

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA SEISMIC GEDUNG PADA
KONDISI TANAH LUNAK MENGGUNAKAN
ANALISIS RIWAYAT WAKTU BERBASIS
PENYESUAIAN SPEKTRAL: STUDI KASUS GEDUNG
BKD PROVINSI JAWA TIMUR
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF
BUILDING ON SOFT SOIL CONDITION USING TIME
HISTORY ANALYSIS BASED ON SPECTRAL
MATCHING: CASE STUDY OF EAST JAVA BKD
BUILDING*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Fanza Dwinandaty Reynata Nugraha

22511151

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI KINERJA SEISMIC GEDUNG PADA
KONDISI TANAH LUNAK MENGGUNAKAN
ANALISIS RIWAYAT WAKTU BERBASIS
PENYESUAIAN SPEKTRAL: STUDI KASUS GEDUNG
BKD PROVINSI JAWA TIMUR
(*SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF
BUILDING ON SOFT SOIL CONDITION USING TIME
HISTORY ANALYSIS BASED ON SPECTRAL
MATCHING: CASE STUDY OF EAST JAVA BKD
BUILDING*)**

Disusun oleh:

Fanza Dwinandatyan Reynata Nugraha
22511151

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 06 Juli 2026
Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing

 24.07.26
Astriana Hurdawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

 27/7/2026.
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304

 24/07 2026.
Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111305

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil

 29/7-26
Dinia Anggraeni, S.T., M.Eng.
NIK: 165110105

“And it wasn’t social intelligence. It wasn’t good looks, physical health, and it wasn’t I.Q. It was grit”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan penuh tanggung jawab, saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini saya susun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya asli dan mandiri yang saya kerjakan sendiri.

Segala bentuk kutipan atau referensi yang berasal dari karya pihak lain telah dicantumkan secara lengkap dan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi dari laporan ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri, atau terdapat unsur plagiarisme, saya siap menerima segala konsekuensi dan sanksi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik, sesuai dengan ketentuan hukum dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,


Fanzza Dwinandatyan R.N
(22511151)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Gedung pada Kondisi Tanah Lunak Menggunakan Analisis Riwayat Waktu Berbasis Penyesuaian Spektral: Studi Kasus Gedung BKD Provinsi Jawa Timur. Penyusunan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini saya sebagai penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng, selaku Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil FTSP UII.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan teknis yang mendalam selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Provinsi Jawa Timur, selaku instansi penyedia data yang telah memberikan izin serta memfasilitasi data teknis eksisting bangunan guna kelancaran dan keberhasilan penelitian.
4. Kedua orang tua tercinta, Bapak Adji Nugroho dan Ibu Tunik Ismiyatun, serta kakak saya, Fabella Finandatyan Nugrahenny, beserta segenap keluarga besar yang senantiasa memberikan doa tulus, kasih sayang, dan dukungan moril maupun materil yang tak terhingga.
5. Kakak saya, Satria Devi Kurniawan, S.STP, terima kasih atas segala doa, semangat, serta bantuan tulus yang diberikan, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Marfa Lena Sangkala, yang telah dengan penuh kesabaran menemani, memberikan dukungan moral yang luar biasa, serta senantiasa menjadi tempat

bertukar pikiran dan pemberi semangat terbaik di setiap tahap proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga akhirnya dapat terselesaikan dengan baik.

7. Kepada Jea, Zaky “Aceh”, Putra, Faris, Alfi, Abid, Farel, Galih, Bagas “Rambo”, Dani “Arap”, Nandar, Andra, Fuad, Rufiko, Daffa “Otong”, Aldo, Ilham “Ijat”, Taraka, Pranandhito, Rahardhian, Ilsha, Retra, Bang Rafi, Bang Sadim dan Almarhum Kuways, terima kasih telah menjadi bagian terbaik dalam hidup penulis. Terima kasih karena sudah mengisi kehidupan penulis dengan begitu banyak arti, yang membuat segalanya terasa lebih hidup. Sebelum disibukkan dengan urusan masing-masing, sebagai seorang teman, penulis ingin menyampaikan satu pesan: *“Our death will come on an ordinary day, in the middle of unfinished plans, and the world will continue without you. So, live a little”* Terima kasih telah menjadi sahabat sekaligus keluarga kedua yang begitu tulus.
8. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil UII, serta semua pihak yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman Penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang.

Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif dan menjadi referensi yang bermanfaat bagi pembaca maupun pihak yang berkepentingan.

Yogyakarta, ^{20 Juli}..... 2026

Penulis,



Vanzza Dwinandatyan R.N

22511151

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Keaslian Penelitian	19
BAB III LANDASAN TEORI	21
3.1 Tinjauan Umum dan Kriteria Desain Struktur	21
3.1.1 Kategori Risiko Bangunan	21
3.1.2 Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)	24
3.1.3 Sistem Struktur Pemikul Momen	25

3.1.4	Material Struktur Beton Bertulang	26
3.1.5	Pembebanan Struktur	27
3.1.6	Kombinasi Pembebanan	28
3.2	Karakteristik Seismik dan Target Spektrum Respons	29
3.2.1	Seismisitas dan Peta Gempa	29
3.2.2	Klasifikasi Situs Tanah	32
3.2.3	Parameter Percepatan Gempa Desain	33
3.2.4	Spektrum Respons Desain	36
3.2.5	Kategori Desain Seismik	37
3.3	Dinamika Struktur dan Analisis Riwayat Waktu	40
3.3.1	Persamaan Gerak Struktur	40
3.3.2	Analisis Riwayat Waktu	41
3.3.3	Periode Getar	43
3.3.4	Partisipasi Massa	44
3.3.5	Teori Redaman	45
3.3.6	Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	46
3.4	Penyesuaian Spektral	48
3.4.2	Kriteria Seleksi Gerakan Tanah Dasar	50
3.4.3	Persyaratan Validasi Spektrum Respons	51
3.5	Evaluasi Kinerja Seismik	52
3.5.1	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	52
3.5.3	Simpangan Antar Lantai	53
3.5.4	Efek P-Delta	55
3.5.5	Level Kinerja Struktur	56
BAB IV METODE PENELITIAN		58

4.1	Umum	58
4.2	Lokasi Penelitian	58
4.3	Data Penelitian	59
4.3.1	Deskripsi Umum Objek Penelitian	59
4.3.2	Data Material Struktur	63
4.3.3	Data Kondisi Tanah	64
4.3.4	Data Respons Spektrum Target	64
4.4	Alat Bantu Penelitian	65
4.4.1	Perangkat Lunak Analisis Struktur	65
4.4.2	Perangkat Lunak Penyesuaian Spektral	65
4.4.3	Basis Data Gerakan Tanah	66
4.5	Variabel Penelitian	66
4.5.1	Variabel Bebas	66
4.5.2	Variabel Terikat	67
4.6	Metode Pemodelan Struktur	67
4.6.1	Geometri dan Elemen	68
4.6.2	Definisi Massa	72
4.6.3	Rasio Redaman	73
4.7	Tahapan Penelitian	74
4.7.1	Pemilihan Gerakan Tanah	74
4.7.2	Penyesuaian Spektral	75
4.7.3	Analisis Riwayat Waktu	76
4.7.4	Kriteria Evaluasi	76
4.8	Diagram Alir Penelitian	78
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		79

5.1	Konfigurasi dan Geometri Struktur	79
5.1.1	Konfigurasi Denah dan Geometri Tingkat	79
5.1.2	Dimensi Penampang Elemen Struktur	81
5.1.3	Properti Material Struktur	82
5.2	Asumsi Pemodelan Struktur	83
5.3	Penentuan Kelas Situs	85
5.4	Pembebanan Struktur	86
5.4.1	Pembebanan Gravitasi	86
5.4.2	Pembebanan Lateral Gempa	88
5.4.3	Kombinasi Pembebanan	90
5.5	Analisis Dinamis Struktur	91
5.5.1	Periode Getar Alami	91
5.5.2	Partisipasi Massa	92
5.5.3	Verifikasi Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	93
5.6	Seleksi dan Penyesuaian Spektral <i>Ground Motion</i>	94
5.6.1	Kriteria Pemilihan Rekaman Gempa	94
5.6.2	Penyesuaian Spektral	96
5.6.3	Validasi Hasil Penyesuaian Spektral	106
5.6	Analisis Riwayat Waktu Linear	114
5.6.1	Parameter <i>Ground Motion</i>	114
5.6.2	Validasi Gaya Geser Dasar	115
5.7	Evaluasi Kinerja Seismik	119
5.7.1	Simpangan Antar Lantai (<i>Story Drift</i>)	119
5.7.2	Efek P-Delta	128
5.7.3	Level Kinerja Struktur	137

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	144
6.1 Kesimpulan	144
6.2 Saran	146
DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Peta Tektonik Indonesia	30
Gambar 3.2 Parameter gerak tanah (S_1)	31
Gambar 3.3 Parameter gerak tanah (S_s)	32
Gambar 3.4 Spektrum Respons Desain	37
Gambar 3.5 Model Struktur Lumped Mass MDOF	41
Gambar 3.6 Acceleration Time History Graph of 1957 San Francisco	42
Gambar 3.7 Perbandingan Spektrum Respons Penyesuaian Spektral	49
Gambar 3.8 Ilustrasi Visual Level Kinerja Seismik	57
Gambar 4.1 Peta Lokasi Gedung BKD Provinsi Jawa Timur	59
Gambar 4.2 Denah Lantai 1	60
Gambar 4.3 Denah Lantai 2	60
Gambar 4.4 Denah Lantai 3	61
Gambar 4.5 Denah Lantai 4	61
Gambar 4.6 Denah Lantai 5	62
Gambar 4.7 Potongan A-A	62
Gambar 4.8 Potongan C-C	63
Gambar 4.9 Definisi Properti Material Beton (E_c)	68
Gambar 4.10 Definisi Parameter Desain Kuat Tekan Beton (f'_c)	68
Gambar 4.11 Definisi Properti Material Baja Tulangan	69
Gambar 4.12 Definisi Parameter Desain Baja Tulangan	69
Gambar 4.13 Definisi Properti Geometri Penampang Balok (B_1)	70
Gambar 4.14 Input Faktor Pengaruh Retak Penampang pada Balok	70
Gambar 4.15 Definisi Properti Geometri Penampang Kolom (K_1)	70
Gambar 4.16 Input Faktor Pengaruh Retak Penampang pada Kolom	71
Gambar 4.17 Pemodelan Struktur Gedung	71
Gambar 4.18 Pemodelan Tumpuan Jepit	72
Gambar 4.19 Definisi Sumber Massa (Mass Source)	73
Gambar 4.20 Pengaturan Constant Modal Damping 5%	74

Gambar 4.21 Diagram Alir Penelitian	78
Gambar 5.1 Pemodelan Story 1 Elv. +4150 mm	79
Gambar 5.2 Grafik Respons Spektrum Surabaya Tanah Lunak	89
Gambar 5.3 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	97
Gambar 5.4 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	98
Gambar 5.5 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	98
Gambar 5.6 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	98
Gambar 5.7 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	99
Gambar 5.8 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	99
Gambar 5.9 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	99
Gambar 5.10 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	100
Gambar 5.11 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	100
Gambar 5.12 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	100
Gambar 5.13 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	101
Gambar 5.14 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	101
Gambar 5.15 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	101
Gambar 5.16 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	102
Gambar 5.17 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	102
Gambar 5.18 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	102
Gambar 5.19 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	103
Gambar 5.20 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	103
Gambar 5.21 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	103
Gambar 5.22 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	104
Gambar 5.23 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	104
Gambar 5.24 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	104
Gambar 5.25 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	105
Gambar 5.26 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	105
Gambar 5.27 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	105
Gambar 5.28 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	106
Gambar 5.29 Grafik Percepatan Gerak Tanah Unmatched	106
Gambar 5.30 Grafik Percepatan Gerak Tanah Matched	106

Gambar 5.31 Grafik Spektrum Target dan Hokkaido Matched	107
Gambar 5.32 Grafik Spektrum Target dan Loma Prieta Matched	107
Gambar 5.33 Grafik Spektrum Target dan Morgan Hill Matched	108
Gambar 5.34 Grafik Spektrum Target dan Chi-Chi Matched	108
Gambar 5.35 Grafik Spektrum Target dan Duzce Matched	109
Gambar 5.36 Grafik Spektrum Target dan Tokachi Oki Matched	109
Gambar 5.37 Grafik Spektrum Target dan Michoacan Matched	110
Gambar 5.38 Perbandingan Spektrum Respons 14 Komponen Rekaman Gempa Terhadap Spektrum Target pada Rentang Periode Validasi	111
Gambar 5.39 Verifikasi Pencocokan Spektral 14 Komponen Rekaman Gempa pada Rentang Periode 0,133–1,144 Detik dengan Batas Toleransi $\pm 10\%$ Spektrum Target	112
Gambar 5.40 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Hokkaido	125
Gambar 5.41 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Loma Prieta	125
Gambar 5.42 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Morgan Hill	126
Gambar 5.43 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Chi-Chi	126
Gambar 5.44 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Duzce	127
Gambar 5.45 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Tokachi Oki	127
Gambar 5.46 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Michoacan	128
Gambar 5. 47 Grafik Simpangan Antar Lantai Rata-Rata	128

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Gempa	21
Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 3.3 Klasifikasi Situs	32
Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a	34
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v	34
Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik pada Periode Pendek	38
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik pada Periode 1 Detik	38
Tabel 3.8 Batas Izin Simpangan Antar Lantai	57
Tabel 5.1 Elevasi Struktur Gedung	80
Tabel 5.2 Dimensi Penampang Kolom	81
Tabel 5.3 Dimensi Penampang Balok	81
Tabel 5.4 Dimensi Penampang Dinding Geser	82
Tabel 5.5 Dimensi Penampang Pelat	82
Tabel 5.6 Beban Mati Tambahan Atap	83
Tabel 5.7 Faktor Reduksi Kekakuan	84
Tabel 5.8 Data N-SPT Tanah	85
Tabel 5.9 Rekapitulasi Beban Mati	86
Tabel 5.10 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan	87
Tabel 5.11 Rekapitulasi Beban Hidup	88
Tabel 5.12 Parameter Respons Spektrum Desain	89
Tabel 5.13 Rekapitulasi Periode Getar Struktur	92
Tabel 5.14 Rekapitulasi Partisipasi Massa Modal	92
Tabel 5.15 Hasil Deagregasi Bahaya Gempa	95
Tabel 5. 16 Rekaman Gempa Terpilih	96
Tabel 5.17 Rekapitulasi Rasio Spektrum pada Rentang Periode Validasi	113
Tabel 5.18 Rekapitulasi Karakteristik Rekaman Gempa	115
Tabel 5.19 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar dan Scale Factor	119
Tabel 5.20 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Hokkaido	120

Tabel 5.21 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Loma Prieta	121
Tabel 5.22 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Morgan Hill	121
Tabel 5.23 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Chi-Chi	122
Tabel 5.24 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Duzce	122
Tabel 5.25 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Tokachi Oki	123
Tabel 5.26 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Michoacan	123
Tabel 5.27 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Rata-Rata	124
Tabel 5.28 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Hokkaido	130
Tabel 5.29 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Loma Prieta	131
Tabel 5.30 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Morgan Hill	132
Tabel 5.31 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Chi-Chi	133
Tabel 5.32 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Duzce	134
Tabel 5.33 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Tokachi Oki	135
Tabel 5.34 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Michoacan	136
Tabel 5.35 Rekapitulasi Efek P-Delta Rata-Rata	137
Tabel 5.36 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Hokkaido	138
Tabel 5.37 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Loma Prieta	138
Tabel 5.38 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Morgan Hill	139
Tabel 5.39 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Chi-Chi	139
Tabel 5.40 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Duzce	140
Tabel 5.41 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Tokachi Oki	140
Tabel 5.42 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Michoacan	141
Tabel 5.43 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Rata-Rata	142

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Spesifikasi Material	151
Lampiran 2 Data Tanah Hasil Uji Bore Log	152
Lampiran 3 Titik Lokasi Pengujian Tanah	153
Lampiran 4 Detailed Engineering Drawing	154

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a_0	= Koefisien proporsional massa pada redaman Reyleigh
a_1	= Koefisien proporsional kekakuan pada redaman Reyleigh
$a_{mod}(t)$	= Percepatan tanah hasil modifikasi
$a_{org}(t)$	= Percepatan tanah asli
ASCE	= <i>American Society of Civil Engineers</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Materials</i>
β	= Parameter integrasi Newmark
BJTP	= Baja Tulangan Polos
BJTS	= Baja Tulangan Sirip
BKD	= Badan Kepegawaian Daerah
$[C]$	= Matriks redaman struktur
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
C_s	= Koefisien respons seismik
CSI	= <i>Computers and Structures, Inc</i>
D	= Beban mati
DL	= Beban mati
Δt	= <i>Time step</i>
E_c	= Modulus elastisitas beton
E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan
ETABS	= <i>Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems</i>
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek
FEMA	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
$f_i(t)$	= Fungsi wavelet penyesuaian
f'_c	= Kuat tekan beton
f_u	= Kuat tarik baja tulangan
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang
f_y	= Tegangan leleh baja tulangan

γ	= Parameter integrasi Newmark
g	= Percepatan gravitasi
I_e	= Faktor keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
ι	= Vektor pengaruh gempa
$[K]$	= Matriks kekakuan struktur
KDS	= Kategori Desain Seismik
L	= Beban hidup
LL	= Beban hidup
LRFD	= <i>Load and Resistance Factor Design</i>
LS	= <i>Life Safety</i>
$[M]$	= Matriks massa struktur
MCE_R	= <i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
MDOF	= <i>Multi-Degree of Freedom</i>
$\sum M_{nb}$	= Kuat lentur nominal balok
$\sum M_{nc}$	= Kuat lentur nominal kolom
M_w	= Magnitudo momen
N_{avg}	= Nilai NSPT rata-rata
NIST	= <i>National Institute of Standards and Technology</i>
LTHA	= <i>Linear Time History Analysis</i>
N-SPT	= Nilai Standard Penetration Test
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
R	= Jarak sumber gempa
R_{jb}	= Jarak Joyner-Boore
R_{up}	= Jarak terdekat ke bidang patahan
S_1	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_a	= Parameter percepatan respons spektral
SCWB	= <i>Strong Column Weak Beam</i>

SDOF	= <i>Single-Degree of Freedom</i>
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral desain untuk periode 1 detik
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral desain untuk periode pendek
SE	= Kelas situs tanah lunak
SIDL	= <i>Superimposed Dead Load</i>
S_{M1}	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah untuk periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah untuk periode pendek
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	= <i>Square Root of Sum of Squares</i>
S_S	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
T	= Periode getar fundamental struktur
T_0	= Periode kontrol batas bawah spektrum desain
T_L	= Periode transisi panjang spektrum respons
T_{maks}	= Periode ragam pertama terbesar
T_{min}	= Periode ragam pertama terkecil
T_s	= Periode kontrol batas atas spektrum desain
$\{\ddot{u}(t)\}$	= Vektor percepatan relatif struktur
$\{\dot{u}(t)\}$	= Vektor kecepatan relatif struktur
$\{u(t)\}$	= Vektor perpindahan relatif struktur
$\ddot{u}_g(t)$	= Percepatan tanah akibat gempa
V	= Gaya geser dasar statik total
V_{s30}	= Kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 meter
V_t	= Gaya geser dasar hasil analisis dinamik
W	= Berat seismik efektif total bangunan

ω_i	= Frekuensi sudut alami ragam ke- i (rad/detik)
ω_j	= Frekuensi sudut alami ragam ke- j (rad/detik)
ξ	= Rasio redaman
ρ	= Faktor redundansi struktur

ABSTRAK

Gedung Kantor Badan Kepegawaian Daerah (BKD) Provinsi Jawa Timur merupakan struktur beton bertulang 5 lantai yang berlokasi di Surabaya. Wilayah ini memiliki tingkat seismisitas tinggi dikarenakan kondisi tanah lunak (Kelas Situs SE) yang mendominasi kawasan tersebut berpotensi mengamplifikasi respons struktur terhadap beban gempa. Oleh karena itu, evaluasi kinerja seismik terhadap gedung eksisting ini menjadi penting untuk memastikan struktur memenuhi persyaratan keselamatan sesuai standar yang berlaku.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik gedung eksisting menggunakan metode *Linear Time History Analysis* (LTHA) berdasarkan SNI 1726:2019 dan FEMA 356. Pemilihan sumber gempa dilakukan berdasarkan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia tahun 2022 untuk menentukan karakteristik magnitudo dan jarak sumber gempa dominan pada wilayah kajian. Berdasarkan hasil deagregasi tersebut, tujuh rekaman gempa dari CESMD dipilih dan dimodifikasi menggunakan *spectral matching* melalui SeismoMatch, kemudian diaplikasikan pada model struktur 3D menggunakan ETABS.

Evaluasi mencakup validasi gaya geser dasar, simpangan antar lantai, P-Delta, dan penentuan level kinerja seismik. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh faktor skala gaya geser dasar memenuhi syarat $\eta \geq 1,0$. Simpangan antar lantai rata-rata terbesar terjadi pada lantai 5 arah X sebesar 0,01578, masih di bawah batas izin 0,02. Koefisien stabilitas P-Delta rata-rata tertinggi sebesar 0,02691 pada lantai 2 arah X, jauh di bawah batas $\theta = 0,10$, sehingga efek P-Delta dapat diabaikan. Level kinerja seismik struktur secara keseluruhan ditetapkan sebagai *Life Safety* (LS), dengan lantai 1–2 mencapai *Immediate Occupancy* (IO) dan lantai 3–5 pada kategori *Life Safety* (LS). Struktur dinyatakan aman dan memenuhi seluruh persyaratan evaluasi kinerja seismik yang ditinjau.

Kata kunci: *linear time history analysis*, kinerja seismik, SNI 1726:2019, FEMA 356, *spectral matching*, simpangan antar lantai, P-Delta

ABSTRACT

The Office Building of the Regional Civil Service Agency (BKD) of East Java Province is a 5-story reinforced concrete structure located in Surabaya. This region has a high seismicity level due to the dominance of soft soil (Site Class SE), which may amplify the structural response to seismic loads. Therefore, a seismic performance evaluation of this existing building is essential to ensure it meets the required safety standards.

This study evaluates the seismic performance of the existing building using Linear Time History Analysis (LTHA) based on SNI 1726:2019 and FEMA 356. Ground motion sources were selected based on the 2022 Indonesian Seismic Hazard Deaggregation Map to determine the dominant magnitude and source-to-site distance for the study area. Based on these results, seven ground motion records from CESMD were selected and modified using spectral matching through SeismoMatch, then applied to the 3D structural model in ETABS.

The evaluation covered base shear validation, inter-story drift, P-Delta, and seismic performance level determination. All base shear scale factors satisfied the $\eta \geq 1.0$. The largest average inter-story drift, 0.01578, occurred at story 5 in the X-direction, below the allowable limit of 0.02. The highest average P-Delta stability coefficient, 0.02691, at story 2 in the X-direction remained well below the $\theta = 0.10$ threshold; P-Delta effects were negligible. The overall seismic performance level was classified as Life Safety (LS), with stories 1-2 reaching Immediate Occupancy (IO) and stories 3-5 falling within Life Safety (LS). The structure satisfies all seismic performance criteria evaluated.

Keywords: *linear time history analysis, seismic performance, SNI 1726:2019, FEMA 356, spectral matching, inter-story drift, P-Delta*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia secara geografis terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Natawidjaja, 2018). Kondisi ini menyebabkan wilayah Indonesia memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Gempa bumi terjadi akibat pelepasan energi regangan secara tiba-tiba yang menyebabkan pergerakan tanah dasar (Chopra, 2017). Dalam perencanaan bangunan di wilayah rawan gempa, struktur tidak hanya dituntut untuk mampu memikul beban vertikal, tetapi juga harus memiliki kinerja yang baik dalam merespons beban gempa untuk mencegah kegagalan struktur (SNI 1726:2019).

Kota Surabaya merupakan salah satu wilayah yang memerlukan tinjauan lebih lanjut dalam perencanaan struktur tahan gempa. Berdasarkan data penyelidikan tanah pada lokasi studi kasus, kondisi tanah diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SE (Tanah Lunak) (SNI 1726:2019). Karakteristik tanah lunak ini mempengaruhi perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan, yang berpotensi menyebabkan amplifikasi gelombang (Kramer, 1996). Oleh karena itu, evaluasi terhadap kinerja struktur gedung bertingkat di lokasi ini menjadi sangat krusial.

Objek studi dalam penelitian ini adalah Gedung Kantor Badan Kepegawaian Daerah (BKD) Provinsi Jawa Timur, sebuah struktur beton bertulang 5 lantai yang berfungsi sebagai fasilitas perkantoran pemerintah. Dikarenakan fungsinya yang penting, evaluasi kinerja seismik perlu dilakukan untuk memastikan keamanan struktur menggunakan standar perencanaan terbaru, yaitu SNI 1726:2019.

Pemilihan rekaman gempa yang tepat menjadi tahapan penting sebelum proses penyesuaian spektral dilakukan. SNI 1726:2019 mensyaratkan agar rekaman gempa yang digunakan memiliki kesesuaian karakteristik seismotektonik dengan kondisi kegempaan pada lokasi studi, meliputi kesesuaian mekanisme sumber

gempa (*source mechanism*), rentang magnitudo, serta jarak episenter terhadap lokasi tinjauan (SNI 1726:2019).

Wilayah Surabaya memiliki potensi sumber gempa yang beragam, meliputi gempa kerak dangkal (*shallow crustal*), gempa benioff (*intraslab*), dan gempa megathrust (subduksi) (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017), sehingga pemilihan rekaman gempa perlu mempertimbangkan ketiga jenis sumber tersebut agar hasil analisis riwayat waktu dapat merepresentasikan potensi bahaya gempa secara komprehensif.

Penelitian ini menggunakan tujuh rekaman gempa sebagai input analisis riwayat waktu, mengacu pada rekomendasi NIST GCR 11-917-15 yang menyatakan bahwa penggunaan minimal tujuh pasang rekaman gempa memungkinkan hasil respons struktur diambil dari nilai rata-rata (*mean*) seluruh rekaman, alih-alih menggunakan nilai maksimum sebagaimana disyaratkan apabila jumlah rekaman kurang dari tujuh, sehingga pendekatan ini dinilai lebih representatif karena mengakomodasi variasi karakteristik rekaman gempa tanpa menghasilkan respons yang terlalu konservatif (NIST, 2011). Rekaman gempa yang memenuhi kriteria tersebut diperoleh dari basis data gempa *Center for Engineering Strong Motion Data* (CESMD).

Evaluasi kinerja struktur yang akurat pada kondisi gempa kuat memerlukan pendekatan Dinamika Struktur melalui metode Analisis Riwayat Waktu Linear (*Linear Time History Analysis*). Metode ini dinilai lebih representatif dibandingkan analisis statik (Chopra, 2017). Namun, tantangan utama dalam metode ini adalah ketersediaan data rekaman gempa yang sesuai dengan target spektrum desain di lokasi tinjauan. Rekaman gempa asli dari basis data historis jarang memiliki spektrum respons yang sama persis dengan target spektrum desain SNI (Hancock, dkk., 2006).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan metode Penyesuaian Spektral. Metode ini bertujuan memodifikasi rekaman percepatan tanah sehingga spektrum responsnya memiliki kesesuaian tinggi dengan spektrum target desain, tanpa mengubah karakteristik non-stationary dari rekaman aslinya (Hancock, dkk., 2006; Al Atik dan Abrahamson, 2010). Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini

disusun dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Gedung pada Kondisi Tanah Lunak Menggunakan Analisis Riwayat Waktu Berbasis Penyesuaian Spektral: Studi Kasus Gedung BKD Provinsi Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik respons spektral dari tujuh rekaman gerakan tanah (*ground motion*) yang telah dimodifikasi menggunakan metode *spectral matching* terhadap target spektrum desain SNI 1726:2019 untuk wilayah Surabaya pada Kelas Situs SE?
2. Bagaimana respons global struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur ditinjau dari gaya geser dasar (*base shear*) hasil analisis riwayat waktu, dan apakah telah memenuhi persyaratan skala minimum sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2?
3. Bagaimana kinerja elemen struktur ditinjau dari simpangan antar lantai (*story drift*) akibat beban gempa riwayat waktu, serta apakah telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019?
4. Bagaimana pengaruh efek P-Delta terhadap stabilitas struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur, dan apakah nilai koefisien stabilitas memenuhi batas yang disyaratkan SNI 1726:2019?
5. Bagaimana level kinerja seismik struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur berdasarkan kriteria penerimaan *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), atau *Collapse Prevention* (CP) mengacu pada FEMA 356?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan rekaman gerakan tanah (*matched accelerograms*) yang representatif dan sesuai dengan target respons spektrum desain SNI 1726:2019 untuk Kota Surabaya pada Kelas Situs SE melalui proses *spectral matching* menggunakan SeismoMatch.

