

**PENGARUH PENINGKATAN SUHU
PADA KEKAKUAN DAN KEKUATAN
STRUKTUR BETON BERTULANG**



624.176
GUN
P

**Perpustakaan
Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Merdeka 19
BANDUNG**

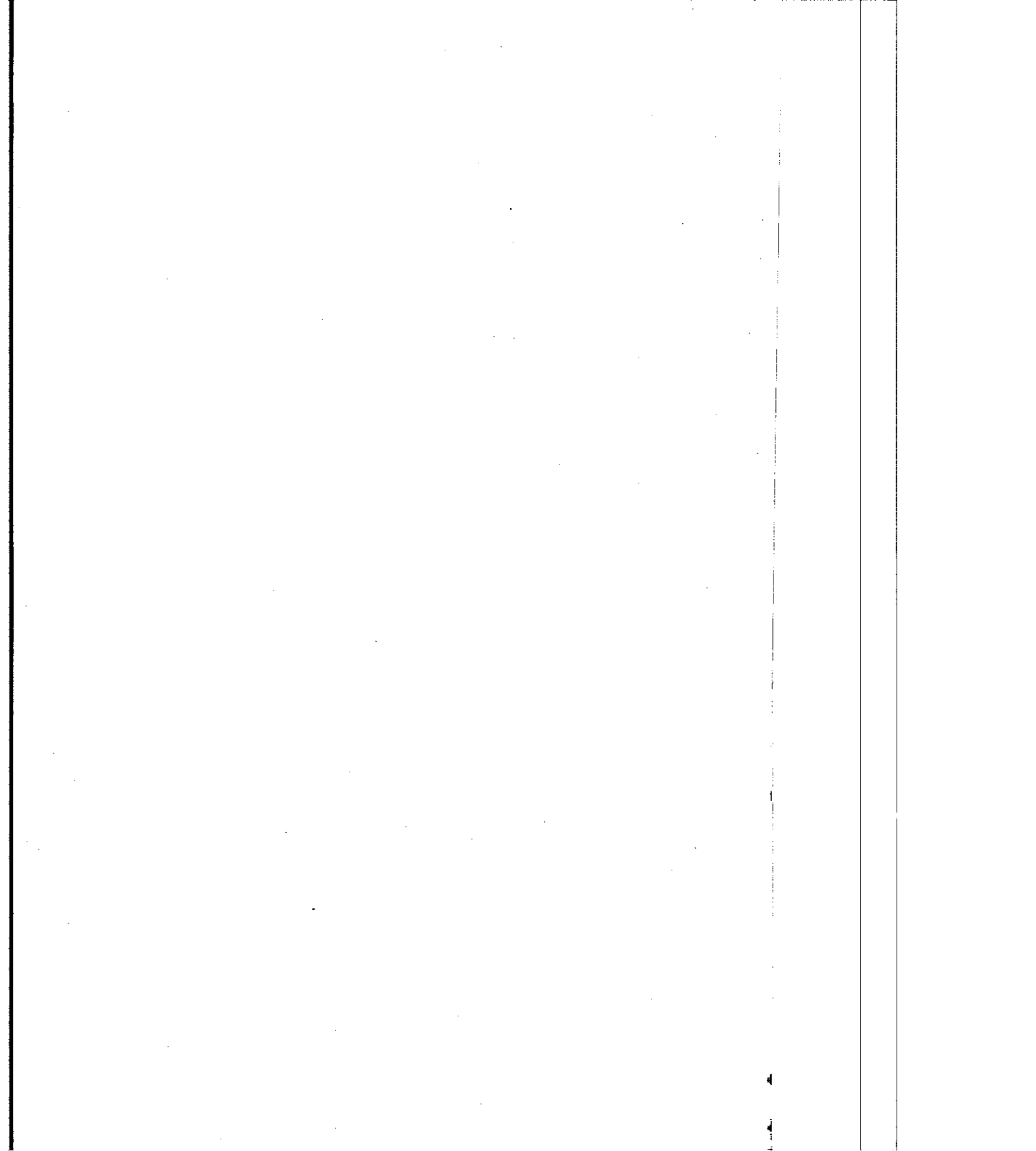
Oleh

DANU TIRTA GUNAWAN

56697 / T
6/12/91

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
JL. CIUMBULEUIT 94 - BANDUNG**

NOPEMBER 1989



Kata Pengantar

Tujuan pokok penyelenggaraan perguruan tinggi adalah *Tri Dharma* yang meliputi pendidikan dan pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Semboyan Universitas Katolik Parahyangan adalah *Bakuning Hyang Mrih Guna Santyaya Bhakti*, yang berarti : Berdasarkan Ketuhanan Menuntut Ilmu Untuk Dibaktikan Kepada Masyarakat.

Karena itu, seorang dosen wajib menulis karya ilmiah dan karya ilmiah tersebut perlu dipublikasikan agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, dan supaya terjadi pertukaran informasi ilmiah di antara insan perguruan tinggi yang meminati bidang yang sama. Pertukaran informasi ilmiah sangat penting, karena akan membuka diskusi di antara para ahli dan pada gilirannya akan berguna untuk menyusun karya ilmiah baru dengan menghemat banyak tenaga, waktu dan dana.

Tesis saudara Danu Tirta Gunawan yang berasal dari Program Teknik Sipil di Fakultas Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung dipublikasikan berikut ini dengan tujuan agar dapat mengawali terjadinya diskusi termaksud. Melalui simulasi dengan kurva pemanasan standar di laboratorium diadakan suatu pendekatan mengenai pengaruhnya terhadap kekakuan dan kekuatan struktur beton bertulang.

