

**EVALUASI KETAHANAN PANEL KACA TEMPERED PADA
FASAD BANGUNAN BERTINGKAT DI ZONA GEMPA
INDONESIA**

TUGAS AKHIR



JIHAN MAHARANI

1222004030

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA**

2026

**EVALUASI KETAHANAN PANEL KACA TEMPERED PADA
FASAD BANGUNAN BERTINGKAT DI ZONA GEMPA
INDONESIA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Bakrie**



JIHAN MAHARANI

1222004030

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Jihan Maharani

NIM : 1222004030

Tanda Tangan : 

Tanggal : 07 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Jihan Maharani

NIM 1222004030

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Evaluasi Ketahanan Panel Kaca Tempered Pada Fasad Bangunan Bertingkat Di Zona Gempa Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1: Dr. Ir. Budianto Ontowirjo, M.Sc.

()

Pembimbing 2 : Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc.

()

Penguji 1 : Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc.

()

Penguji 2 : Muhammad Daffa Fachrur Reza, S.T., M.Sc.

()

Ditetapkan di Jakarta

Tanggal, 07 September 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Evaluasi Ketahanan Panel Kaca Tempered pada Fasad Bangunan Bertingkat di Zona Gempa Indonesia”**. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun materi, serta motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini.;
2. Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Bakrie;
3. Ibu Fatin Adriati, S.T., M.T., IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie;
4. Bapak Dr. Ir. Budianto Ontowirjo, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, dukungan, serta saran selama proses penyusunan Tugas Akhir ini;
5. Bapak Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.sc., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini;
6. Bapak Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc., yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie;
7. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Bakrie yang telah memberikan ilmu, Bimbingan, dan pengetahuan selama masa perkuliahan sebagai bekal berharga bagi penulis;
8. Angga Rati, Namya shesilya, Izza Azzahro, Ardita Maharani Sukandar, dan Khaerun Nisa, yang selalu ada memberikan semangat, kebersamaan, tempat

berbagi cerita, serta dukungan emosional tanpa henti sepanjang perjalanan perkuliahan dan penyusunan skripsi ini;

9. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil Universitas Bakrie angkatan 2022, atas kebersamaan, kerja sama, dan kenangan indah yang telah dilalui bersama selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan penelitian ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik sipil.

Jakarta, Juli 2026

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jihan Maharani
NIM : 1222004030
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Evaluasi Ketahanan Panel Kaca Tempered pada Fasad Bangunan Bertingkat di Zona Gempa Indonesia

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar - benarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 07 September 2026

Yang menyatakan,



Jihan Maharani

ABSTRAK

EVALUASI KETAHANAN PANEL KACA TEMPERED PADA FASAD BANGUNAN BERTINGKAT DI ZONA GEMPA INDONESIA

Panel kaca tempered pada sistem fasad merupakan komponen non-struktural yang sensitif terhadap perpindahan, sehingga kinerjanya sangat dipengaruhi oleh deformasi struktur utama akibat gempa. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketahanan panel kaca tempered pada fasad bangunan bertingkat di zona gempa Indonesia melalui pendekatan numerik. Tiga model bangunan baja lima tingkat dengan sistem rangka pemikul momen khusus, yang dirancang terhadap batas simpangan antar lantai 0,50 %, 0,75 %, dan 1,00 %, dianalisis terhadap tiga tingkat kegempaan Indonesia (Palu, Surabaya, dan Pontianak) berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis riwayat waktu dilakukan dengan metode Newmark- β menggunakan 15 rekaman gerakan tanah kompatibel spektrum untuk setiap wilayah. Respons panel kaca ditinjau dalam dua arah, yaitu out-of-plane menggunakan teori pelat Navier dan in-plane melalui mekanisme kontak kaca–rangka serta pembentukan diagonal tekan. Tingkat kerusakan ditetapkan berdasarkan klasifikasi HAZUS/FEMA P-58 untuk komponen sensitif pergeseran, dan kerentanan dinyatakan dalam kurva fragility lognormal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpangan antar lantai maksimum mencapai 1,76 % untuk wilayah Palu, 0,88 % untuk Surabaya, dan 0,16 % untuk Pontianak. Respons out-of-plane menghasilkan tegangan yang sangat kecil (maksimum 1,25 MPa), sedangkan respons in-plane bersifat menentukan: pada wilayah Palu, model BII dan BIII menghasilkan tegangan 141 MPa dan 239 MPa yang melampaui kuat lentur kaca tempered sebesar 120 MPa, sementara model BI tetap aman. Pengetatan batas simpangan desain dan penambahan kelonggaran kaca–rangka terbukti menjadi dua parameter paling efektif dalam melindungi panel kaca tempered dari kerusakan akibat gempa.

Kata kunci: kaca tempered, fasad bangunan, interstory drift ratio, damage state, kurva fragility, SNI 1726:2019.