2. Mengevaluasi dan memvalidasi gaya geser dasar (*base shear*) hasil analisis riwayat waktu terhadap gaya geser dasar statik ekuivalen sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2.
3. Mengevaluasi kinerja elemen struktur melalui perhitungan nilai simpangan antar lantai aktual, serta memeriksa pemenuhan persyaratan batas yang ditetapkan SNI 1726:2019.
4. Menganalisis pengaruh efek P-Delta terhadap stabilitas struktur dengan menghitung nilai koefisien stabilitas (θ) pada setiap lantai dan memeriksa pemenuhannya terhadap batas yang disyaratkan SNI 1726:2019.
5. Menentukan level kinerja seismik (*seismic performance level*) Gedung BKD Provinsi Jawa Timur berdasarkan batasan simpangan antar lantai mengacu pada pedoman FEMA 356.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis

Memberikan referensi akademis mengenai penerapan metode *Spectral Matching* dalam penyusunan input beban gempa untuk analisis *Non-Linear Time History* pada gedung bertingkat di wilayah tanah lunak.

2. Manfaat Praktis

Memberikan gambaran nyata mengenai tingkat keamanan dan kinerja struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur terhadap beban gempa rencana, yang dapat digunakan sebagai acuan mitigasi risiko.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian adalah Gedung Kantor Badan Kepegawaian Daerah Provinsi Jawa Timur, struktur beton bertulang 5 lantai yang berlokasi di Surabaya.

2. Peraturan yang digunakan sebagai acuan utama adalah SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020. Kriteria evaluasi kinerja menggunakan standar FEMA 356.
3. Analisis struktur menggunakan metode Analisis Riwayat Waktu Linear (*Linear Time History Analysis*) dengan bantuan perangkat lunak CSI ETABS.
4. Kondisi tanah dikategorikan sebagai Kelas Situs SE (Tanah Lunak) berdasarkan data penyelidikan tanah.
5. Input beban gempa menggunakan 7 pasang rekaman gerakan tanah (*ground motion*) yang diperoleh dari CESMD (*Center for Engineering Strong-Motion Data*) dan dimodifikasi menggunakan metode *Spectral Matching* dengan perangkat lunak SeismoMatch.
6. Tumpuan pada dasar struktur dimodelkan sebagai jepit sempurna (*fixed base*) dan analisis difokuskan pada struktur atas (*upper structure*). Interaksi tanah-struktur (*Soil-Structure Interaction*) dan evaluasi kapasitas pondasi tidak diperhitungkan.
7. Penelitian ini terbatas pada evaluasi kinerja struktur gedung kondisi eksisting (*as-built*) dan tidak mencakup perencanaan perkuatan (*retrofitting*).
8. Elemen atap dan tangga tidak dimodelkan dalam analisis struktur, serta kolom yang berbentuk irregular dianggap berbentuk regular dengan dimensi sama.
9. Analisis hanya memperhitungkan beban gempa dan beban gravitasi, dan tidak mencakup beban angin maupun beban dinamis lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Studi mengenai evaluasi kinerja seismik gedung menggunakan analisis riwayat waktu berbasis penyesuaian spektral telah banyak dilakukan. Tinjauan pustaka pada penelitian ini mencakup beberapa studi relevan, yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Wiryadi, dkk (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung sekolah menengah atas terhadap beban gempa menggunakan analisis riwayat waktu.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat pada kedua arah sumbu berada dalam batas aman dan tidak melampaui simpangan izin yang ditetapkan. Simpangan antar tingkat terbesar yang tercatat adalah 20,96 mm untuk gempa El Centro, 16,33 mm untuk gempa Kobe, dan 0,58 mm untuk gempa Chi-Chi. Sementara itu, hasil gaya geser yang diterima struktur pada arah X oleh gempa Kobe sebesar 695,680 kN, gempa El Centro sebesar 567,739 kN, dan gempa Chi-Chi sebesar 24,320 kN. Sedangkan pada arah Y, gaya geser tertinggi sebesar 716,402 kN oleh gempa Kobe, 556,531 kN oleh gempa El Centro, dan 22,1 kN oleh gempa Chi-Chi.

2. Rifai, dkk (2022) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan level kinerja seismik gedung bertingkat (studi kasus rumah sakit) menggunakan analisis riwayat waktu, sesuai dengan ketentuan yang diatur oleh SNI 1726:2019.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai periode fundamental yaitu T_x sebesar 1,436 detik dan T_y sebesar 0,8976 detik sudah sesuai dengan batasan yang diatur pada Pasal 7.8.2 SNI 1726:2019. Konsistensi juga ditemukan pada nilai gaya geser dasar yang telah memenuhi persyaratan Pasal 7.9.1.4.1. Nilai perbandingan antara Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik *Time History* pada nilai gaya dan momen untuk setiap lantai telah memenuhi syarat dengan

perbedaan perbandingan yang tidak melebihi 10%. Kontrol terhadap simpangan antar tingkat (*drift*) pada arah X dan arah Y memenuhi syarat simpangan izin berdasarkan Tabel 20 SNI 1726:2019.

3. Santoso dan Astawa (2022) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik dan level keamanan struktur apartemen 34 lantai di Surabaya berdasarkan SNI 1726:2019 menggunakan metode *Nonlinear Time History Analysis* dengan acuan kriteria FEMA 356.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gaya geser dasar sebesar 1,02 kali lipat menjadi 7769,482 kN dibandingkan peraturan lama SNI 1726:2012, yang disebabkan oleh penyesuaian nilai koefisien gempa seperti F_a , F_v , S_s , S_1 , dan PGA . Peningkatan beban gempa ini berdampak langsung pada kenaikan rasio simpangan antar lantai (*story drift ratio*) sebesar 1% pada sumbu X dan 5,5% pada sumbu Y akibat bertambah besarnya perpindahan ultimit. Meskipun terjadi peningkatan pada gaya dan simpangan, evaluasi kinerja menunjukkan bahwa struktur gedung masih berada dalam kategori aman, yakni pada level *Immediate Occupancy* hingga *Life Safety* (IO-LS), yang mengindikasikan bahwa gedung memiliki risiko rendah membahayakan penghuni saat terjadi gempa.

4. Kurniawandy, dkk (2023) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan keandalan metode Penskalaan Amplitudo (*Amplitude Scaling*) dibandingkan dengan metode Penyesuaian Spektral (*Spectral Matching*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Spectral Matching* memiliki pola yang identik dengan target respons spektrum dibandingkan dengan metode *Amplitude Scaling*. Ground motion yang dimodifikasi dengan metode *Spectral Matching* menghasilkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang hampir sama dengan nilai target PGA. Sebaliknya, nilai PGA yang dihasilkan dengan metode *Amplitude Scaling* beragam dan tidak sama dengan nilai target PGA.

5. Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi perilaku dan kinerja seismik struktur bangunan gedung eksisting bertingkat di Yogyakarta menggunakan metode *Nonlinear Time*

History Analysis dengan input rekaman gempa yang telah dimodifikasi melalui proses *spectral matching*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa mekanisme sesar dengan rentang magnitudo 6,6–6,8 SR dan jarak 30–40 km merupakan yang paling berbahaya dan berpotensi terjadi. Gaya geser dasar dan simpangan terbesar pada arah sumbu X bangunan dipengaruhi oleh gempa Imperial Valley, sedangkan arah Y oleh gempa Kobe. Hasil analisis sendi plastis menunjukkan bahwa sebagian besar elemen struktur masih berada dalam kondisi baik, hanya sedikit yang berpotensi mengalami kerusakan yaitu berkisar 2–5%. Dinding geser telah berperan dengan baik sebagai pendisipasi energi gempa yang mampu mencegah terjadinya kerusakan pada elemen struktur lain terutama kolom serta mencegah efek *soft story*.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
1	Judul Penelitian	Analisis Riwayat Waktu Perilaku Struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar.	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis <i>Time History</i> (Studi Kasus: Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro).	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 34 Lantai di Surabaya Menurut SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.	<i>Comparative Study of The Simulation Ground Motion by Amplitude Scale and Spectral Matching.</i>	<i>Seismic Performance Study of Multi-storey Building Structures with Nonlinear Time History Analysis Method.</i>	Evaluasi Kinerja Seismik Gedung pada Kondisi Tanah Lunak Menggunakan Analisis Riwayat Waktu Berbasis Penyesuaian Spektral: Studi Kasus Gedung BKD Provinsi Jawa Timur.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
2	Fungsi dan Lokasi Gedung	Sekolah, Denpasar.	Rumah Sakit, Metro.	Apartemen, Surabaya.	Bangunan gedung model numerik rangka pemikul momen 10 lantai, Indonesia.	Rumah Sakit, Yogyakarta.	Perkantoran, Surabaya.
3	Tujuan	Mengetahui perilaku struktur gedung terhadap beban gempa dengan	Menentukan level kinerja seismik gedung bertingkat menggunakan analisis riwayat	Mengevaluasi kinerja seismik dan level keamanan struktur apartemen 34	Menentukan keandalan dari metode penskalaan amplitudo (<i>amplitude</i>	Mengevaluasi perilaku dan kinerja seismik struktur bangunan gedung	Mengevaluasi perilaku dan tingkat kinerja seismik struktur gedung terhadap beban gempa

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
		melakukan analisis menggunakan metode riwayat waktu.	waktu, sesuai dengan ketentuan yang diatur oleh SNI 1726:2019.	lantai di Surabaya berdasarkan SNI 1726:2019 menggunakan metode <i>nonlinear time history analysis</i> dengan acuan kriteria FEMA 356.	<i>scaling</i>) dengan metode penyesuaian spektral (<i>spectral matching</i>).	bertingkat di Yogyakarta menggunakan metode <i>nonlinear time history analysis</i> dengan input rekaman gempa yang telah dimodifikasi melalui proses <i>spectral matching</i> .	menggunakan metode analisis riwayat waktu melalui proses penyesuaian spektral agar sesuai dengan target spektrum respons desain SNI 1726:2019.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
4	Metode dan Peraturan	1. Metode riwayat waktu, <i>newmark</i> , dan <i>reyleigh damping</i> . 2. Peraturan SNI 1726:2012	1. Metode statik ekivalen, respons desain, dan riwayat waktu. 2. Peraturan SNI 1726:2019,	1. Metode <i>nonlinear time history analysis</i> , statik ekivalen, dan respons spektrum. 2. Peraturan SNI	1. Metode <i>numerical modeling, spectral response, dan modification of ground motion</i> . 2. Peraturan SNI 1726:2019	1. Metode statik, dinamik linear, seleksi <i>ground motion, spectral matching</i> , dan 2. Peraturan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, dan	1. Metode desain riwayat waktu dan penyesuaian spektral 2. Peraturan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, dan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
		dan SNI 1726:2019.	dan SNI 1727:2020.	1726:2019, SNI 2847:2013, SNI 1726:2019, dan FEMA 356.	dan SNI 8899:2020.	<i>nonlinear time history.</i> 2. Peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019, SNI 8899:2020, ASCE:2017, ATC-40:1996.	FEMA 356.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No .	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
5	Hasil	1. Respons gaya geser terbesar terjadi pada gempa El Centro, mencapai 925 kN. 2. Seluruh simpangan antar lantai dinyatakan aman dan	1. Nilai periode fundamental (Tx dan Ty) telah memenuhi batasan minimum dan maksimum sesuai Pasal 7.8.2 SNI 1726-2019.	1. Penerapan SNI 1726:2019 menyebabkan gaya geser dasar naik sebesar 1,02 kali lipat akibat penyesuaian koefisien kegempaan	1. Metode <i>spectral matching</i> menghasilkan pola spektrum respons lebih mirip dengan target desain dibandingkan metode <i>amplitude scaling</i>.	1. Berdasarkan analisis terhadap 5 <i>ground motion</i> yang telah melalui proses <i>spectral matching</i> (dominan sesar dangkal/<i>shallow</i>	-

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2025)
		memenuhi syarat batas izin SNI 1726-2012. 3. Kecepatan getaran lantai maksimum tertinggi dihasilkan oleh gempa El Centro	2. Gaya geser dasar ragam (Vt) dinyatakan memenuhi persyaratan partisipasi massa dan penskalaan terhadap gaya geser statik (V)	(Fa, Fv, Ss, S1 dan PGA). 2. Bertambahnya gaya geser memicu kenaikan rasio simpangan (<i>drift ratio</i>) sebesar 1% pada arah X dan 5,5%	2. <i>Spectral matching</i> menghasilkan nilai PGA yang konsisten dengan target, sedangkan <i>amplitude scaling</i> menghasilkan nilai PGA yang	<i>crustal</i>), gempa Imperial Valley menghasilkan respons terbesar pada arah X, sedangkan gempa Kobe mendominasi respons pada arah Y.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
		(91,163 mm/dt). 4. Percepatan getaran lantai paling signifikan didominasi oleh gempa Kobe dan El Centro (mencapai	sesuai Pasal 7.9.1.4.1. 2. Selisih output gaya dalam dan momen antara analisis statik ekuivalen dengan analisis dinamik <i>time history</i> sangat kecil	pada arah Y berdasarkan analisis NLTHA. 3. Meskipun beban meningkat, kinerja struktur tetap terjaga pada level <i>Immediate Occupancy</i>	beragam dan jauh dari target. 3. Penggunaan data gempa modifikasi tersebut dalam analisis dinamik menghasilkan parameter respons berupa perpindahan,	2. Struktur mencapai level kinerja <i>Damage Control</i> (DC) pada arah X dan <i>Immediate Occupancy</i> (IO) pada arah Y.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawandy, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
		>860 mm/dt ²).	(dibawah 10%), menunjukkan validitas hasil analisis. 4. Simpangan antar lantai akibat kelima beban gempa (Chi-Chi, Friuli, El Centro,	hingga <i>Life Safety</i> (IO-LS), sehingga risiko keselamatan penghuni dinilai rendah.	simpangan antar lantai (<i>drift</i>), dan gaya geser tingkat.	3. Kerusakan elemen sangat minim (2–5%), dinding geser efektif mendisipasi energi, dan konsep <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB) terpenuhi dengan baik.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Keterangan	Penelitian Terdahulu					Penelitian Sekarang
		Wiryadi, dkk (2021)	Rifai, dkk (2022)	Santoso dan Astawa (2022)	Kurniawand y, dkk (2023)	Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025)	Nugraha (2026)
			Sumatera, dan Superstition Hills) dinyatakan aman karena tidak melampaui batas izin (Δa) SNI 1726:2019.				

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan literatur yang dapat dilihat pada Tabel 2.1, penelitian terkait evaluasi kinerja seismik menggunakan analisis riwayat waktu berbasis penyesuaian spektral telah banyak dilakukan pada berbagai objek dan konteks yang berbeda. Wiryadi dkk. (2021) mengevaluasi perilaku struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar menggunakan analisis riwayat waktu tanpa mengacu pada kriteria level kinerja FEMA 356, sehingga hasilnya hanya menyatakan simpangan berada dalam batas aman tanpa klasifikasi kinerja yang lebih rinci. Rifai dkk. (2022) mengevaluasi kinerja Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro dengan penekanan pada validasi periode fundamental dan gaya geser dasar terhadap SNI 1726:2019, namun belum menyertakan penentuan level kinerja berdasarkan FEMA 356. Santoso dan Astawa (2022) melakukan evaluasi pada gedung apartemen 34 lantai di Surabaya menggunakan *Nonlinear Time History Analysis* dengan kriteria FEMA 356, sehingga meskipun lokasi studinya sama-sama di Surabaya, objek bangunan, jumlah lantai, dan metode analisis yang digunakan berbeda secara signifikan dengan penelitian ini. Kurniawandy dkk. (2023) berfokus pada perbandingan metodologis antara *Amplitude Scaling* dan *Spectral Matching* tanpa mengevaluasi kinerja struktur bangunan tertentu, sehingga penelitian tersebut bersifat mendukung dari sisi metode pemodelan gempa, bukan studi kasus bangunan. Nurhidayatullah dan Ardiyanto (2025) mengevaluasi kinerja seismik bangunan bertingkat eksisting di Yogyakarta menggunakan *Nonlinear Time History Analysis* dengan tinjauan hingga level sendi plastis, yang berbeda dari penelitian ini yang menggunakan pendekatan linear serta berlokasi di Surabaya dengan kondisi tanah lunak (Kelas Situs SE).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memiliki keaslian yang terletak pada beberapa aspek berikut. Pertama, objek studi berupa gedung perkantoran (Gedung BKD Provinsi Jawa Timur) belum pernah dievaluasi pada penelitian-penelitian sebelumnya, yang umumnya berfokus pada bangunan sekolah, rumah sakit, atau apartemen. Kedua, penelitian ini dilakukan pada lokasi dengan kondisi tanah lunak (Kelas Situs SE) di Surabaya, berbeda dari mayoritas studi terdahulu yang tidak secara khusus menyoroti pengaruh kondisi tanah lunak terhadap respons

struktur. Ketiga, pemilihan rekaman gempa pada penelitian ini didasarkan pada Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia tahun 2022, suatu pendekatan yang belum diterapkan secara eksplisit pada studi-studi pembandingan, sehingga karakteristik magnitudo dan jarak sumber gempa yang digunakan lebih representatif terhadap bahaya seismik spesifik lokasi kajian. Keempat, penelitian ini menggunakan metode *Linear Time History Analysis* yang dikombinasikan dengan kriteria *performance level* FEMA 356, berbeda dengan sebagian studi terdahulu yang menggunakan pendekatan *nonlinear* (Santoso dan Astawa, 2022; Nurhidayatullah dan Ardiyanto, 2025) maupun yang tidak menyertakan klasifikasi kinerja berbasis FEMA 356 sama sekali (Wiryadi dkk., 2021; Rifai dkk., 2022). Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru berupa evaluasi kinerja seismik yang spesifik terhadap fungsi bangunan perkantoran pemerintah di wilayah tanah lunak, dengan metode pemilihan gempa berbasis deagregasi bahaya seismik yang lebih representatif dibandingkan penelitian-penelitian terdahulu.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum dan Kriteria Desain Struktur

Menurut Schueller (2001), struktur bangunan gedung bertingkat merupakan sistem penyalur beban yang berfungsi menjamin stabilitas, kekuatan, dan kekakuan struktur terhadap pengaruh beban gravitasi serta beban lateral (gempa dan angin). Dalam perencanaan bangunan di wilayah rawan gempa, struktur tidak hanya dituntut untuk mampu memikul beban vertikal, tetapi juga harus memiliki kinerja yang baik dalam merespons beban gempa agar mencegah keruntuhan fatal.

3.1.1 Kategori Risiko Bangunan

Mengacu pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI 1726:2019, setiap bangunan harus dikelompokkan ke dalam kategori risiko tertentu sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Kategori Risiko Bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
untuk Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori
- Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur Pabrik	
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah	III

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
untuk Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori
- Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
untuk Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: SNI 1726:2019, Tabel 3

3.1.2 Faktor Keutamaan Gempa (*I_e*)

Faktor Keutamaan Gempa merupakan koefisien yang digunakan untuk menyesuaikan tingkat keandalan struktur terhadap beban gempa berdasarkan fungsi bangunan dan dampak konsekuensi kegagalannya terhadap keselamatan jiwa manusia. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, setiap bangunan harus ditetapkan nilai faktor keutamaannya berdasarkan Kategori Risiko yang telah ditentukan sebelumnya. Faktor Keutamaan Gempa dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, <i>I_e</i>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019, Tabel 4

3.1.3 Sistem Struktur Pemikul Momen

Dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat, pemilihan sistem struktur penahan gaya lateral merupakan aspek dasar untuk menjamin stabilitas bangunan terhadap beban gempa. SNI 1726:2019 mengelompokkan sistem penahan gaya gempa ke dalam beberapa jenis, di antaranya adalah sistem dinding penumpu, sistem rangka gedung, sistem rangka pemikul momen, dan sistem ganda.

Salah satu sistem yang umum digunakan pada bangunan gedung bertingkat adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). SRPM adalah sistem rangka ruang di mana komponen struktur dan sambungannya didesain untuk memikul gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Berdasarkan tingkat daktilitas dan kemampuan disipasi energinya, SRPM dibagi menjadi tiga jenis:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Didesain dengan daktilitas standar, umumnya untuk wilayah gempa ringan.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Didesain dengan daktilitas sedang, untuk wilayah gempa menengah.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Didesain dengan daktilitas tinggi, digunakan untuk wilayah dengan risiko gempa tinggi (kategori desain seismik D, E, dan F).

Berdasarkan perencanaan sistem penahan gaya lateral Gedung BKD Provinsi Jawa Timur ini dirancang menggunakan Kombinasi Sistem Struktur Ortogonal yang berbeda. Klasifikasi sistem struktur pada gedung ini dibagi menjadi dua tinjauan arah sumbu utama, yaitu.

1. Arah X

Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) murni, di mana seluruh komponen rangka ruang dan sambungannya didesain secara daktil untuk memikul gaya lateral melalui aksi lentur, geser, dan aksial tanpa bantuan dinding geser.

2. Arah Y

Menggunakan Sistem Ganda (Dual System), gaya lateral gempa dipikul bersama oleh dinding geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Kedua sistem ini dipilih untuk memastikan struktur gedung memiliki tingkat daktilitas dan kemampuan disipasi energi yang tinggi, sehingga mampu berdeformasi secara inelastis saat menahan beban gempa rencana tanpa mengalami keruntuhan total (Wight dan MacGregor, 2012).

3.1.4 Material Struktur Beton Bertulang

Kinerja struktur gedung saat menerima beban gempa, terutama ketika memasuki kondisi inelastis, sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik material yang digunakan. Oleh karena itu, pemodelan material harus dilakukan dengan tepat. Tujuannya adalah agar hubungan antara tegangan dan regangan (*stress-strain*) saat struktur mengalami deformasi akibat beban bolak-balik dapat tergambarkan sesuai kondisi aslinya. Pada penelitian ini, material utama yang ditinjau adalah beton bertulang, yang merupakan gabungan antara beton dan baja.

1. Beton

Beton didefinisikan sebagai material yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun memiliki kekuatan tarik yang rendah. Parameter utama yang menentukan perilaku beton dalam analisis struktur adalah kuat tekan dan kekakuannya.

a. Kuat Tekan (f'_c)

Kuat tekan beton adalah tegangan tekan maksimum yang dapat ditahan oleh silinder beton standar pada umur 28 hari. Nilai ini menjadi acuan utama dalam menentukan kapasitas penampang elemen struktur.

b. Modulus Elastisitas (E_c)

Modulus elastisitas merupakan parameter kekakuan material beton. Besarnya nilai modulus elastisitas sangat mempengaruhi periode alami struktur dan simpangan antar lantai. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 19.2.2, untuk modulus elastisitas beton berat normal, digunakan persamaan berikut.

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ MPa} \quad (3.2)$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton dalam satuan MPa

2. Baja Tulangan

Baja tulangan adalah material yang berfungsi untuk memikul gaya tarik pada elemen lentur serta memberikan sifat daktilitas yang dibutuhkan pada struktur tahan gempa.

a. Modulus Elastisitas (E_s)

Kekakuan baja dinyatakan dalam Modulus Elastisitas (E_s). Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 20.2.2.2, nilai modulus elastisitas untuk baja tulangan non-prategang adalah sebagai berikut.

$$E_s = 200.000 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

b. Persyaratan Seismik

Struktur gedung didesain sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), baja tulangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan daktilitas yang ketat. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 20.2.2.5, rasio antara kuat tarik aktual terhadap kuat leleh aktual tidak boleh kurang dari 1,25.

$$\frac{f_{u,aktual}}{f_{y,aktual}} \geq 1,25 \quad (3.4)$$

Persyaratan ini bertujuan untuk menjamin agar baja tulangan mampu mengalami regangan inelastis yang besar (*strain hardening*) tanpa mengalami keruntuhan getas saat terjadi gempa kuat.

3.1.5 Pembebanan Struktur

Dalam perancangan struktur bangunan, penentuan beban-beban yang bekerja merupakan langkah utama untuk menjamin keamanan dan kenyamanan bangunan. Struktur harus didesain memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk menahan berbagai kombinasi beban yang mungkin terjadi. Mengacu pada standar SNI 1727:2020, beban-beban yang bekerja diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi adalah beban vertikal yang bekerja ke bawah akibat gaya gravitasi bumi. Berdasarkan SNI 1727:2020, beban gravitasi terdiri sebagai berikut.

a. Beban Mati atau *Dead Load* (DL)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, pelapis dinding, dan komponen arsitektural serta struktural lainnya (SNI 1727:2020).

b. Beban Hidup atau *Live Load* (LL)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh penggunaan dan penghunian bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, dan beban banjir (SNI 1727:2020).

c. Beban Mati Tambahan atau *Superimposed Dead Load* (SIDL)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang tetap pada struktur namun bukan merupakan bagian dari elemen struktural utama. Beban ini diinput secara manual (*user-defined*) yang mencakup berat dinding bata/partisi, *finishing* lantai (keramik dan screed), plafon, instalasi pumbing, serta komponen mekanikal, elektrik, dan arsitektural lainnya.

2. Beban Lateral

Beban lateral adalah beban yang bekerja secara horizontal pada struktur, yang menjadi penentu utama dalam desain sistem penahan gaya seismik. Beban lateral yang digunakan adalah beban gempa. Beban gempa merupakan beban inersia yang muncul akibat pergerakan tanah dasar yang mengguncang massa struktur. Nilai beban gempa sangat bergantung pada berat seismik efektif bangunan (W), karakteristik tanah setempat, serta kekakuan struktur.

3.1.6 Kombinasi Pembebanan

Struktur bangunan gedung didesain menggunakan metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (*Load and Resistance Factor Design* - LRFD). Metode ini mensyaratkan bahwa kekuatan rencana elemen struktur harus lebih besar atau sama

dengan kekuatan perlu akibat beban terfaktor. Faktor beban digunakan untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam besaran beban yang mungkin terjadi.

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perancangan struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

$$1. (1,2 + 0,2 S_{ds})D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \quad (3.5)$$

$$2. (1,2 + 0,2 S_{ds})D + 1,0L \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \quad (3.6)$$

$$3. (0,9 - 0,2 S_{ds})D \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \quad (3.7)$$

$$4. (0,9 - 0,2 S_{ds})D \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \quad (3.8)$$

$$5. 1,0D + 1,0S_{IDL} + 0,25L_L \quad (3.9)$$

dengan:

D = Beban mati

S_{IDL} = Beban mati tambahan

L_L = Beban hidup

E_x = Beban gempa historis arah X

E_y = Beban gempa historis arah Y

S_{ds} = Parameter percepatan respon spektrum periode pendek

ρ = Faktor redundansi struktur

3.2 Karakteristik Seismik dan Target Spektrum Respons

Perencanaan struktur tahan gempa di Indonesia mengacu bahwa bangunan tidak boleh runtuh akibat gempa kuat yang mungkin terjadi di lokasi tersebut. Penentuan beban gempa rencana didasarkan pada parameter pergerakan tanah (*ground motion*) yang spesifik terhadap lokasi dan kondisi tanah setempat. Standar rujukan utama yang digunakan dalam analisis ini adalah SNI 1726:2019.

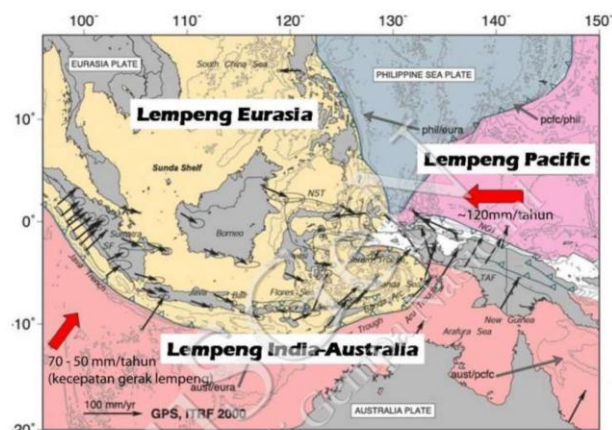
3.2.1 Seismisitas dan Peta Gempa

Gempa bumi adalah pelepasan energi regangan (*strain energy*) secara tiba-tiba di kerak bumi yang menyebabkan gelombang seismik merambat menuju permukaan dan menggoyangkan dasar bangunan (Chopra, 2017). Energi ini

merambat dalam bentuk gelombang seismik yang menyebabkan pergerakan tanah dasar pada lokasi bangunan. Menurut Kramer (1996), pelepasan energi tersebut disebabkan oleh adanya pergeseran atau patahan pada lempeng tektonik yang saling bertumbukan maupun bergesekan.