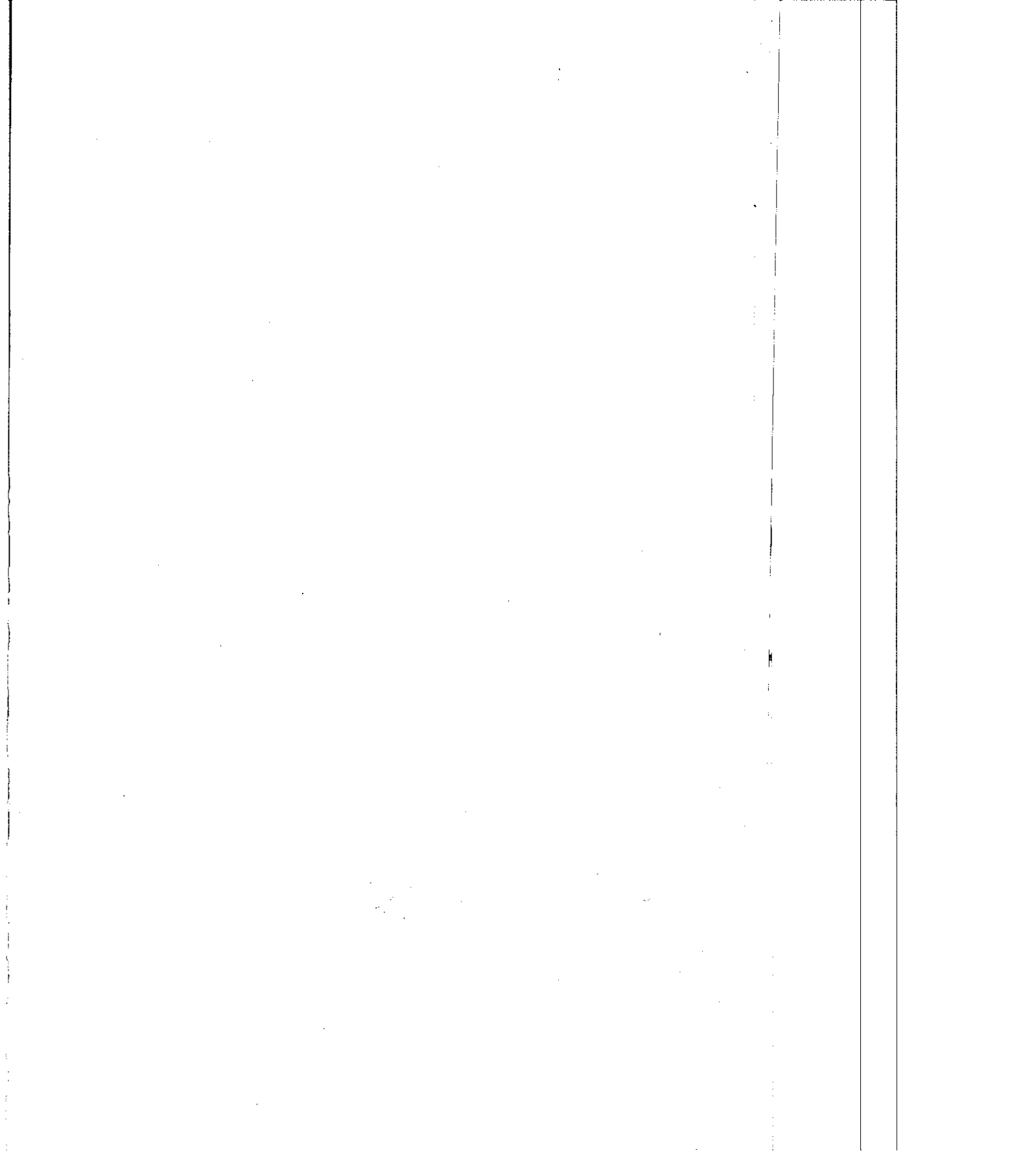
Semoga karya ilmiah ini dapat menambah khasanah ilmu tentang pengaruh peningkatan suhu pada kekakuan dan kekuatan beton bertulang oleh para penulis lain sebelumnya.

Universitas Katolik Parahyangan,
Pembantu Rektor I,



Ir. Suhartono Susilo

Perpustakaan
Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Merdeka 19
BANDUNG



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah, akhirnya selesailah tesis ini yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Strata-2 di Jurusan Sipil, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dr.Ir. Adang Surahman, M.Sc. selaku pembimbing, dan para pengajar antara lain Ir. Mohamad Sahari Besari, M.Sc., Ph.D., Dr.Ir. Ridwan Suhud, Dr.Ir. Dradjat Hoedajanto, M.Eng., Dr.Ir. Amrinsyah Nasution, MSCE., dan Dr. Ir. Widiadnyana Merati, atas saran-saran yang diberikan untuk melengkapi tesis ini. Juga kepada Ir. Suprpto, M.Sc. dan Ir. Samsu Trihadi dari Puslitbang Pemukiman, Jl. Turangga - Bandung.

Terima kasih yang sedalam-dalamnya juga patut penulis sampaikan kepada Universitas Katolik Parahyangan dan Institut Teknologi Bandung, yang telah memberikan kesempatan dan biaya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Program Strata-2.

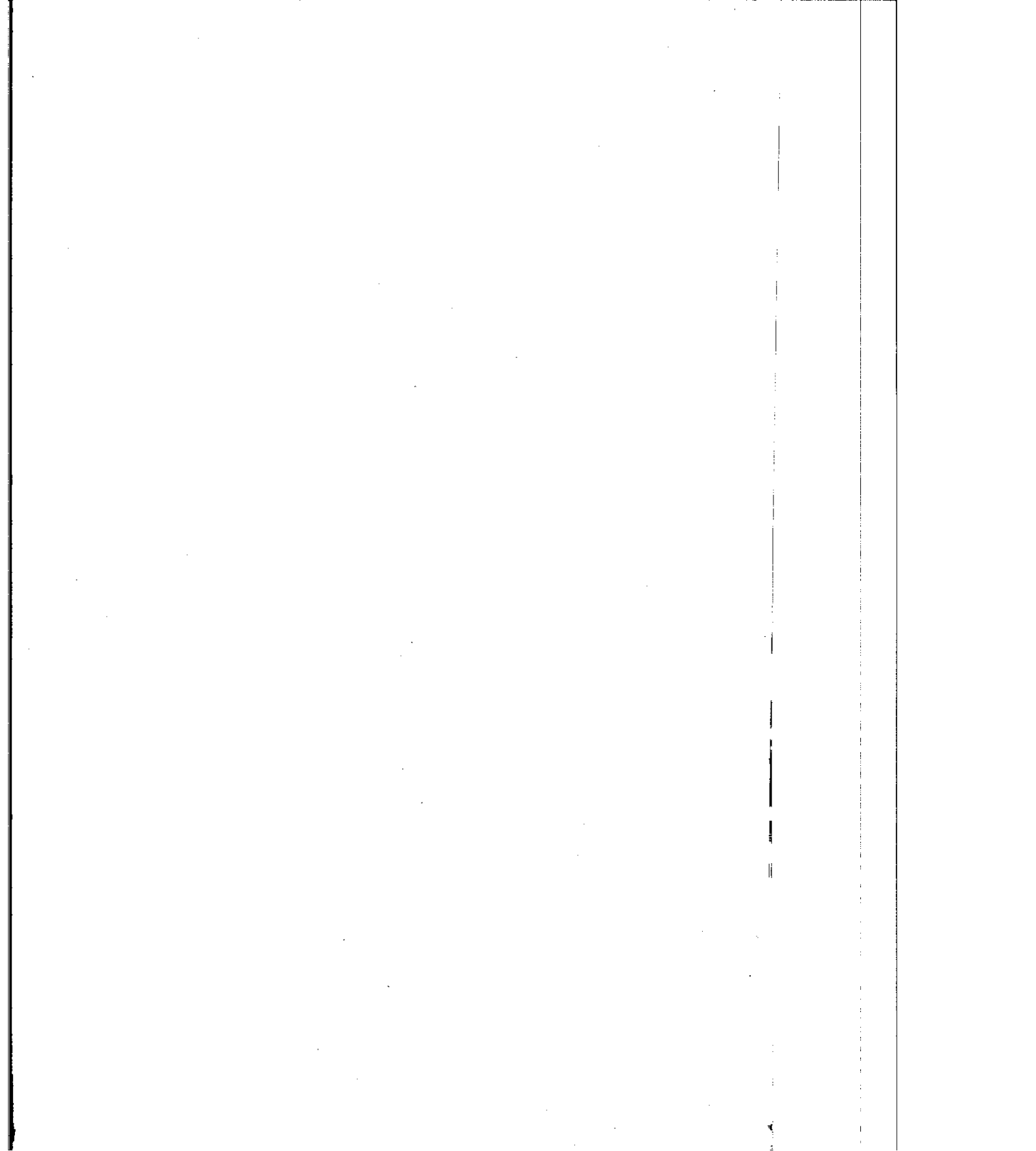
Walaupun tesis ini masih jauh dari sempurna, penulis menyertakan harapan semoga masalah pengaruh peningkatan suhu pada kekuatan dan kekakuan struktur beton bertulang dimasa mendatang akan mendapat lebih banyak perhatian.