ABSTRACT

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF TEMPERED GLASS PANELS IN MULTI-STOREY BUILDING FACADES IN INDONESIAN SEISMIC ZONES

Tempered glass panels in facade systems are drift-sensitive non-structural components whose performance is governed by the deformation of the primary structure during earthquakes. This study evaluates the seismic resistance of tempered glass facade panels in Indonesian seismic zones using a numerical approach. Three five-storey steel special moment resisting frames, designed for interstorey drift limits of 0.50 %, 0.75 %, and 1.00 %, were analysed under three Indonesian hazard levels (Palu, Surabaya, and Pontianak) in accordance with SNI 1726:2019. Time-history analyses were carried out using the Newmark- β method with fifteen spectrum-compatible ground motions per site. The glass panel response was examined both out-of-plane, using Navier plate theory, and in-plane, through the glass-to-frame contact mechanism and the resulting compressive diagonal. Damage states follow the HAZUS/FEMA P-58 classification for drift-sensitive components, and vulnerability is expressed through lognormal fragility curves. The results show that the in-plane mechanism governs: for the Palu site, models BII and BIII develop glass stresses exceeding the 120 MPa flexural strength of tempered glass, whereas model BI remains safe. Tightening the design drift limit and increasing the glass-to-frame clearance are the two most effective measures for protecting tempered glass facade panels.

Keywords: *tempered glass, building facade, interstorey drift ratio, damage state, fragility curve, SNI 1726:2019.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II.....	6
2.1 Definisi Ambang Batas Kerusakan	6
2.1.1 Kondisi Kerusakan.....	6
2.1.2 Ambang Batas Kuantitatif.....	9
2.2 Bangunan Indeks dan Sistem Struktur Tahan Gempa.....	10
2.2.1 Bangunan Indeks.....	10
2.2.2 Kondisi Tanah dan Parameter Seismik	12
2.3 Kaca Tempered	14
2.4 Penelitian Terdahulu	15
2.5 Posisi dan Kebaruan Penelitian.....	16

BAB III.....	17
3.1 Pendekatan Penelitian	17
3.2 Diagram Alir Penelitian	18
3.3 Data Gempa Indonesia	20
3.4 Pemodelan Struktur Bangunan.....	21
3.5 Formulasi Dasar Dinamika Struktur	22
3.6 Analisis Modal dan Periode Getar Struktur	23
3.7 Massa Struktur	23
3.8 Spektrum Respons Desain.....	24
3.9 Analisis Riwayat Waktu.....	24
3.10 Pemodelan Fasad Kaca	25
3.11 Interstory Drift Ratio (IDR)	26
3.12 Evaluasi Tegangan pada Panel Kaca.....	27
3.12.1 Respons Out-of-Plane	27
3.12.2 Respons In-Plane.....	27
3.13 Evaluasi Kerusakan Berdasarkan HAZUS.....	28
3.14 Analisis Fragility	28
3.15 Verifikasi dan Validasi Model	29
3.16 Metode Analisis Data.....	29
BAB IV	31
4.1 Verifikasi dan Validasi Model Numerik	31
4.1.1 Verifikasi Integrator Newmark- β	31
4.1.2 Validasi Kekakuan Model.....	32
4.1.3 Verifikasi Silang Antarmetode.....	34
4.2 Karakteristik Dinamik Struktur.....	36
4.3 Gerakan Tanah yang Digunakan.....	37

