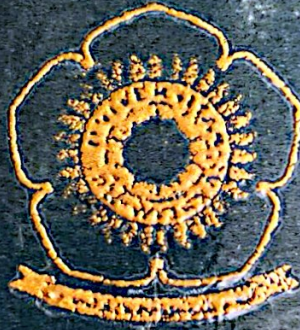


**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH TULANGAN GESER PADA  
SELF COMPACTING CONCRETE FLAT SLAB  
DENGAN BEBAN MONOTONIK**

*Dijadikan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempatkan Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*



**IMAM AFI SUDDIQIE**

**03011182126018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2025**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH TULANGAN GESER PADA  
SELF COMPACTING CONCRETE FLAT SLAB  
DENGAN BEBAN MONOTONIK**

Dijadikan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



**IMAM ASH SIDDIQIE**

**03011182176018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2025**

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS PENGARUH TULANGAN GESER PADA *SELF COMPACTING CONCRETE FLAT SLAB* DENGAN BEBAN MONOTONIK**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



**IMAM ASH SIDDIQIE**  
03011182126018

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2025**

## PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imam Ash Siddiqie

NIM : 03011182126018

Judul : Pengaruh Tulangan Geser Pada Self Compacting Concrete Flat Slab  
Dengan Beban Monotonik

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Maret 2025

  
  
Imam Ash Siddiqie  
NIM. 03011182126018

## HALAMAN PENGESAHAN

### PENGARUH TULANGAN GESER PADA *SELF COMPACTING* *CONCRETE FLAT SLAB* DENGAN BEBAN MONOTONIK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik

Oleh:

**IMAM ASH SIDDIQIE**

03011182126018

Indralaya, Januari 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001



## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Tulangan Geser Pada Self Compacting Concrete Flat Slab Dengan Beban Monotonik” yang disusun oleh Imam Ash Siddiie NIM.03011182126018 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Maret 2025.


Palembang, 10 Maret 2025.

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Ketua:

1. Dr.Ir. Saloma, S.T., M.T (  )  
NIP. 197610312002122001
2. Dr.Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T (  )  
NIP. 197705172008012039

Anggota:

3. Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T (  )  
NIP. 198605192019031007

**Mengetahui,**  
**Dekan Fakultas Teknik**  
  
**Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.**  
NIP. 197502112003121002

**Ketua Jurusan Teknik Sipil**  
  
**Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.**  
NIP. 197610312002122001

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imam Ash Siddiqie

NIM : 03011182126018

Judul : Pengaruh Tulangan Geser Pada Self Compacting Concrete Pada Pelat  
Beton Dengan Beban Monotonik

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Maret 2025



Imam Ash Siddiqie  
NIM. 03011182126018

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Imam Ash Siddiqie  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Status : Belum menikah  
Agama : Islam  
Warga negara : Indonesia  
Nomor HP : 081366789284  
E-mail : Imamashidiqi2003@gmail.com

### Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SDN 2 BENGKULU SELATAN	-	-	SD	2008 -2014
SMPN 2 BENGKULU SELALATAN	-	-	SMP	2014 -2017
SMA 2 KOTA BENGKULU	-	IPA	SMA	2017 -2020
UNIVERSITAS SRIWIJAYA	Teknik	Teknik Sipil	S1	2020-2024

### Riwayat Organisasi:

Nama Organisasi	Jabatan	Periode
BEM TEKNIK	ANGGOTA	2022-2023
IKATAN MAHASISWA SIPIL	ANGGOTA	2022-2024
IKATAN MAHASISWA BUMI RAFFLESIA	ANGGOTA	2022-2024

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



( Imam Ash Siddiqie)



## RINGKASAN

### PENGARUH TULANGAN GESER PADA *SELF COMPACTING CONCRETE* *FLAT SLAB* DENGAN BEBAN MONOTONIK

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir, 10 Maret 2025

Imam Ash Siddiqie Dimbing oleh Dr.Ir. Saloma. S.T., M.T dan Dr.Ir. Siti Aisyah  
Nurjannah. S.T., M.T

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxiii + 132 halaman, 51 gambar, 33 tabel, 5 lampiran

Penelitian ini menganalisis pengaruh tulangan geser pada flat slab berbahan Self-Compacting Concrete (SCC) terhadap kapasitas geser dan daktilitas struktur di bawah pembebanan monotonik. Flat slab banyak digunakan dalam gedung bertingkat karena efisiensinya, tetapi rentan terhadap *punching shear*. Untuk meningkatkan ketahanan, digunakan tulangan geser yang dianalisis menggunakan perangkat lunak ANSYS berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method). Model mencakup elemen SOLID65 untuk beton, SOLID45 untuk pelat baja, dan LINK180 untuk tulangan baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio tulangan geser meningkatkan kapasitas geser dan ketahanan deformasi. SCC juga lebih unggul dibandingkan beton konvensional dalam hal kekuatan dan keuletan struktur. Penggunaan SCC dan tulangan geser yang optimal dapat meningkatkan disipasi energi dan keamanan flat slab, sehingga menjadi solusi efisien dalam desain bangunan bertingkat yang lebih kuat dan tahan terhadap beban geser.