Saran dan kritik sangat penulis harapkan.

Bandung, Nopember 1989.

Danu Tirta Gunawan

(*) *Penulis adalah dosen tetap di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan.*



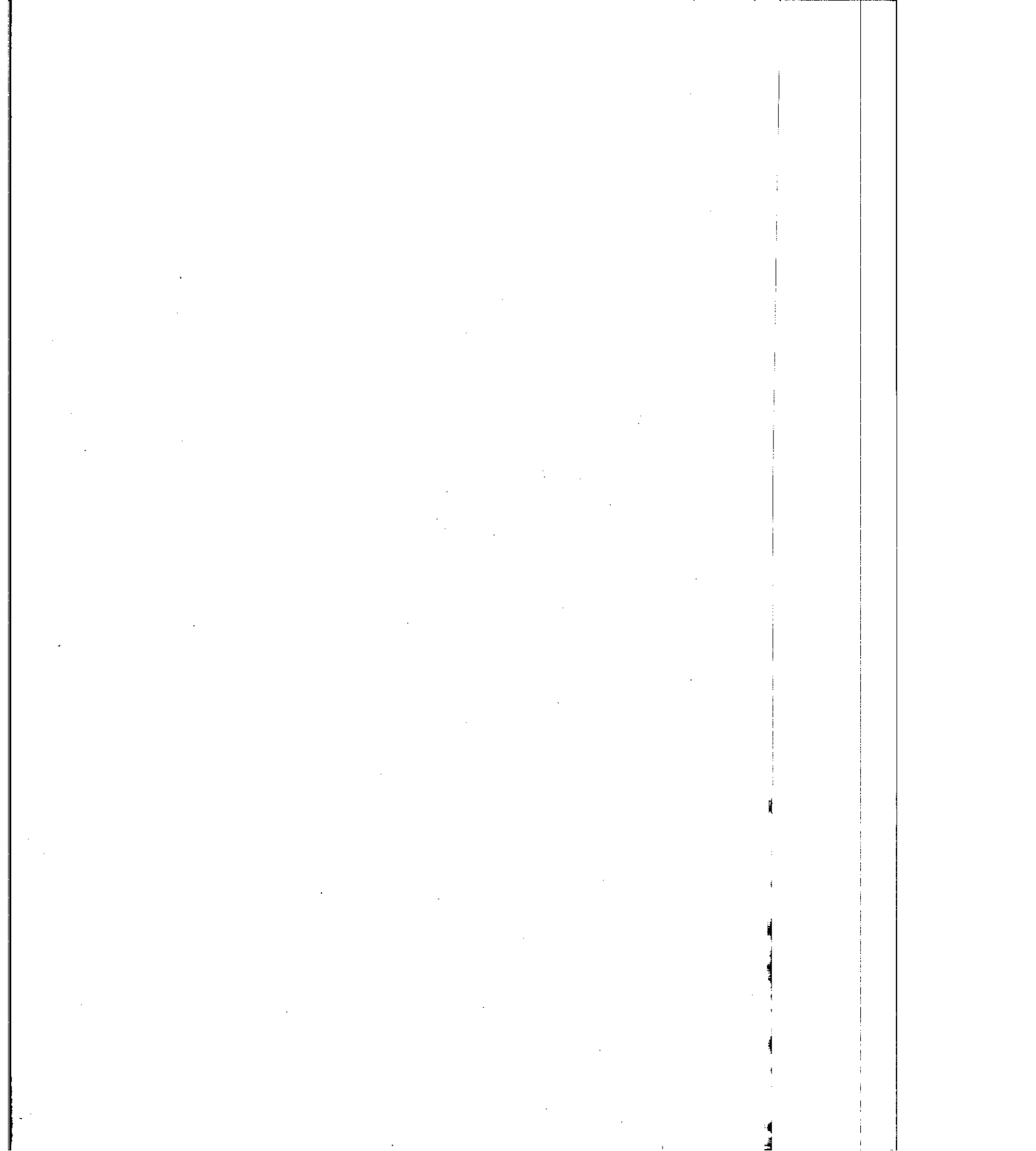
ABSTRAK

Beton adalah bahan dengan thermal conductivity rendah. Sehingga jika permukaan beton dipanaskan, penetrasi panas ke bagian dalam penampang berlangsung lambat. Akibatnya, suhu di berbagai titik pada penampang tidak sama, tergantung pada jarak antara titik tersebut kebidang kontak dengan panas, tingkat serta lama pemanasan. Perubahan sifat-sifat bahan dengan demikian tidak merata di seluruh penampang, sehingga penampang harus dipandang sebagai penampang komposit yang tersusun atas lapisan-lapisan dengan sifat-sifat struktural yang berlainan.

