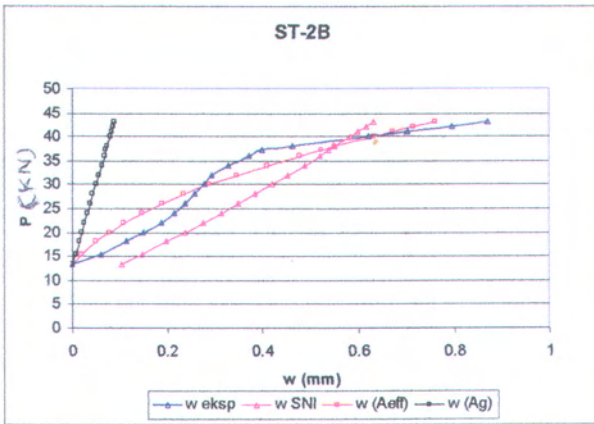
Gambar 5.5 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $50^0$  Untuk Balok ST-2B.



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $55^0$  Untuk Balok ST-2B.



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $60^0$  Untuk Balok ST-2B.



Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{\text{eff}}$  pada Model Rangka Sudut  $65^\circ$  Untuk Balok ST-2B.

Dari Gambar 5.2 - 5.8 serta Tabel 5.3 - 5.9 dapat disimpulkan bahwa Hasil prediksi lebar retak dengan menggunakan luas efektif lebih mendekati hasil percobaan atau eksperimen dari pada prediksi lebar retak dengan menggunakan luas gross. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $\Sigma R^2$  yang lebih kecil untuk penggunaan luas efektif. Selain itu, kurva lebar retak yang diprediksi menggunakan perumusan luas efektif penampang lebih dapat mendekati kurva lebar retak hasil eksperimen (hasil regresi yang lebih baik) dibandingkan kurva lebar retak yang dihasilkan dari perumusan SNI.



### 5.2.2 Penentuan Koefisien $a$ Untuk Balok ST-6B

#### 5.2.2 (a) Nilai Koefisien $a$ Dengan Trial and error

Dari hasil *trial and error* didapatkan koefisien  $a$  untuk model rangka sudut  $25^0$  pada balok ST-6B yang memenuhi  $\Sigma R^2 = \Sigma (w_a - w_e)^2 = \text{minimum}$  adalah  $a = 0,92$  dengan  $\Sigma R^2 = 0,1172112$ . Untuk nilai koefisien  $a$  pada model rangka dengan sudut yang lain dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 5.10 Nilai Koefisien  $a$  Untuk Balok ST-6B

Balok	Sudut	$\Sigma R^2$	$a$
ST-6B	$25^0$	0,1172112	0,92
	$35^0$	0,1172112	0,92
	$45^0$	0,1172112	0,92
	$50^0$	0,2148289	1,89
	$55^0$	0,1922455	1,63
	$60^0$	0,1740907	1,45
	$65^0$	0,1603674	1,32

#### 5.2.2 (b) Perhitungan Lebar Retak Dengan Luas Efektif

Contoh perhitungan prediksi lebar retak untuk model rangka sudut  $25^0$  pada balok ST-6B sama/*analog* dengan contoh perhitungan untuk balok ST-2B (dapat dilihat dalam Pasal 5.2.1(b)).

Hasil lebar retak untuk model rangka dengan sudut yang lain dapat dilihat dalam Tabel 5.12-5.18 dan Gambar 5.9- 5.15.

#### 5.2.2 (c) Perhitungan Lebar Retak Menurut Perumusan SNI (03-2847-2002)

Contoh perhitungan lebar retak menurut SNI untuk balok ST-6B sama/*analog* dengan contoh perhitungan untuk balok ST-2B. Hasil lebar retak menurut perumusan SNI untuk model rangka pada balok ST-6B dapat dilihat dalam Tabel 5.11 dan Gambar 5.9- 5.15.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Lebar Retak pada Balok ST-6B Dengan Perumusan SNI

No	Akibat +P (kN)	MI (N-mm)	M tot (N-mm)	I (mm <sup>4</sup> )	f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	w SNI (mm)
1	17.452	21815000	23424460	240492814	84.405226	0.0875157
2	20	25000000	26609460	228167405	101.06117	0.1047855
3	22	27500000	29109460	221919712	113.6685	0.1178574
4	24	30000000	31609460	217494100	125.94225	0.1305835
5	26	32500000	34109460	214271933	137.94673	0.1430304
6	27.2233	34029125	35638585	212723529	145.17999	0.1505302
7	28	35000000	36609460	211870441	149.73551	0.1552536
8	30	37500000	39109460	210044129	161.35154	0.1672977
9	32	40000000	41609460	208630611	172.82871	0.1791978
10	34	42500000	44109460	207519548	184.19362	0.1909815
11	36	45000000	46609460	206634184	195.46714	0.2026705
12	37.1782	46472750	48082210	206195547	202.0724	0.2095192
13	38	47500000	49109460	205920000	206.66574	0.2142818
14	40	50000000	51609460	205337546	217.80247	0.2258289
15	42	52500000	54109460	204857799	228.88775	0.2373227
16	42.7492	53436500	55045960	204699927	233.02881	0.2416164

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $25^0$  pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	26911.07	5.344824	0.0001782	0.018996	0.0011359
22	157348.4	0.095184	24871.64	6.3264195	0.0002109	0.035356	0.0035794
24	170862	0.134154	23142.93	7.382899	0.0002461	0.052964	0.0065918
26	184375.5	0.174009	21658.24	8.5129475	0.0002838	0.071798	0.010447
27.2233	192641	0.196674	20848.9	9.2398645	0.000308	0.083914	0.0127149
28	197889	0.197783	20368.76	9.7153177	0.0003238	0.091838	0.0112244
30	211402.5	0.19832	19237.96	10.988819	0.0003663	0.113063	0.0072688
32	224916	0.19976	18237.93	12.332317	0.0004111	0.135455	0.0041352
34	238429.5	0.229787	17346.98	13.744724	0.0004582	0.158995	0.0050116
36	251943	0.272322	16547.99	15.224992	0.0005075	0.183666	0.0078599
37.1782	259903.8	0.297659	16114.7	16.128374	0.0005376	0.198722	0.0097885
38	265456.5	0.298776	15827.25	16.772115	0.0005591	0.209451	0.0079789
40	278970.1	0.300207	15173.68	18.385123	0.0006128	0.236335	0.0040797
42	292483.6	0.301646	14578.2	20.063075	0.0006688	0.264301	0.0013947

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut 35° pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	A <sub>eff</sub>				
			A <sub>eff</sub> (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	26911.07	5.344824	0.0001782	0.018996	0.0011359
22	157348.4	0.095184	24871.64	6.3264195	0.0002109	0.035356	0.0035794
24	170862	0.134154	23142.93	7.382899	0.0002461	0.052964	0.0065918
26	184375.5	0.174009	21658.24	8.5129475	0.0002838	0.071798	0.010447
27.2233	192641	0.196674	20848.9	9.2398645	0.000308	0.083914	0.0127149
28	197889	0.197783	20368.76	9.7153177	0.0003238	0.091838	0.0112244
30	211402.5	0.19832	19237.96	10.988819	0.0003663	0.113063	0.0072688
32	224916	0.19976	18237.93	12.332317	0.0004111	0.135455	0.0041352
34	238429.5	0.229787	17346.98	13.744724	0.0004582	0.158995	0.0050116
36	251943	0.272322	16547.99	15.224992	0.0005075	0.183666	0.0078599
37.1782	259903.8	0.297659	16114.7	16.128374	0.0005376	0.198722	0.0097885
38	265456.5	0.298776	15827.25	16.772115	0.0005591	0.209451	0.0079789
40	278970.1	0.300207	15173.68	18.385123	0.0006128	0.236335	0.0040797
42	292483.6	0.301646	14578.2	20.063075	0.0006688	0.264301	0.0013947



Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $45^\circ$  pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	A <sub>eff</sub>				
			A <sub>eff</sub> (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	26911.07	5.344824	0.0001782	0.018996	0.0011359
22	157348.4	0.095184	24871.64	6.3264195	0.0002109	0.035356	0.0035794
24	170862	0.134154	23142.93	7.382899	0.0002461	0.052964	0.0065918
26	184375.5	0.174009	21658.24	8.5129475	0.0002838	0.071798	0.010447
27.2233	192641	0.196674	20848.9	9.2398645	0.000308	0.083914	0.0127149
28	197889	0.197783	20368.76	9.7153177	0.0003238	0.091838	0.0112244
30	211402.5	0.19832	19237.96	10.988819	0.0003663	0.113063	0.0072688
32	224916	0.19976	18237.93	12.332317	0.0004111	0.135455	0.0041352
34	238429.5	0.229787	17346.98	13.744724	0.0004582	0.158995	0.0050116
36	251943	0.272322	16547.99	15.224992	0.0005075	0.183666	0.0078599
37.1782	259903.8	0.297659	16114.7	16.128374	0.0005376	0.198722	0.0097885
38	265456.5	0.298776	15827.25	16.772115	0.0005591	0.209451	0.0079789
40	278970.1	0.300207	15173.68	18.385123	0.0006128	0.236335	0.0040797
42	292483.6	0.301646	14578.2	20.063075	0.0006688	0.264301	0.0013947

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $50^0$  pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	23919.49	6.013293	0.0002004	0.011452	0.0017013
22	157348.4	0.095184	20371.65	7.7238933	0.0002575	0.022286	0.0053141
24	170862	0.134154	17605.69	9.7049302	0.0003235	0.034833	0.0098647
26	184375.5	0.174009	15406.18	11.967631	0.0003989	0.049163	0.0155865
27.2233	192641	0.196674	14275.45	13.494567	0.0004498	0.058834	0.019
28	197889	0.197783	13627.36	14.521449	0.000484	0.065337	0.0175419
30	211402.5	0.19832	12167.67	17.374109	0.0005791	0.083404	0.0132057
32	224916	0.19976	10954.58	20.531687	0.0006844	0.103402	0.0092849
34	238429.5	0.229787	9935.112	23.998674	0.0008	0.12536	0.0109051
36	251943	0.272322	9069.858	27.778056	0.0009259	0.149296	0.0151355
37.1782	259903.8	0.297659	8619.957	30.151407	0.001005	0.164327	0.0177774
38	265456.5	0.298776	8328.985	31.871415	0.0010624	0.17522	0.015266
40	278970.1	0.300207	7689.57	36.279021	0.0012093	0.203135	0.0094229
42	292483.6	0.301646	7133.76	40.999916	0.0013667	0.233034	0.0047076

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut 55° pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	A <sub>eff</sub>				
			A <sub>eff</sub> (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	24685.43	5.8267139	0.0001942	0.012973	0.0015781
22	157348.4	0.095184	21486.38	7.3231714	0.0002441	0.024945	0.0049335
24	170862	0.134154	18935.76	9.0232407	0.0003008	0.038546	0.009141
26	184375.5	0.174009	16865.19	10.932306	0.0003644	0.053818	0.0144459
27.2233	192641	0.196674	15783.86	12.204938	0.0004068	0.063999	0.0176026
28	197889	0.197783	15158.32	13.054807	0.0004352	0.070798	0.0161252
30	211402.5	0.19832	13732.52	15.394302	0.0005131	0.089514	0.0118387
32	224916	0.19976	12527.67	17.953545	0.0005985	0.109988	0.008059
34	238429.5	0.229787	11499.15	20.734538	0.0006912	0.132236	0.0095162
36	251943	0.272322	10613.23	23.738586	0.0007913	0.156268	0.0134685
37.1782	259903.8	0.297659	10147.35	25.612974	0.0008538	0.171263	0.0159758
38	265456.5	0.298776	9843.987	26.966364	0.0008989	0.182091	0.0136155
40	278970.1	0.300207	9171.229	30.417958	0.0010139	0.209703	0.0081909
42	292483.6	0.301646	8579.014	34.092914	0.0011364	0.239103	0.0039116

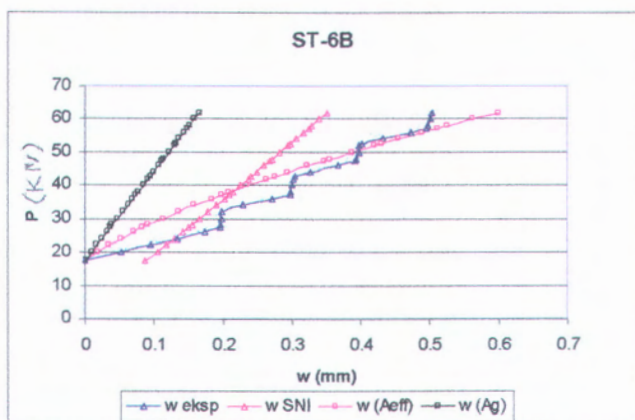
Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $60^0$  pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

Akibat P (KN)	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	25230.76	5.700777	0.00019	0.014259	0.0014776
22	157348.4	0.095184	22295.84	7.0572989	0.0002352	0.027191	0.004623
24	170862	0.134154	19919.21	8.5777478	0.0002859	0.041686	0.0085503
26	184375.5	0.174009	17962.11	10.264689	0.0003422	0.057769	0.0135118
27.2233	192641	0.196674	16928.84	11.379455	0.0003793	0.068396	0.0164552
28	197889	0.197783	16327.28	12.120142	0.000404	0.075457	0.0149636
30	211402.5	0.19832	14944.72	14.145631	0.0004715	0.094767	0.0107232
32	224916	0.19976	13762.86	16.342244	0.0005447	0.115708	0.0070647
34	238429.5	0.229787	12742.97	18.710666	0.0006237	0.138287	0.0083723
36	251943	0.272322	11855.46	21.251219	0.0007084	0.162507	0.0120594
37.1782	259903.8	0.297659	11385.09	22.828439	0.0007609	0.177543	0.0144278
38	265456.5	0.298776	11077.35	23.963899	0.0007988	0.188368	0.01219
40	278970.1	0.300207	10390.56	26.848409	0.0008949	0.215867	0.0071133
42	292483.6	0.301646	9780.693	29.904176	0.0009968	0.244998	0.003209

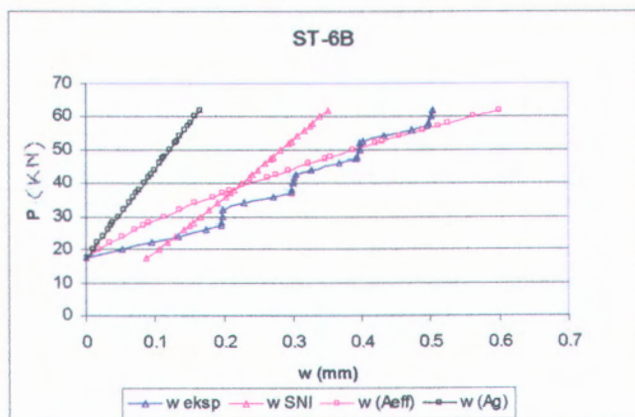


Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Lebar Retak Untuk Model Rangka Sudut  $65^{\circ}$  pada Balok ST-6B dengan Luas Penampang Efektif