Kata kunci: *Flat slab*, SCC, Tulangan Geser, ANSYS, Monotonik

## SUMMARY

### *THE EFFECT OF SHEAR REINFORCEMENT ON SELF COMPACTING CONCRETE FLAT SLAB WITH MONOTONIC LOADS*

Scientific papers in form of Final Projects, 10 Maret 2025

Imam Ash Siddiqie Dimbing oleh Dr.Ir. Saloma. S.T., M.T dan Dr.Ir. Siti Aisyah  
Nurjannah. S.T., M.T

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xxiii + 132 pages, 51 images, 3 tables, 5 attachments

*This study analyzes the effect of shear reinforcement on a flat slab made of Self-Compacting Concrete (SCC) on the shear capacity and ductility of the structure under monotonic loading. Flat slabs are widely used in high-rise buildings because of their efficiency, but are susceptible to punching shear. To improve the resistance, shear reinforcement is used which is analyzed using ANSYS software based on the finite element method. The model includes SOLID65 elements for concrete, SOLID45 for steel plates, and LINK180 for steel reinforcement. The results show that variations in the shear reinforcement ratio increase the shear capacity and deformation resistance. SCC is also superior to conventional concrete in terms of structural strength and ductility. The use of SCC and optimal shear reinforcement can improve energy dissipation and safety of flat slabs, making it an efficient solution in the design of high-rise buildings that are stronger and resistant to shear loads.*

Keywords: *Flat slab*, SCC, Tulangan Geser, ANSYS, Monoton

# PENGARUH TULANGAN GESER PADA *SELF COMPACTING CONCRETE* FLAT SLAB DENGAN BEBAN MONOTONIK

Imam Ash Siddiqie<sup>1)</sup>, Saloma<sup>2)</sup>, Siti Aisyah Nurjannah<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: Imamashidiqi2003@gmail.com

<sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: saloma@ft.unsri.ac.id

<sup>3)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: sitiaisyahn@ft.unsri.ac.id

## Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh tulangan geser pada flat slab berbahan Self-Compacting Concrete (SCC) terhadap kapasitas geser dan daktilitas struktur di bawah pembebanan monotonik. Flat slab banyak digunakan dalam gedung bertingkat karena efisiensinya, tetapi rentan terhadap *punching shear*. Untuk meningkatkan ketahanan, digunakan tulangan geser yang dianalisis menggunakan perangkat lunak ANSYS berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method). Model mencakup elemen SOLID65 untuk beton, SOLID45 untuk pelat baja, dan LINK180 untuk tulangan baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio tulangan geser meningkatkan kapasitas geser dan ketahanan deformasi. SCC juga lebih unggul dibandingkan beton konvensional dalam hal kekuatan dan keuletan struktur. Penggunaan SCC dan tulangan geser yang optimal dapat meningkatkan disipasi energi dan keamanan flat slab, sehingga menjadi solusi efisien dalam desain bangunan bertingkat yang lebih kuat dan tahan terhadap beban geser.

**Kata kunci:** Flat slab, SCC, Tulangan Geser, ANSYS, Monotonik

Palembang, Maret 2025  
Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.  
NIP. 197610312002122001

Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.  
NIP. 197705172008012039



# THE EFFECT OF SHEAR REINFORCEMENT ON SELF COMPACTING CONCRETE FLAT SLAB WITH MONOTONIC LOADS

Imam Ash Siddiqie<sup>1)</sup>, Saloma<sup>2)</sup>, Siti Aisyah Nurjannah<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: Imamashidqi2003@gmail.com

<sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: saloma@ft.unsri.ac.id

<sup>3)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: sitiaisyahn@ft.unsri.ac.id

## Abstract

*This study analyzes the effect of shear reinforcement on a flat slab made of Self-Compacting Concrete (SCC) on the shear capacity and ductility of the structure under monotonic loading. Flat slabs are widely used in high-rise buildings because of their efficiency, but are susceptible to punching shear. To improve the resistance, shear reinforcement is used which is analyzed using ANSYS software based on the finite element method. The model includes SOLID65 elements for concrete, SOLID45 for steel plates, and LINK180 for steel reinforcement. The results show that variations in the shear reinforcement ratio increase the shear capacity and deformation resistance. SCC is also superior to conventional concrete in terms of structural strength and ductility. The use of SCC and optimal shear reinforcement can improve energy dissipation and safety of flat slabs, making it an efficient solution in the design of high-rise buildings that are stronger and resistant to shear loads.*

**Keywords:** Flat slab, SCC, Tulangan Geser, ANSYS, Monotonik

Palembang, Maret 2025  
Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.  
NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.  
NIP. 197705172008012039



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Tulangan Geser pada Flat Slab Self Compacting Concrete di Bawah Beban Monotonik”. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini, di antaranya:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Ibu Ratna Dewi, S.T, M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penelitian proposal ini.
6. Ayah, Ibu, Kakak, Abang, serta keluarga yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian proposal tugas akhir.
7. Terimakasih, Marcella Putri Jayanti yang selalu memberikan dukungan dan sebagai pengingat serta pendorong bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. M. Irham Dafin selaku teman satu kelompok tugas akhir yang selalu memberikan dukungan dan bekerja sama dengan sangat baik bersama penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
9. Saudara saya, M.Anggara Aji Prasetya, S.T yang telah membantu saya serta membimbing saya, sampai saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.

