

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA KACA LAMINASI,
KACA MONOLITIK, DAN KACA INSULASI TERHADAP
BEBAN LEDAKAN FRIEDLANDER PADA
PENGAPLIKASIAN FASAD BANGUNAN**

TUGAS AKHIR



**M ALHADI FADLURRAHMAN
1232924014**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA 2025/2026**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : M Alhadi Fadlurrahman

NIM : 1232924014

Tanda Tangan :



Tanggal : 28 Februari 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :
Nama : M Alhadi Fadlurrahman
NIM : 1232924014
Program Studi : Teknik Sipil
Fakulta : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kinerja Kaca Laminasi, Kaca Monolitik, dan Kaca Insulasi Terhadap Beban Ledakan Friedlander Pada Pengaplikasian Fasad Bangunan.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bahan 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, MSc.



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



Pembahas 1 : Prof. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.



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



Ditetapkan di Jakarta

Tanggal 28 Februari 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Analisis Perbandingan Kinerja Kaca Laminasi, Kaca Monolitik, dan Kaca Insulasi terhadap Beban Ledakan Friedlander pada Pengaplikasian Fasad Bangunan*” dengan baik dan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan respons struktur kaca terhadap beban ledakan menggunakan pendekatan numerik berbasis Python, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan perencanaan fasad bangunan yang lebih aman terhadap beban ekstrem. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta bimbingan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi.
2. Bapak Dr.Ir. Budianto Ontowirjo, MSc. Dan Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama masa perkuliahan.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang rekayasa struktur dan teknologi material bangunan.

Akhir kata, penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi dunia akademik dan praktik teknik sipil.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN

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

Nama : M Alhadi Fadlurrahman
NIM : 1232924014
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Sipil dan Ilmu Komputer

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:

Analisis Perbandingan Kinerja Kaca Laminasi, Kaca Monolitik, dan Kaca Insulasi Terhadap Beban Ledakan Friedlander Pada Pengaplikasian Fasad Bangunan.

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 sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada Tanggal : 28 Februari 2026

Yang menyatakan



(M Alhadi Fadlurrahman)

COMPRATIVE BLAST PERFORMANCE OF VARIOUS GLASS TYPES UNDER FRIEDLANDER LOADING FOR BUILDING FACADES

M Alhadi Fadlurrhaman

ABSTRACT

The use of glass as a building facade element has significantly increased along with the development of modern architecture. However, glass is a brittle material and is vulnerable to extreme dynamic loads such as blast loads. This study aims to analyze and compare the performance of Monolithic Glass, Laminated Glass, and Insulated Glass under blast loading with a Friedlander pressure profile for facade applications. The analysis was carried out using a Python-based numerical approach through PyCharm 2025.2.4 software. The study considered variations in glass thickness of 5 mm, 6 mm, 10 mm, and 12 mm, as well as blast charge weights of 5 kg, 10 kg, and 20 kg TNT. The evaluation parameters included maximum deflection and maximum stress. The results indicate that increasing the blast load significantly increases both maximum deflection and maximum stress for all types of glass. Conversely, increasing the glass thickness significantly reduces deformation response and internal stress, with stress reductions ranging from 47.4% to 52.5% and deflection reductions from 47.2% to 59.7%. For equal thickness comparisons, Insulated Glass demonstrated the best performance, achieving up to 25.33% reduction in maximum stress and 35.26% reduction in deflection compared to Monolithic Glass. Furthermore, all thick glass specimens satisfied the safety limits specified in UFC 3-340-02 (< 80 MPa) and ASTM E1300 (< 25 mm), indicating compliance with structural safety requirements. In general, the multilayer configuration of Laminated Glass and Insulated Glass provides higher stiffness and better energy dissipation capacity than Monolithic Glass. Therefore, these two glass types are more recommended for facade applications in areas with a high risk of blast threats.

Keywords: Glass facade, Friedlander blast load, Numerical analysis, Maximum deflection, Maximum stress, Glass thickness.