Gelombang seismik yang dihasilkan dari sumber gempa (*hiposentrum*) akan merambat ke segala arah menuju permukaan bumi (*episentrum*). Ketika gelombang ini mencapai permukaan, akan menimbulkan pergerakan tanah (*ground motion*) yang bersifat acak dan siklik. Karakteristik pergerakan tanah inilah yang menjadi beban dinamis bagi struktur bangunan di atasnya.

Letak geografis Indonesia berada pada pertemuan antara beberapa lempeng bumi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah, kondisi ini menyebabkan daerah tersebut menjadi lebih rawan terjadi gempa.

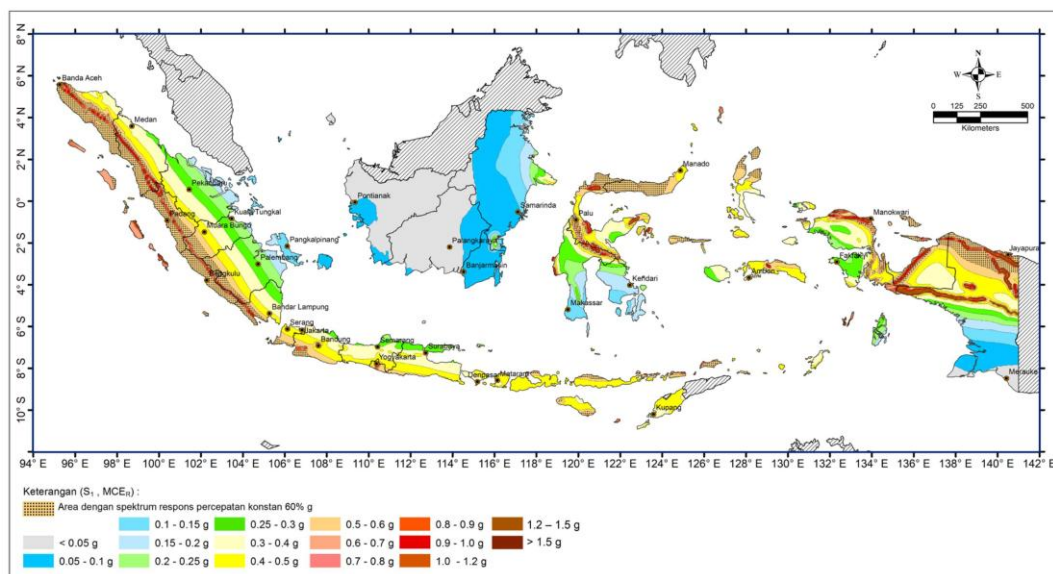


Gambar 3.1 Peta Tektonik Indonesia
(Sumber: Bock, dkk 2003, dalam PusGen 2017)

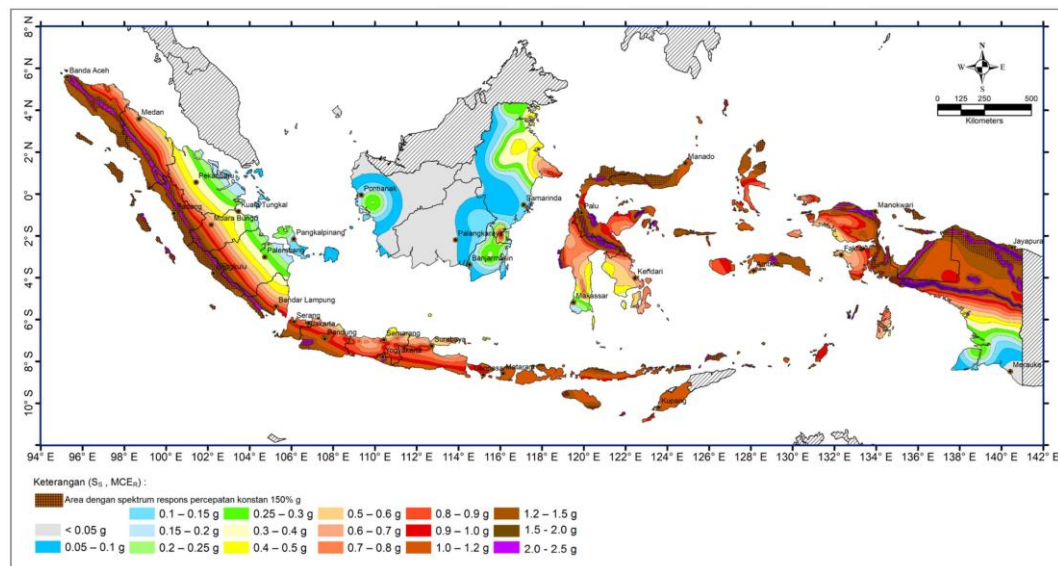
Pada Gambar 3.1 diatas menunjukkan bahwa Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, yang menjadikan wilayah ini memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Untuk keperluan desain struktur, parameter pergerakan tanah ditentukan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 yang diterbitkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen). Parameter tersebut terdiri atas:

1. S_s = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek.
2. S_1 = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik.

Nilai S_s dan S_1 didapat berdasarkan koordinat lintang dan bujur melalui peta zonasi pada SNI 1726:2019 yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 untuk periode pendek dan Gambar 3.3 untuk periode 1 detik.



Gambar 3.2 Parameter gerak tanah (S_1)
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 3.3 Parameter gerak tanah (Ss)
(Sumber: SNI 1726:2019)

3.2.2 Klasifikasi Situs Tanah

Karakteristik tanah sangat mempengaruhi perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah (*site amplification*). Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3, profil tanah diklasifikasikan ke dalam enam kelas situs (SA hingga SF) berdasarkan parameter rata-rata sifat tanah pada lapisan 30 meter paling atas. Klasifikasi situs ditentukan sesuai ketentuan pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

Lanjutan Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 5=25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726:2019

3.2.3 Parameter Percepatan Gempa Desain

Untuk memperhitungkan pengaruh amplifikasi gelombang gempa pada lapisan tanah, parameter batuan dasar (S_s dan S_1) harus dikalikan dengan Faktor Koefisien Situs (F_a dan F_v).

1. Faktor Amplifikasi

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi sebagai berikut.

- a. F_a = Koefisien situs untuk periode pendek (bergantung pada S_s dan kelas situs)

- b. F_v = Koefisien situs untuk periode panjang (bergantung pada S_1 dan kelas situs)

Nilai F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan: Ss adalah situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 1726:2019, Pasal 6.10.1

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan: Ss adalah situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 1726:2019, Pasal 6.10.1

Sumber: SNI 1726:2019

2. Parameter Percepatan Pada Permukaan

Untuk memperhitungkan pengaruh karakteristik lapisan tanah setempat terhadap perambatan gelombang, parameter batuan dasar harus dikalikan dengan faktor koefisien situs. Parameter respons spektral percepatan gempa tertimbang maksimum (MCE_R) pada permukaan tanah ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.11)$$

dengan:

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah untuk periode pendek (0,2 detik)

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah untuk periode pendek (0,2 detik)

F_a = Faktor amplifikasi situs untuk periode pendek (Tabel 6 SNI 1726:2019)

F_v = Faktor amplifikasi situs untuk periode panjang (Tabel 7 SNI 1726:2019)

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada batuan dasar untuk periode pendek (dari Peta Gempa)

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada batuan dasar untuk periode 1 detik (dari Peta Gempa)

2. Parameter Percepatan Desain

Struktur bangunan gedung konvensional tidak didesain untuk berperilaku elastis penuh saat terjadi gempa MCE_R (gempa periode ulang 2475 tahun) karena akan menghasilkan dimensi struktur yang tidak ekonomis. Oleh karena itu, standar perencanaan mengizinkan penggunaan beban gempa desain yang lebih kecil, dengan asumsi struktur memiliki daktilitas untuk mendisipasikan energi gempa. Parameter percepatan spektral desain ditetapkan sebesar $2/3$ dari parameter percepatan pada permukaan, sesuai persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.12)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.13)$$

dengan:

S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

3.2.4 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain adalah kurva yang menghubungkan parameter percepatan respons spektral (S_a) dengan periode getar struktur (T). Kurva ini merepresentasikan respons maksimum sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) elastis dengan redaman 5%.

Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.4, prosedur pembentukan kurva spektrum respons desain meliputi penentuan periode kontrol batas (T_0 dan T_s) dan perumusan bentuk kurva adalah sebagai berikut.

1. Periode Kontrol

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.14)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.15)$$

2. Bentuk Kurva

a. Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (3.16)$$

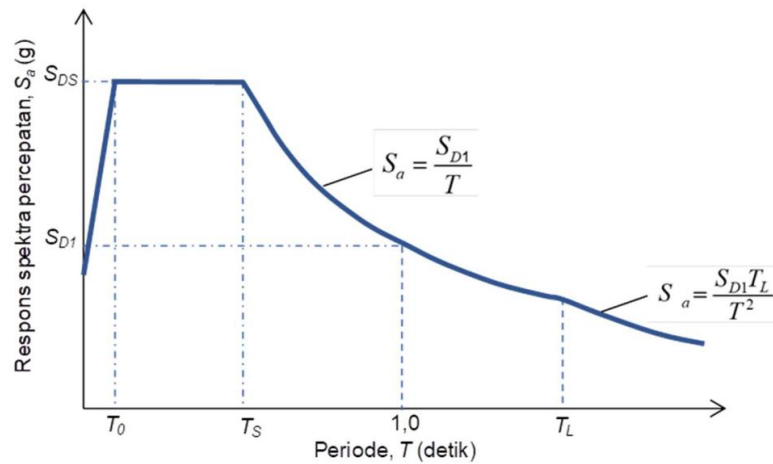
b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \quad (3.17)$$

c. Untuk $T \geq T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.18)$$

Hasil dari perhitungan spektrum respons desain akan menghasilkan kurva yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI 1726:2019)

3.2.5 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) adalah klasifikasi struktur bangunan berdasarkan tingkat keparahan risiko gempa yang dihadapinya. Klasifikasi ini ditetapkan untuk menentukan batasan sistem struktur, metode analisis, dan tingkat detail penulangan yang diwajibkan agar struktur memiliki kinerja yang memadai.

Penentuan KDS merupakan fungsi dari dua variabel utama, yaitu tingkat bahaya gempa di lokasi situs dan tingkat kepentingan fungsi bangunan.

1. Prosedur Penentuan KDS

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5, setiap struktur harus ditetapkan Kategori Desain Seismik melalui dua tahapan evaluasi, dan nilai yang paling berat (kritis) di antara keduanya harus dipilih sebagai KDS desain sebagai berikut.

a. Evaluasi berdasarkan periode pendek (S_{DS})

Mengacu pada SNI 1726:2019, KDS ditentukan berdasarkan nilai parameter respons spektral percepatan desain periode pendek (S_{DS}) dan kategori risiko bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 dibawah.

b. Evaluasi berdasarkan periode 1 detik (S_{D1})

Mengacu pada SNI 1726:2019, KDS ditentukan berdasarkan nilai parameter respons spektral percepatan desain periode 1 detik (S_{D1}) dan kategori risiko bangunan sesuai ketentuan pada Tabel 3.7.

Ketentuan khusus berlaku apabila nilai $S_1 \geq 0,75g$. Untuk kondisi tersebut, struktur secara otomatis ditetapkan sebagai KDS E (untuk kategori risiko I, II, III) atau F (untuk kategori risiko IV), tanpa perlu melihat tabel.

Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

2. Implikasi KDS terhadap perencanaan struktur

Penetapan KDS memiliki konsekuensi teknis yang mengikat terhadap seluruh proses desain struktur. Untuk bangunan yang dikategorikan dalam KDS D persyaratan yang berlaku meliputi.

a. Batasan sistem struktur

Berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019, struktur beton bertulang pada KDS D tidak diizinkan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) atau Menengah (SRPMM). Struktur wajib menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau dinding geser khusus untuk menjamin tersedianya daktilitas yang tinggi.

b. Batasan tinggi bangunan

Sistem struktur tertentu memiliki batasan ketinggian maksimum jika berada di KDS D atau E. Namun, untuk sistem SRPMK, SNI mengizinkan penggunaannya tanpa batasan ketinggian, sehingga sistem ini sangat relevan untuk bangunan bertingkat tinggi.

c. Pemilihan metode analisis

KDS menentukan jenis prosedur analisis yang diizinkan berdasarkan Tabel 13 SNI 1726:2019. Untuk struktur pada KDS D yang memiliki ketidakberaturan vertikal atau horizontal tertentu, analisis statis ekuivalen mungkin tidak diperbolehkan, sehingga analisis dinamis (spektrum respons atau riwayat waktu) menjadi wajib digunakan.

d. Faktor redundansi (ρ)

Struktur dengan KDS D harus dievaluasi tingkat redundansinya sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4. Jika struktur tidak memiliki redundansi yang cukup (misalnya hilangnya satu elemen penahan gempa menyebabkan reduksi kekuatan ekstrem), maka faktor redundansi (ρ) harus diambil sebesar 1,3. Jika memenuhi syarat redundansi, nilai ρ boleh diambil 1,0.

e. Detail penulangan

KDS D mewajibkan penerapan ketentuan seismik khusus pada detail penulangan, seperti jarak sengkang yang rapat di daerah sendi plastis, panjang penyaluran tegangan, dan persyaratan *strong column-weak beam* sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.

3.3 Dinamika Struktur dan Analisis Riwayat Waktu

Respons struktur bangunan bertingkat terhadap beban dinamis seperti gempa bumi tidak dapat dievaluasi secara akurat hanya dengan prinsip statika sederhana. Berbeda dengan beban statis yang konstan, beban gempa menimbulkan gaya inersia akibat percepatan massa struktur serta melibatkan mekanisme disipasi energi. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur memerlukan pendekatan Dinamika Struktur untuk memodelkan perilaku fisik tersebut secara matematis.

Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan riwayat respons struktur (perpindahan, kecepatan, dan percepatan) sepanjang durasi gempa bumi, yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi kinerja seismik elemen struktur.

3.3.1 Persamaan Gerak Struktur

Secara fisis, struktur bangunan gedung didesain sebagai sistem *Multi-Degree of Freedom* (MDOF). Massa bangunan diasumsikan terpusat pada setiap lantai (*lumped mass*), kekakuan pada elemen kolom dan balok, serta redaman pada material struktur.

Perilaku dinamis sistem ini diatur oleh prinsip keseimbangan gaya D'Alembert, yang menyatakan bahwa gaya luar yang bekerja pada struktur diseimbangkan oleh gaya inersia, gaya redaman, dan gaya elastis. Persamaan gerak diferensial untuk sistem MDOF di bawah eksitasi gempa dinyatakan sebagai berikut.

$$[M] \{\ddot{u}(t)\} + [C] \{\dot{u}(t)\} + [K] \{u(t)\} = -[M] \{u\} \ddot{u}_g(t) \quad (3.19)$$

dengan:

$[M]$ = Matriks massa

$[C]$ = Matriks redaman

$[K]$ = Matriks kekakuan

$\{\ddot{u}(t)\}$ = Vektor percepatan relatif struktur

$\{\dot{u}(t)\}$ = Vektor kecepatan relatif struktur

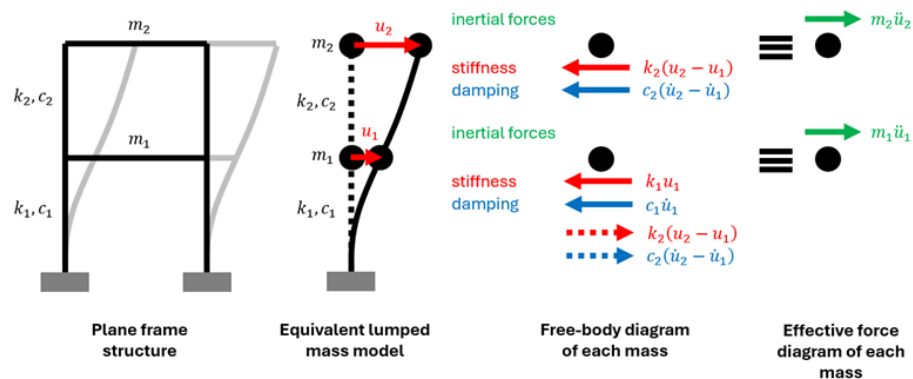
$\{u(t)\}$ = Vektor perpindahan relatif struktur

$\{u\}$ = Vektor pengaruh gempa

$\ddot{u}_g(t)$ = Percepatan tanah akibat gempa

Dalam Analisis Riwayat Waktu Linier Berbasis Ragam (*Linear Modal Time History Analysis*), penyelesaian Persamaan (3.19) dilakukan dengan mentransformasikan koordinat fisik menjadi koordinat modal menggunakan prinsip ortogonalitas bentuk ragam (*mode shapes*). Melalui pendekatan linier ini, matriks persamaan gerak MDOF yang saling terikat (*coupled*) dapat diurai (*decoupled*) menjadi beberapa persamaan gerak *Single-Degree of Freedom* (SDOF) yang independen untuk setiap ragam getar yang ditinjau. Respons total struktur kemudian diperoleh melalui superposisi modal dari kontribusi masing-masing ragam getar tersebut.

Visualisasi permodelan massa terpusat (*lumped mass*) pada struktur MDOF dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Model Struktur *Lumped Mass* MDOF
(Sumber: Chopra, 2011)

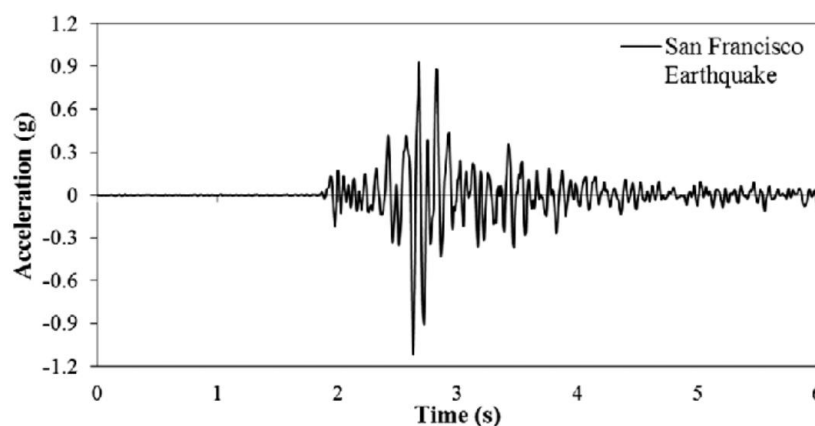
3.3.2 Analisis Riwayat Waktu

Analisis dinamik dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi seiring waktu. Beban dinamik adalah setiap beban yang berubah dalam besar, arah, atau posisinya berdasarkan waktu. Begitu juga dengan respons struktur terhadap beban dinamik, seperti lendutan dan tegangan yang terjadi mengalami perubahan waktu atau memiliki sifat dinamik (Clough and Penzien, 1993).

Berdasarkan SNI 1726:2019 analisis *time history* dapat digunakan untuk menunjukkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas dalam menahan gempa maksimum dengan kinerja yang dapat diterima. *Time history* dalam ilmu

kegempaan merujuk pada rekaman rinci dari gerakan tanah yang diukur selama kejadian gempa bumi, yang menunjukkan variasi percepatan, kecepatan, dan perpindahan tanah terhadap waktu. Data *time history* ini diambil dari alat pengukur gempa atau seismograf yang merekam getaran tanah secara kontinu selama berlangsungnya gempa, menghasilkan grafik *accelerogram* yang menggambarkan perubahan gerakan tanah setiap detik selama kejadian tersebut.

Analisis dinamik riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) merupakan salah satu metode analisis dinamik yang digunakan untuk menganalisis struktur terhadap gempa. Akeselerogram gempa yang digunakan dalam analisis respons dinamik riwayat waktu harus berasal dari rekaman gerakan tanah akibat gempa di lokasi dengan kondisi geologi, topografi, dan seismotektonik yang serupa. Dalam analisis dinamik riwayat waktu terhadap pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan sehingga spektrum responsnya secara rata-rata mendekati level spektrum respons gempa batuan pada rentang periode yang signifikan dari respons struktur bangunan yang akan didesain (SNI 1726:2019 Pasal 6.10.1.1). Percepatan permukaan tanah direkam oleh alat *Strong Motion Accelerograph* yang dapat merekam percepatan permukaan tanah dalam tiga dimensi (dua arah horizontal dan satu arah vertikal). Contoh grafik riwayat waktu percepatan gempa dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Acceleration Time History Graph of 1957 San Francisco
(Sumber: Kazaz dkk, 2006)

3.3.3 Periode Getar

Periode getar alami atau periode fundamental (T) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran bebas tanpa adanya gaya luar yang bekerja. Parameter ini merupakan karakteristik dinamis struktur yang dipengaruhi oleh massa dan kekakuan bangunan, di mana struktur yang lebih tinggi dan fleksibel cenderung memiliki periode getar yang lebih besar, sedangkan struktur yang kaku dan pendek memiliki periode getar yang lebih kecil.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2, terdapat dua pendekatan dalam menentukan periode fundamental struktur, yaitu periode pendekatan empiris (T_a) dan periode hasil analisis modal (T_c).

1. Periode Pendekatan Empiris (T_a)

Periode pendekatan empiris dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.20)$$

dengan,

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik).

h_n = Ketinggian struktur dari dasar hingga lantai tertinggi (meter).

$C_{t,x}$ = koefisien yang ditentukan berdasarkan jenis sistem struktur, sesuai Tabel 18 SNI 1726:2019.

Nilai C_t dan x berbeda untuk setiap jenis sistem struktur. Untuk rangka beton pemikul momen, digunakan $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Untuk sistem struktur lainnya (termasuk sistem ganda), digunakan $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$.

2. Periode Hasil Analisis Modal (T_c)

Periode hasil analisis modal diperoleh dari hasil pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak analisis struktur ETABS, yang merepresentasikan karakteristik dinamis aktual struktur berdasarkan distribusi massa dan kekakuan elemen-elemen yang dimodelkan.

3. Batasan Periode (T_{maks})

SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 mensyaratkan bahwa nilai periode hasil analisis modal (T_c) tidak boleh melebihi batas atas periode yang diizinkan, yang dihitung dari persamaan berikut.

$$T_{maks} = C_u \times T_a \quad (3.21)$$

dengan C_u adalah koefisien batas atas periode yang ditentukan berdasarkan nilai parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik (S_{D1}). Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Parameter C_u terhadap S_{D1}

S_{D1}	C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 17 SNI 1726:2019

Apabila $T_c > T_{maks}$, maka untuk keperluan perhitungan gaya geser dasar pada metode Gaya Lateral Ekuivalen (GLE), nilai T yang digunakan dibatasi sebesar T_{maks} . Pembatasan ini ditujukan untuk mencegah nilai gaya geser dasar yang terlalu rendah akibat periode yang melebihi batas wajar.

Pada metode analisis riwayat waktu, di mana respons struktur dihitung berdasarkan interaksi langsung antara rekaman gerak tanah dengan karakteristik dinamis struktur, periode hasil analisis modal (T_c) tetap digunakan tanpa dibatasi oleh T_{maks} , karena merepresentasikan perilaku dinamis aktual struktur secara lebih akurat.

3.3.4 Partisipasi Massa

Partisipasi massa (mass participation ratio) adalah parameter yang menunjukkan proporsi massa total struktur yang berkontribusi terhadap respons

dinamis pada suatu ragam (mode) getar tertentu. Nilai partisipasi massa diperoleh dari hasil analisis ragam (modal analysis), yang menguraikan respons dinamis struktur ke dalam sejumlah mode getar dengan periode dan bentuk deformasi yang berbeda-beda.

Setiap mode memiliki kontribusi yang berbeda terhadap respons total struktur, di mana mode dengan periode yang lebih besar (mode rendah) umumnya memberikan kontribusi massa yang lebih dominan dibandingkan mode dengan periode yang lebih kecil (mode tinggi).

Partisipasi massa kumulatif diperoleh dengan menjumlahkan partisipasi massa dari mode pertama hingga mode ke- n , dengan persamaan berikut.

$$\sum_{i=1}^n M_i \geq 90\% \quad (3.22)$$

dengan M_i adalah partisipasi massa pada mode ke- i .

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1, analisis ragam harus menyertakan jumlah mode yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa kumulatif sekurang-kurangnya 90% dari massa aktual struktur pada masing-masing arah horizontal yang ditinjau (arah X dan arah Y).

Pemenuhan syarat partisipasi massa minimum ini penting untuk memastikan bahwa respons dinamis struktur yang dihasilkan dari analisis ragam telah merepresentasikan perilaku struktur secara memadai, sehingga gaya-gaya dalam, simpangan, dan parameter respons lainnya yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar evaluasi yang akurat.

Metode analisis ragam yang umum digunakan dalam perangkat lunak analisis struktur antara lain Eigen Vector dan Ritz Vector. Metode Ritz Vector cenderung lebih efisien dalam memperoleh partisipasi massa kumulatif yang disyaratkan dengan jumlah mode yang lebih sedikit, karena vektor Ritz dibentuk berdasarkan distribusi pembebanan dinamis yang diterapkan pada struktur.

3.3.5 Teori Redaman

Redaman adalah mekanisme disipasi energi yang menyebabkan amplitudo getaran bebas struktur menurun seiring berjalannya waktu. Tanpa adanya redaman,

struktur yang bergetar akibat beban dinamis akan terus bergerak tanpa henti. Dalam struktur beton bertulang, energi didisipasikan melalui gesekan internal material, pembukaan dan penutupan retak mikro beton, serta gesekan pada sambungan elemen non-struktural.

Dalam analisis dinamika struktur menggunakan metode Riwayat Waktu Linier Berbasis Ragam (*Linear Modal Time History Analysis*), disipasi energi ini diselesaikan menggunakan pendekatan Redaman Modal (*Modal Damping*).

1. Karakteristik Modal

Pendekatan Redaman Modal mengasumsikan bahwa setiap ragam getar murni (*mode shape*) memiliki rasio redamannya sendiri-sendiri yang tidak saling terikat (*uncoupled*). Dengan demikian, redaman dapat langsung dimasukkan sebagai konstanta rasio redaman ke dalam masing-masing persamaan gerak *Single-Degree of Freedom* (SDOF) hasil penguraian ragam struktur.

2. Penentuan Rasio Redaman

Berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung di Indonesia SNI 1726:2019, besarnya rasio redaman untuk evaluasi elastis dinamis pada struktur beton bertulang ditetapkan secara konstan sebesar 5% dari redaman kritisnya ($\zeta = 0,05$) untuk seluruh ragam getar yang ditinjau.

$$\zeta_1 = \zeta_2 \dots = \zeta_n = 0,05 \quad (3.23)$$

Nilai 5% tersebut merupakan representasi batas aman yang mengasumsikan tingkat retak beton dan gesekan komponen arsitektural gedung pada kondisi batas layan sebelum mencapai pelelehan material sepenuhnya. Dengan menerapkan nilai konstan 0,05 pada perangkat lunak ETABS, respons spektral dari setiap rekaman gelombang gempa riwayat waktu akan tereduksi secara konsisten sesuai dengan redaman alami struktur gedung bertulang.

3.3.6 Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem ganda merupakan salah satu sistem pemikul gaya seismik yang diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, di mana dua subsistem struktur bekerja secara bersama-sama dalam memikul beban lateral akibat gempa, yaitu Sistem Rangka

Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang khusus. Kedua subsistem tersebut dirancang untuk saling berinteraksi dalam memikul gaya lateral, dengan dinding geser sebagai elemen utama penahan gaya horizontal dan rangka pemikul momen sebagai elemen sekunder yang memberikan daktilitas dan redundansi pada sistem struktur. Persyaratan utama sistem ganda berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1 adalah sebagai berikut.

1. Rangka pemikul momen harus mampu memikul gaya gempa secara mandiri tanpa bergantung pada dinding geser, dengan kapasitas minimum sebesar 25% dari total gaya geser dasar desain.
2. Dinding geser dirancang untuk memikul total gaya gempa sesuai dengan proporsi kekakuan relatifnya terhadap sistem rangka.
3. Kedua subsistem harus dirancang untuk menahan pengaruh gaya gempa secara bersama-sama sesuai dengan distribusi kekakuan masing-masing.