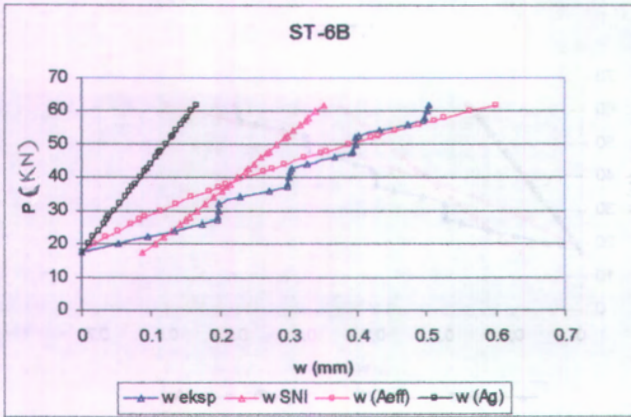
Akibat	F (N)	w aktual (mm)	Aeff				
			Aeff(mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$	w(mm)	R <sup>2</sup>
17.452	126620	0	30111.47	4.2050417	0.00014017	0	0
20	143834.9	0.0526991	25632.46	5.611436	0.000187	0.015283	0.0014
22	157348.4	0.095184	22900.46	6.8709718	0.000229	0.02897	0.0043843
24	170862	0.134154	20663.2	8.2689005	0.0002756	0.044161	0.0080988
26	184375.5	0.174009	18801.76	9.8062857	0.0003269	0.060867	0.0128012
27.2233	192641	0.196674	17811.25	10.815692	0.0003605	0.071836	0.0155846
28	197889	0.197783	17231.91	11.483865	0.0003828	0.079097	0.0140865
30	211402.5	0.19832	15892.43	13.302085	0.0004434	0.098855	0.0098934
32	224916	0.19976	14737.82	15.261141	0.0005087	0.120143	0.0063389
34	238429.5	0.229787	13733.62	17.361005	0.0005787	0.142961	0.0075387
36	251943	0.272322	12853.29	19.601442	0.0006534	0.167308	0.011028
37.1782	259903.8	0.297659	12384.08	20.986923	0.0006996	0.182363	0.0132931
38	265456.5	0.298776	12076.06	21.982044	0.0007327	0.193177	0.0111512
40	278970.1	0.300207	11385.49	24.502244	0.0008167	0.220563	0.0063432
42	292483.6	0.301646	10768.38	27.161326	0.0009054	0.249458	0.0027236



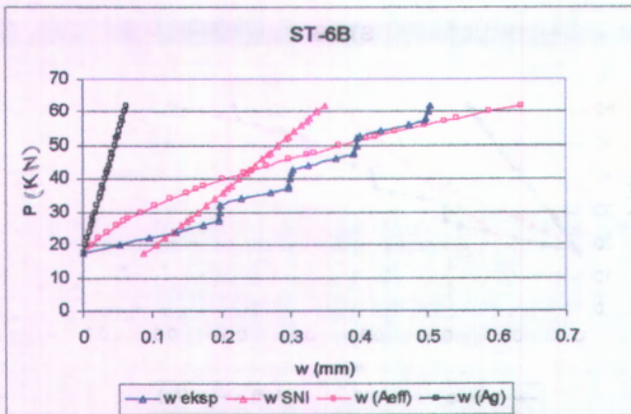
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $25^\circ$  Untuk Balok ST-6B.



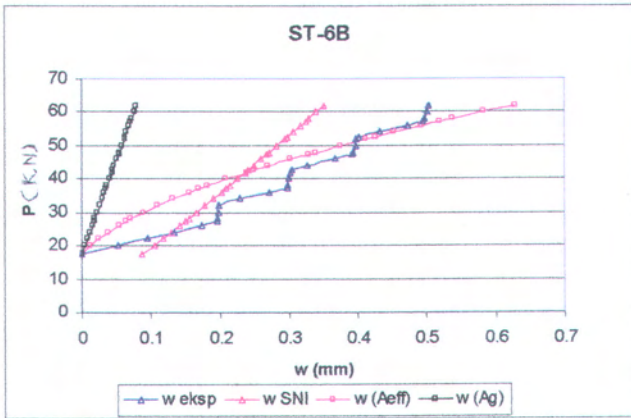
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $35^\circ$  Untuk Balok ST-6B.



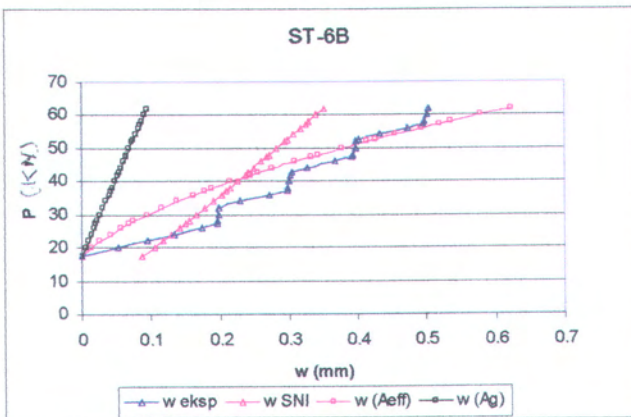
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $45^0$  Untuk Balok ST-6B.



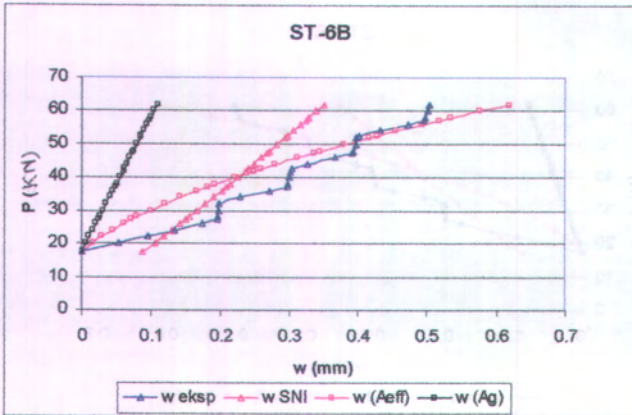
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $50^0$  Untuk Balok ST-6B.



Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $55^\circ$  Untuk Balok ST-6B.



Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $60^\circ$  Untuk Balok ST-6B.



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Hasil Lebar Retak Aktual dengan Lebar Retak Prediksi Menggunakan  $A_g$  dan  $A_{eff}$  pada Model Rangka Sudut  $65^\circ$  Untuk Balok ST-6B.

Dari Gambar 5.9 - 5.15 serta Tabel 5.12 - 5.18 dapat disimpulkan bahwa Hasil prediksi lebar retak dengan menggunakan luas efektif lebih mendekati hasil percobaan atau eksperimen dari pada prediksi lebar retak dengan menggunakan luas gross. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $\Sigma R^2$  yang lebih kecil untuk penggunaan luas efektif. Selain itu, kurva lebar retak yang diprediksi menggunakan perumusan luas efektif penampang lebih dapat mendekati kurva lebar retak hasil eksperimen (hasil regresi yang lebih baik) dibandingkan kurva lebar retak yang dihasilkan dari perumusan SNI.

### 5.3 HUBUNGAN PARAMETER $L$ , $H$ , $A_g$ , dan $A_s$ TERHADAP KOEFISIEN ' $a$ '

Setelah mendapatkan besarnya nilai koefisien  $a$  dalam perumusan luas efektif penampang untuk masing-masing model rangka dari tiap balok, maka perlu dicari hubungan antara nilai koefisien  $a$  dengan parameter lain yang diketahui dari balok maupun model rangka. Parameter-parameter tersebut diantaranya adalah panjang *frame* yang ditinjau ( $L$ ), tinggi model rangka ( $H$ ), Luas penampang beton gross ( $A_g$ ), serta luas penampang tulangan baja ( $A_s$ ).

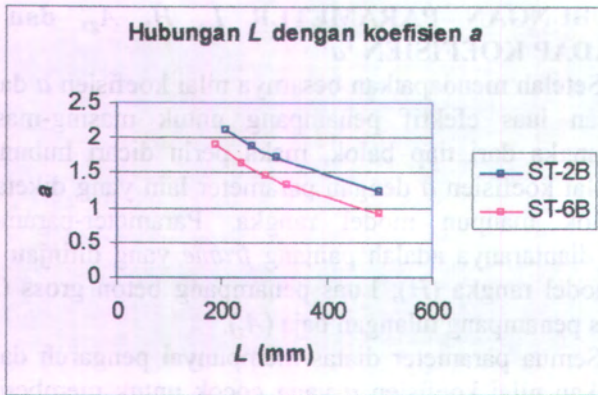
Semua parameter diatas mempunyai pengaruh dalam menentukan nilai koefisien  $a$  yang cocok untuk memberikan nilai luas penampang efektif beton dalam menahan tegangan tarik setelah mengalami keretakan.