Perubahan sifat-sifat struktural bahan akibat suhu tinggi diambil dari pustaka yang berhasil dihimpun. Berdasarkan perubahan sifat-sifat bahan, dihitung perubahan kekakuan serta perubahan kekuatan penampang elemen balok dan kolom, untuk interval waktu pemanasan tertentu.

Laju pemanasan diambil sesuai dengan kurva pemanasan standard dari BS 476 : Part 8 : 1972. Perhitungan penetrasi panas kedalam penampang dikerjakan berdasarkan persamaan perambatan panas Fourier sesuai kondisi batas penampang, dengan menggunakan metoda beda hingga.

Analisis membuktikan bahwa luas bidang kontak dengan panas menentukan kecepatan reduksi kekakuan elemen struktur, sedangkan posisi bidang kontak dengan panas terhadap tulangan tarik menentukan kecepatan reduksi kekuatannya. Kecepatan reduksi kekakuan yang berlainan pada balok dan kolom, menyebabkan perubahan distribusi gaya-gaya dalam, dan perbedaan peningkatan deformasi struktur.

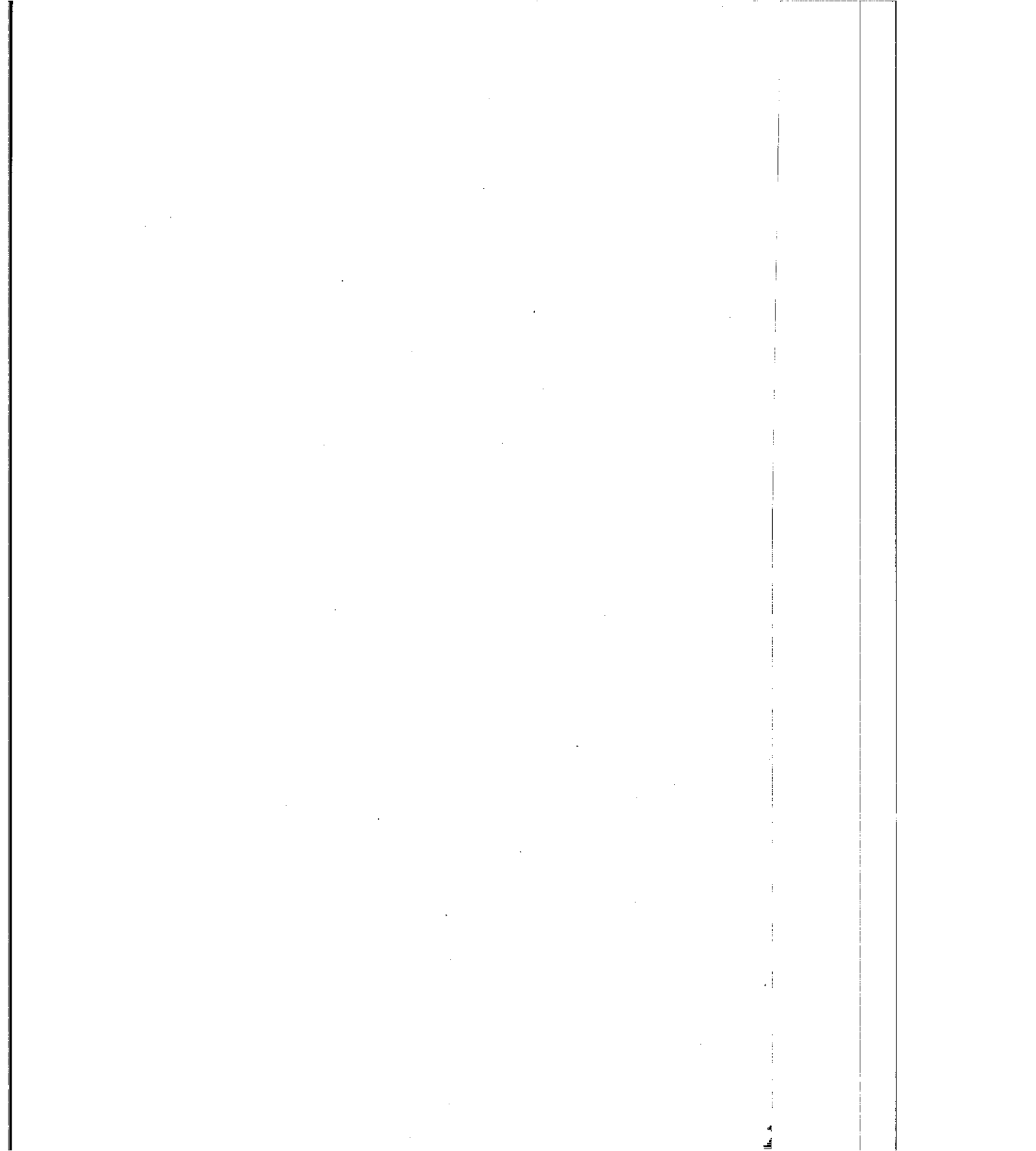


DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Permasalahan	1
I.3. Metodologi	2
I.4. Lingkup Bahasan	3
II. STUDI PUSTAKA	5
II.1. Kurva Pemanasan Standard	6
II.2. Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Beton	9
1. Sifat-sifat Fisik	10
2. Sifat-sifat Mekanis	13
3. Sifat-sifat Thermal	16
II.3. Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Baja	18
II.4. Kekuatan Lekat (Bond Strength)	21
II.5. Sisa Kekuatan Baja Tulangan Dan Beton Setelah Kebakaran	22
1. Baja Tulangan	22
2. Beton	22
III. KECEPATAN PENETRASI PANAS KE DALAM PENAMPANG BETON	24
III.1. Persamaan Perambatan Panas FOURIER	24
III.2. Persamaan Penetrasi Panas Secara Numerik	26
III.3. Persyaratan Stabilitas	33
III.4. Penetrasi Panas Ke Dalam Penampang Beton	34
1. Penampang Siku Empat $40 \times 60 \text{ cm}^2$	35
2. Penampang Bujur Sangkar $40 \times 40 \text{ cm}^2$	38