10. Teman-teman satu kontrakan yang telah memberikan dukungan, semangat serta pengingat bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan berbagai pihak lain yang membutuhkannya, khususnya civitas akademika Program Studi Teknik Sipil.

Indralaya, Maret 2025



Imam Ash Siddiqie

## DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN INTEGRITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
RINGKASAN .....	vii
<i>SUMMARY</i> .....	viii
ABSTRAK .....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Beton .....	5
2.2 Self Compacting Concrete (Scc).....	5
2.3 Baja Tulangan .....	13
2.3.1 Tulangan Baja Polos (Plain Bar).....	13
2.3.2 Tuangan Baja Ulir (Deformed Bar) .....	13

2.4 Flat Slab .....	14
2.5 Tulangan Longitudinal .....	16
2.5.1 Fingsi Tulangan Longitudinal .....	17
2.5.2 Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal .....	17
2.6 Punching Shear .....	17
2.7 Daktilitas .....	18
2.8 Kekakuan.....	20
2.9 Beban Monotonik.....	21
2.10 Tulangan Geser .....	23
2.11 Finite Element Methode .....	24
2.11.1 Metode Matriks Dalam Finite Element Method .....	25
2.11.2 Metode Pemecah Kasus Non Liner .....	27
2.12 ANSYS.....	31
2.12.1 Tahapan Proses Kerja ANSYS .....	31
2.12.2 Element ANSYS .....	32
2.13 Penelitian Terdahulu .....	34
2.13.1 Pengaruh Tegangan Dan Lentur Kompresi Terhadap Punching Shear Pelat Datar Beton Bertulang (Ewees Dkk, 2024).....	34
2.13.2 Kinerja Punching Shear Pelat Baja Berbentuk Bintang Yang Diperkuat Kolom Pelat Beton Bertulang (Liu Dkk, 2023) .....	37
2.13.3 Investigasi Eksperimental Tentang Gaya Geser (Urban Dkk, 2019).....	40
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>43</b>
3.1 Umum.....	43
3.2 Studi Literatur .....	43
3.3 Alur Penelitian .....	43
3.4 Pengumpulan Data Sekunder .....	45
3.5 Model Struktur .....	46
3.6 Pemodelan Struktur Pada Program ANSYS .....	49
3.7 Input Data Pada ANSYS .....	51



3.8 Meshing.....	51
3.9 Solving .....	51
3.10 Analisis dan Pembahasan.....	51
3.11 Jadwal Penelitian.....	52
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
4.1 Detail Pemodelan Struktur Flat Slab Dengan Variasi Tulangan Geser .....	53
4.2 Pemodelan Struktur Dalam ANSYS .....	54
4.3 Data Input.....	58
4.3.1 Material Properties Beton .....	58
4.3.2 Material Properties Baja.....	59
4.3.3 Pembebanan .....	59
4.4 Meshing Element Struktur .....	59
4.5 Analisis Output Program ANSYS.....	60
4.5.1 Analisis Output Flat Slab Normal Concrete.....	60
4.5.2 Analisis Output Flatslab Self Compacting Concrete .....	66
4.6 Kontur Tegangan.....	70
4.6.1 Kontur Tegangan Flat Slab Dengan Normal Concrete .....	70
4.6.2 Kontur Tegangan Flat Slab Self Compacting Concrete .....	73
4.7 Kontur Defleksi.....	77
4.7.1 Kontur Defleksi Flat Slab Normal Concrete .....	77
4.7.2 Kontur Defleksi Flat Slab Self Compacting Concrete .....	81
4.8 Daktilitas .....	84
4.8.1 Daktilitas Flat Slab Eksperimental.....	84
4.8.2 Daktilitas Struktur Flat Slab Normal Concrete .....	86
4.8.3 Daktilitas Struktur Flat Slab Self Compacting Concrete .....	89
4.9 Kekakuan.....	92
4.9.1 Kekakuan Struktur Flat Slab Eksperimental .....	93
4.9.2 Kekakuan Struktur Flat Slab Normal Concrete .....	95
4.9.3 Kekakuan Struktur Flat Slab Self Compacting Concrete.....	97

4.10 Energi Disipasi .....	100
4.10,1 Energi Disipasi Struktur Flat Slab Eksperimental .....	100
4.10,2 Energi Disipasi Struktur Flat Slab Normal Concrete .....	101
4.10,3 Energi Disipasi Struktur Flat Slab Self Compacting Concrete .....	104
4.11 Pengaruh Gaya Geser Terhadap Variasi Rasio Tulangan Geser.....	107
BAB 5 PENUTUP .....	109
5.1 Kesimpulan .....	109
5.2 Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA .....	112
LAMPIRAN.....	119