#### 5.3.1 Hubungan Parameter $L$ dengan Koefisien $a$

Untuk mendapatkan hubungan atau *trend* dari parameter koefisien  $a$ , dapat dilihat dari grafik hasil prediksi lebar retak pada tiap balok untuk semua model rangka. Dari grafik hasil lebar retak itu diketahui bahwa semakin besar panjang  $L$  maka semakin kecil nilai koefisien  $a$ . Hubungan ini dapat dilihat dalam Gambar 5.16 serta Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Hubungan Panjang  $L$  dengan Koefisien  $a$

ST-2B		ST-6B	
$L$ (mm)	$a$	$L$ (mm)	$a$
500	1.23	500	0.92
306	1.71	326	1.32
260	1.87	286	1.45
208	2.11	240	1.63
		190	1.89



Gambar 5.16 Hubungan Antara Panjang  $L$  dengan Koefisien  $a$

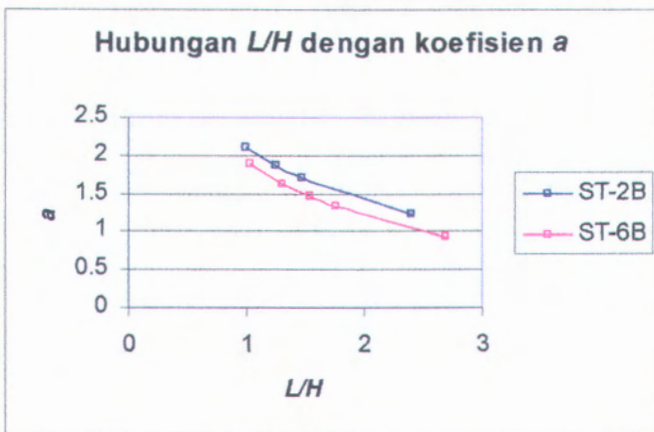
### 5.3.2 Hubungan Parameter $L$ , dan $H$ dengan Koefisien $a$

Dari Pasal 5.3.1 dapat dilihat bahwa hubungan parameter  $L$  dengan koefisien  $a$  masih berlaku individual untuk masing-masing balok dan belum berlaku secara umum. Untuk itu perlu dicari parameter lain yang mungkin berpengaruh terhadap nilai koefisien  $a$  sehingga hubungan antar parameter ini dapat berlaku secara umum.

Parameter yang dimaksud adalah tinggi model rangka ( $H$ ) dan gambaran mengenai hubungan parameter ini beserta panjang  $L$  terhadap nilai koefisien  $a$  dapat dilihat dalam Tabel 5.20 serta Gambar 5.17.

Tabel 5.20 Hubungan Panjang  $L$  dan Tinggi  $H$  dengan Koefisien  $a$

ST-2B		ST-6B	
$H=(\text{mm})$	208	$H=(\text{mm})$	185
$L/H$	$a$	$L/H$	$a$
2.403846	1.23	2.702703	0.92
1.471154	1.71	1.762162	1.32
1.25	1.87	1.545946	1.45
1	2.11	1.297297	1.63
		1.027027	1.89



Gambar 5.17 Hubungan Antara  $L/H$  dengan Koefisien  $a$

Dari gambar 5.17 di atas dapat dilihat bahwa hubungan parameter  $L/H$  dengan koefisien  $a$  masih belum berlaku secara umum. Untuk itu perlu dicari hubungan parameter yang lain yaitu  $A_g$  dan  $A_s$ .

### 5.3.3 Hubungan Parameter $L$ , $H$ , $A_g$ dan $A_s$ dengan Koefisien $a$

Besarnya parameter  $H$ ,  $A_g$  dan  $A_s$  untuk tiap balok:

Balok ST-2B:  $H = 208 \text{ mm}$   
 $A_g = 20644,11 \text{ mm}^2$   
 $A_s = 396,912 \text{ mm}^2$

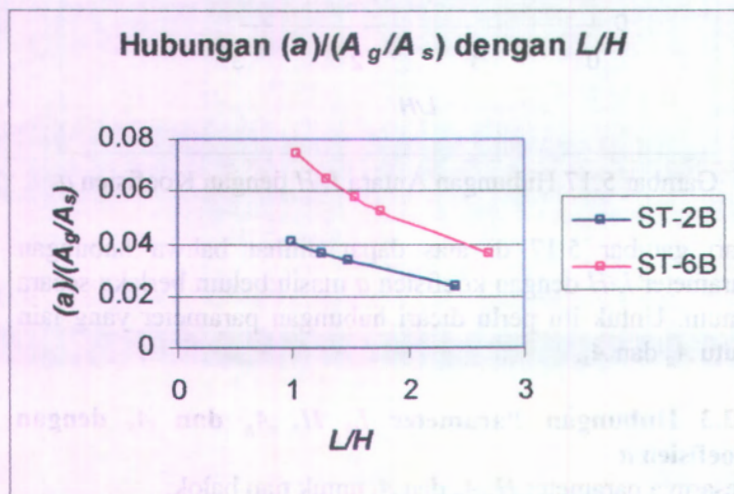
Balok ST-6B:  $H = 185 \text{ mm}$   
 $A_g = 30111,47 \text{ mm}^2$   
 $A_s = 1190,736 \text{ mm}^2$

Hubungan parameter  $L$ ,  $H$ ,  $A_g$  dan  $A_s$  dengan nilai koefisien  $a$  dapat dilihat dalam Tabel 5.21 dan Gambar 5.18.



Tabel 5.21 Hubungan  $L/H$ , dan  $A_g/A_s$  dengan Koefisien  $a$ 

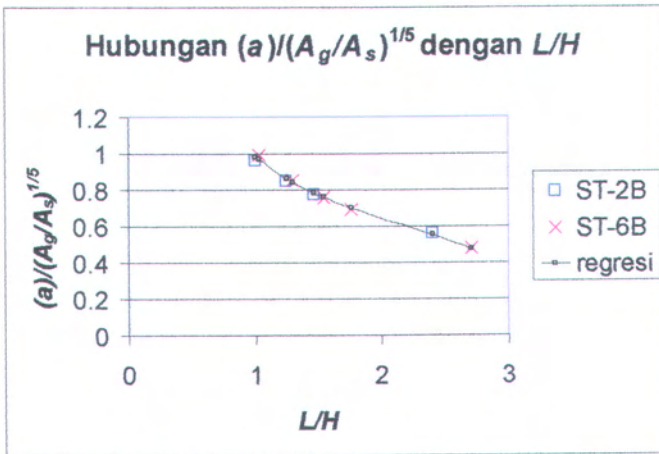
ST-2B			ST-6B		
$L(\text{mm})$	$L/H$	$(a)/(A_g/A_s)$	$L(\text{mm})$	$L/H$	$(a)/(A_g/A_s)$
500	2.403	0.0236	500	2.702	0.0363
306	1.471	0.0328	326	1.762	0.0521
260	1.25	0.0359	286	1.545	0.0573
208	1	0.0405	240	1.297	0.0644
			190	1.027	0.0747

Gambar 5.18 Hubungan Antara  $L/H$  dengan Koefisien  $\frac{a}{(A_g/A_s)}$ 

Dari Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa hubungan antara parameter  $L/H$  dengan koefisien  $a/(A_g/A_s)$  belum memberikan hubungan yang berlaku secara umum. Untuk itu dicari hubungan yang lain seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.19 berikut ini.