IV. PENGARUH PENINGKATAN SUHU PADA KEKAKUAN ELEMEN STRUKTUR	40
IV.1. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kekakuan	40
IV.2. Prosedur Analisis	42
IV.3. Perubahan Kekakuan Elemen Struktur Akibat Peningkatan Suhu	44
1. Penampang Siku Empat 40x60 cm ² (tiga bidang kontak dengan panas)	44
2. Penampang Bujur Sangkar 40x40 cm ² (satu bidang kontak dengan panas)	50
V. PENGARUH PENINGKATAN SUHU PADA KEKUATAN PENAMPANG BETON BERTULANG	58
V.1. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan	58
V.2. Prosedur Analisis Kekuatan Penampang Balok	61
1. Balok Menahan Momen Positif	61
2. Balok Menahan Momen Negatif	66
V.3. Prosedur Analisis Kekuatan Penampang Kolom	72
1. Kolom Dipanaskan Pada Daerah Beton Tekan	72
2. Kolom Dipanaskan Pada Daerah Beton Tarik	80
VI. STUDI KASUS PADA STRUKTUR PORTAL	85
VI.1. Reaksi Tumpuan Dan Gaya-gaya Dalam	86
VI.2. Deformasi Portal	88
1. Deformasi Kolom	88
2. Deformasi Balok	89
3. Persamaan Kompatibilitas	93
VI.3. Perubahan Bentuk Garis Elastis	93
VII. PEMBAHASAN	94
VII.1. Ketelitian Perhitungan Penetrasi Panas	94
1. Metoda Beda Hingga	94
2. Sifat-sifat Beton Di Bawah Suhu Tinggi	94
3. Suhu Permukaan Beton	95
4. Kelembaban Beton	95
5. Evaluasi Penyelesaian Perhitungan	96
VII.2. Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Kekakuan Elemen	98
1. Perhitungan Penetrasi Panas	98

2. Faktor Reduksi Modulus Elastisitas Beton	98
3. Tebal, Bentuk Dan Jumlah Lapisan Penampang	99
4. Fenomena Yang Tampak	99
VII.3. Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Kekuatan Penampang	99
1. Kekuatan Penampang Balok	99
2. Kekuatan Penampang Kolom	100
VII.4. Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Deformasi Struktur	101
1. Komponen-komponen Regangan Thermal	102
2. Penjalaran Retak-retak Beton	103
3. Pengaruh Regangan Thermal Pelat Lantai	104
VII.5. Perbedaan pengaruh Kurva Pemanasan Standard Dengan Pengaruh Kebakaran Yang Sesungguhnya	105
1. Peningkatan Suhu Sesuai Kurva Standard	105
2. Kebakaran Sesungguhnya	106
3. Faktor-faktor Yang Mencegah Keruntuhan Struktur	106
VII.6. Pembentukan Sendi Plastis Pada Struktur Rangka	107
VII.7. Penanganan Struktur Setelah Kebakaran	108
1. Menentukan Tingkat Kedahsyatan Api	108
2. Menentukan Tingkat Kerusakan Struktur	108
3. Metoda Penelitian Lapangan	109
VII.8. Analisis Penetrasi Panas, Perubahan Kekakuan Dan Kekuatan Secara Simultan	109
VIII. KESIMPULAN DAN SARAN	112
DAFTAR PUSTAKA	114
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



DAFTAR NOTASI

A_x, A_y, A_z	= luas bidang tegak lurus sumbu x,y,z	[m ²]
A_c, A_s, A'_s	= luas penampang beton, baja tarik/tekan	[cm ²]
A_n	= $\sum a_i$ = luas lapisan ke-n	[cm ²]
[A]	= matrix bujur sangkar berisi koefisien $T_{m,n}^P$	
a	= tinggi blok tegangan ekuivalen	[mm]
a_i	= luas bidang dengan suhu sama T_i	[cm ²]
[B]	= matrix diagonal berisi koefisien T_u^P	
Bi	= $\frac{h \Delta}{k}$ = angka Biot	
b	= lebar penampang	[mm]
C_c, C_s	= gaya tekan beton, baja	[kN]
c	= panas jenis beton	[kJ/kg/°C]
d	= tinggi manfaat penampang	[mm]
d'	= jarak dari tepi penampang ke pusat tulangan tekan	[mm]
E_c, E_s	= modulus elastisitas beton, baja	[kg/cm ²]
E_{cn}	= modulus elastisitas beton pada suhu T_n	
erf X	= Gauss error function	
Fo	= $\frac{\Psi \Delta t}{\Delta^2}$ = modulus Fourier	
f'_c, f'_s, f_s	= tegangan tekan beton, baja, tarik baja	[MPa]
h	= convection coef, tinggi tampang	[W/m ² /°C], [mm]
I_x, I_y	= momen inersia penampang terhadap sumbu x,y	
K	= koefisien yang besarnya tergantung pada kepadatan beton kering	[√jam]
k	= thermal conductivity	[W/cm/°C]

- k_x, k_y, k_z = thermal conductivity pada arah sumbu x,y,z
 q = sumber panas [W/m³]
 T = suhu, gaya tarik baja tulangan [°C],[kN]
 $T_{B,t}$ = suhu batas penampang pada saat t [°C]
 T_o = suhu awal sebelum pemanasan [°C]
 T_t = suhu pada saat t [°C]
 T_n = suhu rata-rata lapisan ke-n [°C]
 T_i = suhu di titik grid beda hingga ke-i [°C]
 $(T_{m,n}^{P+1})$ = matrix kolom, yang menyatakan suhu di semua titik untuk (p+1)Δt menit pemanasan
 $(T_{m,n}^P)$ = matrix kolom, yang menyatakan suhu di semua titik untuk pΔt menit pemanasan
 (T_u^P) = matrix kolom, yang menyatakan suhu udara di convection boundary konstan 20°C
 t = lamanya pemanasan [menit]
 V = volume yang ditinjau [m³]
 x,y,z = koordinat cartesian
 Y = jarak titik pusat kekakuan penampang komposit
 y_n = jarak titik berat lapisan ke-n [cm]
 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ = ukuran jaring beda hingga [cm]
 Δt = beda waktu perhitungan [menit]
 Ψ = thermal diffusivity [cm²/menit]
 ρ = kepadatan beton [kg/m³]
 ρ, ρ' = ratio tulangan tarik, tekan
 γ = faktor reduksi kekakuan penampang komposit
 ψ = faktor reduksi kekuatan penampang
 $\epsilon_c, \epsilon_s, \epsilon'_s$ = regangan beton maksimum, baja tarik/tekan