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi kelas <i>slump flow</i> .....	6
Tabel 2.2. Klasifikasi Kelas <i>Viscosity</i> .....	7
Tabel 2.3. Klasifikasi kelas <i>passing ability</i> .....	7
Tabel 2.4. Klasifikasi kelas <i>segregation resistance</i> .....	8
Tabel 2.5. Persyaratan komposisi campuran <i>self compacting concrete</i> .....	10
Tabel 2.6. Kandungan <i>sugarcane bagasse ash (SCBA)</i> .....	11
Tabel 2.7. Komposisi campuran <i>self compacting concrete</i> dengan ampas tebu....	11
Tabel 2.8. Hasil pengujian SCC segar dengan ampas tebu.....	12
Tabel 2.9. Jenis dari <i>finite element</i> .....	23
Tabel 3.1. Data tulangan dan jenis beton untuk verifikasi model beton normal....	45
Tabel 3.2. Data tulangan dan jenis beton untuk ANSYS .....	45
Tabel 3.3. Jadwal Penelitian.....	50
Tabel 4.1. Variasi tulangan geser <i>flat slab</i> .....	51
Tabel 4.2. <i>Material Properties</i> .....	56
Tabel 4.3. Presentase selisih nilai defleksi maksimum pada eksperimental dan ANSYS .....	61
Tabel 4.4. Nilai beban maksimum dan defleksi maksimum dengan variasi tulangan geser material beton normal.....	63
Tabel 4.5. Nilai beban maksimum dan defleksi maksimum berbagai variasi tulangan geser material <i>self compacting concrete</i> .....	67
Tabel 4.6. Nilai beban uji yang sama dan defleksi berbagai variasi tulangan geser material <i>self compacting concrete</i> .....	67
Tabel 4.7. Penentuan titik leleh dan nilai daktilitas <i>flat slab</i> eksperimental .....	89
Tabel 4.8. Penentuan titik leleh dan nilai daktilitas <i>flat slab normal concrete</i> berbagai variasi tulangan geser.....	90
Tabel 4.9. Persentase selisih nilai daktilitas dengan eksperimental dan ANSYS ..	93
Tabel 4.10. Nilai daktilitas <i>flat slab self compacting concrete</i> berbagai variasi tulangan geser.....	93
Tabel 4.11. Persentase selisih nilai daktilitas antara <i>flat slab</i> material normal <i>concrete</i> dan <i>self compacting concrete</i> .....	96

Tabel 4.12. Nilai degradasi kekakuan dan degradasi kekakuan pada flat slab eksperimental .....	98
Tabel 4.13. Nilai kekakuan dan degradasi kekakuan pada flat slab material normal concrete .....	100
Tabel 4.14. Nilai kekakuan dan degradasi kekakuan pada Flat slab material <i>self compacting concrete</i> .....	102
Tabel 4.15. Nilai energi disipasi pada flat slab eksperimental .....	104
Tabel 4.16. Nilai energi disipasi pada flat slab material normal concrete .....	107
Tabel 4.17. Selisih nilai energi disipasi pada flat slab eksperimental dan analisis dengan ANSYS.....	107
Tabel 4.18. Nilai energi disipasi pada flat slab material self compacting concrete .....	110
Tabel 4.19. Selisih nilai energi disipasi pada flat slab material self compacting concrete dengan ANSYS.....	110
Tabel 4.20. Pengaruh geser (V) terhadap variasi tulangan geser .....	112

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sketsa alat pengujian fresh properties SCC .....	10
Gambar 2.2 Tipe-tipe Slab .....	15
Gambar 2.3 Kegagalan Punching shear pada Flate plate .....	18
Gambar 2.4 Daktilitas Regangan .....	19
Gambar 2.5 Daktilitas Kelengkungan .....	19
Gambar 2.6 Daktilitas Perpindahan .....	20
Gambar 2.7 Kurva beban-Deformasi pembenanan monotonic .....	21
Gambar 2.8 (a). Set up pembebanan monotonik. (b). Section plane pembebanan. (c). Ilustrasi pembebanan monotonic.....	22
Gambar 2.9 Metode Newton-Raphson modifikasi.....	27
Gambar 2.10 Metode Newton-Raphson modifikasi.....	28
Gambar 2.11 Secant method dimulai dari prediksi $K^o$ .....	28
Gambar 2.12 Permodelan SOLID65 .....	31
Gambar 2.13 Permodelan SOLID45 .....	32
Gambar 2.14 Permodelan LINK180 .....	32
Gambar 2.15 Spesimen tipikal menggunakan stirrup .....	33
Gambar 2.16 Pengujian flat slab .....	34
Gambar 2.17 Dimensi dan detail tulangan .....	36
Gambar 2.18 Persiapan Pengujian .....	37
Gambar 2.19 Detail flat slab .....	39
Gambar 2.20 Pengaturan pengujian .....	40
Gambar 3.1 Flowchart dari metodologi penelitian.....	43
Gambar 3.2 Kurva tegangan-regangan beton.....	44
Gambar 3.3 Flat slab dengan tulangan geser .....	44
Gambar 3.4 Flat slab tanpa tulangan geser .....	45
Gambar 3.5 Set up pembebanan.....	46
Gambar 3.6 Pemodelan elemen SOLID65 struktur flat slab tanpa tulangan geser pada program ANSYS.....	47
Gambar 3.7 Pemodelan elemen SOLID65 struktur flat slab menggunakan tulangan geser pada program ANSYS.....	48