Tabel 5.22 Hubungan  $L/H$ , dan  $(A_g/A_s)^{1/5}$  dengan Koefisien  $a$ 

ST-2B			ST-6B		
L(mm)	L/H	$(a)/(A_g/A_s)^{1/5}$	L(mm)	L/H	$(a)/(A_g/A_s)^{1/5}$
500	2.403	0.5580	500	2.702	0.4821
306	1.471	0.7758	326	1.762	0.6918
260	1.25	0.8484	286	1.545	0.7599
208	1	0.9573	240	1.297	0.8542
			190	1.027	0.9905

Gambar 5.19 Hubungan Antara  $L/H$  dengan

$$\text{Koefisien } \frac{a}{(A_g / A_s)^{1/5}}$$

Dari Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa hubungan antara parameter  $L/H$  dengan koefisien  $a/(A_g/A_s)^{1/5}$  dapat memberikan hubungan yang berlaku secara umum. Persamaan kurva yang menyatakan hubungan ini yaitu:  
untuk balok ST-2B:

$$a = \left[ -0,1037 \left( \frac{L}{H} \right)^3 + 0,6138 \left( \frac{L}{H} \right)^2 - 1,4211 \left( \frac{L}{H} \right) + 1,8684 \right] (A_g/A_s)^{1/5}$$

untuk balok ST-6B:

$$a = [-0,0684 \left(\frac{L}{H}\right)^3 + 0,4842 \left(\frac{L}{H}\right)^2 - 1,3477 \left(\frac{L}{H}\right) + 1,9378](A_g/A_s)^{1/5}$$

Dari kedua persamaan di atas, dicari persamaan umum untuk semua balok dengan mengambil nilai rata-rata dari kedua persamaan tersebut.

Persamaan umum yang baru untuk mencari besarnya koefisien  $a$  untuk semua harga  $L/H$  yaitu:

$$a = [-0,08605 \left(\frac{L}{H}\right)^3 + 0,549 \left(\frac{L}{H}\right)^2 - 1,3844 \left(\frac{L}{H}\right) + 1,9031](A_g/A_s)^{1/5}$$

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 UMUM

Dalam bab 6 ini dibahas secara garis besar semua hasil analisa yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya. Selain itu diberikan juga urutan prosedur dalam memprediksi lebar retak menggunakan metoda *strut-and-tie* dalam bentuk contoh soal yang dapat dilihat dalam Lampiran.

### 6.2. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari usulan metoda *strut-and-tie* dalam memprediksi lebar retak adalah sebagai berikut:

1. Besarnya sudut dalam model rangka batang tidak berpengaruh pada besarnya gaya aksial tarik maksimum yang terjadi pada *frame* di tengah bentang rangka. Hal ini dapat dimengerti karena berapapun besarnya sudut rangka hanya berpengaruh pada distribusi beban untuk tiap titik simpul rangka, tetapi secara keseluruhan untuk beban pada setengah bentang memberikan harga momen yang sama sehingga menghasilkan gaya aksial tarik ( $f$ ) yang sama juga.
2. Faktor yang memiliki pengaruh dalam menentukan besarnya gaya tarik aksial adalah tinggi ( $H$ ) dari model rangka batang. Hal ini dapat dipahami dari analisa mekanika teknik bahwa semakin besar tinggi dari rangka batang maka gaya aksial tarik maksimum pada *frame* di tengah rangka batang akan semakin kecil.
3. Dalam perhitungan lebar retak  $w = (\varepsilon - \varepsilon_{cr}) \times L$ , panjang *frame* yang ditinjau pada tengah bentang rangka mempunyai pengaruh dalam menentukan besarnya  $w$ . Panjang  $L$  ini dipengaruhi oleh besarnya sudut rangka yang dipilih dan batasan sudut model

- rangka dalam *strut-and-tie* yaitu  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  (lihat pasal 4.3.2.1 dan 4.3.2.2). Semakin besar panjang  $L$  maka lebar retak yang dihasilkan juga semakin besar.
4. Besarnya tegangan tarik yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya luas penampang gross beton ( $A_g$ ). Semakin besar luas  $A_g$  ini maka tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil dan lebar retak juga akan semakin kecil.
  5. Luas penampang beton gross ( $A_g$ ), menurut perumusan Hsu (2003) dipengaruhi oleh parameter luas tulangan ( $A_s$ ), tebal selimut beton terhadap as tulangan ( $c$ ), dan spasi antar as tulangan ( $s$ ). Untuk mendapatkan luas gross yang besar dibutuhkan tebal selimut beton yang cukup dan pengaturan spasi antar tulangan agar tulangan dapat tersebar merata dalam penampang beton, sehingga lebar retak yang besar dapat diantisipasi dengan baik.
  6. Hasil prediksi lebar retak menggunakan luas penampang gross masih jauh dari lebar retak sebenarnya. Hal ini dikarenakan beton telah mengalami retak saat tegangan yang terjadi melewati tegangan batas retak, tetapi luas penampangnya masih utuh (gross).
  7. Setelah tegangan tarik yang terjadi melebihi batas tegangan tarik beton yaitu  $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$  maka luas penampang gross harus dikoreksi atau direduksi menjadi luas efektif yang memberikan prediksi lebar retak yang lebih mendekati data eksperimen atau sesungguhnya. Luasan efektif ini diperkirakan berada antara luasan penampang beton gross sampai luasan penampang tulangan baja saja ( $A_s$ ). Untuk perumusan luas penampang efektif dapat dilihat pada Pasal 5.1.
  8. Hasil prediksi lebar retak menggunakan perumusan lebar retak dalam SNI masih kurang mendekati hasil

eksperimen. Hal ini disebabkan karena perumusan lebar retak dalam SNI hanya efektif untuk beban kerja yang menyebabkan tegangan baja tulangan mencapai 60% dari tegangan lelehnya saja.

9. Dalam perumusan luas penampang efektif, besarnya koefisien  $a$  mempunyai hubungan dengan parameter  $L/H$  dan  $1/(A_g/A_s)^{1/5}$ . Hubungan ini dapat digambarkan dalam Grafik Hubungan antara  $L/H$  dengan  $a/(A_g/A_s)^{1/5}$  dalam Pasal 5.3.3.
10. Urutan prosedur dalam memprediksi lebar retak pada balok beton bertulang dapat dilihat dalam LAMPIRAN beserta contoh soal prediksi lebar retak pada balok beton bertulang.

### 6.3 SARAN

Untuk mencapai suatu hasil yang lebih baik dan akurat dalam memprediksi lebar retak pada balok beton bertulang, perlu dipertimbangkan saran-saran sebagai berikut:

1. Perumusan luas penampang efektif beserta perumusan untuk mencari nilai koefisien  $a$  yang dihasilkan dalam tugas akhir ini hanya didasarkan pada hasil percobaan dua buah balok beton oleh peneliti lain yang dipublikasikan dalam beberapa literatur dan jurnal. Untuk mendapatkan perumusan luas penampang efektif dan nilai koefisien  $a$  yang lebih teliti dan akurat diperlukan analisa dan penelitian lebih lanjut terhadap beberapa balok lagi.
2. Kurangnya informasi mengenai data percobaan lebar retak pada balok beton bertulang yang lebih lengkap dan terpercaya juga perlu diperhatikan. Tersedianya data yang akurat dan terpercaya dapat mendukung penelitian atau studi pustaka dalam penyusunan tugas akhir mahasiswa.

Kami menyadari bahwa usulan metoda strut-and-tie dan perumusan luas penampang efektif beserta koefisiennya ini masih jauh dari sempurna, namun setidaknya akan dapat dijadikan sebagai bahan wacana dan bahan acuan untuk kajian lebih lanjut dan mendalami mengenai perumusan lebar retak pada balok beton bertulang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Darmawan, M Sigit., "Studi Perbandingan Geser Lentur Berdasarkan Truss Model", Lembaga Penelitian Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1999.
2. Ferguson, Phil M; Sutanto, B., "Dasar-Dasar Beton Bertulang", Erlangga, Jakarta, 1991.
3. Hardjasaputra, H.; Tumilar, S., "Model Penunjang dan Pengikat (Strut-and-Tie Model) pada Perancangan Struktur Beton", Universitas Pelita Harapan, Jakarta, 2002.
4. Hughes, Barry P; Cifuentes, Carlos V., "Comparison of Early-Age Crack Width Formulas for Reinforced Concrete", ACI Structural Journal, Vol 85, No 2, p 159, March-April 1988.
5. Imran, Iswandi., "Catatan Kuliah Struktur Beton II", ITB, Bandung, 2005.
6. Masmoudi, R; Theriault, M; Benmokrane, B., "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Deformed Fiber Reinforced Plastic Reinforcing Rods", ACI Structural Journal, Vol 95, No 6, pp 665-675, November-December 1998.
7. Mosley, W.H; Bungle, J.H., "Perencanaan Beton Bertulang Edisi Ketiga", Erlangga, Jakarta, 1989.
8. Oh, Byung H; Kang, Young J., "New Formula for Maximum Crack Width and Crack Spacing in Reinforced Concrete Flexural Members", ACI Structural Journal, Vol 84, No 2, pp 103-112, March-April 1987.
9. Reineck, Karl-H., "Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and Tie Models", American Concrete Institute, Farmington Hills, 2002.
10. SNI 03-2847-2002., "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung". 2002.