	Halaman
Gambar II.18. Reduksi kekuatan lekat berbagai jenis baja tulangan	21
Gambar II.19. Sisa kekuatan baja tulangan	22
Gambar II.20. Pengaruh waktu pemanasan terhadap besarnya sisa kekuatan tekan beton	23
Gambar III. 1. Energy balance pada convection boundary	25
Gambar III. 2. Energy balance pada insulated boundary	26
Gambar III. 3. Penomoran titik jaring beda hingga bujur sangkar yang membagi-bagi penampang beton	27
Gambar III. 4. Titik m,n pada convection boundary	28
Gambar III. 5. Titik m,n pada insulated boundary	29
Gambar III. 6. Titik m,n terletak pada batas convection-insulated boundary	30
Gambar III. 7. Titik m,n terletak pada titik sudut convection boundary	31
Gambar III. 8. Titik m,n terletak pada sudut convection-insulated boundary	32
Gambar III. 9. Penomoran titik dan kondisi batas penampang balok yang dipanaskan (79 titik grid)	35
Gambar III.10. Isotherm balok $40 \times 60 \text{ cm}^2$ untuk tiap 60 menit waktu pemanasan	37
Gambar III.11. Penomoran titik dan kondisi batas penampang kolom yang dipanaskan (61 titik grid)	38
Gambar III.12. Isotherm kolom $40 \times 40 \text{ cm}^2$ untuk tiap 60 menit waktu pemanasan	39
Gambar IV. 1. Susunan lapisan penampang komposit untuk berbagai bidang kontak dengan panas	41
Gambar IV. 2. Modulus elastisitas beton padat pada suhu tinggi	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II. 1. Hubungan antara kebakaran yang tidak dikendalikan dan kenaikan suhu	5
Gambar II. 2. Pengaruh kepadatan beban kebakaran dan ventilasi pada kenaikan suhu	6
Gambar II. 3. Konsep luas bidang yang sama antara kurva eksperimental dan standar	7
Gambar II. 4. Kurva-kurva pemanasan standard	8
Gambar II. 5. Kurva standard pemanasan sesuai BS 476 : Part 8 : 1972	9
Gambar II. 6. Rempal agregat belah	11
Gambar II. 7. Pemuaian beton yang dibuat dengan berbagai jenis agregat, benda uji tidak diberi beban luar	12
Gambar II. 8. Thermal strain pada berbagai tingkat pembebanan, agregat beton silika dan kecepatan pemanasan 5°C/menit	13
Gambar II. 9. Kekuatan tekan beton padat pada suhu tinggi (tanpa beban awal)	14
Gambar II.10. Kurva reduksi kekuatan tekan (ideal) untuk beton	15
Gambar II.11. Modulus elastisitas beton padat pada suhu tinggi	15
Gambar II.12. Thermal conductivity beton pada suhu tinggi	16
Gambar II.13. Pengaruh suhu pada panas jenis beton	17
Gambar II.14. Pengaruh suhu tinggi pada thermal diffusivity beton	18
Gambar II.15. Reduksi kekuatan baja tulangan	19
Gambar II.16. Kurva reduksi kekuatan (ideal) untuk baja tulangan	20
Gambar II.17. Pengaruh suhu pada modulus elastisitas baja tulangan	20

Gambar	IV. 3.	Susunan lapisan ₂ penampang komposit balok $40 \times 60 \text{ cm}^2$ (3 bidang kontak dengan panas)	44
Gambar	IV. 4.	Kurva reduksi kekakuan elemen balok $40 \times 60 \text{ cm}^2$ yang mempunyai tiga bidang kontak dengan panas	50
Gambar	IV. 5.	Susunan lapisan ₂ penampang komposit kolom $40 \times 40 \text{ cm}^2$ (1 bidang kontak dengan panas)	50
Gambar	IV. 6.	Kurva reduksi kekakuan elemen kolom $40 \times 40 \text{ cm}^2$ yang mempunyai satu bidang kontak dengan panas	52
Gambar	V. 1.	Prinsip blok tegangan ekuivalen pada lentur murni positif	58
Gambar	V. 2.	Modulus elastisitas baja tulangan pada suhu tinggi	60
Gambar	V. 3.	Kurva reduksi kekuatan penampang balok $40 \times 60 \text{ cm}^2$ yang menahan momen lentur positif akibat peningkatan suhu (3 bidang kontak dengan panas)	63
Gambar	V. 4.	Prinsip blok tegangan ekuivalen pada lentur murni negatif	66
Gambar	V. 5.	Penomoran bagian-bagian penampang untuk balok dengan momen negatif	67
Gambar	V. 6.	Kurva reduksi kekuatan penampang balok $40 \times 60 \text{ cm}^2$ yang menahan momen lentur negatif akibat peningkatan suhu (3 bidang kontak dengan panas)	71
Gambar	V. 7.	Prinsip keseimbangan blok tegangan ekuivalen pada penampang yang menerima momen lentur dan gaya normal P_u (bidang kontak dengan panas pada sisi beton tekan)	73
Gambar	V. 8.	Kurva interaksi gaya normal P_u dan momen $M_u = P_u e$ akibat peningkatan suhu, pada kolom ukuran $40 \times 40 \text{ cm}^2$ (1 bidang kontak dengan panas)	79
Gambar	V. 9.	Prinsip keseimbangan blok tegangan ekuivalen pada penampang yang menerima momen lentur dan gaya normal P_u (bidang kontak dengan panas pada sisi beton tarik)	80

Gambar V.10. Kurva interaksi gaya normal P_u dan momen kolom $M_u = P_u e$ akibat u peningkatan suhu, pada kolom ukuran $40 \times 40 \text{ cm}^2$ (1 bidang kontak dengan panas)	84
Gambar VI. 1. Ukuran, beban dan reaksi portal	86
Gambar VI. 2. Free-body beban, reaksi dan gaya dalam	87
Gambar VI. 3. Perubahan bentuk garis elastis portal	93
Gambar VII. 1. Perbandingan penetrasi panas dengan balok lebar $\geq 300 \text{ mm}$	96
Gambar VII. 2. Perbandingan kurva pemanasan tungku pengujian penetrasi panas di Puslitbang Pemukiman dan BS 476 : Part 8 : 1972	97
Gambar VII. 3. Komponen-komponen regangan thermal	103
Gambar VII. 4. Kegagalan kolom akibat regangan thermal pelat lantai menerus	104
Gambar VII. 5. Deformasi dan urutan terbentuknya sendi plastis oleh Sullivan	106