Gambar 4.1 Pemodelan dengan menggunakan tulangan geser .....	51
Gambar 4.2 Pemodelan tanpa menggunakan tulangan geser .....	52
Gambar 4.3 Nodes pemodelan struktur flat slab .....	53
Gambar 4.4 Representasi SOLID45 dan SOLID65 struktur flat slab .....	53
Gambar 4.5 Permodelan elemen LINK180 type S0-N dan S0-S .....	54
Gambar 4.6 Permodelan elemen LINK180 type S8-N dan S8-S .....	54
Gambar 4.7 Permodelan elemen LINK180 type S10-N dan S10-S .....	55
Gambar 4.8 Permodelan elemen LINK180 type S12-N dan S12-S .....	55
Gambar 4.9 Meshing .....	57
Gambar 4.10 Perbandingan grafik beban-defleksi model S0-N material normal concrete .....	59
Gambar 4.11 Perbandingan grafik beban-defleksi model S8-N material normal concrete .....	59
Gambar 4.12 Perbandingan grafik beban-defleksi model eksperimental material <i>normal concrete</i> .....	60
Gambar 4.13 Perbandingan grafik beban-defleksi model output ANSYS material normal concrete .....	60
Gambar 4.14 Grafik beban-defleksi model S10-N .....	62
Gambar 4.15 Grafik beban-defleksi model S12-N .....	62
Gambar 4.16 Grafik beban-defleksi gabungan model S10-N dan S12-N .....	63
Gambar 4.17 Grafik beban-defleksi model S0-S .....	64
Gambar 4.18 Grafik beban-defleksi model S8-S .....	65
Gambar 4.19 Grafik beban-defleksi model S10-S .....	65
Gambar 4.20 Grafik beban-defleksi model S12-S .....	66
Gambar 4.21 Grafik beban-defleksi gabungan model S0-S12S .....	66
Gambar 4.22 Kontur tegangan struktur flat slab model S0-N normal concrete .....	70
Gambar 4.23 Kontur tegangan struktur flat slab model S8-N normal concrete .....	71
Gambar 4.24 Kontur tegangan struktur flat slab model S10-N normal concrete ..	73
Gambar 4.25 Kontur tegangan struktur flat slab model S12-N normal concrete ..	74
Gambar 4.26 Kontur tegangan struktur flat slab model S0-S self compacting concrete .....	76

Gambar 4.27 Kontur tegangan struktur flat slab model S8-S self compacting concrete .....	78
Gambar 4.28 Kontur tegangan struktur flat slab model S10-S self compacting concrete .....	79
Gambar 4.29 Kontur tegangan struktur flat slab model S10-S self compacting concrete .....	81
Gambar 4.30 Kontur defleksi material normal concrete .....	84
Gambar 4.31 Kontur defleksi material self compacting concrete .....	88
Gambar 4.32 Kurva envelope flat slab eksperimental .....	89
Gambar 4.33 Kurva envelope normal concrete.....	92
Gambar 4.34 Kurva envelope flat slab material self compacting concrete.....	95
Gambar 4.35 Kurva hubungan antara kekakuan dengan time load pada flat slab eksperimental .....	97
Gambar 4.36 Kurva hubungan antara degradasi kekakuan dengan time load pada flat slab eksperimental.....	97
Gambar 4.37 Kurva hubungan antara kekakuan dengan time load pada flat slab material normal concrete.....	99
Gambar 4.38 Kurva hubungan antara degradasi kekakuan dengan time load pada flat slab material normal concrete .....	99
Gambar 4.39 Kurva hubungan antara kekakuan dengan time load pada flat slab material self compacting concrete.....	101
Gambar 4.40 Kurva hubungan antara degradasi kekakuan dengan time load pada flat slab material self compacting concrete.....	101
Gambar 4.41 Luas area energi disipasi flat slab tipe S0-N normal concrete .....	103
Gambar 4.42 Luas area energi disipasi flat slab tipe S8-N normal concrete .....	104
Gambar 4.43 Luas area energi disipasi flat slab tipe S0-N normal concrete ANSYS.....	105
Gambar 4.44 Luas area energi disipasi flat slab tipe S8-N normal concrete ANSYS.....	105
Gambar 4.45 Luas area energi disipasi flat slab tipe S10-N normal concrete ANSYS.....	106
Gambar 4.46 Luas area energi disipasi flat slab tipe S12-N normal concrete	

ANSYS .....	106
Gambar 4.47 Luas area energi dispasi flat slab tipe S0-S self compacting concrete ANSYS .....	108
Gambar 4.48 Luas area energi dispasi flat slab tipe S8-S self compacting concrete ANSYS .....	108
Gambar 4.49 Luas area energi dispasi flat slab tipe S10-S self compacting concrete ANSYS .....	109
Gambar 4.50 Luas area energi dispasi flat slab tipe S12-S self compacting concrete ANSYS .....	109
Gambar 4.51 Pengaruh geser terhadap variasi rasio tulangan geser .....	112



## DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

### Lampiran

1.	Lampiran Penjabaran Perhitungan Geser .....	128
2.	Lembar Asistensi Tugas Akhir .....	129
3.	Hasil Seminar Sidang Sarjana/Ujian Tugas Akhir .....	130
4.	Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir .....	131
5.	Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir .....	132

## DAFTAR NOTASI

### 1. Transformasi & Matriks

$\Lambda_x$  = Transformasi rotasi dalam koordinat lokal

$\hat{T}_x$  = Matriks transformasi tegangan

$B_{ax}$  = Matriks regangan

$K\_T$  = Matriks kekakuan total

$K\_G$  = Matriks kekakuan geometrik

$K_{1n}$  = Matriks kekakuan dalam metode Newton-Raphson

$K_s$  = Matriks secant dalam metode Quasi-Newton

$[B]$  = Matriks transformasi regangan

$[D]$  = Matriks modulus elastisitas

$[K]$  = Matriks kekakuan struktur

### 2. Vektor

$\Psi_n$  = Vektor residu gaya internal

$\varepsilon$  = Vektor regangan

$\{u\}$  = Vektor perpindahan

$\{p\}$  = Vektor beban eksternal

### 3. Fungsi & Parameter

$N_i(\xi)$  = Fungsi bentuk Lagrange

$\Theta_k$  = Rotasi elemen atau sudut pergeseran (rad)

$\alpha\_B$  = Parameter atau faktor pengaruh (tanpa satuan)

$\Sigma k$  = Jumlah konstanta atau jumlah kekakuan elemen (N/m)

### 4. Ukuran & Diferensial

$D_r$  = Diameter atau deformasi karakteristik (m)

$d_{an}$  = Diferensial luas atau perubahan luas elemen (m<sup>2</sup>)

$\Delta_{an}$  = Perubahan luas elemen (m<sup>2</sup>)

$dx$  = Diferensial panjang atau perubahan kecil dalam arah x (m)

## 5. Gaya & Tekanan

$B_p$  = Gaya beban (N)

$N_a$  = Gaya normal (N)

$P_a$  = Tekanan (Pa)

## 6. Perpindahan & Kecepatan

$u_n$  = Perpindahan pada titik n (m)

$\Delta u_i$  = Perubahan perpindahan pada titik i (m)

$\Delta x$  = Perubahan posisi (m)

$\Delta u_i$  = Perubahan kecepatan awal (m/s)

## 7. Momen

$M(\alpha)$  = Momen dengan parameter  $\alpha$  (N·m)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang sedang berkembang dan terus melaksanakan proyek pembangunan infrastruktur di berbagai daerah. Salah satu sektor infrastruktur yang berkembang dengan sangat cepat adalah pembangunan gedung-gedung tinggi. Peningkatan jumlah gedung bertingkat ini sejalan dengan pertumbuhan populasi dan kebutuhan masyarakat akan fasilitas hunian, perkantoran, serta pusat perdagangan. Dalam perencanaan dan pembangunan gedung bertingkat, stabilitas struktur menjadi faktor utama yang harus diperhatikan. Sebuah bangunan dikatakan stabil apabila mampu bertahan tanpa mengalami kegagalan hingga mencapai umur rencana. Salah satu elemen penting dalam struktur bangunan adalah kolom, yang berfungsi sebagai elemen tekan utama. Kegagalan pada kolom dapat menyebabkan runtuhnya seluruh bagian atas bangunan, sehingga perencanaan dan analisis terhadap kolom harus dilakukan secara cermat.

Seiring dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan di sektor konstruksi, berbagai teknik dan pendekatan baru telah diciptakan untuk meningkatkan efisiensi serta keselamatan struktur bangunan. Salah satu pendekatan yang sering digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat adalah *flat slab system*. Sistem ini merupakan struktur pelat lantai beton bertulang yang langsung didukung oleh kolom tanpa perlu adanya balok penghubung seperti pada metode tradisional. Keunggulan sistem ini meliputi tinggi struktur yang lebih rendah, fleksibilitas dalam pemasangan perpipaan serta utilitas lainnya, serta efisiensi dalam penggunaan ruang. Namun, sistem flat slab juga memiliki tantangan tersendiri, salah satunya adalah *punching shear* atau tegangan geser yang terjadi di sekitar pertemuan antara kolom dan pelat akibat pembebanan vertikal.

Untuk mengatasi masalah gaya geser, tulangan geser atau *stirrup* digunakan sebagai elemen penguat. Tulangan geser berfungsi untuk menahan gaya tarik tegak lurus yang diakibatkan oleh gaya geser, sehingga dapat mencegah keretakan dan kegagalan struktur. Gaya geser memiliki dampak yang signifikan terhadap kekuatan

dan daktilitas elemen struktur. Kegagalan yang disebabkan oleh gaya geser memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi daripada kegagalan akibat lentur, karena dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain kekuatan tekan *concrete*, rasio tulangan longitudinal, serta perbandingan antara panjang bentang geser dan tinggi efektif pelat.