11. Wang, Chu-Kia; Salmon, Charles G., "*Desain Beton Bertulang*", Erlangga, Jakarta, 1993.
12. Zhu, Ronnie R; Wanichakorn, W; Hsu, Thomas T.C; Vogel, J., "*Crack Width Prediction Using Compatibility-Aided Strut and Tie Model*", ACI Structural Journal, Vol 100, No 4, pp 413-421, July-August 2003.

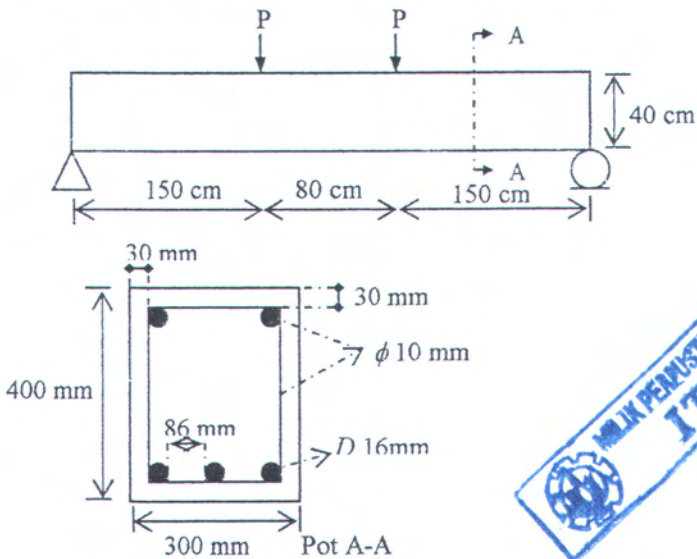
## **LAMPIRAN**

## LAMPIRAN

Contoh soal:

Sebuah balok beton bertulang dengan dimensi seperti pada Gambar L.1, menerima beban  $P$  terpusat sebesar 25 kN. Balok didesain dengan mutu beton  $f_c = 35$  Mpa, selimut beton 30 mm, dan  $E_c = 4700 \sqrt{35} = 27805,57$  Mpa.

Tulangan tekan atas diameter 10 mm, tulangan tarik bawah diameter 16 mm dan sengkang diameter 10 mm,  $E_s = 200$  GPa



Gambar L.1 Contoh Soal Prediksi Lebar Retak dengan Metoda *Strut-and-tie*

Penyelesaian:

### 1. Perhitungan Beban

Jika diketahui data berat komposisi campuran beton maka beban berat sendiri dihitung berdasarkan data tersebut.

Jika tidak diketahui data berat campuran maka digunakan data berat beton bertulang yaitu:  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Maka berat sendiri beton :  $2400 \times \text{Luas penampang beton}$   
 :  $2400 \times (0,4 \times 0,3)$   
 :  $288 \text{ kg/m}$

Beban luar  $P = 25 \text{ KN}$

## 2. Permodelan Rangka

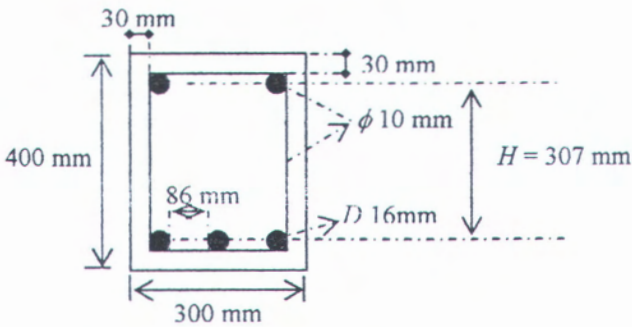
Model rangka yang direncanakan mempunyai kisaran sudut antara batang diagonal dengan batang horisontal sebesar  $25^\circ < \theta < 65^\circ$ . Tinggi rangka ( $H$ ) direncanakan sebagai jarak antara pusat titik berat tulangan tekan atas sampai titik berat tulangan tarik bawah (Gambar L.2). Jarak bentang utama direncanakan  $\lambda = \frac{H}{\tan(\theta^\circ)}$ .

Penempatan jarak bentang utama ini dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban  $P$  bekerja sampai pada ujung rangka (Gambar L.3). Jika pada ujung rangka masih terdapat sisa panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama ini, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama (Gambar L.4) dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang horisontal pada ujung rangka masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^\circ < \theta < 65^\circ$ ).

Demikian juga dengan bentang yang dimulai dari titik simpul rangka dimana posisi beban  $P$  bekerja sampai pada tengah bentang. Jika masih terdapat panjang bentang yang lebih besar dari panjang bentang utama, maka dapat ditambahkan lagi panjang bentang utama dengan syarat sudut yang terbentuk antara batang diagonal dengan bentang horisontal pada tengah bentang masih memenuhi syarat besarnya sudut ( $25^\circ < \theta < 65^\circ$ ).

Maka perencanaan model rangka:

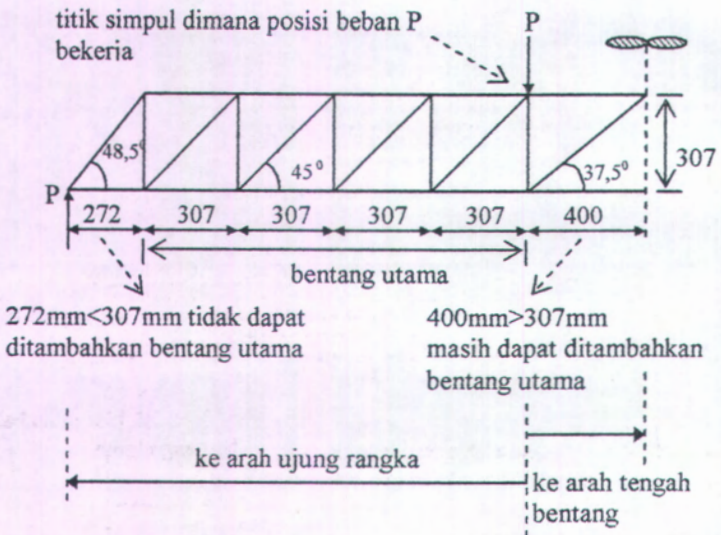
$$\begin{aligned}
 H &= \text{tinggi balok} - 2 \times \text{tebal selimut beton} - 2 \times \text{diameter} \\
 &\quad \text{sengkan} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan tekan atas} - \frac{1}{2} \text{ diameter} \\
 &\quad \text{tulangan tarik bawah.} \\
 &= 400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - \frac{1}{2} \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 16 \\
 &= 307 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar L.2 Penentuan Tinggi Model Rangka ( $H$ )