DAFTAR TABEL

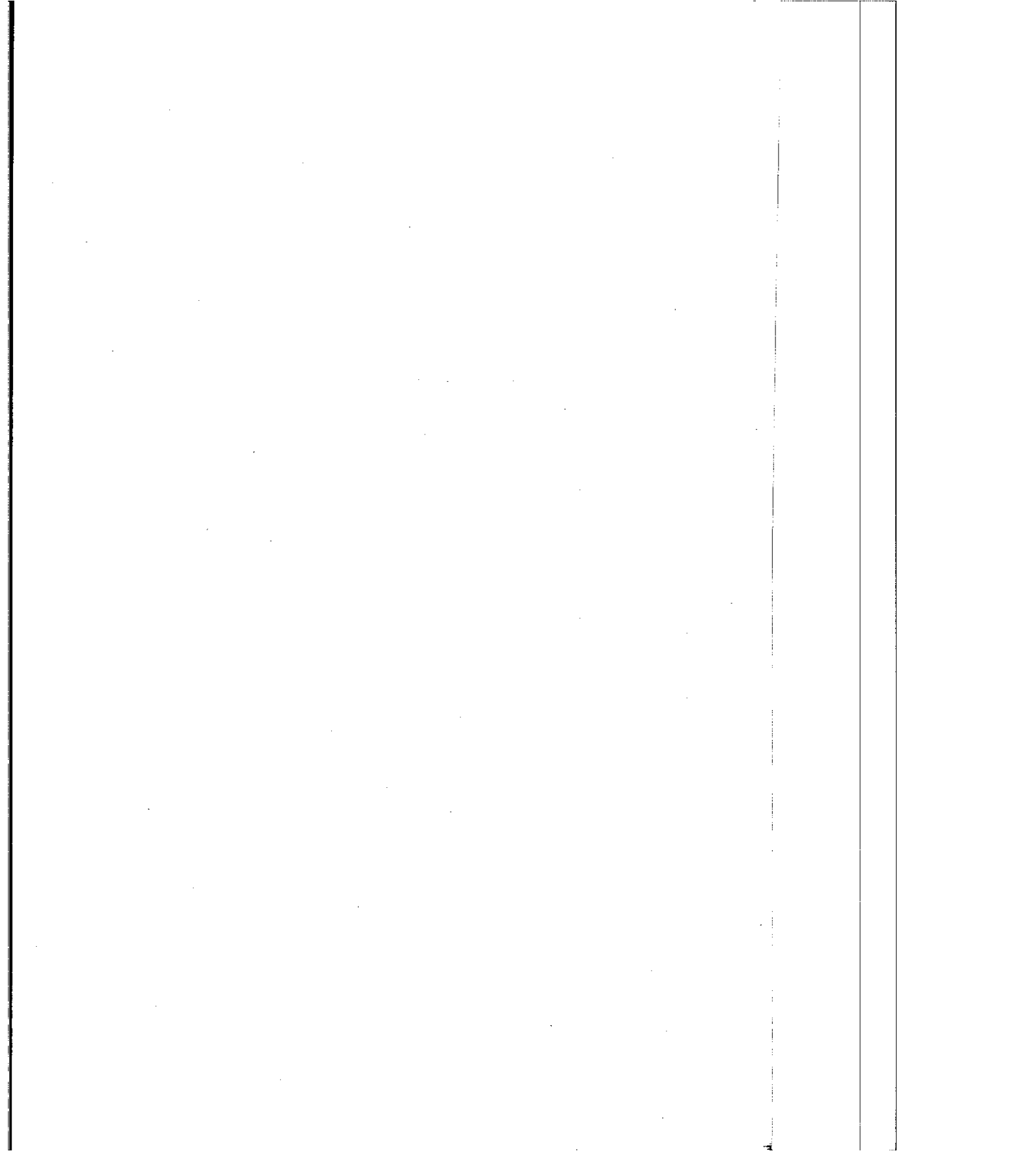
	Halaman
Tabel IV. 1. Perubah ² an kekakuan penampang balok 40x60 cm ² untuk setiap 15 menit waktu pemanasan	48-49
Tabel IV. 2. Perubah ² an kekakuan penampang kolom 40x40 cm ² untuk setiap 15 menit waktu pemanasan	53-57
Tabel V. 1. Perubahan tegangan ekivalen	59
Tabel V. 2. Faktor reduksi kekuatan beton	59
Tabel V. 3. Faktor reduksi kekuatan baja tulangan	60
Tabel V. 4. Perubah ² an kekuatan penampang balok 40x60 cm ² setiap 30 menit waktu pemanasan (momen positif)	64-65
Tabel V. 5. Perubah ² an kekuatan penampang balok 40x60 cm ² setiap 30 menit waktu pemanasan (momen negatif)	68-71
Tabel V. 6. Analisis ₂ keruntuhan seimbang kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit waktu pemanasan di daerah tekan	76
Tabel V. 7. Analisis ₂ keruntuhan tarik kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit pemanasan di daerah tekan	77
Tabel V. 8. Analisis ₂ keruntuhan tekan kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit pemanasan di daerah tekan	78
Tabel V. 9. Analisis ₂ keruntuhan seimbang kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit pemanasan di daerah tarik	81
Tabel V.10. Analisis ₂ keruntuhan tarik kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit pemanasan di daerah tarik	82
Tabel V.11. Analisis ₂ keruntuhan tekan kolom 40x40 cm ² setiap 30 menit pemanasan di daerah tarik	83
Tabel VI. 1. Perubahan reaksi-reaksi tumpuan dan momen lentur balok portal setiap 15 menit waktu pemanasan	90

Tabel VI. 2. Perubahan deformasi kolom portal setiap 15 menit waktu pemanasan	91
Tabel VI. 3. Perubahan deformasi balok portal setiap 15 menit waktu pemanasan	92

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran I.	Daftar Nilai Erf X	L.I. 1. - L. I. 4.
Lampiran II.	Penetrasi Panas Ke Dalam Penampang Balok	L.II. 1. - L.II.17.
Lampiran III.	Penetrasi Panas Ke Dalam Penampang Kolom	L.III. 1.-L.III.17.
Lampiran IV.	Hasil Pengujian Di Puslitbang Pemukiman	L.IV. 1. - L.IV. 6.
Lampiran V.	A. Program "KOLOM1" B. Program "BALOK3"	L.V.A.1. - L.V.A.5. L.V.B.1. - L.V.B.5.
Lampiran VI.	Data Kebakaran Bangunan	L.VI. 1.
Lampiran VII.	Perambatan Panas (Konduksi)	L.VII.1. - L.VII.3.