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA KACA LAMINASI, KACA MONOLITIK, DAN KACA INSULASI TERHADAP BEBAN LEDAKAN FRIEDLANDER PADA PENGAPLIKASIAN FASAD BANGUNAN

M Alhadi Fadlurrahman

ABSTRAK

Penggunaan kaca sebagai elemen fasad bangunan semakin meningkat seiring dengan perkembangan arsitektur modern. Namun, kaca memiliki sifat getas dan rentan terhadap beban dinamis ekstrem seperti beban pada ledakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja *Monolithic Glass*, *Laminated Glass*, dan *Insulated Glass* terhadap beban ledakan dengan profil tekanan friedlander pada aplikasi fasad bangunan. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan numerik berbasis *Python* melalui software *Pycharm 2025.2.4*, dengan mempertimbangkan variasi ketebalan kaca 5 mm, 6 mm, 10 mm, dan 12 m serta variasi beban ledakan 5 kg, 10 kg, dan 20 kg TNT. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi defleksi maksimum dan tegangan maksimum (Stress). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan beban ledakan secara signifikan meningkatkan nilai defleksi dan tegangan maksimum pada seluruh jenis kaca. Sebaliknya, peningkatan ketebalan kaca terbukti mampu menurunkan respons deformasi dan tegangan internal secara signifikan. Dengan persentase penurunan tegangan berkisar antara 47,4%-52,5% dan penurunan defleksi sebesar 47,2%-59,7%. Pada perbandingan ketebalan yang sama, *Insulated Glass* menunjukkan kinerja paling optimal dengan reduksi tegangan maksimum hingga 25,33% dan penurunan defleksi sebesar 35,26% dibandingkan *Monolithic Glass*. Selain itu, seluruh spesimen kategori tebal memenuhi batas aman standar UFC 3-340-02 (<80 Mpa) dan ASTM E1300 (<25 mm), sehingga masuk dalam zona aman terhadap resiko kegagalan struktur. Secara umum, konfigurasi multilayer pada *Laminated Glass* dan *Insulated Glass* memberikan peningkatan kekakuan serta kemampuan disipasi energi yang lebih baik dibandingkan *Monolithic Glass*. Oleh karena itu, kedua jenis kaca tersebut lebih direkomendasikan untuk aplikasi fasad bangunan pada kawasan yang beresiko tinggi terhadap ancaman ledakan.

Kata Kunci: Fasad kaca, Ledakan Friedlander, Analisis numerik, Defleksi tegangan maksimum, Ketebalan kaca

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Manfaat Untuk Mahasiswa	3
1.4.2 Manfaat Untuk Peneliti	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kaca	6
2.1.1 <i>Monolithic Glass</i>	7
2.1.2 <i>Laminated Glass</i>	8
2.1.3 <i>Insulated Glass</i>	10
2.2 Fasad Kaca Bangunan.....	11
2.3 Pemodelan Menggunakan Phyton	13
2.3.1 Analisis Numerikal	14
2.3.2 Pengaplikasian Pycharm	14
2.4 Teori Ledakan	15
2.5 Ledakan Friedlander	17
2.6 Beban Ledakan Pada Struktur.....	18

2.7 Hukum Hoke.....	20
2.8 Parameter Determinasi dan Zona Validasi Kinerja Fasad.....	21
2.9 Research Gap	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Kerangka Penelitian	29
3.3 Parameter Material dan Geometri	30
3.4 Pemodelan Beban Ledakan	30
3.4.1 Perkiraan Jarak Ledakan.....	31
3.5 Teori Pelat Tipis dan Bending Rigidity	32
3.6 Reduksi Sistem Model SDOF.....	32
3.7 Persamaan Gerak Struktur SDOF	33
3.8 Mode Shape dan Rekonstruksi Medan Defleksi 2D	34
3.9 Tegangan Normal S22 (Arah Y)	34
3.10 Nilai <i>Natural Frequency Laminated Glass</i> dan <i>Monolithic glass</i>	35
3.11 Pemodelan Pola Retak	36
3.12 Validasi dan Studi Sensitivitas	36
3.13 keterbatasan Metode	36
3.14 Geometri Kaca	38
BAB IV ANALISIS.....	39
4.1 Ukuran Kaca	39
4.2 Ledakan Friedlander.....	40
4.3 Defleksi.....	41
4.3.1 Variasi Defleksi Ledakan Pada Tebal Kaca 5mm.....	41
4.3.2 Variasi Defleksi Ledakan Pada Tebal Kaca 6mm.....	47
4.3.3 Variasi Defleksi Ledakan Pada Tebal Kaca 10mm.....	52
4.3.4 Variasi Defleksi Ledakan Pada Tebal Kaca 12mm.....	57
4.4 Stress.....	62
4.4.1 Variasi Stress Ledakan Pada Tebal Kaca 5mm	62
4.4.2 Variasi Stress Ledakan Pada Tebal Kaca 6mm	68
4.4.3 Variasi Stress Ledakan Pada Tebal Kaca 10mm	73
4.4.4 Variasi Stress Ledakan Pada Tebal Kaca 12mm	78
4.5 Perbandingan Defleksi Kaca.....	84