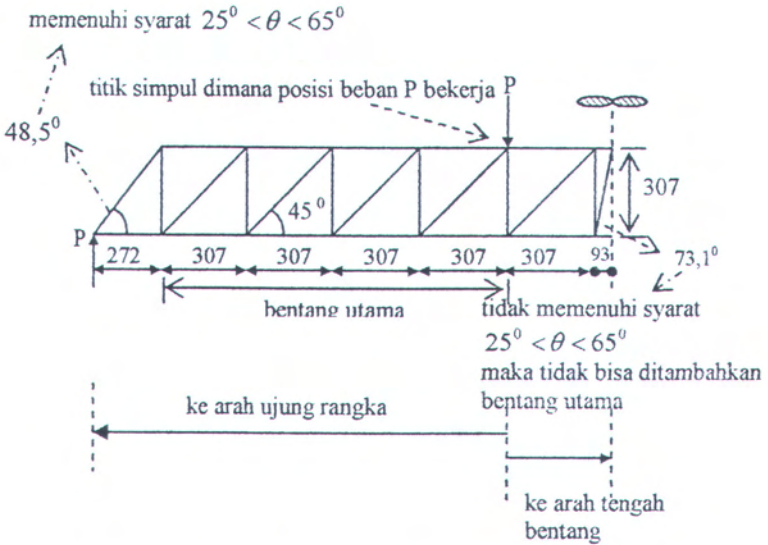
Direncanakan model rangka dengan sudut  $45^\circ$ . Untuk besar sudut  $45^\circ$ , direncanakan jarak bentang utama  $\lambda = \frac{H}{\tan(45^\circ)} =$

$$\frac{307}{\tan(45^\circ)} = 307 \text{ mm}$$



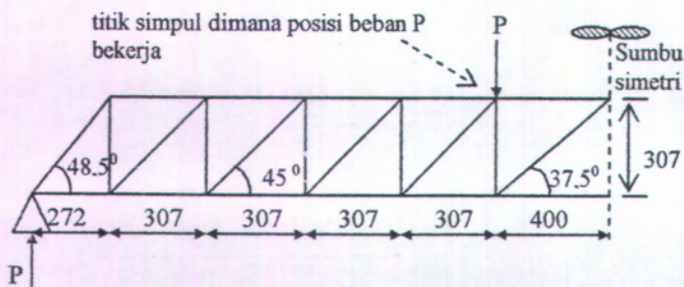
Gambar L.3 Penentuan Bentang Utama pada Permodelan Rangka Sudut  $45^{\circ}$

Dari Gambar L.3 dapat dilihat bahwa untuk bentang 272 mm tidak bisa ditambahkan bentang utama karena lebih kecil dari jarak bentang utama. Sedangkan untuk bentang 400 mm masih dapat ditambahkan bentang utama karena sudut yang terbentuk masih memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$ .



Gambar L.4 Penambahan Bentang Utama pada Tengah Rangka Sudut  $45^{\circ}$

Dari Gambar L.4 dapat dilihat untuk sudut  $73,1^{\circ}$  tidak memenuhi syarat  $25^{\circ} < \theta < 65^{\circ}$  maka pada bentang dengan panjang 400 mm tidak dapat ditambahkan lagi bentang utama.



Gambar L.5 Permodelan Akhir Rangka Sudut  $45^\circ$  Untuk Setengah Bentang Balok

Dengan dipenuhinya syarat sudut  $25^\circ < \theta < 65^\circ$  didapatkan model rangka sudut  $45^\circ$  pada balok seperti yang ditunjukkan dalam Gambar L.5.

### 3. Perhitungan Pembebanan Rangka

Perhitungan pembagian beban dapat dilihat dalam Gambar L.6 dibawah ini.

Beban berat sendiri : 288 kg/m

Beban luar  $P = 25$  KN

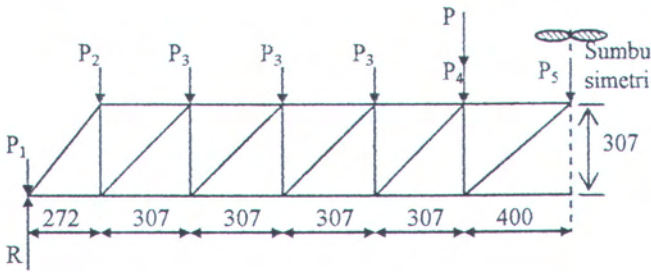
$$P_1 = \frac{1}{2} \times 288 \times 0,272 = 39,168 \text{ kg} = 384,23808 \text{ N}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times 288 \times 0,272 + \frac{1}{2} \times 288 \times 0,307$$

$$= 83,376 \text{ kg} = 817,91856 \text{ N}$$

$$P_3 = 288 \times 0,307 = 88,416 \text{ kg} = 867,36096 \text{ N}$$





Gambar L.6 Pembebanan Balok Model Rangka Sudut  $45^{\circ}$  pada Setengah Bentang Balok

$$P_4 = \frac{1}{2} \times 288 \times 0,307 + \frac{1}{2} \times 288 \times 0,4$$

$$= 101,808 \text{ kg} = 998,73648 \text{ N}$$

$$P_5 = 288 \times 0,4 = 115,2 \text{ kg} = 1130,112 \text{ N}$$

$$P = 25 \text{ KN}$$

$$R = P_1 + P_2 + 3 \times P_3 + P_4 + P_5 + \frac{P_5}{2} = 30358,032 \text{ N}$$

#### 4. Perhitungan Gaya Dalam Aksial Tarik

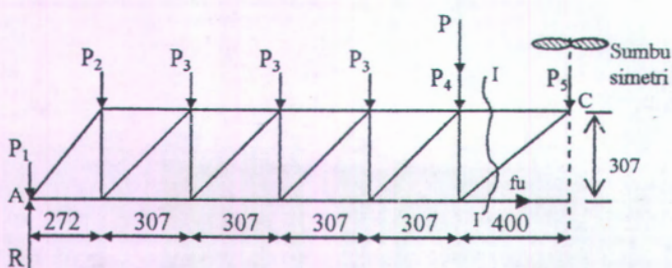
Perhitungan gaya dalam yang terjadi pada rangka batang akibat beban yang bekerja, dapat dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000 atau dengan perhitungan mekanika teknik biasa (Gambar L.7). Dari perhitungan mekanika teknik didapat:

Pada potongan I-I

$$\sum M \text{ di titik C} = 0$$

$$(R - P_1)(1900) - P_2(1628) - P_3(1321 + 1014 + 707) - (P_4 + P_5)400 - f_u(307) = 0$$

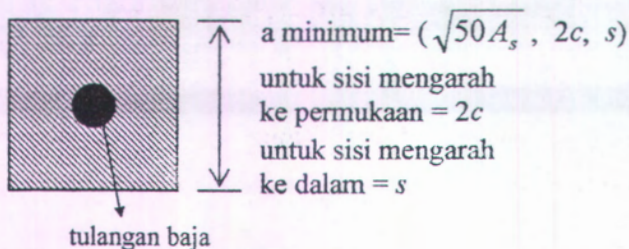
$$\text{didapat: } f_u = 138699,1218 \text{ N}$$



Gambar L.7 Potongan I-I

### 5. Perhitungan Luas Penampang Gross

Untuk luas penampang gross digunakan usulan dari Hsu(2003) yaitu:

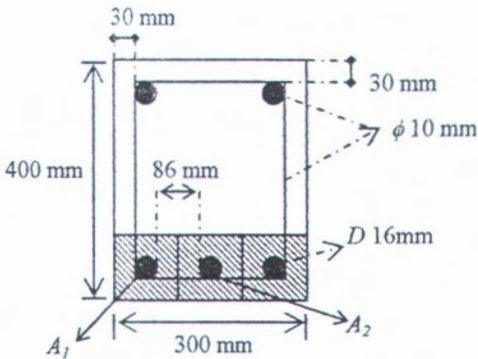
Gambar L.8. Penentuan  $a_{\text{minimum}}$  dalam luas penampang *tie*

dimana:

$A_s$  = luas tulangan baja

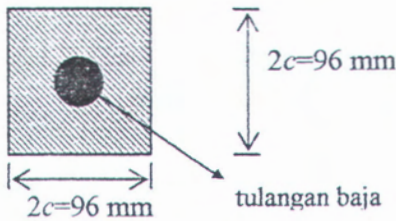
$c$  = tebal selimut beton yang diukur terhadap titik berat tulangan sampai permukaan terluar beton (*surface*)

$s$  = spasi antar tulangan diukur dari as ke as tulangan



Gambar L.9 Penentuan Luas Penampang Gross  
 $A_g$

Untuk luas parsial sisi luar, yaitu luas  $A_1$ , penentuan dimensinya seperti yang tampak dalam Gambar L. 10.