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Tujuan penulisan thesis ini adalah mempelajari sampai seberapa jauh peningkatan suhu dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan suatu struktur beton bertulang. Peningkatan suhu yang ditinjau adalah yang diakibatkan oleh kebakaran, karena sebagai negeri tropis Indonesia tak mempunyai masalah besar dalam bidang struktur akibat suhu tinggi yang berasal dari perubahan cuaca.

Kebakaran yang terjadi pada bangunan beton bertulang sering kali menyebabkan kerusakan elemen-elemen struktur. Tingkat kerusakan yang terjadi tidak selalu sama, karena ternyata banyak sekali faktor yang ikut menentukan. Lamanya kebakaran, dahsyatnya api, kualitas serta jenis bahan struktur, tebal selimut beton atau lapis pelindung lainnya, adalah beberapa faktor yang turut menentukan tingkat kerusakan yang diderita oleh struktur.

Karena perbaikan struktur yang mengalami kerusakan akibat kebakaran sulit serta memerlukan biaya besar, maka pada perencanaan struktur sebetulnya perlu diperhitungkan pula ketahanannya terhadap kebakaran.

I.2. Permasalahan

Thermal conductivity yang rendah pada beton menyebabkan penetrasi panas dari permukaan beton ke bagian dalam penampang berlangsung lambat. Akibatnya, suhu di berbagai titik pada penampang tidak sama, tergantung pada jarak

antara titik tersebut dengan sumber panas, tingkat serta lamanya pemanasan. Perubahan sifat-sifat bahan dengan demikian juga tidak merata pada seluruh penampang, sehingga kekakuan dan kekuatan struktur beton bertulang tidak lagi dapat dihitung dengan rumus-rumus yang biasa. Perhitungan menjadi lebih rumit lagi karena peningkatan suhu yang sama besarnya berbeda pengaruhnya pada baja dan beton. Oleh karena itu, penyelesaian masalah perlu dicari dengan memperhitungkan faktor-faktor tersebut.

I.3. Metodologi

Thesis ini memilih jalur analitis, dengan memanfaatkan data-data yang berhasil dihimpun dari berbagai pustaka dalam mencari penyelesaian yang diharapkan.

Pada analisis, penampang dipandang sebagai susunan lapisan-lapisan, dimana tiap lapisan mempunyai nilai modulus elastisitas (E) berbeda-beda sesuai suhu rata-rata pada lapisan tersebut. Akibatnya, terjadi perubahan kekakuan elemen struktur dan reduksi pada kekuatan penampang.

Untuk keperluan analisis pola penetrasi panas kedalam penampang perlu diperkirakan bidang kontak dengan panas. Pada umumnya, balok diperkirakan mempunyai tiga bidang kontak dengan panas, kolom maksimum empat bidang kontak, pelat lantai dan dinding satu bidang kontak saja karena biasanya berfungsi sebagai elemen pemisah ruang.

Bantuan komputer untuk mengerjakan perhitungan mutlak diperlukan untuk memperoleh ketelitian penyelesaian yang cukup tinggi, dan karena sebagian analisis dibuat dengan menggunakan metoda numerik beda hingga.

1.4. Lingkup Bahasan

Kebakaran yang dapat menyebabkan kerusakan berat pada struktur adalah kebakaran yang cukup besar, karena itu pada perhitungan-perhitungan diasumsikan sumber panas merata di sepanjang sumbu elemen struktur yang ditinjau.

Kecepatan peningkatan panas pada analisis tidak dapat diambil sesuai kebakaran sesungguhnya, karena tidak ada dua kebakaran dengan keganasan api yang tepat sama, berhubung banyaknya faktor yang ikut menentukan. Karena itu, pada analisis digunakan kecepatan peningkatan panas yang biasa digunakan pada percobaan di laboratorium. Dari beberapa alternatif, dipilih kurva pemanasan standar dari BS 476 : Part 8 : 1972, karena sama dengan SNip II-A.5-62 dari Rusia serta ISO 834 : 1975, sedangkan bedanya dengan kurva standard Jerman, Swedia dan Amerika (ASTM) kecil.

Meskipun tidak tepat sama dengan kebakaran sesungguhnya, analisis berdasarkan kurva pemanasan standard di laboratorium tetap penting, karena hasilnya diperlukan sebagai referensi untuk memperkirakan perilaku struktur akibat pengaruh suhu tinggi dari kebakaran sesungguhnya.

Analisis perilaku struktur pada suhu tinggi dalam thesis ini dibagi atas beberapa tahap :

- a. pengetahuan atas sifat-sifat bahan beton dan baja pada suhu tinggi di Bab II (Studi Pustaka).
- b. penentuan pola isotherm berdasarkan persamaan perambatan panas Fourier secara numerik di Bab III (Kecepatan Penetrasi Panas Ke Dalam Penampang Beton).

- c. perhitungan kekakuan elemen struktur di Bab IV (Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Kekakuan Elemen Struktur).
- d. perhitungan kekuatan penampang sesuai dengan lama pemanasan di Bab V (Pengaruh Peningkatan Suhu Pada Kekuatan Penampang Beton Bertulang).
- e. Perilaku struktur portal pada suhu tinggi di Bab VI (Studi Kasus Pada Struktur Portal).
- f. Pembahasan di Bab VII, diikuti dengan Kesimpulan Dan Saran di Bab VIII.

Rompal (*spalling*) dapat membahayakan kekuatan struktur terutama jika sampai menyebabkan terjadinya kontak langsung antara api dengan tulangan. Terjadinya rompal harus dicegah dengan pemilihan bahan-bahan dasar, disain campuran beton serta teknik pelaksanaan tertentu. Maka dengan asumsi tidak terjadi rompal yang hebat, yang dapat merubah bentuk penampang secara drastis, pengaruh akibat rompal tidak ditinjau pada analisis.

Rangkak (*creep*) yang merupakan fungsi dari suhu/waktu/tegangan, serta regangan sementara (*transient strain*) yang diakibatkan oleh perubahan kimiawi pasta semen pada suhu yang sangat tinggi, tidak ditinjau dalam analisis karena sebelum hal itu terjadi diperkirakan strukturnya telah mengalami kegagalan.

Sebagai alat bantu digunakan komputer IBM PC XT compatible 640 KB, sedangkan perhitungan dengan bahasa pemrograman sederhana BASICA.