Pelat lantai merupakan elemen struktural yang memiliki peran penting dalam distribusi beban pada gedung bertingkat. Pelat ini menyalurkan beban gravitasi dan beban sendiri ke kolom sebagai elemen tekan. Selain itu, pelat lantai perlu memiliki kemampuan untuk menanggung beban aksial serta momen lentur secara bersamaan. Kerusakan pada pelat lantai dapat menyebabkan kegagalan pada elemen struktur lainnya, seperti *kolom* yang terhubung langsung dengannya. Oleh karena itu, studi mengenai penguatan pelat lantai, khususnya dalam menahan gaya geser, menjadi hal yang krusial dalam dunia teknik sipil.

Dengan berkembangnya teknologi, kajian tentang perilaku elemen struktur kini tidak hanya dilakukan melalui uji coba di laboratorium, melainkan juga menggunakan *software* yang berbasis pemodelan numerik. Salah satu program yang sering digunakan dalam analisis struktur adalah ANSYS, yang berbasis *Finite Element Method (FEM)*. Program ini mampu memberikan pendekatan numerik dalam memodelkan dan menganalisis perilaku struktur, termasuk distribusi tegangan dan deformasi akibat pembebanan tertentu.

Selain penggunaan perangkat lunak untuk analisis, inovasi dalam material konstruksi juga menjadi perhatian utama dalam penelitian ini. *Self-Compacting Concrete (SCC)* atau beton alir merupakan salah satu inovasi terbaru dalam teknologi beton yang menawarkan kemudahan dalam proses pengecoran tanpa memerlukan alat penggetar. SCC memiliki sifat homogen dan tingkat keenceran yang tinggi, sehingga mampu mengisi rongga di antara tulangan dengan baik. Beton jenis ini juga memiliki potensi tinggi untuk digunakan dalam struktur tahan gempa karena kualitasnya yang unggul dalam hal kekuatan dan daya tahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan melakukan studi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk menganalisis pengaruh variasi rasio tulangan geser terhadap kapasitas geser pada sistem flat slab dengan material *Self-Compacting Concrete (SCC)*. Analisis dilakukan dengan pembebanan

monotonik untuk memahami sejauh mana efektivitas penggunaan SCC dalam meningkatkan ketahanan struktur terhadap gaya geser. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode perencanaan dan desain struktur bangunan yang lebih aman dan efisien.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian analisis tulangan geser pada *flat slab* SCC di bawah beban monotonik adalah :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan SCC terhadap beban monotonik yang dianalisis menggunakan program ANSYS?
2. Bagaimana metode analisis beban monotonik pada elemen *flat slab* material SCC terhadap beban monotonik menggunakan program ANSYS?
3. Bagaimana hasil analisis variasi tulangan geser pada *flat slab* SCC yang menahan beban monotonik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian berjudul pengaruh tulangan geser pada *flat slab* SCC di bawah beban monotonik, yaitu:

1. Membandingkan dan memverifikasi pengaruh penggunaan ada dan tanpa tulangan geser pada *flat slab* dengan material SCC terhadap penelitian terdahulu (Ewees dkk., 2024) dengan hasil analisis menggunakan program ANSYS.
2. Menganalisis beban monotonik pada elemen struktur *flat slab* material SCC di bawah beban monotonik menggunakan program ANSYS.
3. Mampu memahami hasil analisis terhadap pengaruh penggunaan ada ataupun tanpa penggunaan tulangan geser terhadap *flat slab* dengan material SCC.

#### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian analisis pengaruh tulangan geser *pada flat slab* SCC di bawah beban monotonik diatur dalam ruang lingkup:

1. Dalam program ANSYS, pemodelan struktur lantai rata menggunakan elemen SOLID65 untuk menunjukkan beton, SOLID45 untuk menunjukkan pelat baja, dan LINK180 untuk menunjukkan baja tulangan. Semua elemen ini dimodelkan menggunakan analisis metode elemen hingga (*finite element method*).
2. Penelitian eksperimental sebelumnya oleh yang melakukan analisis punching shear pada slab rata dengan beban monotonik memberikan data sekunder.
3. Data sekunder diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Ewees dkk., 2024).
4. Data *properties* material SCC didapatkan dari penelitian terdahulu oleh (Usman dkk., 2023) dengan nilai kuat tekan beton mencapai 52,14 MPa dan modulus elastisitas sebesar 33937,775 MPa.
5. Beban yang akan digunakan pada penelitian ini adalah beban monotonik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. F. (2019). Studi Perumusan Punching Shear (Geser Ponds) Pada Sistem Struktur Flat Plate Tanpa Perkuatan Geser. *Tugas Akhir*, 7–9.
- Adolph, R. (2016). *No Title*. 1–23.
- Ali, A., Hussain, Z., Akbar, M., Elahi, A., Bhatti, S., Imran, M., Zhang, P., & Leslie Ndam, N. (2022). Influence of Marble Powder and Polypropylene Fibers on the Strength and Durability Properties of Self-Compacting Concrete (SCC). *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9553382>
- Ash, B., Nurul, P., & Whardani, K. (2017). *The Behavior of Self-Compacting Concrete (SCC) with. 050005*.
- BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, E. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, May,63. <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- Canonsburg, T. D. (2013). *ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis*. 3304(November), 724–746.
- Dok, G., Caglar, N., Ilki, A., & Yilmaz, C. (2024). Effect of longitudinal reinforcement ratio on residual flexural capacity of high-strength reinforced concrete beams exposed to impact loading. *Structures*, 67 (July). <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106914>
- Eka Wati, D., & Ghози, M. (2023). Program Aplikasi FEM Untuk Analisis Struktur Rangka Baja 2D. *Inter Tech*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.54732/i.v1i1.1007>
- Ewees, M. H., Gabr, A. S. A., & Farrag, M. R. (2024). Effect of tension and compression flexural reinforcement on punching shear strength of reinforced concrete flat slab. *Alexandria Engineering Journal*, 99, 282–302. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.019>
- Fauzi Akbar, M., Kodariah, G. S., Sudarsono, I., & Utomo, E. W. (2023). Pengaruh perendaman air laut terhadap kuat tekan beton Self Compacting Concrete (SCC) dengan penambahan Fly Ash dan Visconcrete. *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.55904/hexatech.v2i1.592>