Pengecekan pemenuhan syarat sistem ganda dilakukan dengan membandingkan distribusi gaya geser yang dipikul oleh masing-masing subsistem. Gaya geser yang dipikul dinding geser diperoleh dari gaya dalam pier (*pier forces*) pada dasar struktur, sedangkan gaya geser yang dipikul rangka dihitung sebagai selisih antara gaya geser dasar total dan gaya geser yang dipikul dinding geser, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$V_{frame\ Y} = V_{total\ Y} - V_{wall\ Y} \quad (3.24)$$

dengan,

$V_{frame\ Y}$ = gaya geser yang dipikul rangka arah Y (kN)

$V_{total\ Y}$ = gaya geser dasar total arah Y (kN)

$V_{wall\ Y}$ = gaya geser yang dipikul dinding geser arah Y (kN)

Persentase gaya geser yang dipikul rangka terhadap total gaya geser kemudian dihitung sebagai berikut.

$$\%V_{frame\ Y} = \frac{V_{frame\ Y}}{V_{total\ Y}} \times 100\% \quad (3.25)$$

Sistem dinyatakan memenuhi persyaratan sistem ganda apabila $\%V_{frame\ Y} \geq 25\%$. Pemenuhan persyaratan ini menjadi dasar validitas penggunaan faktor modifikasi respons R yang ditetapkan untuk sistem ganda dalam analisis struktur.

3.4 Penyesuaian Spektral

Analisis riwayat waktu linier berbasis ragam (*Linear Modal Time History Analysis*) menuntut penggunaan input gerakan tanah (*ground motion*) yang representatif terhadap karakteristik seismik di lokasi tinjauan. Namun, rekaman gempa bumi asli yang tersedia di basis data historis (seperti PEER Ground Motion Database) jarang memiliki spektrum respons yang sama persis dengan target spektrum desain yang disyaratkan oleh regulasi lokal. Oleh karena itu, diperlukan prosedur modifikasi gerakan tanah yang dikenal sebagai Penyesuaian Spektral (*Spectral Matching*).

Penyesuaian spektral didefinisikan sebagai metode modifikasi rekaman akselerogram percepatan tanah asli sehingga spektrum respons hasil modifikasi tersebut memiliki kesesuaian (*match*) yang tinggi dengan spektrum target pada rentang periode getar tertentu yang diamandatkan oleh SNI 1726:2019. Tujuan utama metode ini adalah untuk mereduksi tingkat variabilitas respons struktur yang tidak diinginkan akibat perbedaan bentuk spektrum input yang terlalu ekstrem. Dengan demikian, estimasi kinerja global struktur (seperti *Base Shear* dan *Story Drift*) menjadi lebih stabil, konvergen, dan akurat meskipun menggunakan jumlah rekaman gempa yang efisien (NIST, 2011).

3.4.1 Metode Penyesuaian Berbasis Wavelet

Secara teoritis, penyesuaian spektral dapat dilakukan dalam kawasan frekuensi (*frequency domain*) atau kawasan waktu (*time domain*). Metode konvensional dalam kawasan frekuensi sering kali menyebabkan distorsi pada karakteristik non-stasioner gempa, sehingga energi gempa tersebar tidak realistis sepanjang durasi waktu.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini mengacu pada metode penyesuaian dalam kawasan waktu menggunakan algoritma Wavelet yang

dikembangkan oleh Hancock, dkk (2006) dan disempurnakan oleh Al Atik dan Abrahamson (2010). Prinsip dasar metode ini adalah menambahkan fungsi gelombang pendek (*wavelet functions*) pada riwayat waktu percepatan asli. Penambahan ini dilakukan secara iteratif untuk menyesuaikan amplitudo spektral pada periode tertentu tanpa mengubah karakteristik *non-stationary* (fase dan durasi) dari rekaman aslinya. Persamaan matematis modifikasi percepatan tanah adalah sebagai berikut.

$$a_{mod}(t) = a_{org}(t) + \sum_{j=1}^N fi(t) \quad (3.26)$$

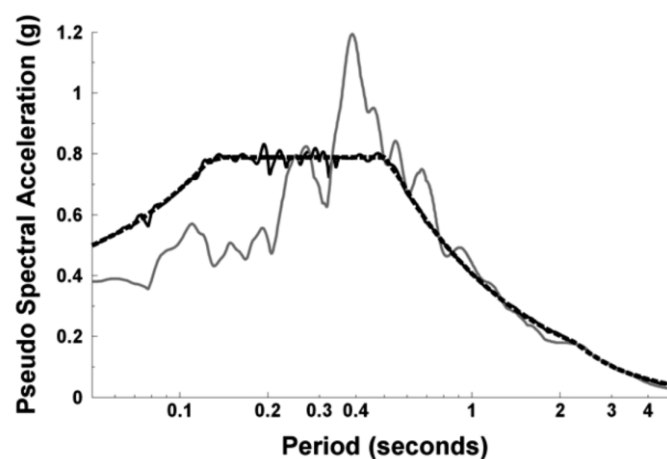
dengan:

$a_{mod}(t)$ = Percepatan tanah hasil modifikasi

$a_{org}(t)$ = Percepatan tanah asli (*seed record*)

$fi(t)$ = Fungsi wavelet penyesuaian

Metode ini memastikan bahwa input gempa yang dihasilkan tidak hanya memiliki spektrum yang sesuai target, tetapi juga memiliki bentuk gelombang (*waveform*) yang realistis secara seismologis. Ilustrasi hasil penyesuaian spektral dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Perbandingan Spektrum Respons Penyesuaian Spektral
(Sumber: Hancock dkk, 2006)

Pada Gambar 3.8 di atas, garis abu-abu menunjukkan spektrum gempa asli yang fluktuatif dan jauh dari target. Garis putus-putus adalah target spektrum desain. Setelah dilakukan proses matching berbasis wavelet, dihasilkan rekaman baru dengan spektrum garis hitam tebal yang memiliki kesesuaian sangat tinggi terhadap target.

3.4.2 Kriteria Seleksi Gerakan Tanah Dasar

Sebelum proses penyesuaian dilakukan, pemilihan rekaman gempa dasar (*seed records*) dari katalog historis merupakan hal yang sangat penting. Berdasarkan rekomendasi NIST GCR 11-917-15, pemilihan rekaman tidak boleh dilakukan secara acak, melainkan harus didasarkan pada kesamaan parameter sumber gempa dan kondisi situs antara rekaman yang dipilih dengan skenario gempa dominan di lokasi studi. Skenario gempa dominan berupa nilai Jarak (R) dan Magnitudo (M) untuk wilayah Kota Surabaya ditinjau berdasarkan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2022 yang diterbitkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) yang dapat dilihat pada Gambar 3.9. Parameter-parameter seleksi yang menjadi acuan teoritis dalam menentukan 7 pasang gempa terpilih adalah sebagai berikut:

Parameter-parameter seleksi yang menjadi acuan teoritis adalah sebagai berikut.

1. Magnitudo momen (M_w)

Dipilih rentang magnitudo yang mampu menghasilkan durasi guncangan signifikan.

2. Jarak sumber (R)

Jarak terdekat ke bidang patahan (R_{up}) atau jarak Joyner-Boore (R_{jb}) yang merepresentasikan atenuasi gelombang ke lokasi.

3. Mekanisme patahan (*fault mechanism*)

Jenis pergerakan sesar yang sesuai dengan sumber gempa ancaman utama.

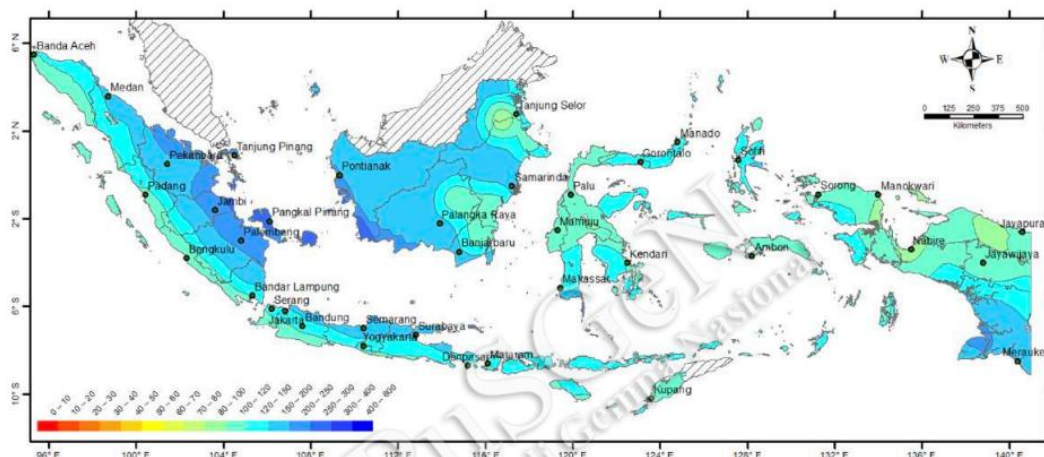
4. Kecepatan gelombang geser (V_{s30})

Karakteristik tanah lokal tempat rekaman diambil harus mendekati klasifikasi situs lokasi tinjauan untuk meminimalkan distorsi amplifikasi saat proses *matching*.

5. Jumlah rekaman gerakan tanah

Penentuan jumlah rekaman gerakan tanah mengacu pada rekomendasi teknis NIST GCR 11-917-15. Dalam dokumen tersebut dinyatakan bahwa stabilitas statistik untuk estimasi respons struktur dapat dicapai dengan menggunakan minimal 7 (tujuh) pasang rekaman.

Apabila digunakan tujuh atau lebih pasang rekaman gerakan tanah, maka parameter respons struktur (gaya geser, simpangan, dan momen) diizinkan untuk diambil berdasarkan nilai rata-rata (*average*). Sebaliknya, jika analisis menggunakan kurang dari tujuh rekaman, maka wajib menggunakan nilai respons maksimum dari seluruh rekaman tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini menetapkan penggunaan 7 pasang rekaman agar evaluasi kinerja dapat didasarkan pada respons rata-rata yang lebih representatif (NIST, 2011).



Gambar 3.9 Peta deagregasi Jarak (R) sumber gempa *Benioff* pada percepatan puncak untuk periode ulang 100 tahun

3.4.3 Persyaratan Validasi Spektrum Respons

Setelah dilakukan proses penyesuaian spektral (*spectral matching*), rekaman gerakan tanah modifikasi wajib diverifikasi kembali sesuai SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3. Ketentuan validasi yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut.

1. Rentang periode validasi

Verifikasi kecocokan spektrum dilakukan pada rentang periode yang berkontribusi signifikan terhadap respons struktur, yaitu:

$$0,8T_{\text{lower}} \leq T \leq 1,2T_{\text{upper}} \quad (3.27)$$

dengan:

T_{lower} = Periode getar pada saat 90% partisipasi massa aktual telah terpenuhi

T_{upper} = Nilai periode getar fundamental terbesar

2. Batas ambang spektrum

Rata-rata dari spektra arah maksimum (*Maximum Direction Spectra*) untuk seluruh rekaman gempa yang telah dimodifikasi harus bernilai sama atau melebihi 100% dari spektrum respons target desain (MCE_R) pada rentang periode validasi.

3. Penerapan pada model struktur

Mengacu pada Pasal 11.2.4, setiap pasang komponen gerakan tanah horizontal harus diterapkan pada model struktur dalam orientasi ortogonal (saling tegak lurus). Rata-rata respons spektrum komponen yang diterapkan di setiap arah tidak boleh berbeda lebih dari 10% dari rata-rata seluruh rekaman.

3.5 Evaluasi Kinerja Seismik

Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan pedoman FEMA 356. Kinerja struktur dinilai berdasarkan kinerja global yaitu simpangan antar lantai.

3.5.1 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar (*base shear*) didefinisikan sebagai gaya geser total yang terjadi pada dasar bangunan sebagai respons terhadap beban gempa rencana. Parameter ini merepresentasikan akumulasi gaya inersia lateral yang dihasilkan oleh percepatan massa struktur pada setiap lantai akibat guncangan tanah.

Dalam analisis riwayat waktu linear, gaya geser dasar yang dihasilkan bersifat fluktuatif mengikuti durasi rekaman gempa. Untuk setiap rekaman gempa yang dianalisis, gaya geser dasar elastik maksimum V_{EX} dan V_{EY} untuk arah x dan y harus ditentukan. Selanjutnya, gaya geser dasar inelastik V_{IX} dan V_{IY} dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Persamaan (3.27) dan (3.28) sebagai berikut.

$$V_{IX} = \frac{V_{EX} \times I_e}{R_x} \quad (3.28)$$

$$V_{IY} = \frac{V_{EY} \times I_e}{R_y} \quad (3.29)$$

dengan,

V_{IX} = Gaya geser dasar inelastik maksimum arah x

V_{IY} = Gaya geser dasar inelastik maksimum arah y

V_{EX} = Gaya geser dasar elastik maksimum arah x

V_{EY} = Gaya geser dasar elastik maksimum arah x

I_e = Faktor keutamaan gempa

R_x = Koefisien modifikasi gempa arah x

R_y = Koefisien modifikasi gempa arah y

Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2, faktor skala gaya geser dasar untuk setiap arah respons harus memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2, penentuan faktor skala gaya geser dasar untuk setiap arah harus memenuhi syarat batas minimum. Syarat tersebut mewajibkan bahwa rasio perbandingan antara gaya geser dasar hasil analisis riwayat waktu terhadap gaya geser dasar desain $\geq 1,0$. Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi, maka seluruh respons struktur hasil analisis riwayat waktu harus dikalikan dengan faktor skala baru sebagai berikut.

$$SF = \frac{V_{IX}}{V_x} \times g \quad (3.30)$$

Penskalaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa respons struktur yang digunakan dalam evaluasi kinerja seismik telah memenuhi batas minimum kekuatan yang disyaratkan SNI 1726:2019.

3.5.3 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai didefinisikan sebagai selisih perpindahan lateral antara dua lantai yang bersebelahan akibat beban gempa. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat deformasi struktur secara lokal pada setiap tingkat,

yang berkaitan langsung dengan potensi kerusakan pada elemen struktur maupun non-struktural seperti dinding partisi dan kaca jendela.

Simpangan antar lantai hasil analisis struktur (δ_e) yang diperoleh dari perangkat lunak analisis merupakan simpangan elastis, yang perlu dikonversi menjadi simpangan antar lantai aktual (Δ) menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta = \frac{C_d \times \delta_e}{I_e} \quad (3.32)$$

dengan,

Δ = Simpangan antar lantai aktual

C_d = Faktor amplifikasi defleksi, ditentukan berdasarkan sistem struktur sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019

δ_e = Simpangan antar lantai hasil analisis

I_e = Faktor keutamaan gempa

Sesuai SNI 1726:2019, simpangan antar lantai aktual pada setiap tingkat tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a), yang ditentukan berdasarkan kategori risiko struktur dan tinggi tingkat (h_{sx}) menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta_a = 0,02 \times h_{sx} \quad (3.33)$$

untuk struktur dengan kategori risiko I dan II tanpa dinding partisi yang dapat mengalami kegagalan getas akibat simpangan.

Apabila simpangan antar lantai dinyatakan dalam bentuk rasio (Δ/h_{sx}), maka batas izin yang digunakan adalah sebesar 0,02 atau 2% dari tinggi tingkat.

Pemenuhan syarat simpangan antar lantai ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk membatasi deformasi lateral pada level yang aman, sehingga kerusakan pada elemen struktur dan non-struktural dapat diminimalkan dan keselamatan penghuni bangunan tetap terjamin selama dan setelah terjadinya gempa.

3.5.4 Efek P-Delta

Efek P-Delta ($P - \Delta$) merupakan efek geometris sekunder (*second-order geometric effect*) yang terjadi akibat bekerjanya gaya aksial vertikal (beban gravitasi) pada posisi elemen struktur yang telah mengalami simpangan lateral akibat beban gempa. Guncangan lateral menyebabkan lantai gedung bergeser sejauh Δ , sehingga beban vertikal murni (P) tidak lagi segaris dengan sumbu vertikal kolom awal. Kondisi ini menghasilkan momen sekunder tambahan sebesar $P \times \Delta$ yang dapat memperbesar simpangan lateral, meningkatkan gaya internal komponen, dan menurunkan kekakuan lateral struktur secara global.

Mengacu pada SNI 1726:2019, pengaruh efek P-Delta terhadap gaya geser tingkat dan momen tidak perlu diperhitungkan secara eksplisit apabila koefisien stabilitas (θ) yang dihasilkan pada tingkat yang ditinjau bernilai sama atau kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_X \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \quad (3.34)$$

Di dalam aplikasi pemodelan struktur, rasio antara simpangan antar-lantai tingkat desain dengan tinggi tingkat ($\frac{\Delta}{h_{sx}}$) direpresentasikan secara langsung sebagai nilai rasio simpangan antar-lantai (*story drift ratio*). Dengan demikian, persamaan koefisien stabilitas dapat disederhanakan menjadi:

$$\theta = \frac{P_X \times \text{Drift Ratio} \times I_e}{V_x \times C_d} \quad (3.35)$$

dengan,

P_X = Beban desain vertikal total struktur pada dan di atas tingkat n

I_e = Faktor keutamaan gempa bangunan

V_x = Gaya geser seismik lateral

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Jika koefisien stabilitas (θ) yang dihasilkan berada di antara 0,10 dan θ_{max} maka seluruh respons struktur (gaya internal dan simpangan) wajib diamplifikasi dengan faktor pengali sebesar $\frac{1}{1-\theta}$. SNI 1726:2019 menetapkan batas atas koefisien stabilitas maksimum dengan persamaan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25 \quad (3.36)$$

di mana β merupakan rasio permintaan geser terhadap kapasitas geser antara tingkat n dan tingkat $n - 1$, yang secara konservatif dapat diambil sebesar 1,0. Persyaratan regulasi menetapkan bahwa nilai koefisien stabilitas hasil analisis tidak boleh melampaui nilai θ_{max} tersebut. Jika nilai θ melampaui θ_{max} , maka struktur dinilai tidak stabil dan berpotensi mengalami keruntuhan progresif, sehingga konfigurasi dimensi atau kekakuan struktur global wajib diredesain.

3.5.5 Level Kinerja Struktur

Level kinerja mendefinisikan kondisi kerusakan fisik bangunan pasca gempa. Terdapat tiga level utama yang ditinjau sebagai berikut.

1. Immediate Occupancy (IO)

Kerusakan sangat kecil, bangunan aman dan dapat segera digunakan kembali. Kekuatan dan kekakuan struktur hampir sama dengan kondisi awal.

2. Life Safety (LS)

Terjadi kerusakan signifikan pada komponen struktur, namun gedung tidak runtuh. Risiko korban jiwa rendah, tetapi bangunan mungkin memerlukan perbaikan.

3. Collapse Prevention (CP)

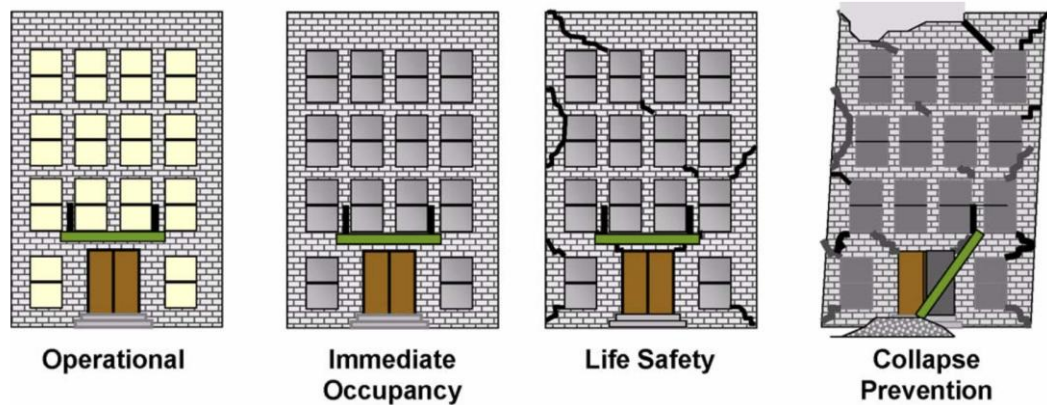
Kerusakan parah dan gedung berada di ambang keruntuhan. Struktur masih mampu menahan beban gravitasi, namun tidak aman untuk digunakan kembali. Ilustrasi visual kerusakan gedung berdasarkan level kinerja seismik ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut.

Berdasarkan FEMA 356 Tabel C1-3 untuk tipe struktur Rangka Beton (*Concrete Frames*), batasan simpangan izin untuk masing-masing level kinerja dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Batas Izin Simpangan Antar Lantai

Level Kinerja	Batas <i>Transient Drift</i>	Batas <i>Permanent Drift</i>
Immediate Occupancy (IO)	1,0 %	Dapat diabaikan
Life Safety (LS)	2,0%	1,0%
Collapse Prevention (CP)	4,0%	4,0%

Sumber: Fema 356 (2000)



Gambar 3.8 Ilustrasi Visual Level Kinerja Seismik
(Sumber: FEMA 389, 2004)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik gedung perkantoran eksisting di wilayah Surabaya dengan menggunakan analisis dinamis riwayat waktu linear (*Linear Time History Analysis*). Metode ini dipilih untuk mendapatkan gambaran perilaku struktur yang lebih akurat saat menerima beban gempa kuat, khususnya dalam melihat mekanisme simpangan antar lantai.

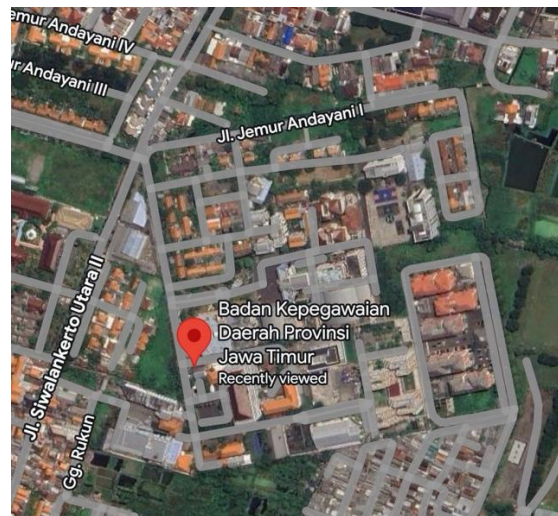
Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data teknis gedung, pemodelan struktur tiga dimensi, hingga penentuan beban gempa input. Dikarenakan analisis yang digunakan berbasis riwayat waktu, prosedur penelitian juga mencakup pemilihan rekaman gempa (*ground motion selection*) dan penyesuaian spektral (*spectral matching*) agar sesuai dengan target respons spektrum wilayah Surabaya.

Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan kriteria penerimaan yang mengacu pada standar FEMA 356, yang mengklasifikasikan tingkat kerusakan struktur ke dalam level *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

4.2 Lokasi Penelitian

Objek studi kasus dalam penelitian ini adalah Gedung Kantor Badan Kepegawaian Daerah (BKD) Provinsi Jawa Timur. Gedung ini merupakan struktur beton bertulang yang berfungsi sebagai fasilitas perkantoran pemerintah yang vital.

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Jl. Jemur Andayani No. 1, Kelurahan Siwalankerto, Kecamatan Wonocolo, Kota Surabaya, Jawa Timur. Peta lokasi objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Gedung BKD Provinsi Jawa Timur
(Sumber: Google Maps, 2025)

4.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam analisis ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen teknis pembangunan Gedung Kantor BKD Provinsi Jawa Timur. Data tersebut meliputi data *shop drawing*, spesifikasi material, kondisi tanah dasar, serta parameter respons spektrum desain yang berlaku di wilayah Surabaya. Adapun data yang diperoleh sebagai berikut.

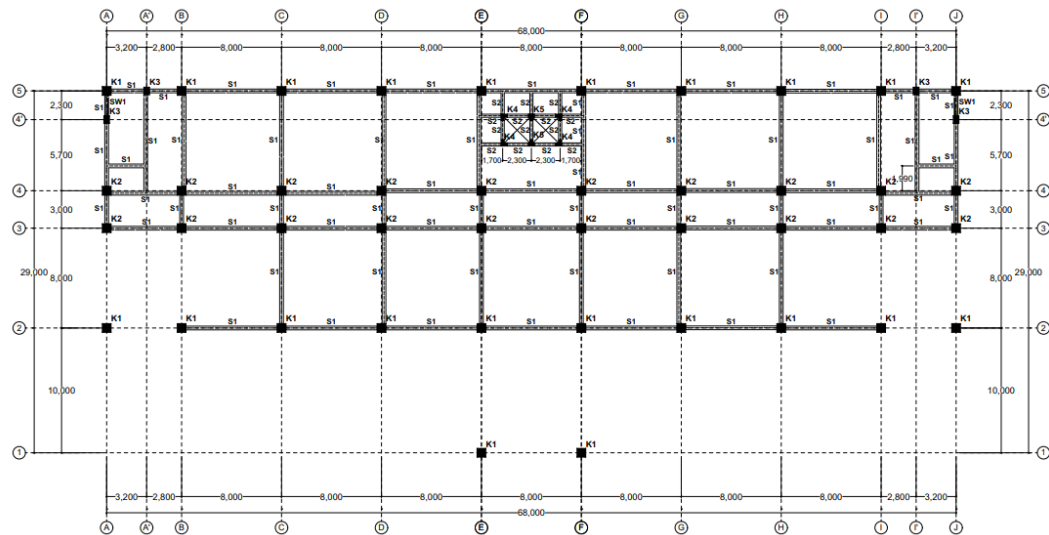
4.3.1 Deskripsi Umum Objek Penelitian

Identifikasi data umum bangunan dilakukan berdasarkan dokumen gambar (*as-built drawing*) dan laporan spesifikasi teknis proyek. Adapun deskripsi umum mengenai objek penelitian sebagai berikut.

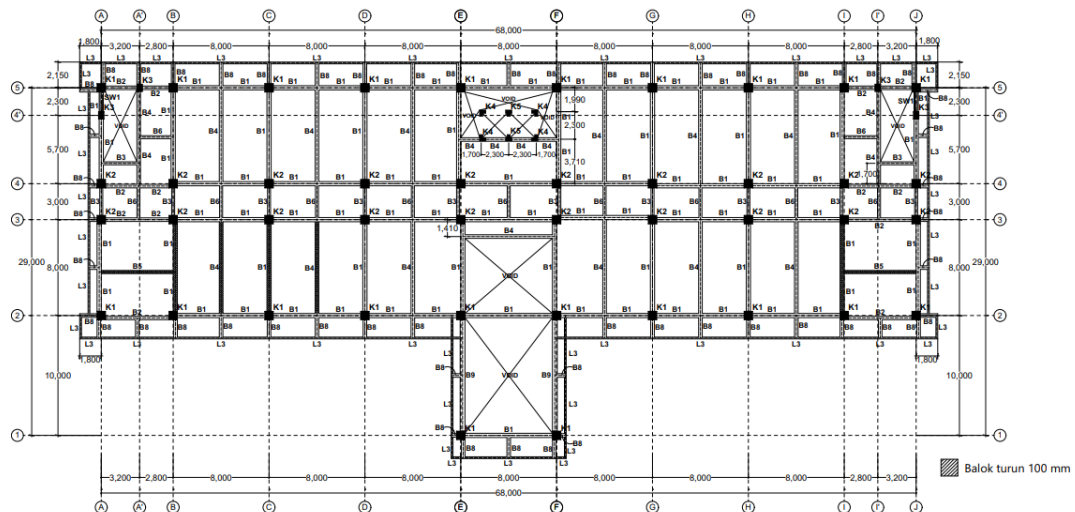
1. Lokasi penelitian adalah Jl. Jemur Andayani No. 1, Kelurahan Siwalankerto, Kecamatan Wonocolo, Kota Surabaya, Jawa Timur.
2. Fungsi bangunan adalah sebagai gedung perkantoran.
3. Jumlah tingkat bangunan 5 lantai.
4. Material utama objek penelitian adalah beton bertulang.

Selain data identifikasi umum di atas, pemahaman mengenai konfigurasi geometri struktur secara menyeluruh sangat diperlukan. Berdasarkan dokumen *As-built Drawing*, struktur gedung memiliki detail denah yang perlu ditinjau pada setiap tingkatnya guna memastikan akurasi pemodelan elemen balok dan kolom.