Gambar L.10 Luas Parsial  $A_1$

$$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,25 \times 3,14 \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

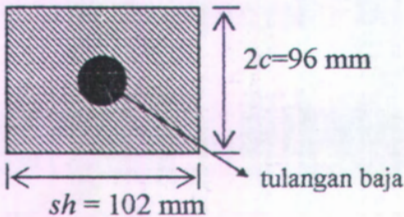
$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 200,96} = 100,24 \text{ mm}$$

$$a_2 = 2c = 2\left(30 + 10 + \frac{16}{2}\right) = 96 \text{ mm}$$

$a_3 = sh = \text{spasi horizontal} = (300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 16) / 2 = 102 \text{ mm}$   
 diambil  $a = 96 \text{ mm}$  untuk sisi yang mengarah ke permukaan  
 (surface)

$$A_g l' = 96 \times 96 = 9216 \text{ mm}^2$$

Untuk luas parsial sisi dalam, yaitu luas  $A_2$ , penentuan dimensinya seperti yang tampak dalam Gambar L.11.



Gambar L.11 Luas Parsial  $A_2$

$$a_1 = \sqrt{50 \cdot A_s} = \sqrt{50 \cdot 200,96} = 100,24 \text{ mm}$$

$$a_2 = 2c = 2(30 + 10 + \frac{16}{2}) = 96 \text{ mm}$$

$a_3 = sh = \text{spasi horizontal} = (300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 16) / 2 = 102 \text{ mm}$   
 diambil  $a = 102 \text{ mm}$  (untuk sisi horizontal yang mengarah ke dalam) dan  $96 \text{ mm}$  (untuk sisi vertikal yang mengarah ke permukaan)

$$A_g 2' = 102 \times 96 = 9792 \text{ mm}^2$$

$$A_g' = 2 \times A_g l' + A_g 2' = 2 \times 9216 + 9792 = 28224 \text{ mm}^2$$

$$A_g = A_g' + (n-1) \times A_s$$

dimana:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200 \text{ GPa}}{27805,57 \text{ MPa}} = 7,19$$

Jadi luas penampang gross untuk balok adalah:

$$A_g = 28224 + (7,19 - 1) \times 3 \times 200,96 = 31955,83 \text{ mm}^2$$

## 6. Perhitungan Tegangan Berdasarkan Luas Gross

Tegangan diperoleh dari membagi gaya dalam tarik yang terjadi dengan luas penampang gross. Perumusan tegangan yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A_g} \dots\dots\dots(L.1)$$

dimana:

- $\sigma$  = tegangan pada beton dengan luas penampang gross
- $F$  = gaya dalam tarik yang terjadi
- $A_g$  = luas penampang gross

Maka tegangan yang terjadi  $\sigma = \frac{138699,1218}{31955,83} = 4,34033858$

N/ mm<sup>2</sup>

## 7. Perhitungan Tegangan Batas Retak

Secara teori, untuk mengetahui apakah beton sudah mengalami retak atau belum dapat dilihat dari batasan tegangan retak beton. Tegangan retak beton ini dirumuskan seperti pada pasal 4.3.5.1 yaitu:

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(L.2)$$

dimana  $f'_c$  dalam MPa

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} = 0,62 \sqrt{35} = 3,667969 \text{ MPa}$$

## 8. Perbandingan Tegangan Batas Retak dengan Tegangan berdasar $A_g$

Perbandingan ini diperlukan sebagai batasan apakah penampang beton telah mengalami retak atau belum. Jika  $\sigma > f_r$  maka beton telah mengalami retak, dan luas gross  $A_g$  perlu direduksi menjadi luas efektif  $A_{eff}$ .

Didapat  $\sigma = 4,34033858 \text{ N/ mm}^2 > f_r = 3,667969 \text{ Mpa}$  maka beton mengalami retak dan luas yang digunakan adalah luas efektif  $A_{eff}$ .

### 9. Perhitungan Luas Efektif

Luasan efektif ini diperkirakan berada antara luasan penampang beton gross sampai luasan penampang tulangan baja saja ( $A_s$ ). Perumusan luas penampang efektif dalam bentuk matematis:

$$A_{eff} = \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \cdot A_g + \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_r}{\sigma} \right)^a \right] \cdot A_s \quad \dots\dots\dots(L.3)$$

dimana:

$A_{eff}$  = luas penampang efektif beton

$\sigma_r$  = tegangan retak beton =  $f_r = 0,62 \sqrt{f'_c}$  dalam Mpa

$\sigma$  = tegangan yang terjadi pada frame rangka yang ditinjau =  $\frac{F_u}{A_g}$

$A_g$  = luas penampang gross

$A_s$  = luas penampang tulangan baja

$a$  = koefisien yang dirumuskan dalam persamaan

$$a = [-0,08605 \left( \frac{L}{H} \right)^3 + 0,549 \left( \frac{L}{H} \right)^2 - 1,3844 \left( \frac{L}{H} \right) + 1,9031] (A_g/A_s)^{1/5}$$

Maka didapat:

$$L/H = 2 \times 400 / 307 = 2,6058$$

$$(A_g/A_s)^{1/5} = (31955,83 / 602,88)^{1/5} = 2,212$$

$$a = [-0,08605(2,6058)^3 + 0,549(2,6058)^2 - 1,3844(2,6058) + 1,9031](2,212) = 1,11$$

$$A_{eff} = \left( \frac{3,667969}{4,340338} \right)^{1,11} \cdot 31955,83 + \left[ 1 - \left( \frac{3,667969}{4,340338} \right)^{1,11} \right] \cdot 602,88$$

$$= 26612,84375 \text{ mm}^2$$

### 10. Perhitungan Regangan Batas Retak

Regangan diperoleh dari membagi tegangan batas retak ( $f_r$ ) dengan modulus beton. Perumusan regangan yaitu:

$$\varepsilon_{cr} = \frac{f_r}{E_c} \dots\dots\dots(L.4)$$

dimana:

$\varepsilon_{cr}$  = regangan batas retak pada beton

$f_r$  = tegangan batas retak =  $0,62 \sqrt{f'_c}$

$E_c$  = modulus beton

Didapat:

$$\varepsilon_{cr} = \frac{3,667969}{27805,57} = 0,0001319149$$

### 11. Prediksi Lebar Retak

Lebar retak diperoleh dari regangan yang terjadi dikurangi dengan regangan batas retak kemudian dikali dengan jarak sepanjang *frame* yang ditinjau yaitu *frame* pada tengah rangka yang mengalami regangan tarik terbesar. Perumusannya sebagai berikut:

$$w = (\varepsilon - \varepsilon_{cr}) \times L \dots\dots\dots(L.5)$$

dimana:

$w$  = prediksi lebar retak yang terjadi

$\varepsilon$  = regangan tarik yang terjadi

$\varepsilon_{cr}$  = regangan tarik batas retak =  $\frac{f_r}{E_c}$

$L$  = panjang *frame* yang ditinjau yaitu pada tengah rangka

Didapat:

$$\sigma_{eff} = \frac{F_u}{A_{eff}} = \frac{138699,1218}{26612,84375} = 5,211736 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{eff}}{E_c} = \frac{5,211736}{27805,57} = 0,000187435$$

$L$  = panjang *frame* di tengah bentang yaitu  $2 \times 400 = 800 \text{ mm}$

$$w = (0,000187435 - 0,0001319149) \times 800 = 0,0444 \text{ mm}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 9 September 1985, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK *Indriansana* Surabaya, SDK *Xaverius 2* Surabaya, SLTPK *Angelus Custos* Surabaya, dan SMAK *Stella Maris* Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2003, Penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya pada tahun

2003 dan terdaftar dengan NRP 3103.100.020.