4.5.1 <i>Monolithic Glass</i>	84
4.5.2 <i>Laminated Glass</i>	85
4.5.3 <i>Insulated Glass</i>	86
4.5.4 Perbandingan Kinerja Defleksi Antar Jenis Kaca	87
4.6 Perbandingan Stress Kaca.....	87
4.6.1 <i>Monolithic Glass</i>	88
4.6.2 <i>Laminated Glass</i>	89
4.6.3 <i>Insulated Glass</i>	90
4.6.4 Perbandingan Kinerja Stress Antar Jenis Kaca	91
4.7 Justifikasi Berdasarkan Standar	91
BAB V PENUTUP	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Kaca Laminasi (Ali Ahni, Ehsan Ahni, 2023)	8
Gambar 2. 2 Aplikasi kaca laminasi (Chopinet, 2015).....	10
Gambar 2. 3 diagram nfre.....	11
Gambar 2. 4 Fasad Kaca Bangunan	12
Gambar 2. 5 Riwayat waktu tekanan ledakan yang ideal.....	15
Gambar 2. 6 Ledakan udara bebas.....	16
Gambar 2. 7 Ledakan Udara.....	16
Gambar 2. 8 Ledakan Permukaan.....	16
Gambar 2. 9 contoh deformasi pascaretak pada kaca laminasi akibat beban ledakan	18
Gambar 2. 10 Parameter Fase Positif Beban Ledakan Jenis Surface Burst	19
Gambar 2. 11 Parameter Fase Negatif Beban Ledakan Jenis Surface Burst.....	20
Gambar 2. 12 Riwayat waktu beban ledakan ideal	20
Gambar 4. 1 Gambar Ukuran Kaca	39
Gambar 4. 2 Grafik Ledakan Friedlander.....	40
Gambar 4. 3 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	41
Gambar 4. 4 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	41
Gambar 4. 5 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	42
Gambar 4. 6 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	42
Gambar 4. 7 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	42
Gambar 4. 8 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	42
Gambar 4. 9 Grafik Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 5mm	43
Gambar 4. 10 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	43
Gambar 4. 11 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	43
Gambar 4. 12 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	43
Gambar 4. 13 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	43

Gambar 4. 14 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	44
Gambar 4. 15 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	44
Gambar 4. 16 Grafik Defleksi <i>Laminated Glass</i> 5mm.....	44
Gambar 4. 17 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg	45
Gambar 4. 18 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg	45
Gambar 4. 19 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	45
Gambar 4. 20 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	45
Gambar 4. 21 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	45
Gambar 4. 22 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	45
Gambar 4. 23 Grafik Defleksi <i>Insulated Glass</i> 5mm	46
Gambar 4. 24 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	47
Gambar 4. 25 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	47
Gambar 4. 26 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	47
Gambar 4. 27 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	47
Gambar 4. 28 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	47
Gambar 4. 29 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	47
Gambar 4. 30 Grafik Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 6mm	48
Gambar 4. 31 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	48
Gambar 4. 32 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	48
Gambar 4. 33 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	49
Gambar 4. 34 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	49
Gambar 4. 35 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	49
Gambar 4. 36 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	49
Gambar 4. 37 Grafik Defleksi <i>Laminated Glass</i> 6mm.....	50
Gambar 4. 38 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	50
Gambar 4. 39 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	50

Gambar 4. 40 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	50
Gambar 4. 41 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	50
Gambar 4. 42 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	51
Gambar 4. 43 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	51
Gambar 4. 44 Grafik Defleksi <i>Insulated Glass</i> 6mm.....	51
Gambar 4. 45 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	52
Gambar 4. 46 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	52
Gambar 4. 47 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	52
Gambar 4. 48 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	52
Gambar 4. 49 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	53
Gambar 4. 50 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	53
Gambar 4. 51 Grafik Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 10mm.....	53
Gambar 4. 52 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	54
Gambar 4. 53 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	54
Gambar 4. 54 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	54
Gambar 4. 55 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	54
Gambar 4. 56 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	54
Gambar 4. 57 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	54
Gambar 4. 58 Grafik Defleksi <i>Laminated Glass</i> 10mm.....	55
Gambar 4. 59 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	55
Gambar 4. 60 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	55
Gambar 4. 61 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	55
Gambar 4. 62 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	55
Gambar 4. 63 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	56
Gambar 4. 64 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	56
Gambar 4. 65 Grafik Defleksi <i>Insulated Glass</i> 10mm.....	56