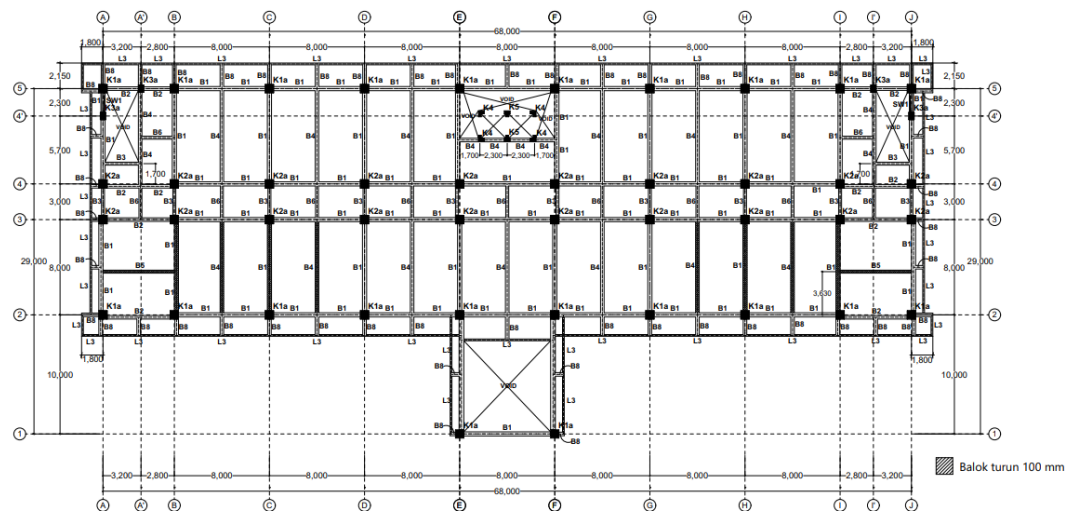
Visualisasi denah struktur lantai 1 hingga lantai 5 masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.6, sedangkan potongan melintang struktur dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 sebagai berikut.



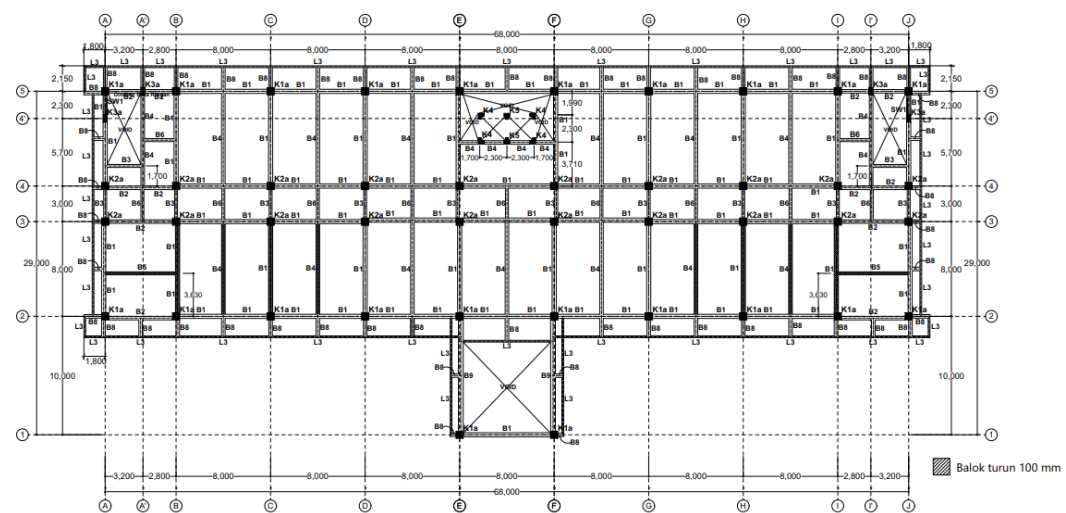
Gambar 4.2 Denah Lantai 1
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



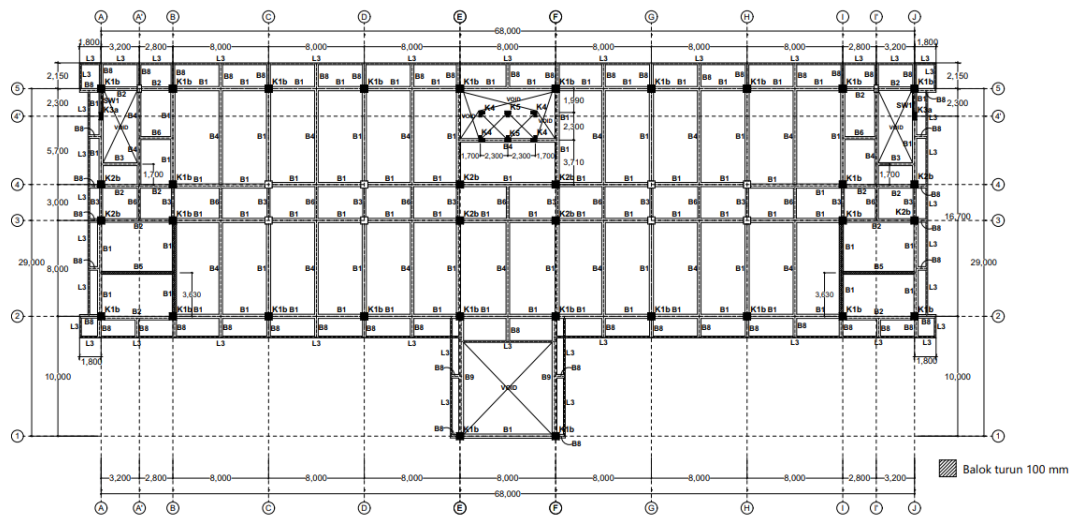
Gambar 4.3 Denah Lantai 2
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



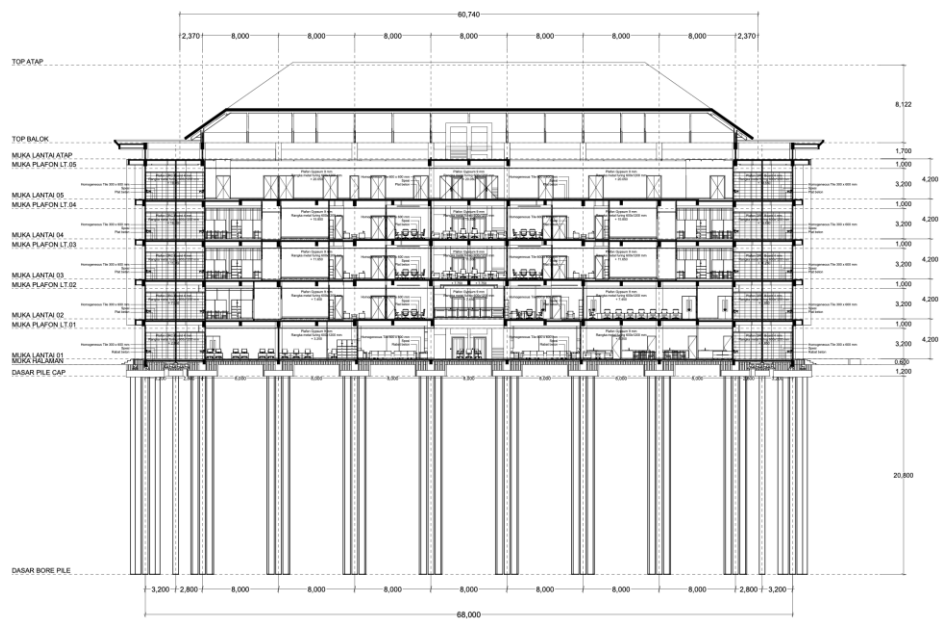
Gambar 4.4 Denah Lantai 3
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



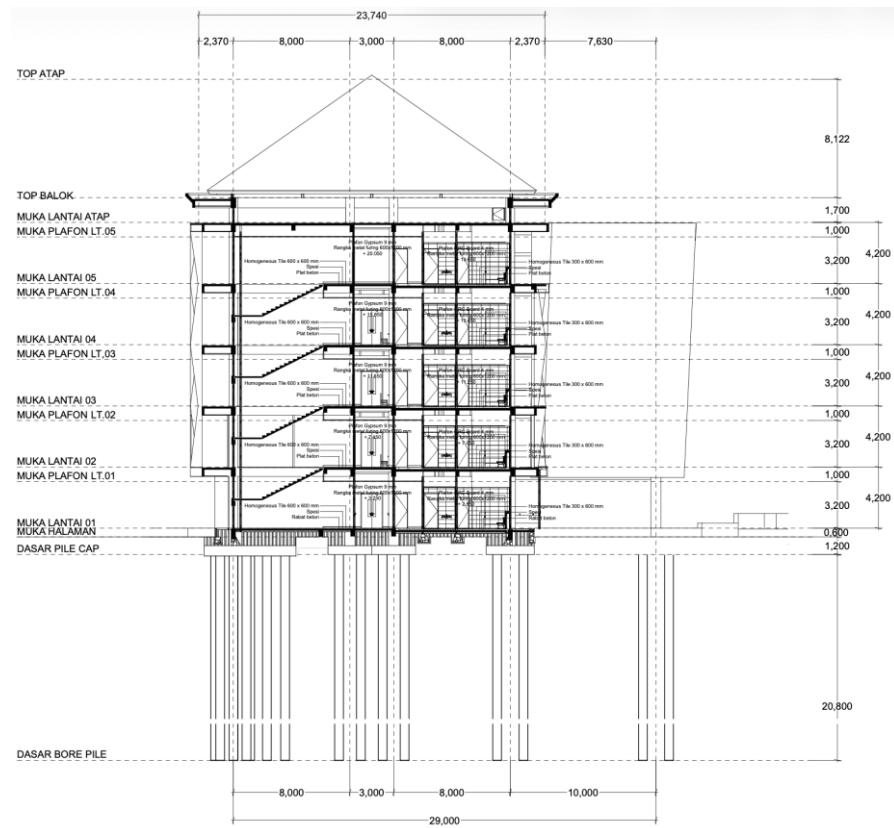
Gambar 4.5 Denah Lantai 4
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



Gambar 4.6 Denah Lantai 5
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



Gambar 4.7 Potongan A-A
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)



Gambar 4.8 Potongan C-C
(Sumber: Dinas PUPR Provinsi Jawa Timur, 2025)

4.3.2 Data Material Struktur

Properti material yang digunakan dalam pemodelan struktur mengacu pada spesifikasi teknis gedung eksisting. Mengingat analisis dilakukan secara non-linear, parameter material didefinisikan secara spesifik untuk menghitung kapasitas penampang.

1. Material beton

Beton bertulang dimodelkan dengan berat jenis 2400 kg/m^3 dan modulus elastisitas (E_c) yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (4.1)$$

Sedangkan untuk mutu beton (f'_c) yang digunakan sebesar 25 Mpa.

2. Material baja tulangan

Baja tulangan yang digunakan berdasarkan SNI 2052:2017 Pasal 6.5.

a. Baja tulangan sirip (BJTS)

Baja tulangan sirip yang digunakan adalah mutu BJTS 420B dengan spesifikasi sebagai berikut.

- 1) Tegangan leleh (f_y) = 420 MPa.
- 2) Tegangan putus (f_u) = 525 MPa (diambil berdasarkan rasio $f_u/f_y \geq 1,25$).
- 3) Tegangan leleh ekspektasi (f_{ye}) = 462 MPa ($1,1 \times f_y$)
- 4) Tegangan putus ekspektasi (f_{ue}) = 577.5 MPa ($1,1 \times f_u$)
- 5) Regangan minimum 14% untuk $d < 19$ mm.
- 6) Regangan minimum 12% untuk $22 < d < 36$ mm.
- 7) Regangan minimum 10% untuk diameter baja < 46 mm.

b. Baja tulangan polos (BJTP)

Baja tulangan polos yang digunakan adalah mutu BJTP 280 dengan spesifikasi sebagai berikut.

- 1) Tegangan leleh (f_y) = 280 MPa.
- 2) Tegangan putus (f_u) = 350 MPa (diambil berdasarkan rasio $f_u/f_y \geq 1,25$).
- 3) Regangan minimum 11% untuk $d < 12$ mm.
- 4) Regangan minimum 12% untuk $d > 12$ mm.

4.3.3 Data Kondisi Tanah

Data kondisi tanah dasar diperoleh berdasarkan Laporan Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation Report*) di lokasi proyek. Berdasarkan evaluasi nilai N-SPT rata-rata (N_{avg}) pada kedalaman 30 meter, lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SE (Tanah Lunak) sesuai dengan standar SNI 1726:2019.

Klasifikasi situs ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan faktor amplifikasi seismik (F_a dan F_v) guna pembentukan respons spektrum desain target di wilayah Surabaya.

4.3.4 Data Respons Spektrum Target

Beban gempa rencana yang digunakan sebagai target dalam proses penyesuaian spektral (*spectral matching*) mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 (SNI 1726:2019). Parameter percepatan batuan dasar

diambil untuk wilayah Kota Surabaya dengan kondisi tanah Kelas Situs SE (Tanah Lunak).

4.4 Alat Bantu Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis simulasi numerik yang memerlukan alat bantu komputasi untuk melakukan analisis struktur yang kompleks. Alat bantu yang digunakan terdiri dari perangkat lunak (*software*) dengan rincian sebagai berikut.

4.4.1 Perangkat Lunak Analisis Struktur

Perangkat lunak utama yang digunakan untuk pemodelan dan analisis struktur dalam penelitian ini adalah CSI ETABS (*Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems*) versi 22. Pemilihan perangkat lunak ini didasarkan pada kemampuannya yang komprehensif dalam menangani analisis struktur gedung bertingkat tinggi, khususnya untuk analisis dinamis non-linear. Dalam penelitian ini, ETABS digunakan untuk beberapa tahapan kerja, yaitu sebagai berikut.

1. Pemodelan geometri struktur 3D (balok, kolom dan pelat) sesuai dengan kondisi eksisting.
2. Definisi properti material dan penampang elemen struktur.
3. Simulasi pembebanan gravitasi (beban mati dan hidup) serta beban gempa.
4. Pelaksanaan analisis riwayat waktu linear (*Linear Time History Analysis*) untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur berdasarkan kriteria penerimaan yang ditetapkan.

4.4.2 Perangkat Lunak Penyesuaian Spektral

Untuk keperluan pemrosesan data input gempa, digunakan perangkat lunak SeismoMatch versi 2024. Perangkat lunak ini berfungsi khusus untuk melakukan penyesuaian spektral (*spectral matching*) pada rekaman gempa asli (*ground motion records*).

Proses ini bertujuan untuk memodifikasi konten frekuensi dari rekaman gempa input agar spektrum responsnya sesuai dengan spektrum respons desain target Kota Surabaya (Tanah Lunak) sebagaimana disyaratkan dalam SNI 1726:2019. Keluaran dari perangkat lunak ini adalah akselerogram yang telah

dimodifikasi (*matched accelerogram*) yang kemudian digunakan sebagai beban input dalam analisis riwayat waktu di ETABS.

4.4.3 Basis Data Gerakan Tanah

Data rekaman gempa bumi yang digunakan sebagai input awal diperoleh dari basis data *Center for Engineering Strong Motion Data* (CESMD).

Basis data ini menyediakan kumpulan data riwayat waktu percepatan tanah (*ground motion accelerograms*) dari berbagai kejadian gempa besar di seluruh dunia. Pemilihan rekaman gempa dari basis data ini dilakukan berdasarkan kriteria kesesuaian parameter gempa (magnitudo, jarak sumber gempa, dan mekanisme sesar) diambil berdasarkan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia yang disesuaikan terlebih dahulu dengan kondisi seismik lokal wilayah Kota Surabaya.

4.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan atribut atau sifat dari objek penelitian yang memiliki variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya. Variabel dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua, yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

4.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi penyebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan sebagai berikut.

1. Akselerogram gempa

Rekaman riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) yang telah dimodifikasi melalui proses penyesuaian spektral (*spectral matching*).

2. Jumlah rekaman

Sebanyak 7 pasang rekaman gempa digunakan sebagai input analisis. Penentuan jumlah ini mengacu pada rekomendasi teknis NIST GCR 11-917-15, yang menyatakan bahwa stabilitas statistik untuk estimasi respons struktur dapat dicapai dengan menggunakan minimal 7 pasang rekaman. Dengan menggunakan 7 pasang, maka parameter respons struktur (gaya geser, simpangan, dan momen) diizinkan untuk diambil berdasarkan nilai rata-rata

(*average*), yang dinilai lebih representatif dibandingkan nilai maksimum (NIST, 2011).

3. Intensitas gempa

Tingkat kekuatan gempa yang disesuaikan dengan target respons spektrum desain Kota Surabaya (Tanah Lunak) pada taraf gempa maksimum (MCE_R).

4.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat adalah respons dan kinerja struktur gedung. Parameter yang diamati sebagai indikator variabel terikat adalah sebagai berikut.

1. Gaya geser dasar

Gaya geser total yang terjadi pada dasar bangunan sebagai respons terhadap beban gempa rencana.

2. Simpangan antar lantai

Perpindahan relatif antar tingkat lantai yang dihasilkan struktur akibat beban gempa input, yang digunakan untuk mengevaluasi batas kinerja struktur.

3. Efek P-delta

Nilai koefisien stabilitas struktur untuk mengevaluasi pengaruh efek geometris sekunder (gaya aksial vertikal yang bekerja pada posisi gedung yang menyimpang secara lateral) terhadap potensi ketidaksetimbangan struktur global.

4. Level kinerja struktur

Status akhir keamanan gedung (*Immediate Occupancy*, *Life Safety* dan *Collapse Prevention*) berdasarkan kriteria penerimaan FEMA 356.

4.6 Metode Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur gedung dilakukan secara tiga dimensi (3D) menggunakan bantuan perangkat lunak CSI ETABS. Proses pemodelan ini bertujuan untuk merepresentasikan perilaku fisik struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur sedekat mungkin dengan kondisi aslinya.

4.6.1 Geometri dan Elemen

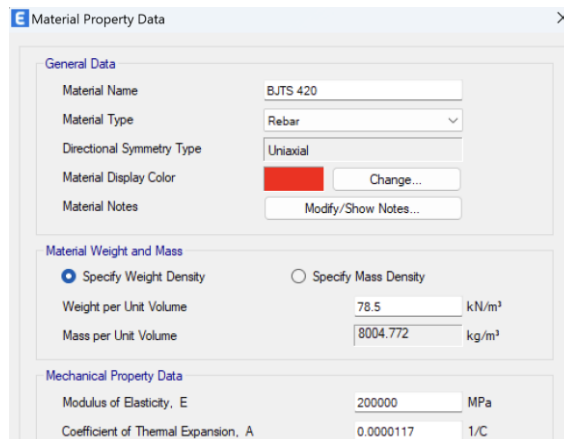
Geometri struktur dimodelkan berdasarkan data gambar teknik (*As-built Drawing*) yang diperoleh. Diskritisasi elemen struktur dalam model numerik dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut.

1. Definisi material

Parameter material beton bertulang dan baja tulangan didefinisikan ke dalam perangkat lunak mengacu pada data properti material yang telah diuraikan pada Sub-bab 4.3.2. Mutu beton (f'_c) dan baja tulangan (f_y) diinputkan untuk menentukan modulus elastisitas dan kekuatan batas elemen. Input parameter material beton dan baja tulangan pada perangkat lunak ETABS ditampilkan pada Gambar 4.9 hingga Gambar 4.12.

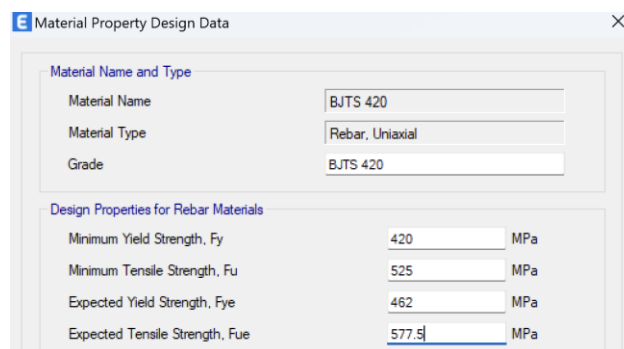
Gambar 4.9 Definisi Properti Material Beton (E_c)

Gambar 4.10 Definisi Parameter Desain Kuat Tekan Beton (f'_c)



Material Property Data	
General Data	
Material Name	BJTS 420
Material Type	Rebar
Directional Symmetry Type	Uniaxial
Material Display Color	 Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...
Material Weight and Mass	
☒ Specify Weight Density	☐ Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	78.5 kN/m³
Mass per Unit Volume	8004.772 kg/m³
Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	200000 MPa
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000117 1/C

Gambar 4.11 Definisi Properti Material Baja Tulangan

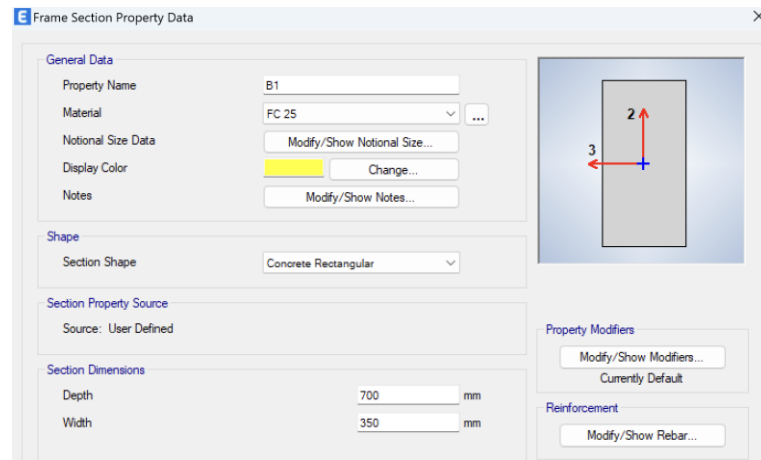


Material Property Design Data	
Material Name and Type	
Material Name	BJTS 420
Material Type	Rebar, Uniaxial
Grade	BJTS 420
Design Properties for Rebar Materials	
Minimum Yield Strength, Fy	420 MPa
Minimum Tensile Strength, Fu	525 MPa
Expected Yield Strength, Fye	462 MPa
Expected Tensile Strength, Fue	577.5 MPa

Gambar 4.12 Definisi Parameter Desain Baja Tulangan

2. Definisi penampang

Elemen balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen garis (*frame element*). Dimensi penampang didefinisikan sesuai dengan *Schedule* Balok dan Kolom pada gambar DED. Penampang didefinisikan sebagai *Concrete Rectangular* dengan material beton 25 MPa dan tulangan BJTS 420. Definisi dimensi penampang balok dan kolom serta faktor modifikasi kekakuannya (*property modifiers*) dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.16.



Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B1

Material: FC 25

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 350 mm

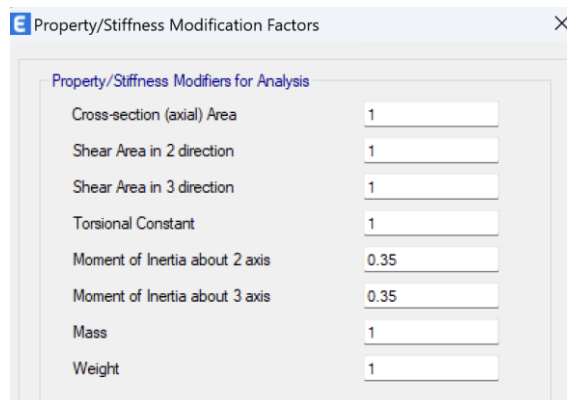
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Gambar 4.13 Definisi Properti Geometri Penampang Balok (B1)

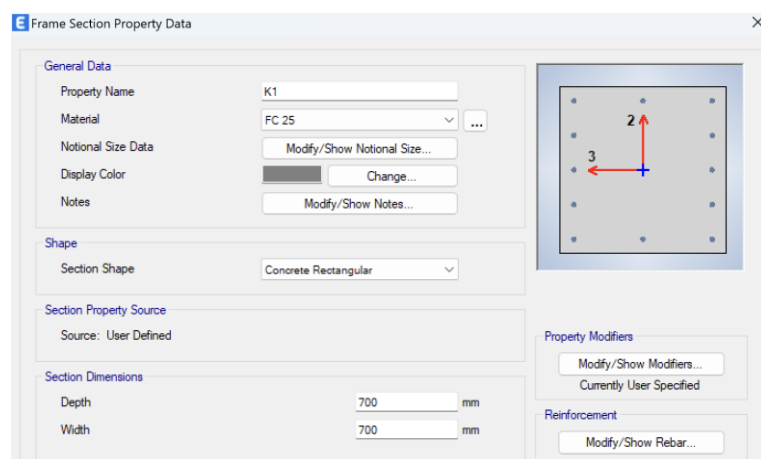


Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.35
Moment of Inertia about 3 axis	0.35
Mass	1
Weight	1

Gambar 4.14 Input Faktor Pengaruh Retak Penampang pada Balok



Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K1

Material: FC 25

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 700 mm

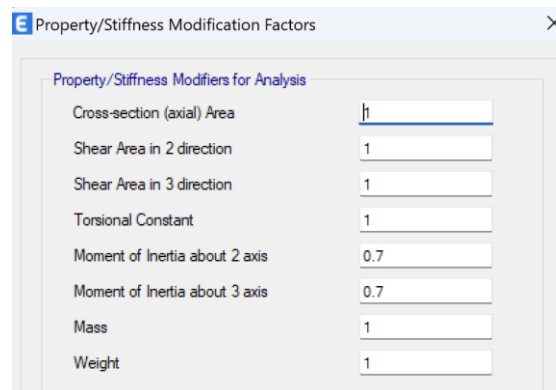
Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

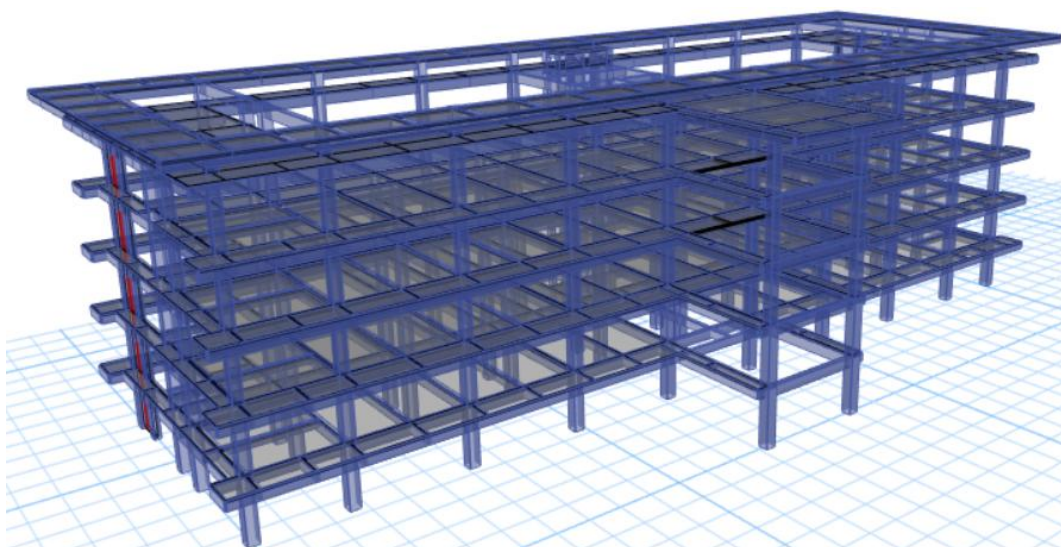
Gambar 4.15 Definisi Properti Geometri Penampang Kolom (K1)



Gambar 4.16 Input Faktor Pengaruh Retak Penampang pada Kolom

3. Geometri global struktur

Struktur dimodelkan secara tiga dimensi berdasarkan sistem grid yang telah disesuaikan dengan denah arsitektural. Sistem struktur terdiri dari 5 lantai dengan tinggi antar lantai tipikal yang seragam, yaitu setinggi 4,2 meter untuk setiap tingkat. Pelat lantai dimodelkan sebagai elemen *shell* dan difungsikan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*) pada setiap tingkat. Hasil pemodelan struktur 3D secara utuh ditunjukkan pada Gambar 4.17.

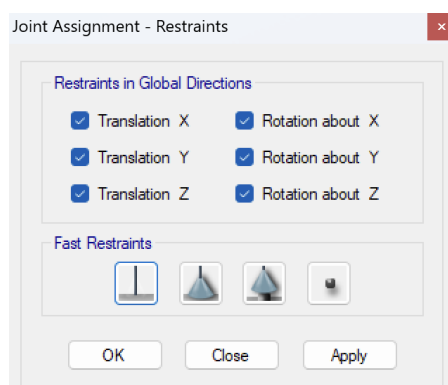


Gambar 4.17 Pemodelan Struktur Gedung

4. Tumpuan dasar

Kondisi batas (*boundary conditions*) pada dasar bangunan dimodelkan sebagai tumpuan jepit sempurna (*fixed support*) mengacu pada data teknis struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur. Tumpuan ini diaplikasikan pada seluruh titik nodal (*joints*) di dasar kolom dan dinding geser yang berada pada elevasi dasar struktur.