- Frunza, M. C., Frunză, G., & Luca, R. (2010). The use of numerical applications in the study of dental contacts. *Applied Medical Informatics*, 26(2), 73–82.
- Hendrian, H. S. A., Saloma, Hanafiah, Iqbal, M. M., & Juliantina, I. (2021). Physical and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete (SCC) with Pineapple Leaf Fibre and Polypropylene. *Journal of Physics: Conference Series*, 1783(1). <https://doi.org/10,1088/1742-6596/1783/1/012077>
- Ing, T. L., Simatupang, R., & Setiawan, D. (2019). Pengaruh Penggunaan PS Ball Terhadap Balok Beton Bertulang dengan Pembebanan Monotonik dan Pembebanan Siklik. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 160–180, <https://doi.org/10,28932/jts.v12i2.1422>
- Lapi, M., Ramos, A. P., & Orlando, M. (2019). Flat slab strengthening techniques against punching-shear. *Engineering Structures*, 180(November 2018), 160–180, <https://doi.org/10,1016/j.engstruct.2018.11.033>
- Lie, E. S., & Rachmansyah, R. (2023). Rasio Nilai Kuat Lentur pada Beton Geopolimer dengan Penambahan Superplasticizer. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 265–277. <https://doi.org/10,28932/jts.v19i2.6205>
- Liu, Y., Zhang, W., Zhou, M., Hou, W., & Zhang, Y. (2023). Punching shear performance of star-shaped steel plates reinforced RC slab-column connections. *Case Studies in Construction Materials*, 19(August), e02570, <https://doi.org/10,1016/j.cscm.2023.e02570>
- Massone, L. M., Valenzuela, J., & Rojas, F. (2023). Minimum longitudinal reinforcement in rectangular and flanged reinforced concrete walls. *Structures*, 55(June), 1342–1353. <https://doi.org/10,1016/j.istruc.2023.06.104>
- Mooy, M. (2022). Kapasitas Geser Balok Tinggi dengan Campuran Fly Ash tanpa Tulangan Geser. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 133–142.
- Nuraga, K., Putri, D. A. P. A. G., Anriksa, K., & Ficher, J. (2022). Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 4(2), 98–105. <https://doi.org/10,38043/telsinas.v4i2.3342>
- Octavianus, B., Steenie, M., Wallah, E., & Dapas, S. O. (2019). Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak

- Dinding Geser. *Jurnal Sipil Statik*, 3(Juni), 435–446.
- Rohman, R. M. N. (2021). KAJIAN PERBANDINGAN BIAYA PENGGUNAAN WIREMESH DAN TULANGAN KONVENSIONAL (Studi Kasus : Proyek Pembangunan RSJP Bandung). *Institut Teknologi Nasional, C*, 5–30,
- Safitri, D. (2021). Mix Design dan Pelaksanaan Campuran Beton. *Ilmuteknik.Org*, 1(3), 2021.
- Ummah, M. S. (2019). No Title. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14.  
[http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-gene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10,1016/j.regsci-rbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-gene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10,1016/j.regsci-rbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- Urban, T., Gołdyn, M., Krawczyk, Ł., & Sowa, Ł. (2019). Experimental investigations on punching shear of lightweight aggregate concrete flat slabs. *Engineering Structures*, 197(July), 109371.  
<https://doi.org/10,1016/j.engstruct.2019.109371>
- Yan, J., Su, J., Xu, J., Hua, K., Lin, L., & Yu, Y. (2024). Explainable machine learning models for punching shear capacity of FRP bar reinforced concrete flat slab without shear reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*, 20(January), e03162.  
<https://doi.org/10,1016/j.cscm.2024.e03162>
- Zardi, M. (2019). Perilaku Punching Shear Pada Hubungan Kolom Bulat Dengan Flat Slab Akibat Beban Tekan Aksial. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(1), 1–14.  
<https://doi.org/10,30601/jtsu.v1i1.1>
- FEMA 356. 2000, Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings. *Washington DC: Federal Emergency Management Agency*.