Gambar 4. 66 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	57
Gambar 4. 67 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	57
Gambar 4. 68 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	57
Gambar 4. 69 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	57
Gambar 4. 70 Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	58
Gambar 4. 71 3D Defleksi <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	58
Gambar 4. 72 Grafik Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 12 mm	58
Gambar 4. 73 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	58
Gambar 4. 74 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	58
Gambar 4. 75 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	59
Gambar 4. 76 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	59
Gambar 4. 77 3D Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	59
Gambar 4. 78 Defleksi <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	59
Gambar 4. 79 Grafik Defleksi <i>Laminated Glass</i> 12mm.....	59
Gambar 4. 80 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	60
Gambar 4. 81 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	60
Gambar 4. 82 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	60
Gambar 4. 83 3D Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	60
Gambar 4. 84 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	60
Gambar 4. 85 Defleksi <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	60
Gambar 4. 86 Grafik Defleksi <i>Insulated Glass</i> 12mm.....	61
Gambar 4. 87 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	62
Gambar 4. 88 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	62
Gambar 4. 89 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	63
Gambar 4. 90 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	63
Gambar 4. 91 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	63

Gambar 4. 92 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	63
Gambar 4. 93 Grafik Stress <i>Monolithhc Glass 5mm</i>	64
Gambar 4. 94 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	64
Gambar 4. 95 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	64
Gambar 4. 96 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	64
Gambar 4. 97 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	64
Gambar 4. 98 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	65
Gambar 4. 99 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	65
Gambar 4. 100 Grafik Stress <i>Laminated Glass 5mm</i>	65
Gambar 4. 101 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	66
Gambar 4. 102 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	66
Gambar 4. 103 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	66
Gambar 4. 104 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	66
Gambar 4. 105 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	66
Gambar 4. 106 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	66
Gambar 4. 107 Grafik Stress <i>Insulated Glass 5mm</i>	67
Gambar 4. 108 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	68
Gambar 4. 109 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	68
Gambar 4. 110 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	68
Gambar 4. 111 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	68
Gambar 4. 112 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	68
Gambar 4. 113 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	68
Gambar 4. 114 Grafik Stress <i>Monolithic Glass 6 mm</i>	69
Gambar 4. 115 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	69
Gambar 4. 116 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	69
Gambar 4. 117 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	70

Gambar 4. 118 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	70
Gambar 4. 119 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	70
Gambar 4. 120 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	70
Gambar 4. 121 Grafik Stress <i>Laminated Glass</i> 6mm.....	71
Gambar 4. 122 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	71
Gambar 4. 123 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	71
Gambar 4. 124 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	71
Gambar 4. 125 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	71
Gambar 4. 126 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	72
Gambar 4. 127 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	72
Gambar 4. 128 Grafik Stress <i>Insulated Glass</i> 6mm	72
Gambar 4. 129 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	73
Gambar 4. 130 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT	73
Gambar 4. 131 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	73
Gambar 4. 132 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT	73
Gambar 4. 133 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	74
Gambar 4. 134 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT	74
Gambar 4. 135 Grafik Stress <i>Monolithic Glass</i> 10mm	74
Gambar 4. 136 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	75
Gambar 4. 137 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT	75
Gambar 4. 138 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	75
Gambar 4. 139 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT	75
Gambar 4. 140 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	75
Gambar 4. 141 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT	75
Gambar 4. 142 Grafik Stress <i>Laminated Glass</i> 10mm.....	76
Gambar 4. 143 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	76