4.4 Respons Perpindahan Struktur	39
4.5 Interstory Drift Ratio.....	40
4.6 Evaluasi Respons Panel Kaca Tempered	42
4.6.1 Respons Out-of-Plane	42
4.6.2 Respons In-Plane dan Mekanisme Kontak	43
4.6.3 Studi Parametrik Kelonggaran Kaca–Rangka.....	45
4.7 Evaluasi Tingkat Kerusakan Fasad Kaca.....	46
4.8 Kurva Fragility Panel Kaca Tempered.....	47
4.9 Pembahasan.....	51
4.9.1 Jawaban terhadap Rumusan Masalah.....	51
4.9.2 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu.....	52
BAB V.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN A.....	59
LAMPIRAN B	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geometri dan tata letak model bangunan indeks	11
Gambar 2. 2 Perbandingan spektrum rata-rata rekaman gempa dengan spektrum desain EC8 Tipe 1	14
Gambar 2. 3 Spektrum respons desain tiga wilayah tinjauan.....	21
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian	19
Gambar 3. 2 Skema mekanisme interaksi panel kaca dengan rangka	26
Gambar 4. 1 Verifikasi integrator Newmark- β terhadap solusi eksak	31
Gambar 4. 2 Validasi kekakuan model dan verifikasi silang RSA–THA	34
Gambar 4. 3 Tiga ragam getar pertama model BI, BII, dan BIII	37
Gambar 4. 4 Akselerogram tiruan dan kesesuaian spektrum rata-rata	38
Gambar 4. 5 Riwayat waktu perpindahan lantai atap	39
Gambar 4. 6 Profil perpindahan lantai maksimum.....	39
Gambar 4. 7 Profil Interstory Drift Ratio tiap tingkat	41
Gambar 4. 8 Distribusi defleksi dan tegangan out-of-plane panel kaca (wilayah Palu)	42
Gambar 4. 9 Tegangan in-plane panel kaca dan pengaruh kelonggaran	45
Gambar 4. 10 Kurva fragility panel kaca tempered.....	48
Gambar 4. 11 Matriks tingkat kerusakan dan probabilitas kerusakan.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Batasan pergeseran dan stabilitas berdasarkan EC8-1 (2004 vs 2021).	6
Tabel 2. 2	Batasan pergeseran berdasarkan EC8-1 (2004 vs 2021).....	7
Tabel 2. 3	Klasifikasi kondisi kerusakan berdasarkan EC8-3.....	7
Tabel 2. 4	Klasifikasi kondisi kerusakan berdasarkan HAZUS	8
Tabel 2. 5	Klasifikasi kerusakan komponen non-struktural (DSC dan ASC).....	8
Tabel 2. 6	Ambang batas kerusakan struktural bangunan indeks	9
Tabel 2. 7	Ambang batas kerusakan struktural dan non-struktural	9
Tabel 2. 8	Parameter kerusakan untuk bangunan di Eropa	9
Tabel 2. 9	Deskripsi kondisi kerusakan (pedoman Eropa).....	10
Tabel 2. 10	Parameter kerusakan–kerugian berdasarkan ESRM20	10
Tabel 2. 11	Dimensi penampang kolom dan balok	12
Tabel 2. 12	Rekaman gempa yang digunakan pada penelitian acuan	12
Tabel 2. 13	Ringkasan penelitian terdahulu	15
Tabel 3. 1	Parameter gempa Indonesia.....	20
Tabel 3. 2	Geometri bangunan	21
Tabel 3. 3	Sifat mekanika baja S355.....	22
Tabel 3. 4	Properti material kaca tempered.....	25
Tabel 3. 5	Parameter panel kaca dan sistem curtain wall.....	25
Tabel 3. 6	Ambang batas damage state komponen sensitif pergeseran	28
Tabel 4. 1	Hasil verifikasi integrator Newmark- β	32
Tabel 4. 2	Validasi kekakuan model terhadap kriteria desain acuan	33
Tabel 4. 3	Verifikasi silang RSA dan analisis riwayat waktu	35
Tabel 4. 4	Karakteristik dinamik ketiga model bangunan.....	36
Tabel 4. 5	Karakteristik gerakan tanah yang dibangkitkan	38
Tabel 4. 6	Perpindahan lantai maksimum (mm)	40
Tabel 4. 7	Interstory Drift Ratio maksimum tiap tingkat (%)	41
Tabel 4. 8	Respons out-of-plane panel kaca tempered.....	43
Tabel 4. 9	Respons in-plane panel kaca tempered	44
Tabel 4. 10	Studi parametrik kelonggaran kaca–rangka	45
Tabel 4. 11	Tingkat kerusakan fasad kaca hasil analisis	46
Tabel 4. 12	Parameter kurva fragility.....	48

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
[M]	Matriks massa struktur	kg
[C]	Matriks redaman struktur	N·s/m
[K]	Matriks kekakuan struktur	N/m
$u(t)$	Vektor perpindahan struktur	m
$\ddot{u}_g(t)$	Percepatan tanah akibat gempa	m/s ²
T_n	Periode getar alami ragam ke-n	detik
φ_n	Vektor ragam getar ke-n	–
ζ	Rasio redaman kritis	–
S_a	Percepatan spektral	g
SDS, SD1	Parameter percepatan spektral desain	g
T_0, T_s, T_L	Periode karakteristik spektrum respons desain	detik
Δ_i	Simpangan antar lantai tingkat ke-i	m
h_i	Tinggi tingkat ke-i	m
IDR	Interstory Drift Ratio	%
Δ_c	Simpangan pada saat kaca menyentuh rangka	m
c_1, c_2	Kelonggaran horizontal dan vertikal kaca–rangka	m
b, h_g	Lebar dan tinggi panel kaca	m
t	Tebal panel kaca	m
E, ν	Modulus elastisitas dan rasio Poisson	Pa; –
σ, ε	Tegangan dan regangan	Pa; –
D	Kekakuan lentur pelat kaca	N·m
F_p	Gaya gempa komponen non-struktural	N/m ²
θ, β	Median dan deviasi lognormal kurva fragility	g; –
$\Phi()$	Fungsi distribusi kumulatif normal standar	–