Dalam perangkat lunak ETABS, definisi tumpuan jepit dilakukan dengan memberikan kekangan (*restraint*) penuh terhadap seluruh enam derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Hal ini berarti titik tumpuan dikunci sepenuhnya agar tidak mengalami perpindahan translasi maupun rotasi, sebagaimana terlihat pada definisi *restraint* di Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pemodelan Tumpuan Jepit

4.6.2 Definisi Massa

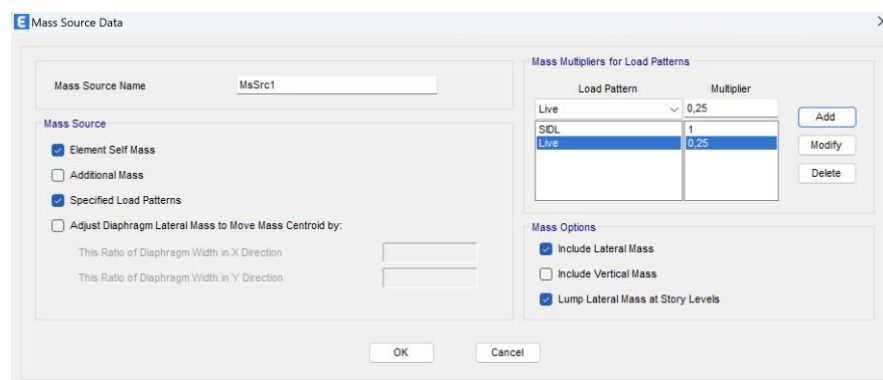
Massa struktur yang digunakan dalam analisis dinamik didefinisikan sebagai berat seismik efektif (*effective seismic weight*), sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.2. Berat seismik ini meliputi seluruh beban mati elemen struktur maupun non-struktur yang bersifat permanen. Dalam pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak ETABS, definisi massa diatur melalui fitur *Mass Source* dengan mengonversi beban vertikal menjadi massa translasi. Komponen beban yang diperhitungkan dalam berat seismik (W) pada studi ini meliputi.

1. Berat sendiri elemen struktur (*Self Weight*), yang dihitung secara otomatis oleh program berdasarkan berat jenis material beton bertulang (2400 kg/m³).
2. Beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*), mencakup berat penutup lantai, plafon, penggantung, instalasi mekanikal-elektrikal, dan dinding partisi.
3. Sebagian beban hidup (*Live Load*), yang direduksi sebesar 25% (0,25L) khusus untuk area yang difungsikan sebagai ruang penyimpanan atau arsip, sesuai persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2.

Kombinasi sumber massa yang diinputkan ke dalam analisis adalah sebagai berikut.

$$Mass\ Source = 1,0DL + 1,0SIDL + 0,25LL_{storage} \quad (4.2)$$

Dimana massa tersebut diasumsikan terkonsentrasi pada setiap diafragma lantai (*lumped mass*) untuk menangkap respons dinamis struktur secara global. Implementasi kombinasi sumber massa tersebut ke dalam perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 4.19.



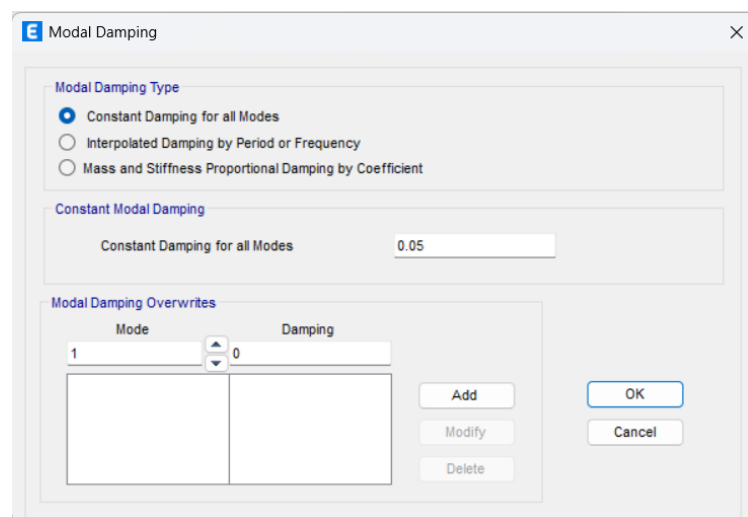
Gambar 4.19 Definisi Sumber Massa (*Mass Source*)

4.6.3 Rasio Redaman

Karena analisis yang dilakukan pada penelitian ini berbasis linier dinamis (*Linear Modal Time History Analysis*), penyerapan energi gempa pada struktur tidak dimodelkan melalui pelelehan elemen (sendi plastis), melainkan didekati melalui fungsi redaman viskos sebanding massa dan kekakuan. Parameter ini didefinisikan dalam model ETABS sebagai Rasio Redaman Ragam (*Modal*

Damping Ratio). Nilai rasio redaman modal ditetapkan secara konstan sebesar 5% (0,05) untuk seluruh ragam getar (*mode*) yang berkontribusi dalam analisis.

Nilai redaman 5% ini diterapkan langsung pada menu *Load Case* tipe *Modal Time History* untuk masing-masing ke-7 pasang fungsi gempa input. Redaman ini berfungsi secara linier untuk mereduksi amplitudo respons gelombang akselerogram seiring berjalannya durasi waktu guncangan, sehingga menghasilkan respons simpangan dan gaya internal Gedung BKD Provinsi Jawa Timur yang realistis tanpa mengalami resonansi tak terbatas. Penerapan *Damping Ratio* ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Pengaturan *Constant Modal Damping* 5%

4.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dirancang secara sistematis untuk memastikan hasil evaluasi kinerja seismik yang akurat dan memenuhi kaidah teknis yang berlaku. Langkah-langkah utama dalam analisis ini adalah sebagai berikut.

4.7.1 Pemilihan Gerakan Tanah

Tahap ini merupakan langkah awal untuk mendapatkan input beban gempa yang representatif. Pemilihan rekaman gempa bumi (*seed records*) dilakukan dari basis data *Center of Engineering Strong Motion* (CESMD). Proses seleksi

didasarkan pada kesamaan karakteristik sumber gempa dan kondisi situs antara rekaman historis dengan skenario gempa dominan hasil analisis deagregasi di lokasi studi, Kota Surabaya. Kriteria seleksi yang digunakan mengacu pada rekomendasi NIST GCR 11-917-15, meliputi.

1. Magnitudo Momen (M_w)

Dipilih rentang magnitudo yang signifikan untuk menghasilkan durasi guncangan yang relevan.

2. Jarak Sumber (R)

Jarak terdekat ke bidang patahan atau jarak *Joyner-Boore* (R_{jb}).

3. Mekanisme Sesar

Disesuaikan dengan sumber gempa ancaman utama di Surabaya.

4. Kelas Situs (V_{s30})

Rekaman dipilih dari stasiun dengan kondisi tanah yang mendekati Kelas Situs SE (Tanah Lunak).

5. Jumlah Rekaman

Sebanyak 7 pasang gerakan tanah dipilih untuk memastikan stabilitas statistik, sehingga respons struktur dapat dievaluasi berdasarkan nilai rata-rata (*average*).

4.7.2 Penyesuaian Spektral

Setelah mendapatkan *seed records*, dilakukan proses modifikasi sinyal menggunakan metode penyesuaian spektral dalam kawasan waktu (*time domain*) berbasis algoritma *Wavelet*. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SeismoMatch. Tujuannya adalah menyelaraskan spektrum respons dari rekaman gempa asli agar sesuai dengan Target Respons Spektrum Desain Kota Surabaya (Tanah Lunak) yang telah dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.

Prosedur validasi hasil *matching* dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut.

1. Pencocokan dilakukan pada rentang periode $0,8T_{lower}$ hingga $1,2T_{upper}$.
2. Rata-rata dari spektra arah maksimum (*Maximum Direction Spectra*) untuk seluruh rekaman modifikasi tidak boleh kurang dari 100% dari spektrum target desain pada rentang periode tersebut.
3. Rasio rata-rata spektrum hasil pencocokan terhadap spektrum target pada setiap titik periode dalam rentang validasi harus berada dalam batas toleransi $\pm 10\%$

4.7.3 Analisis Riwayat Waktu

Tahap ini merupakan inti dari simulasi numerik. Rekaman gempa yang telah dimodifikasi (*matched accelerograms*) diinputkan ke dalam model struktur 3D di perangkat lunak ETABS sebagai beban percepatan arah horizontal (X dan Y) secara simultan.

Proses analisis dilakukan dengan metode Analisis Riwayat Waktu Linier Berbasis Ragam (*Linear Modal Time History Analysis*). Prosedur ini menghitung respons struktur detik demi detik sepanjang durasi gempa dengan memperhitungkan parameter-parameter utama sebagai berikut.

1. Kombinasi Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja bersamaan dengan beban gempa dinamis.

2. Partisipasi Massa Ragam

3. Sebelum melakukan analisis riwayat waktu, dipastikan bahwa jumlah ragam getar (*mode*) yang diekstrak dalam analisis modal telah memenuhi syarat SNI 1726:2019, yaitu mencapai partisipasi massa terfaktor minimal sebesar 90% untuk arah X dan arah Y

4. Damping

Menggunakan *Rayleigh Damping* dengan rasio redaman 5%.

4.7.4 Kriteria Evaluasi

Output dari analisis riwayat waktu dievaluasi untuk menentukan kinerja seismik gedung berdasarkan standar FEMA 356. Parameter evaluasi mencakup sebagai berikut.

1. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar hasil analisis riwayat waktu (V_{th}) dievaluasi terhadap gaya geser hasil analisis respons spektrum respons (V_{RSA}). Kriteria penerimaan ditetapkan nilai rasio akhir tidak boleh kurang dari 100% untuk mencegah adanya *underestimated* maupu *overestimated*.

2. Efek P-delta

Pengaruh efek geometris sekunder ditinjau melalui nilai koefisien stabilitas tingkat. Berdasarkan SNI 1726:2019, kriteria stabilitas terpenuhi apabila nilai θ pada seluruh tingkat berada di bawah atau sama dengan batas atas stabilitas

maksimum struktur ($\theta_{max} = 0,0909$) guna memastikan gedung aman dari risiko instabilitas global.

3. Simpangan Antar Lantai (*story drift*)

Simpangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan batas izin kinerja (*acceptance criteria*) untuk level *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

4. Level Kinerja Struktur

Status batas kerusakan fisis dan keselamatan global gedung diklasifikasikan secara berbasis simpangan (*drift-based*) dengan mengacu pada ambang batas batasan pedoman FEMA 356. Hasil evaluasi akhir akan menetapkan posisi gedung perkantoran ini ke dalam salah satu tingkat kelayakan struktur, yaitu.

a. *Immediate Occupancy* (IO)

Kerusakan sangat kecil, bangunan aman dan dapat segera digunakan kembali. Kekuatan dan kekakuan struktur hampir sama dengan kondisi awal.

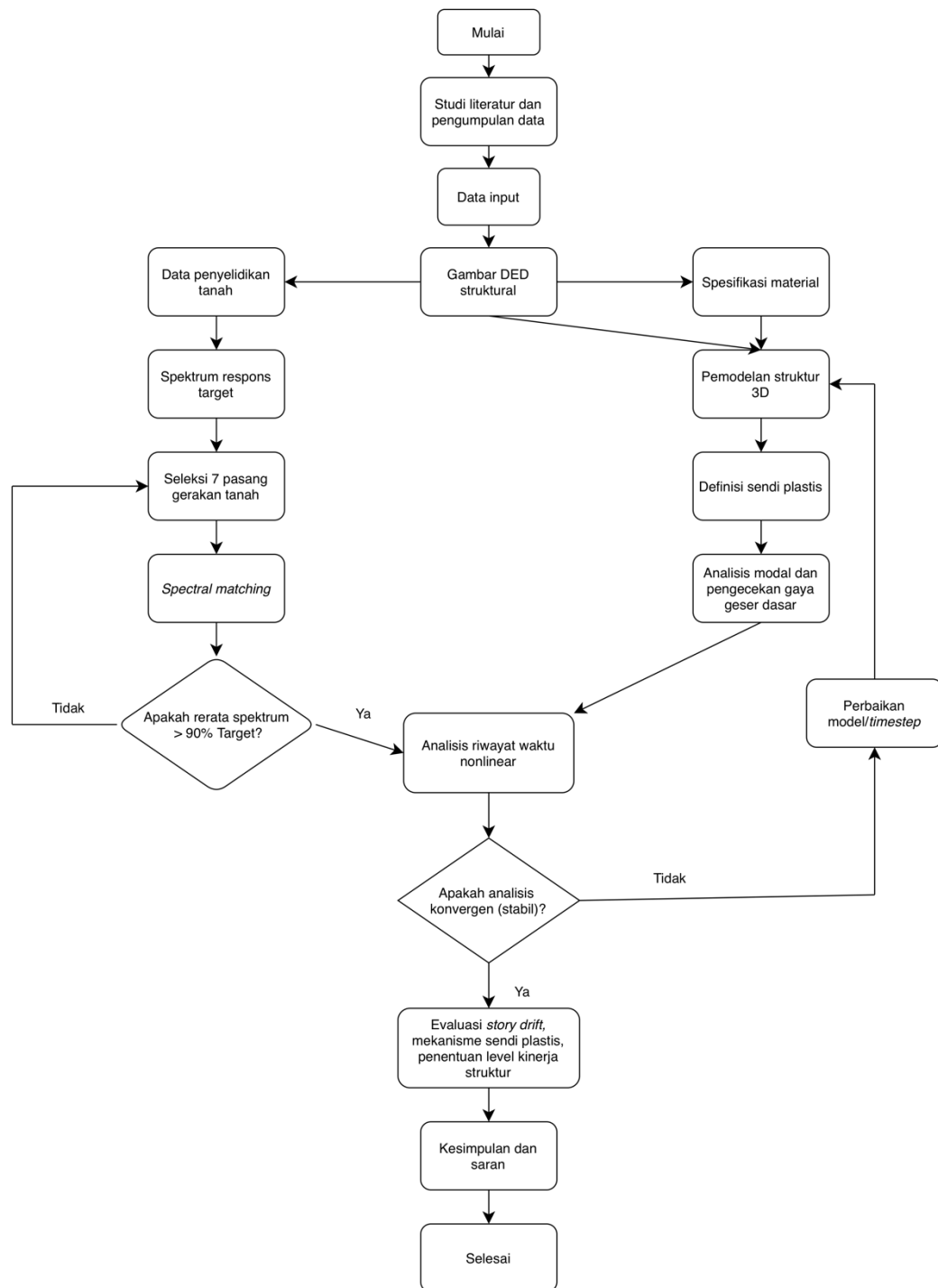
b. *Life Safety* (LS)

Terjadi kerusakan signifikan pada komponen struktur, namun gedung tidak runtuh. Risiko korban jiwa rendah, tetapi bangunan mungkin memerlukan perbaikan.

c. *Collapse Prevention* (CP)

Kerusakan parah dan gedung berada di ambang keruntuhan. Struktur masih mampu menahan beban gravitasi, namun tidak aman untuk digunakan kembali.

4.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.21 Diagram Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Konfigurasi dan Geometri Struktur

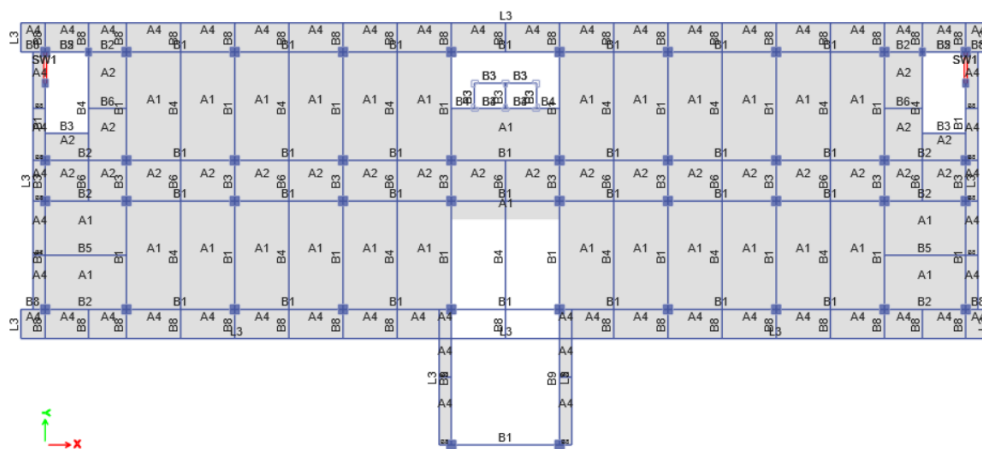
Gedung Badan Kepegawaian Daerah (BKD) Provinsi Jawa Timur yang menjadi objek dalam penelitian ini merupakan struktur gedung perkantoran eksisting yang dibangun menggunakan material beton bertulang. Evaluasi terhadap geometri dan konfigurasi denah dilakukan berdasarkan gambar kerja untuk kemudian ditransformasikan ke dalam model tiga dimensi (3D) pada perangkat lunak ETABS.

5.1.1 Konfigurasi Denah dan Geometri Tingkat

Secara arsitektural dan struktural, Gedung BKD Provinsi Jawa Timur memiliki karakteristik konfigurasi sebagai berikut.

1. Bentuk Denah

Denah bangunan memiliki konfigurasi yang tipikal berbentuk persegi panjang dengan panjang total sebesar 68 meter dan lebar total 29 meter. Simetrisitas denah ini sangat menguntungkan secara seismik karena dapat meminimalkan jarak antara pusat massa (*center of mass*) dan pusat kekakuan (*center of rigidity*) struktur. Denah *story 1* dapat dilihat pada Gambar 5.1.



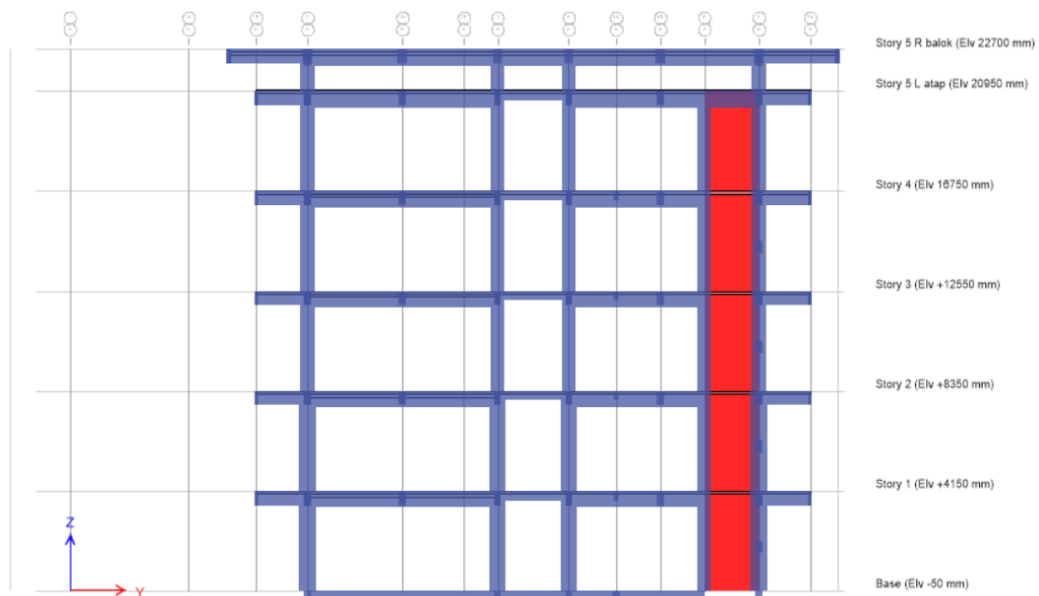
Gambar 5.1 Pemodelan Story 1 Elv. +4150 mm

2. Elevasi dan Tingkat Gedung

Gedung ini memiliki total tinggi struktur 22,7 meter dari permukaan tanah. Detail dan visual mengenai elevasi dan tinggi antar-lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.1 Elevasi Struktur Gedung

Story	Lantai	Elevasi (m)	Tinggi tingkat (m)
5	Ring Balok	22.7	1.75
5	Lantai Atap	20.95	4.2
4	5	16.75	4.2
3	4	12.55	4.2
2	3	8.35	4.2
1	2	4.15	4.2
Base	1	-0.05	-



Gambar 5.2 Pemodelan Gedung Elevation View A

5.1.2 Dimensi Penampang Elemen Struktur

Elemen struktural utama pembentuk rangka pada Gedung BKD Provinsi Jawa Timur terdiri dari kolom, balok, dinding geser dan pelat. Dimensi penampang struktural tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2, Tabel 5.3, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.2 Dimensi Penampang Kolom

Tipe Kolom	Panjang (h) (mm)	Lebar (b) (mm)
K1	700	700
K1a	600	600
K1b	600	600
K2	700	700
K2a	600	600
K2b	600	600
K3	600	450
K3a	600	350
K4	500	500
K5	500	500

Tabel 5.3 Dimensi Penampang Balok

Jenis Balok	Tipe Balok	Panjang (h) (mm)	Lebar (b) (mm)
Balok Sloof	S1	500	300
	S2	400	250
Balok Induk	B9	800	400
	B1	700	350
	B1a	700	350
	B7	700	350
	B10	600	400
	B2	600	300
	B2a	600	300
	B4	600	300
	B8	600	300

Lanjutan Tabel 5.3 Dimensi Penampang Balok

Jenis Balok	Tipe Balok	Panjang (h) (mm)	Lebar (b) (mm)
Balok Anak	B5	500	250
	B3	400	250
	B6	300	250

Tabel 5.4 Dimensi Penampang Dinding Geser

Tipe Elemen	Tebal Badan (mm)	Panjang Badan Bersih (mm)
SW	200	2350

Tabel 5.5 Dimensi Penampang Pelat

Tipe Pelat	Tebal Pelat (h) (mm)
A0	120
A1	150
A2	120
A3	150
A4	120
A5	250

5.1.3 Properti Material Struktur

Struktur gedung yang dievaluasi merupakan struktur beton bertulang. Properti material yang didefinisikan ke dalam perangkat lunak ETABS mengacu pada spesifikasi teknis dan detail gambar kerja bangunan. Parameter mutu bahan yang digunakan meliputi material beton dan baja tulangan dengan rincian sebagai berikut.

1. Material beton

Beton bertulang dimodelkan dengan berat jenis 2400 kg/m^3 dan modulus elastisitas (E_c) yang dihitung berdasarkan persamaan 4.1 berikut.

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{25} \\
 &= 23500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mutu beton (f'_c) yang digunakan sebesar 25 MPa.

2. Material baja tulangan

Baja tulangan yang digunakan berdasarkan SNI 2052:2017 Pasal 6.5.

a. Baja tulangan sirip (BJTS)

Baja tulangan sirip yang digunakan adalah mutu BJTS 420B dengan spesifikasi sebagai berikut.

1) Tegangan leleh (f_y) = 420 MPa.

2) Tegangan putus (f_u) = 525 MPa (diambil berdasarkan rasio $f_u/f_y \geq 1,25$).

b. Baja tulangan polos (BJTP)

Baja tulangan polos yang digunakan adalah mutu BJTP 280 dengan spesifikasi sebagai berikut.

1) Tegangan leleh (f_y) = 280 MPa.

2) Tegangan putus (f_u) = 350 MPa (diambil berdasarkan rasio $f_u/f_y \geq 1,25$).

5.2 Asumsi Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada perangkat lunak ETABS dilakukan dengan menerapkan beberapa asumsi pendekatan. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan kompleksitas komputasi tanpa mengurangi tingkat akurasi representasi perilaku aktual struktur ketika menerima beban lateral gempa. Asumsi-asumsi pemodelan yang diterapkan adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan Rangka Atap

Struktur rangka atap tidak dimodelkan pada perangkat lunak. Namun, berat total dari struktur rangka tetap diaplikasikan sebagai beban mati tambahan pada elemen tumpuan. Berdasarkan data yang tersedia, beban mati tambahan untuk rangka atap dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Beban Mati Tambahan Atap

F_x (kN)	F_z (kN)
19,6594	20,6141

Nilai beban pada Tabel 5.6 diperoleh dari data laporan struktur yang disusun oleh konsultan perencanaan, kemudian diaplikasikan sebagai beban titik pada elemen tumpuan pada model ETABS. Keterangan F_x dan F_z pada tabel tersebut merepresentasikan komponen gaya reaksi tumpuan pada arah horizontal dan

vertikal, yaitu F_x merupakan komponen gaya horizontal (searah sumbu-X global) yang timbul akibat kemiringan/geometri rangka atap serta gaya dorong lateral dari sistem rangka, sedangkan F_z merupakan komponen gaya vertikal (searah sumbu-Z global/gravitasi) yang merepresentasikan berat total struktur rangka atap yang diteruskan ke elemen struktur di bawahnya. Kedua komponen gaya ini diinput sebagai beban mati tambahan pada titik tumpuan, sehingga pengaruh berat rangka atap tetap terhitung secara akurat dalam analisis struktur utama meskipun elemen rangka atap itu sendiri tidak dimodelkan secara eksplisit pada ETABS.

2. Faktor Reduksi Kekakuan Penampang

Nilai momen inersia penampang utuh (I_g) pada model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Faktor Reduksi Kekakuan

Elemen	Faktor Reduksi
Kolom	$0,70 I_g$
Balok	$0,35 I_g$
Pelat	$0,25 I_g$
Dinding Geser	$0,35 I_g$

3. Kondisi Tumpuan Dasar

Kondisi perletakan pada dasar bangunan diasumsikan sebagai tumpuan jepit sempurna (*Fixed Support*). Asumsi ini merepresentasikan kondisi bahwa kolom lantai dasar dan dinding geser tertanam kuat pada sistem fondasi yang kaku, sehingga menahan seluruh derajat kebebasan translasi maupun rotasi.

4. Kekakuan Diafragma Pelat

Sistem pelat lantai pada tiap tingkat diasumsikan bekerja sebagai diafragma kaku (*Rigid Diaphragm*). Pelat beton dianggap memiliki kekakuan aksial/membran yang tak terhingga pada bidang horizontalnya (*in-plane stiffness*). Asumsi ini memastikan gaya lateral gempa terdistribusi secara proporsional ke elemen vertikal berdasarkan kekakuannya masing-masing, serta membuat massa lantai terkonsentrasi pada pusat massa (*Center of Mass*).

5.3 Penentuan Kelas Situs

Penentuan kelas situs tanah pada lokasi Gedung BKD Provinsi Jawa Timur didasarkan pada data N-SPT hasil penyelidikan tanah (bor log) hingga kedalaman 30 m. Rekapitulasi data tebal lapisan dan nilai N-SPT tiap lapisan disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Data N-SPT Tanah

Kedalaman	Tebal Lapisan, d_i (m)	Jenis Tanah	N-SPT (N_i)	d_i/N_i
0-2	2	Pasir	5	0,4
2-4	2	Pasir	6	0,333
4-6	2	Pasir	13	0,154
6-8	2	Pasir	22	0,091
8-10	2	Pasir	24	0,083
10-12	2	Pasir	12	0,167
12-14	2	Lanau	19	0,105
14-16	2	Lanau	22	0,091
16-18	2	Lanau	16	0,125
18-20	2	Lanau	20	0,1
20-22	2	Lanau	26	0,077
22-24	2	Lanau	18	0,111
24-26	2	Lanau	22	0,091
26-28	2	Lanau	24	0,083
28-30	2	Lanau	28	0,071
Total	30			2,0830

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3, nilai tahanan penetrasi standar rata-rata terboboti ($\bar{N}$) untuk lapisan tanah non-kohefif dihitung menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \bar{N} &= \frac{\sum d_i}{\sum \left(\frac{d_i}{N_i}\right)} \\
 &= \frac{30}{2,0830} \\
 &= 14,4
 \end{aligned}$$

Nilai $\bar{N}$ yang diperoleh sebesar 14,40 kemudian dibandingkan dengan batasan klasifikasi kelas situs pada Tabel 3.7 (SNI 1726:2019 Pasal 5.3). Nilai $\bar{N} = 14,40$ berada di bawah batas 15, sehingga tanah pada lokasi Gedung BKD Provinsi Jawa Timur diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SE (Tanah Lunak).

5.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada pemodelan struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu pembebanan gravitasi dan pembebanan lateral gempa.

5.4.1 Pembebanan Gravitasi

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur didefinisikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu Beban Mati (*Dead Load*), Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*), dan Beban Hidup (*Live Load*).

1. Beban Mati (DL)

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang secara permanen, termasuk komponen arsitektural, struktural, serta peralatan layan yang terpasang tetap. Parameter berat satuan material yang digunakan dalam pemodelan disajikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Beban Mati

Material	Berat Satuan
Beton bertulang	24 kN/m ³
Dinding ½ bata	1700 kg/m ³
Pasir	18 kN/m ³
Baja	78,5 kN/m ³
Plafon, rangka, penggantung	0,20 kN/m ²
Penutup atap genteng	0,50 kN/m ²
Berat Keramik per 1 cm tebal	0,24 kN/m ²
Instalasi Listrik, plumbing, dan AC	0,20 kN/m ²
Berat spesi dengan tebal 2 cm	0,42 kN/m ²

Pada perangkat lunak ETABS, berat sendiri elemen struktur utama (pelat lantai, balok, kolom, dan dinding geser) dihitung secara otomatis oleh program dengan menggunakan faktor pengali *Self-Weight Multiplier* = 1, didasarkan pada berat jenis beton bertulang sebesar 24 kN/m^3 .

2. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan adalah beban statis elemen non-struktural yang bekerja pada pelat lantai. Rekapitulasi beban SIDL yang digunakan dapat dilihat pada tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan

Komponen Beban	Beban (kN/m^2)
Pasir	0,16
Spesi	0,66
Plafon	0,20
Keramik	0,22
Instalasi ME	0,25
Beban Tambahan	0,50
Total Beban (Q_d)	1,99

Berdasarkan hasil rekapitulasi tersebut, nilai beban mati tambahan untuk elemen pelat lantai yang diaplikasikan ke dalam pemodelan ETABS ditetapkan secara seragam sebesar $2,00 \text{ kN/m}^2$.

3. Beban Hidup (LL)

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh aktivitas pengguna dan penghuni bangunan gedung, tidak termasuk beban konstruksi, lingkungan, maupun beban mati. Beban hidup yang digunakan untuk pemodelan dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Beban Hidup

Fungsi Ruang	Beban Hidup (kN/m²)
Koridor	4,79
Ruang Kerja / Kantor	2,40

5.4.2 Pembebanan Lateral Gempa

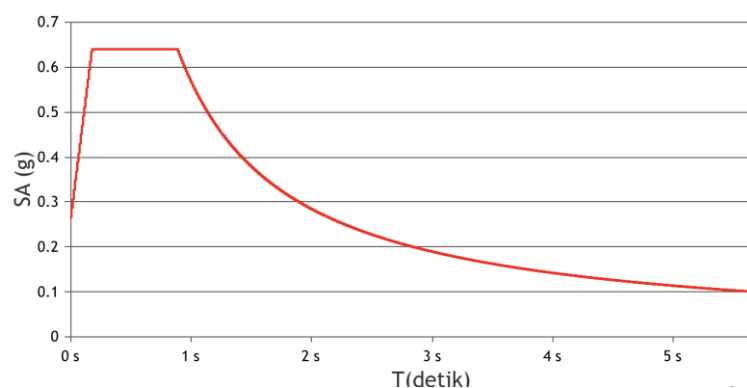
Pembebanan lateral gempa pada struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur dimodelkan menggunakan analisis respons spektrum desain. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, lokasi gedung di Surabaya diklasifikasikan ke dalam Kelas Situs SE (Tanah Lunak) dengan parameter percepatan batuan dasar $S_s = 0,7$ g dan $S_1 = 0,31$ g.

Melalui faktor amplifikasi situs $F_a = 1,38$ dan $F_v = 2,6$, diperoleh parameter respons spektral percepatan $S_{MS} = 0,96$ g dan $S_{M1} = 0,855$ g. Kemudian, diperoleh nilai parameter percepatan desain periode pendek (S_{DS}) sebesar 0,650 g dan periode 1 detik (S_{D1}) sebesar 0,57 g. Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} tersebut, diperoleh periode transisi pendek $T_0 = 0,18$ detik dan periode transisi panjang $T_s = 0,89$ detik, yang digunakan untuk membentuk kurva respons spektrum desain pada ETABS. Rekapitulasi parameter respons spektrum desain disajikan pada Tabel 5.12. Parameter ini digunakan untuk membentuk kurva respons spektrum desain pada ETABS, dengan nilai batasan sistem penahan gaya lateral berupa Faktor Modifikasi Respons (R) sebesar 8 untuk arah X (Sistem SRPMK) dan 7 untuk arah Y (Sistem Ganda).

Tabel 5.12 Parameter Respons Spektrum Desain

No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Percepatan batuan dasar periode pendek	S_s	0,7	g
2	Percepatan batuan dasar periode 1 detik	S_1	0,31	g
3	Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,38	-
4	Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	2,6	-
5	Parameter respon spektral percepatan pendek	S_{MS}	0,96	g
6	Parameter respon spektral percepatan 1 detik	S_{M1}	0,855	g
7	Parameter percepatan desain periode pendek	S_{DS}	0,65	g
8	Parameter percepatan desain periode 1 detik	S_{D1}	0,57	g
9	Periode transisi pendek	T_0	0,18	detik
10	Periode transisi panjang	T_S	0,89	detik

Seluruh parameter respons spektrum desain pada Tabel 5.11 diperoleh secara langsung dari aplikasi Desain Spektra Indonesia (PUSKIM PU) berdasarkan input koordinat lokasi studi dan kelas situs SE, sehingga nilai S_{DS} dan S_{D1} yang dihasilkan telah memperhitungkan faktor amplifikasi situs F_a dan F_v sesuai SNI 1726:2019 tanpa perlu dihitung secara manual. Berdasarkan parameter tersebut, kurva respons spektrum desain dibentuk dan digunakan sebagai acuan validasi rekaman gempa input. Visualisasi respons spektrum target ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Respons Spektrum Surabaya Tanah Lunak
(Sumber: Desain Spektra Indonesia, 2025)

5.3.3 Kombinasi Pembebanan

Struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur dievaluasi terhadap berbagai kombinasi pembebanan untuk mendapatkan gaya dalam maksimum pada setiap elemen struktural. Kombinasi pembebanan seismik ini mengacu pada SNI 1726:2019 dengan memperhitungkan efek gempa vertikal ($E_v = 0,2S_{DS}$) pembebanan ortogonal (100% dan 30%), serta faktor redundansi (ρ).

Berdasarkan Tabel 5.9, diperoleh nilai parameter percepatan desain $S_{DS} = 0,65$ g. Dengan mensubstitusikan nilai S_{DS} dan faktor redundansi $\rho = 1,0$ ke dalam persamaan beban, maka kombinasi pembebanan seismik yang diaplikasikan dalam pemodelan dirumuskan sebagai berikut.

1. Kombinasi Gempa dengan Beban Hidup Dominan Arah Y

$$\begin{aligned} &= (1,2 + 0,2 S_{ds})D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \\ &= (1,2 + 0,2 \times 0,65)D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \\ &= 1,33D + 1,0L \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \end{aligned}$$

2. Kombinasi Gempa dengan Beban Hidup Dominan Arah X

$$\begin{aligned} &= (1,2 + 0,2 S_{ds})D + 1,0L \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \\ &= (1,2 + 0,2 \times 0,65)D + 1,0L \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \\ &= 1,33D + 1,0L \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \end{aligned}$$

3. Kombinasi Gempa Kondisi *Uplift* Dominan Arah Y

$$\begin{aligned} &= (0,9 - 0,2 S_{ds})D \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \\ &= (0,9 - 0,2 \times 0,65)D \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \\ &= 0,77D \pm 0,3\rho E_x \pm 1,0\rho E_y \end{aligned}$$

4. Kombinasi Gempa Kondisi *Uplift* Dominan Arah X

$$\begin{aligned} &= (0,9 - 0,2 S_{ds})D \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \\ &= (0,9 - 0,2 \times 0,65)D \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \\ &= 0,77D \pm 1,0\rho E_x \pm 0,3\rho E_y \end{aligned}$$

5. Kombinasi *Mass Source*

$$= 1,0D + 1,0S_{IDL} + 0,25L_L$$

5.5 Analisis Dinamis Struktur

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sifat dinamis dari struktur Gedung BKD Provinsi Jawa Timur, yang direpresentasikan oleh periode getar alami, bentuk ragam getar (*mode shape*), dan tingkat partisipasi massa. Hasil dari analisis ini dievaluasi berdasarkan batasan yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019 untuk memastikan validitas dan keandalan pemodelan.

5.5.1 Periode Getar Alami

Waktu getar alami atau periode fundamental (T) merupakan karakteristik dinamis struktur yang merepresentasikan durasi yang dibutuhkan gedung untuk menyelesaikan satu siklus ayunan penuh. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2, nilai periode analitis hasil pemodelan komputer (T_c) umumnya dievaluasi terhadap periode pendekatan empiris (T_a) serta batas atas periode yang diizinkan ($C_u \times T_a$). Evaluasi ini pada dasarnya ditujukan untuk membatasi nilai gaya geser dasar pada metode Gaya Lateral Ekuivalen agar tidak terlalu rendah.

1. Perhitungan Periode Pendekatan Empiris (T_a)

Tinggi total struktur gedung (h_n) dari dasar hingga atap adalah 22,7 meter. Berdasarkan parameter seismisitas lokasi studi, diperoleh nilai S_{D1} sebesar 0,57, sehingga koefisien batas atas (C_u) yang digunakan adalah 1,4. Berdasarkan sistem penahan gaya seismik yang digunakan, perhitungan periode pendekatan diuraikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_t &= 0,0488 \\
 x &= 0,75 \\
 T_{a,x} &= C_t \times (h_n)^x \\
 &= 0,0488 \times (22,7)^{0,75} \\
 &= 0,507 \text{ detik} \\
 T_{maks} &= C_u \times T_{a,x} \\
 &= 1,4 \times 0,507 \\
 &= 0,710 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Evaluasi Hasil Perhitungan Periode Getar

Hasil perhitungan pendekatan empiris tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai periode aktual hasil analisis ragam pada perangkat lunak ETABS.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Periode Getar Struktur

Arah Tinjauan	T_a (detik)	T_c (detik)	T_{maks} (detik)
Arah X	0,507	0,953	0,710
Arah Y	0,507	0,891	0,710

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2, periode fundamental struktur (T) yang digunakan dalam perhitungan gaya geser seharusnya tidak melebihi nilai $C_u \times T_a$. Oleh karena itu, untuk perhitungan gaya geser dasar, nilai periode yang digunakan dibatasi sebesar $T_{maks} = 0,710$ detik pada kedua arah, sesuai dengan ketentuan pasal tersebut.

5.5.2 Partisipasi Massa

Analisis ragam dilakukan menggunakan metode Ritz Vector (Modal-Ritz) pada ETABS dengan jumlah mode sebanyak 12 mode. Partisipasi massa kumulatif pada setiap mode ditunjukkan pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Partisipasi Massa Modal

Mode	Periode (detik)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0,953	0,7491	0,0000	0,7491	0,0000
2	0,891	0,0001	0,7207	0,7492	0,7207
3	0,804	0,0122	0,0002	0,7614	0,7209
4	0,385	0,1304	0,0000	0,8918	0,7209
5	0,314	0,0000	0,1688	0,8918	0,8898
6	0,242	0,0001	0,0000	0,8919	0,8898
7	0,232	0,0618	0,0000	0,9537	0,8898
8	0,166	0,0001	0,0565	0,9538	0,9463
9	0,161	0,0210	0,0003	0,9747	0,9466
10	0,131	0,0001	0,0203	0,9749	0,9670
11	0,110	0,0241	0,0001	0,9990	0,9671

Berdasarkan hasil analisis ragam, mode pertama dengan periode 0,953 detik merupakan mode dominan arah X dengan partisipasi massa sebesar 74,91%. Mode kedua dengan periode 0,891 detik merupakan mode dominan arah Y dengan

partisipasi massa sebesar 72,07%. Kedua mode tersebut mengindikasikan bahwa struktur bergetar secara dominan pada satu arah di masing-masing mode pertama dan kedua, yang merupakan karakteristik tipikal struktur reguler.

Persyaratan minimum partisipasi massa kumulatif sebesar 90% sesuai SNI 1726:2019 telah terpenuhi pada mode ke-8, di mana nilai kumulatif mencapai 95,38% untuk arah X dan 94,63% untuk arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi massa struktur yang signifikan telah tertangkap pada 8 mode pertama.

Partisipasi massa kumulatif pada keseluruhan 12 mode mencapai 99,90% untuk arah X dan 99,88% untuk arah Y. Nilai ini telah melampaui batas minimum yang disyaratkan SNI 1726:2019 sebesar 90%, sehingga jumlah mode yang digunakan dinyatakan mencukupi untuk merepresentasikan respons dinamis struktur secara menyeluruh.

5.5.3 Verifikasi Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem struktur pada arah Y diklasifikasikan sebagai sistem ganda (*dual system*) yang terdiri dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang khusus, dengan faktor modifikasi respons $R_y = 7$. Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, sistem ganda mensyaratkan bahwa rangka pemikul momen harus mampu memikul minimum 25% dari total gaya geser dasar desain secara mandiri.

Verifikasi dilakukan menggunakan hasil analisis Respons Spektrum (RSA) arah Y. Gaya geser total dasar diperoleh dari tabel *Story Forces*, sedangkan gaya geser yang dipikul dinding geser diperoleh dari tabel *Pier Forces* dengan membaca nilai V2 pada lokasi *bottom* lantai dasar untuk seluruh *pier* yang terdefinisi dalam model. Perhitungan pemenuhan sistem ganda dapat dilihat sebagai berikut.

$$V_{wall\ P1} = 1461,25 \text{ kN (Hasil komputasi ETABS)}$$

$$V_{wall\ P2} = 1373,81 \text{ kN (Hasil komputasi ETABS)}$$

$$\begin{aligned} V_{wall\ Y} &= V_{wall\ P1} + V_{wall\ P2} \\ &= 1461,25 + 1373,81 \\ &= 2835,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{total\ Y} = 7635,86 \text{ kN (Hasil komputasi ETABS)}$$

$$V_{frame\ Y} = V_{total\ Y} - V_{wall\ Y}$$

$$\begin{aligned}
&= 7635,86 - 2835,05 \\
&= 4800,80 \text{ kN} \\
\%V_{frame Y} &= \frac{V_{frame Y}}{V_{total Y}} \times 100\% \\
&= \frac{4800,80}{7635,86} \times 100\% \\
&= 62,87\% \geq 25\%
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, rangka pemikul momen memikul sebesar 62,87% dari total gaya geser lateral arah Y, melebihi batas minimum 25% yang disyaratkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1. Dengan demikian, penggunaan sistem ganda dengan $R_y = 7$ pada arah Y telah terpenuhi untuk penggunaan faktor modifikasi respons tersebut dalam analisis.

5.6 Seleksi dan Penyesuaian Spektral *Ground Motion*

5.5.1 Kriteria Pemilihan Rekaman Gempa

Pemilihan rekaman gempa dilakukan berdasarkan karakteristik seismisitas lokasi studi yang diperoleh dari hasil deagregasi bahaya gempa menggunakan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia 2022. Deagregasi dilakukan terhadap tiga sumber gempa yang berpengaruh terhadap lokasi studi, yaitu sumber gempa Benioff, Shallow Crustal, dan Megathrust, dengan mempertimbangkan tiga kala ulang gempa, yaitu 100 tahun, 1000 tahun, dan 2500 tahun.

Penggunaan ketiga kala ulang secara bersamaan bertujuan untuk mendapatkan rentang magnitudo (M) dan jarak episenter (R) yang representatif dari masing-masing sumber gempa, sehingga rekaman yang dipilih mencakup variasi karakteristik seismik yang mungkin terjadi pada lokasi studi. Rekapitulasi hasil deagregasi untuk masing-masing sumber gempa disajikan pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Hasil Deagregasi Bahaya Gempa

Sumber Gempa	Kala Ulang	Magnitudo			Jarak (km)		
		PGA	0,2 detik	3 detik	PGA	0,2 detik	3 detik
<i>Benioff</i>	100	6,4-6,6	6,4-6,6	6,8-7	150-200	200-250	150-200
	1000	7-7,2	7-7,2	7,4-7,6	150-200	120-150	150-200
	2500	7,2-7,4	7-7,2	7,4-7,6	120-150	120-150	150-200
<i>Shallow Crustal</i>	100	5,2-5,4	5,6-5,8	6,8-7	60-70	60-70	50-60
	1000	5,8-6	6-6,2	7-7,2	40-50	40-50	20-30
	2500	5,6-5,8	5,8-6	7-7,2	30-40	30-40	30-40
Megathrust	100	8,4-8,6	8,2-8,4	8,2-8,4	200-250	200-250	250-300
	1000	8,6-8,8	8,6-8,8	8,4-8,6	200-250	200-250	250-300
	2500	8,6-8,8	8,6-8,8	8,4-8,8	200-250	200-250	250-300

Berdasarkan hasil deagregasi tersebut, diperoleh rentang magnitudo dan jarak episenter target untuk masing-masing sumber gempa sebagai berikut.

1. *Benioff*

$$M = 6,4-7,6$$

$$R = 120-200 \text{ km}$$

2. *Shallow Crustal*

$$M = 5,2-7,2$$

$$R = 20-70 \text{ km}$$

3. Megathrust

$$M = 8,2-8,8$$

$$R = 200-300 \text{ km}$$

Rekaman gempa dipilih dari database *Center for Engineering Strong Motion Data* (CESMD) dengan kriteria kelas situs SE (tanah lunak) sesuai kondisi lokasi studi. Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih 7 rekaman gempa yang mewakili ketiga sumber gempa, dengan masing-masing rekaman memiliki dua komponen horizontal (arah X dan Y), sehingga total terdapat 14 komponen rekaman yang digunakan dalam analisis. Rekapitulasi rekaman gempa terpilih disajikan pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5. 16 Rekaman Gempa Terpilih

Sumber Gempa	Nama Gempa	Stasiun Perekam	Tahun	Magnitudo	Jarak (km)	Kelas Situs
Shallow Crustal	Hokkaido, Jepang	HKD070	2004	6,7	65,2	SE
	Loma Prieta, US	58375	1989	7,1	34,3	SE
	Morgan Hill, US	58375	1984	6,1	53,5	SE
Benioff	Chi-Chi, Taiwan	Kaohsiung (KAU045)	1999	7,6	122,5	SE
	Duzce, Turkey	Darica (DAR)	1999	7,1	150,7	SE
Megathrust	Tokachi-oki, Jepang	HKD062	2003	8,0	208,6	SE
	Michoacan, Mexico	CAYA	1985	8,1	271,6	SE

Untuk sumber gempa Megathrust, hasil deagregasi menunjukkan rentang magnitudo 8,2–8,8. Namun demikian, keterbatasan ketersediaan rekaman gempa dengan karakteristik tersebut pada database CESMD menyebabkan rentang magnitudo diperluas menjadi 8,0–8,8, sehingga diperoleh rekaman yang memenuhi kriteria kelas situs SE.

5.5.2 Penyesuaian Spektral

Penyesuaian spektral dilakukan menggunakan perangkat lunak SeismoMatch terhadap 7 rekaman gempa terpilih, masing-masing dengan dua komponen horizontal (arah X dan Y), sehingga total terdapat 14 komponen rekaman yang disesuaikan. Spektrum target yang digunakan adalah spektrum respons desain MCE_R dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (kala ulang 2500 tahun) sesuai SNI 1726:2019, dengan nilai $S_{DS} = 0,65$ g dan $S_{D1} = 0,57$ g pada kelas situs SE.

Proses pencocokan dilakukan pada rentang periode 0,133 detik hingga 1,144 detik, yang diperoleh dari perhitungan berikut.

1. Batas Bawah (T_{lower})

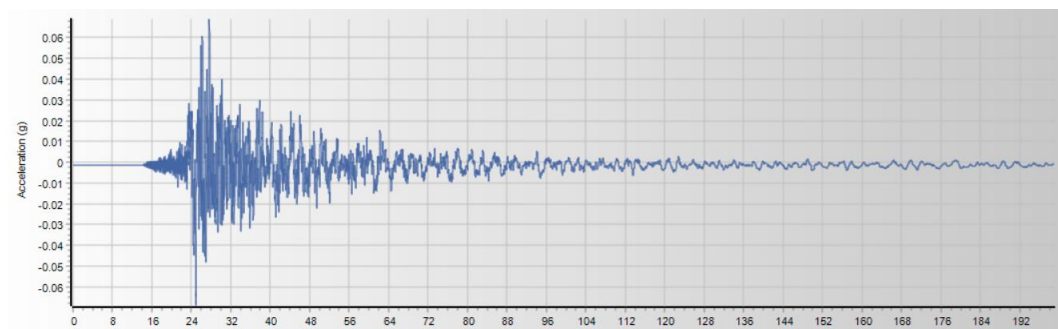
$$\begin{aligned}
 T_{lower} &= 0,8 \times T_n \\
 &= 0,8 \times 0,166 \\
 &= 0,133 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Batas Atas (T_{upper})

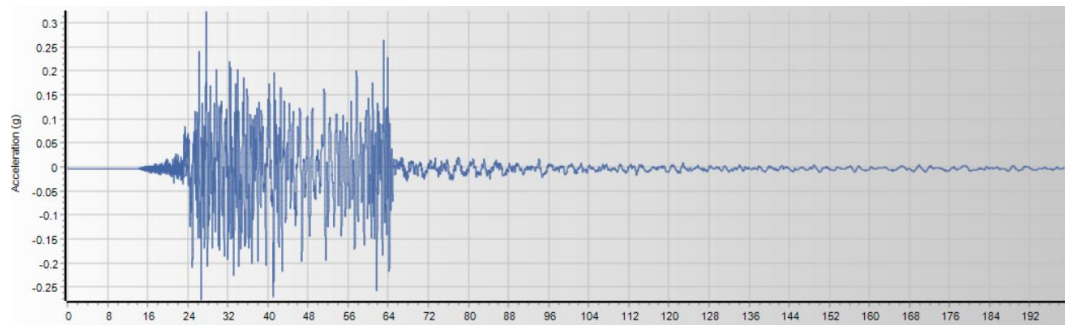
$$\begin{aligned}
 T_{upper} &= 1,2 \times T_1 \\
 &= 1,2 \times 0,953 \\
 &= 1,144 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

T_n adalah periode mode ke-8 yang merupakan mode partisipasi massa kumulatif yang telah mencapai 90% dan T_1 adalah periode fundamental struktur.

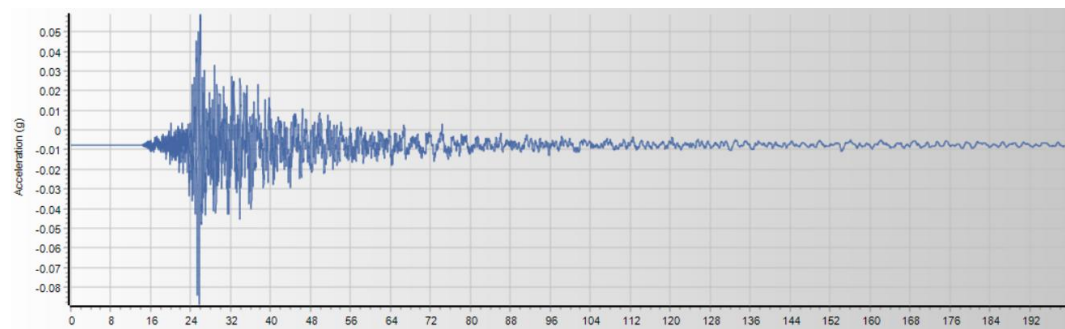
Proses pencocokan spektral dilakukan terhadap seluruh 7 rekaman gempa terpilih, masing-masing untuk komponen arah X dan arah Y, sehingga total terdapat 14 pasang grafik percepatan gerak tanah sebelum dan sesudah pencocokan spektral. Secara umum, rekaman gempa asli memiliki amplitudo percepatan maksimum bervariasi yang dapat berada di bawah maupun di atas spektrum target. Perbandingan grafik riwayat percepatan sebelum dan sesudah penyesuaian spektral untuk ketujuh rekaman gempa dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai dengan Gambar 5.30.



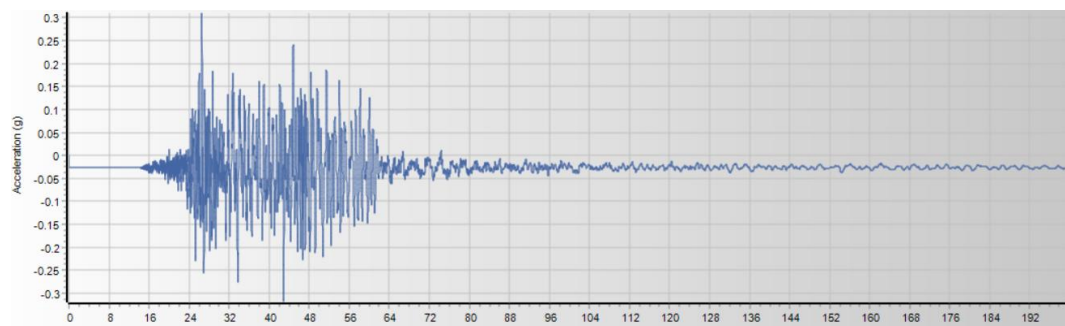
**Gambar 5.3 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Hokkaido Arah X**



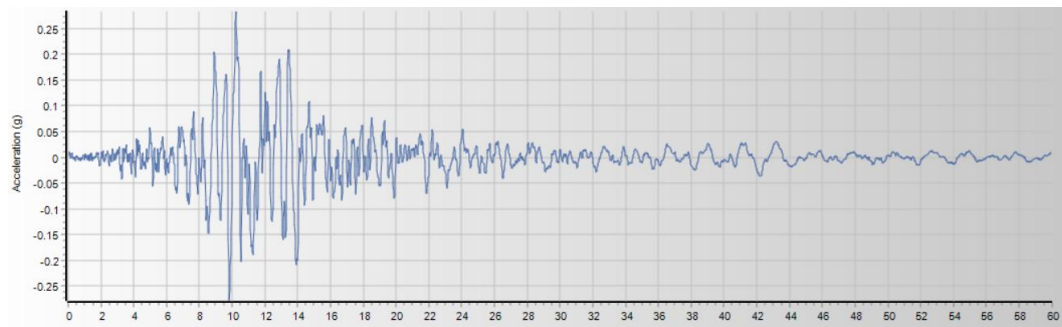
**Gambar 5.4 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Hokkaido Arah X**



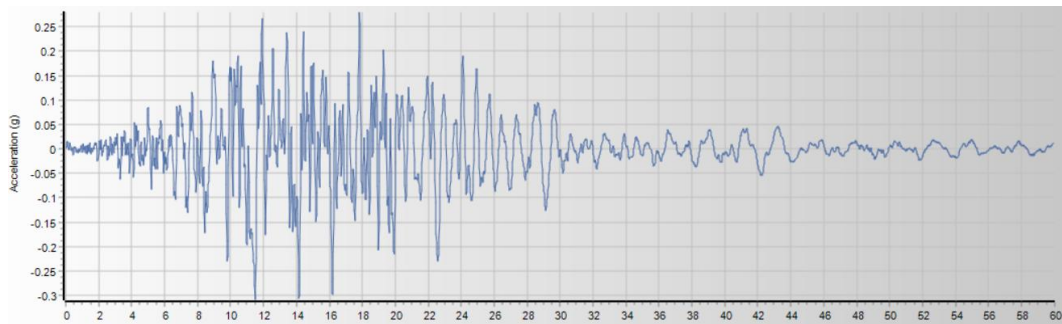
**Gambar 5.5 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Hokkaido Arah Y**



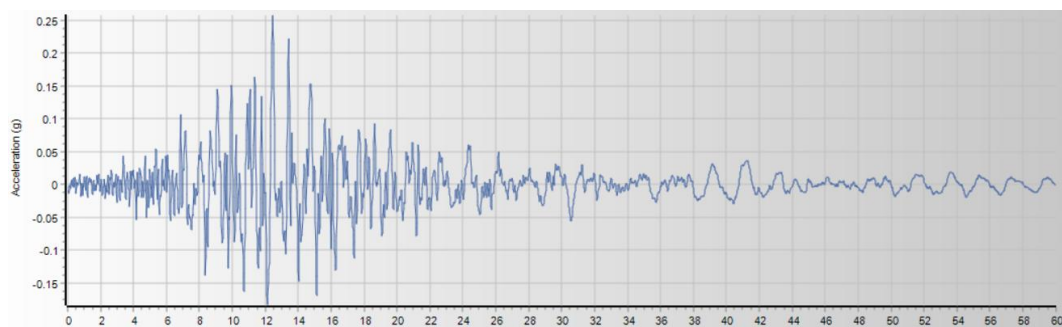
**Gambar 5.6 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Hokkaido Arah Y**