Gambar 4. 144 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	76
Gambar 4. 145 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	77
Gambar 4. 146 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	77
Gambar 4. 147 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	77
Gambar 4. 148 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	77
Gambar 4. 149 Grafik Stress <i>Insulated Glass</i> 10mm.....	78
Gambar 4. 150 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	78
Gambar 4. 151 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	78
Gambar 4. 152 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	79
Gambar 4. 153 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	79
Gambar 4. 154 3D Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	79
Gambar 4. 155 Stress <i>Monolithic Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	79
Gambar 4. 156 Grafik Stress <i>Monolithic Glass</i> 12mm.....	80
Gambar 4. 157 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	80
Gambar 4. 158 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	80
Gambar 4. 159 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	80
Gambar 4. 160 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	80
Gambar 4. 161 3D Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	81
Gambar 4. 162 Stress <i>Laminated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	81
Gambar 4. 163 Grafik Stress <i>Laminated Glass</i> 12mm.....	81
Gambar 4. 164 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	82
Gambar 4. 165 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 5kg TNT.....	82
Gambar 4. 166 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	82
Gambar 4. 167 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 10kg TNT.....	82
Gambar 4. 168 3D Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	82
Gambar 4. 169 Stress <i>Insulated Glass Blast Load</i> 20kg TNT.....	82

Gambar 4. 170 Grafik Stress <i>Insulated Glass</i> 12mm.....	83
Gambar 4. 171 Grafik Perbandingan Nilai Defleksi <i>Monolithic Glass</i>	84
Gambar 4. 172 Grafik Perbandingan Nilai Defleksi <i>Laminated Glass</i>	85
Gambar 4. 173 Grafik Perbandingan Nilai Defleksi <i>Insulated Glass</i>	86
Gambar 4. 174 Grafik Perbandingan Nilai Stress <i>Monolithic Glass</i>	88
Gambar 4. 175 Grafik Perbandingan Nilai Stress <i>Laminated Glass</i>	89
Gambar 4. 176 Grafik Perbandingan Nilai Stress <i>Insulated Glass</i>	90

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Material dan Geometri.....	30
Tabel 3. 2 Spesifikasi Kaca (SNI ISO 20492-2:2014).....	38
Tabel 3. 3 Sifat Mekanik Bahan	38
Tabel 4. 1 Spesifikasi Ukuran Kaca.....	39
Tabel 4. 2 Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 5mm.....	42
Tabel 4. 3 Defleksi <i>Laminated Glass</i> 5mm	44
Tabel 4. 4 Defleksi <i>Insulated Glass</i> 5mm.....	46
Tabel 4. 5 Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 6mm.....	48
Tabel 4. 6 Defleksi <i>Laminated Glass</i> 6mm	49
Tabel 4. 7 Defleksi <i>Insulated Glass</i> 6mm.....	51
Tabel 4. 8 Defleksi <i>Monolithic Glass</i> 10mm.....	53
Tabel 4. 9 Defleksi <i>Laminated Glass</i> 10mm	55
Tabel 4. 10 Defleksi <i>Insulated Glass</i> 10mm.....	56
Tabel 4. 11 Defleksi <i>Insulated Glass</i> 12mm.....	58
Tabel 4. 12 Defleksi <i>Laminated Glass</i> 12mm	59
Tabel 4. 13 Defleksi <i>Insulated Glass</i> 12mm.....	61
Tabel 4. 14 Stress <i>Monolithic Glass</i> 5mm.....	63
Tabel 4. 15 Stress <i>Laminated Glass</i> 5mm	65
Tabel 4. 16 Stress <i>Insulated Glass</i> 5mm.....	67
Tabel 4. 17 Stress <i>Monolithic Glass</i> 6mm.....	69
Tabel 4. 18 Stress <i>Laminated Glass</i> 6mm	70
Tabel 4. 19 Stress <i>Insulated Glass</i> 6mm.....	72
Tabel 4. 20 Stress <i>Monolithic Glass</i> 10mm.....	74
Tabel 4. 21 Stress <i>Laminated Glass</i> 10mm	76
Tabel 4. 22 Stress <i>Insulated Glass</i> 10mm.....	77

Tabel 4. 23 Stress <i>Monolithic Glass</i> 12mm.....	79
Tabel 4. 24 Stress <i>Laminated Glass</i> 12mm	81
Tabel 4. 25 Stress <i>Insulated Glass</i> 12mm.....	83
Tabel 4. 26 Perbandingan Nilai Defleksi.....	84
Tabel 4. 27 Perbandingan Nilai Defleksi.....	85
Tabel 4. 28 Perbandingan Nilai Defleksi.....	86
Tabel 4. 29 Tabel Stress	88
Tabel 4. 30 Tabel Stress	89
Tabel 4. 31 Tabel Stress	90