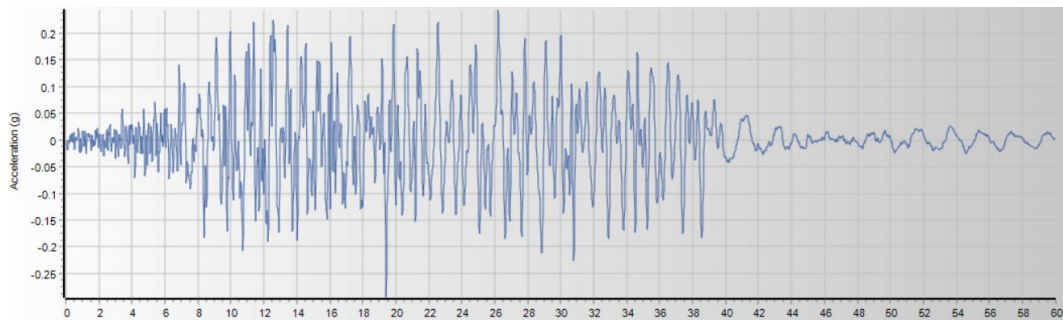
**Gambar 5.7 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Loma Prieta Arah X**



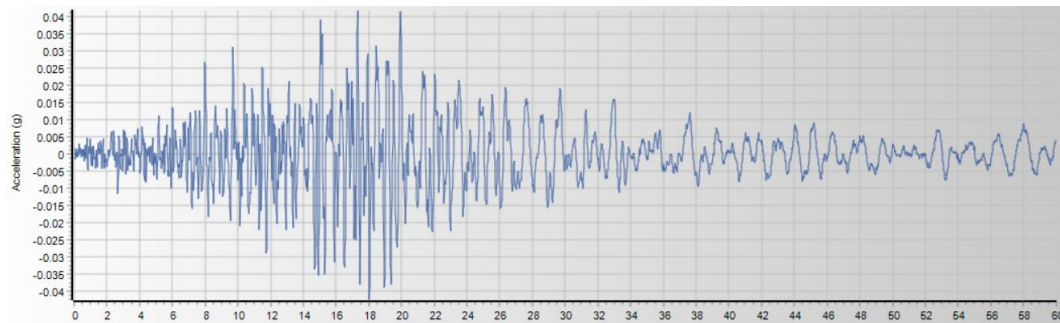
**Gambar 5.8 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Loma Prieta Arah X**



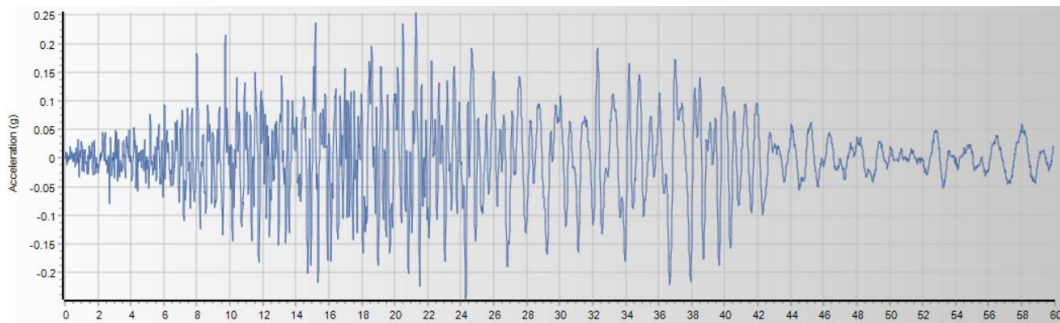
**Gambar 5.9 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Loma Prieta Arah Y**



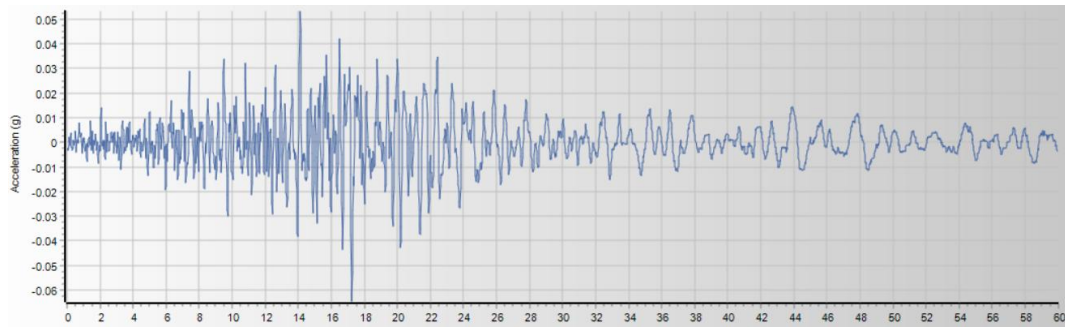
**Gambar 5.10 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Loma Prieta Arah Y**



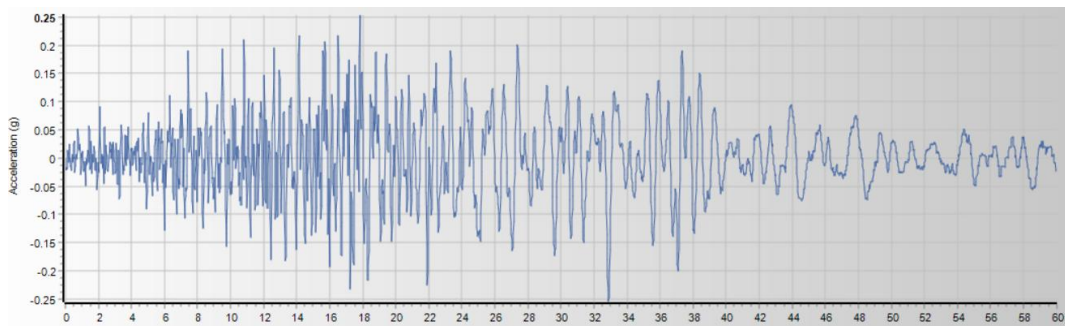
**Gambar 5.11 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Morgan Hill Arah X**



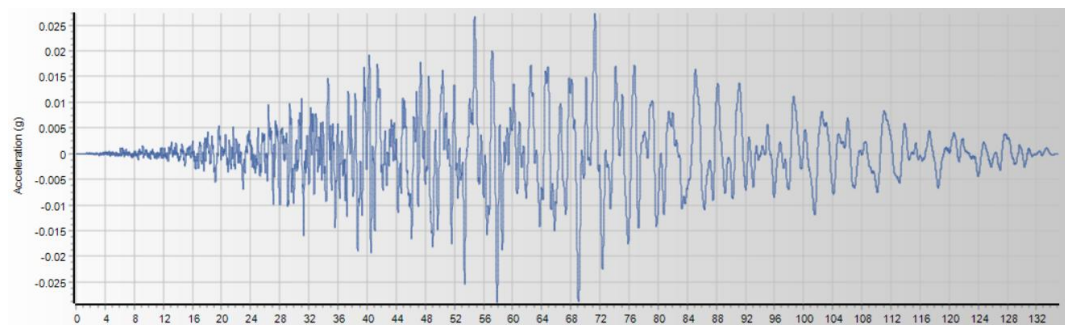
**Gambar 5.12 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Morgan Hill Arah X**



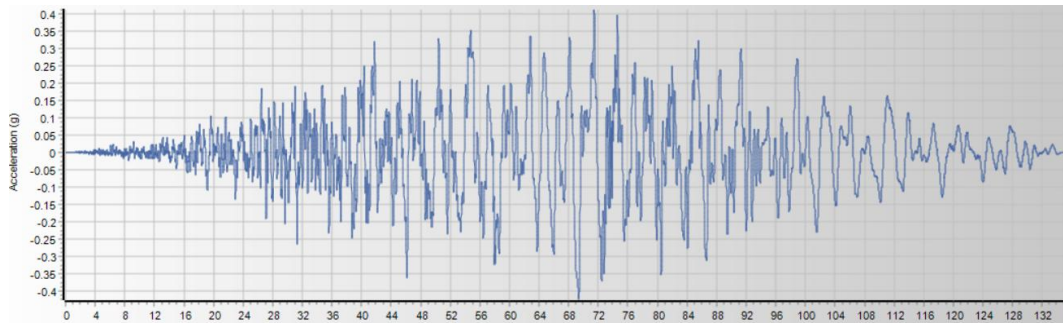
**Gambar 5.13 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Morgan Hill Arah Y**



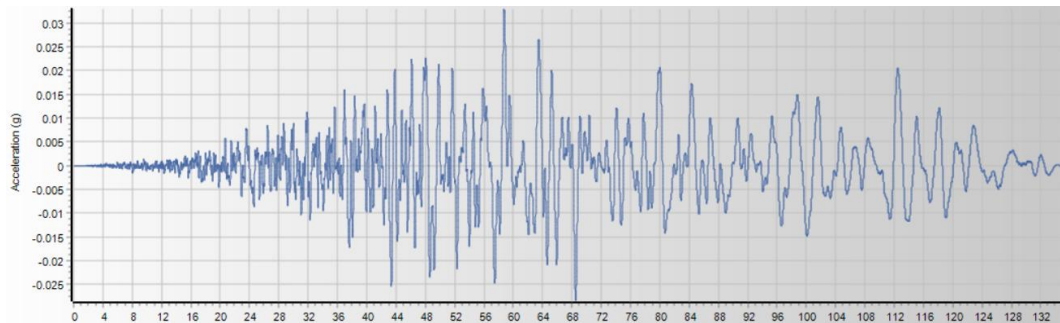
**Gambar 5.14 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Morgan Hill Arah Y**



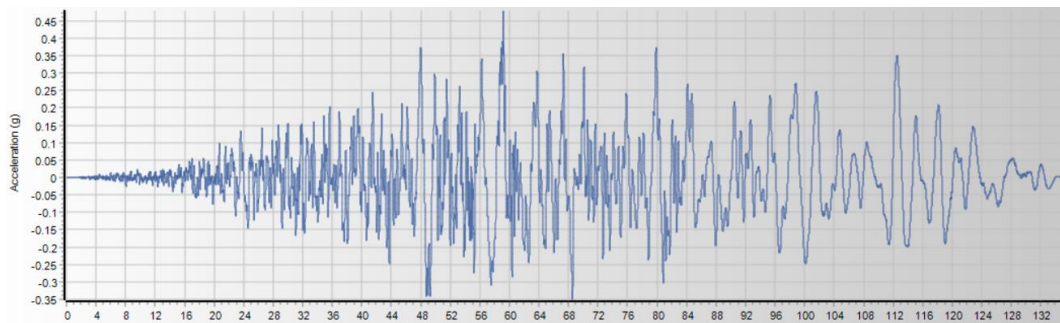
**Gambar 5.15 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Chi-Chi Arah X**



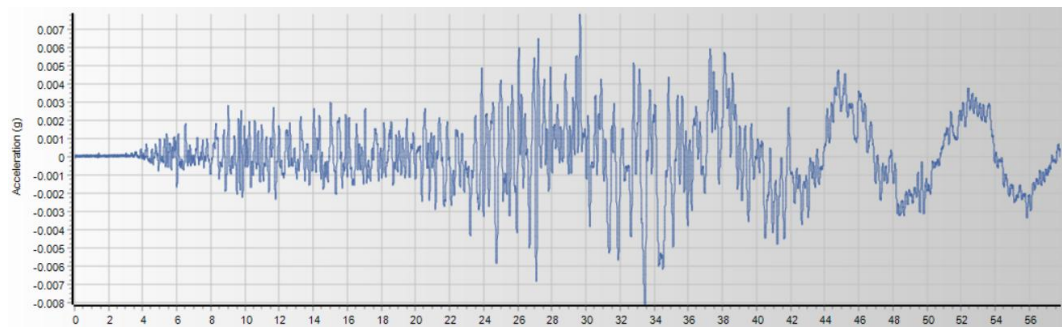
**Gambar 5.16 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Chi-Chi Arah X**



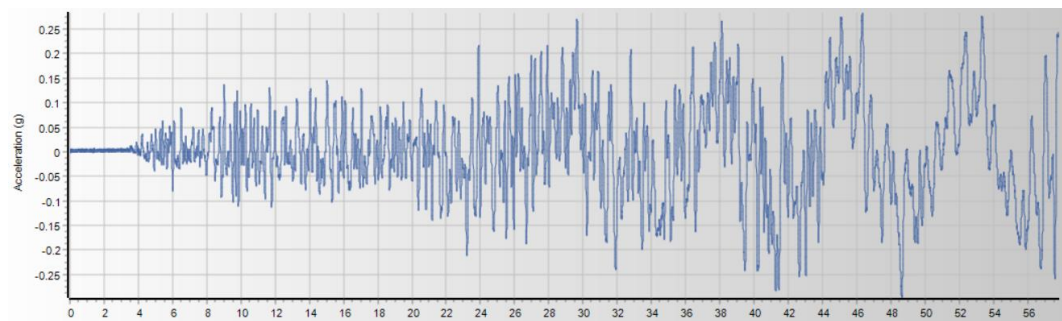
**Gambar 5.17 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Chi-Chi Arah Y**



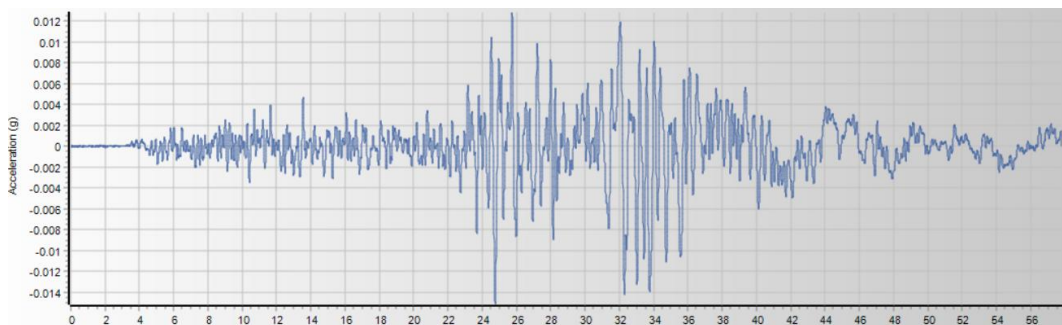
**Gambar 5.18 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Chi-Chi Arah Y**



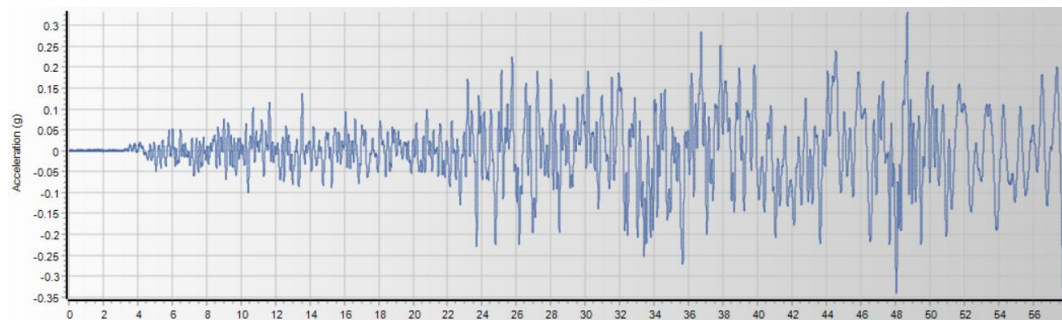
**Gambar 5.19 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Duzce Arah X**



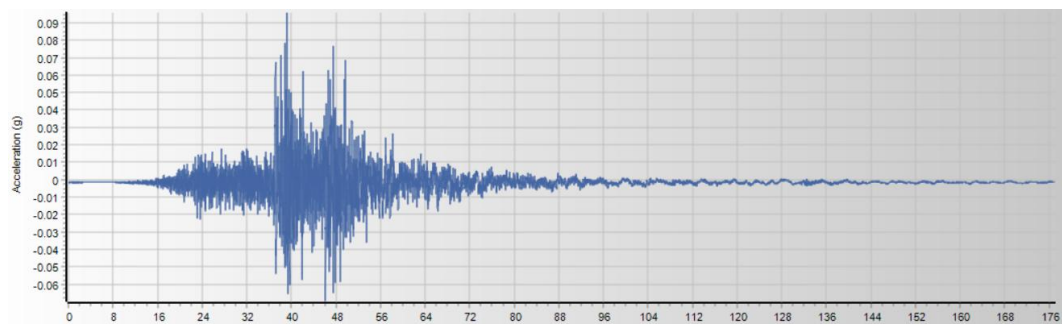
**Gambar 5.20 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Duzce Arah X**



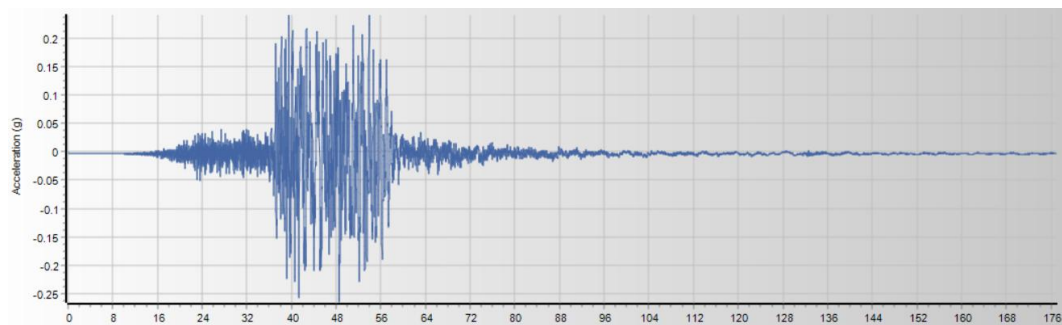
**Gambar 5.21 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Duzce Arah Y**



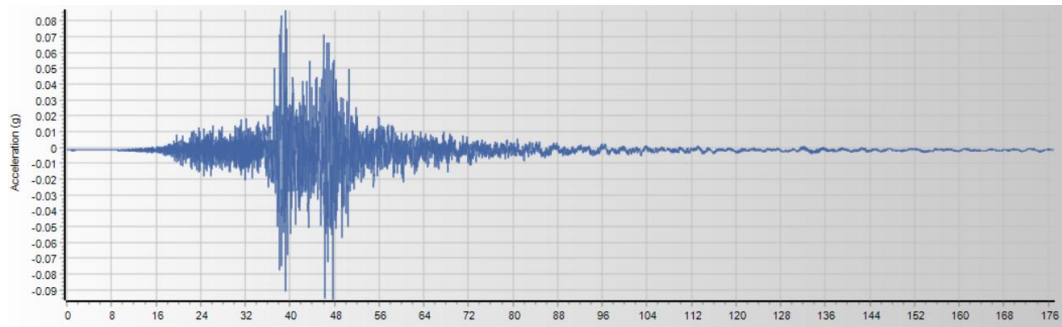
**Gambar 5.22 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Duzce Arah Y**



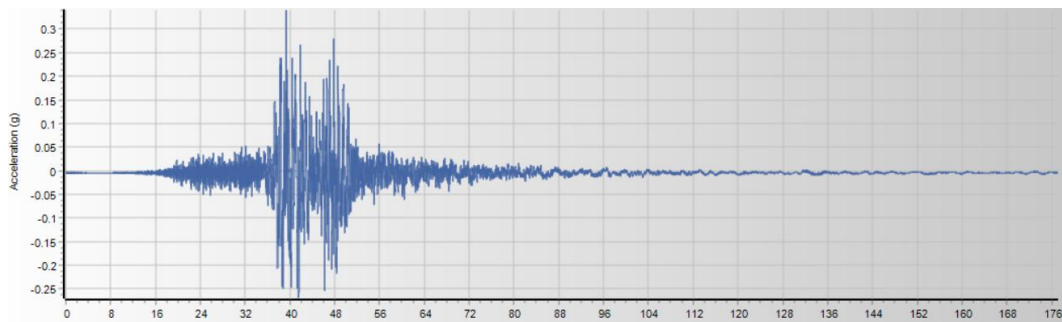
**Gambar 5.23 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Tokachi Arah X**



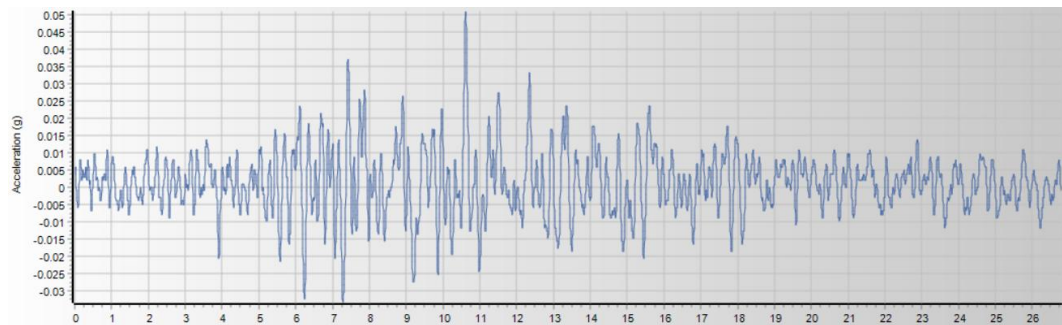
**Gambar 5.24 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Tokachi Arah X**



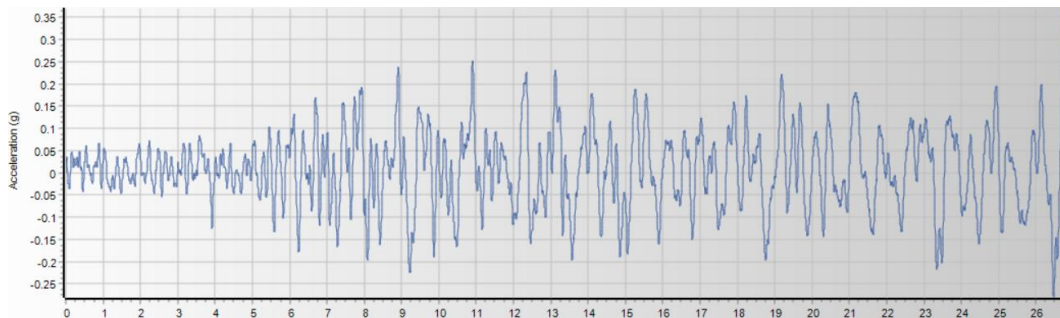
**Gambar 5.25 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Tokachi Arah Y**



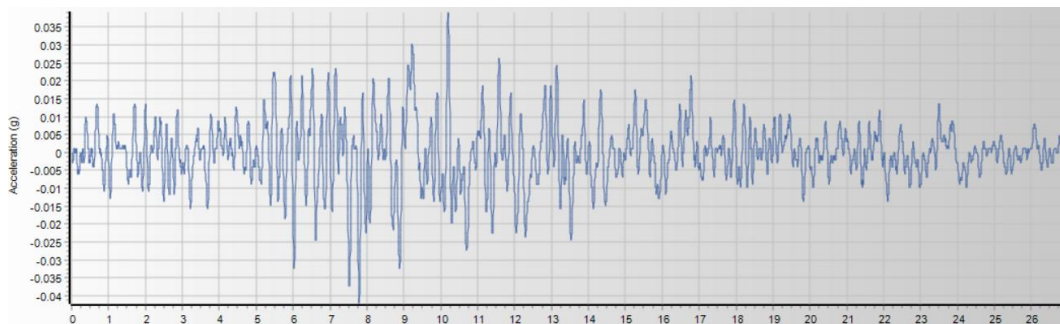
**Gambar 5.26 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Tokachi Arah Y**



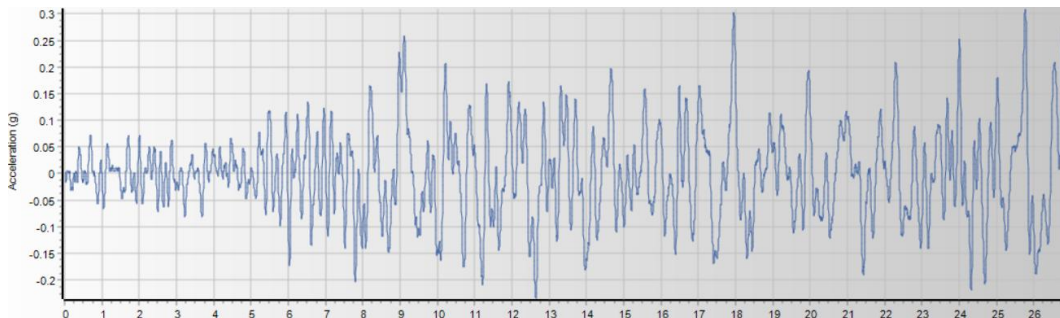
**Gambar 5.27 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Michoacan Arah X**



**Gambar 5.28 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Michoacan Arah X**



**Gambar 5.29 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Unmatched*
Michoacan Arah Y**

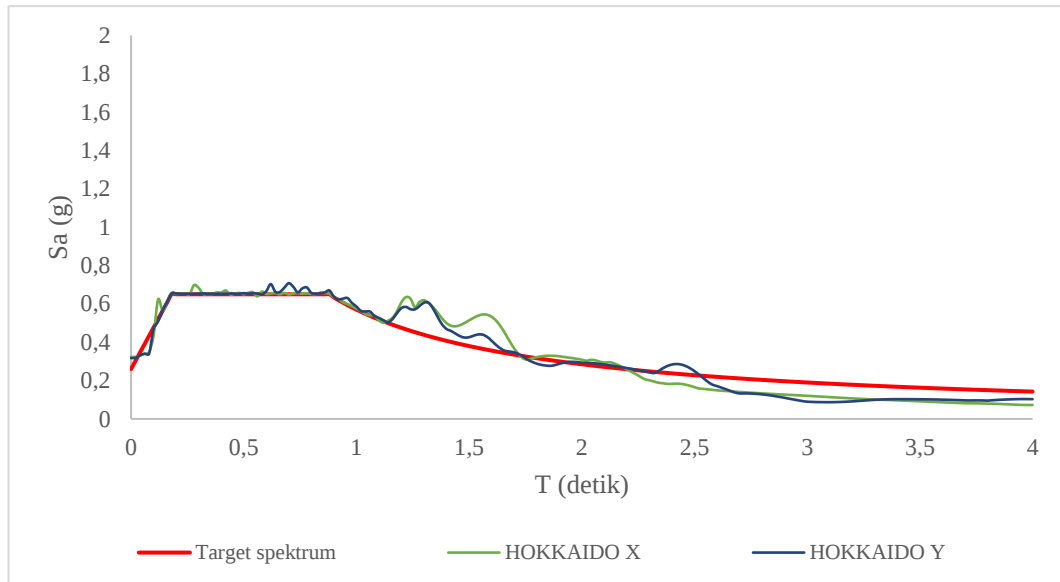


**Gambar 5.30 Grafik Percepatan Gerak Tanah *Matched*
Michoacan Arah Y**

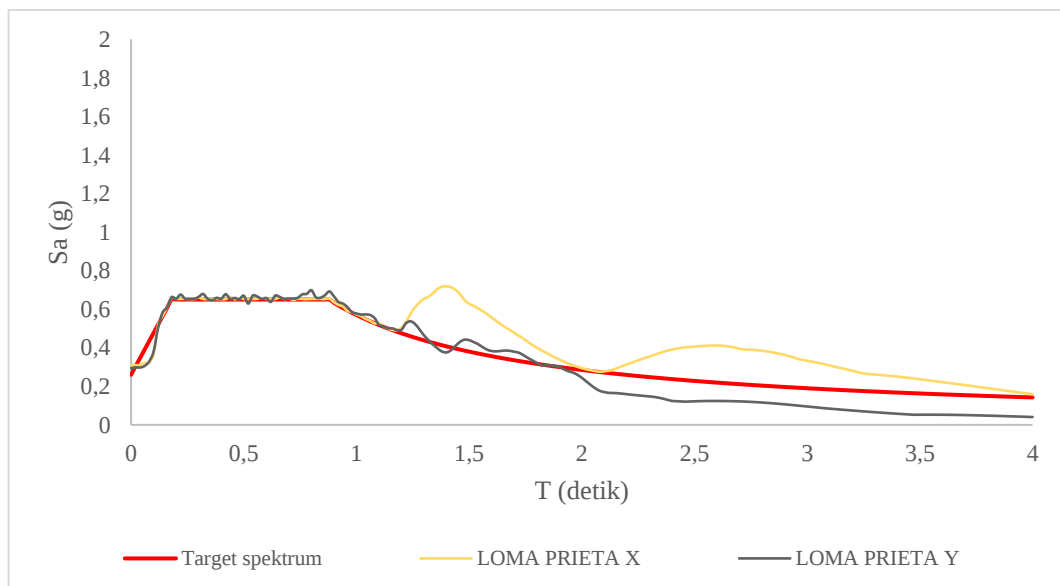
5.5.3 Validasi Hasil Penyesuaian Spektral

Validasi hasil pencocokan spektral dilakukan untuk memastikan bahwa rata-rata spektrum respons dari 14 komponen rekaman gempa yang telah disesuaikan memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.3.1. Persyaratan tersebut menyatakan bahwa nilai rata-rata percepatan semu (*pseudo acceleration*) dari

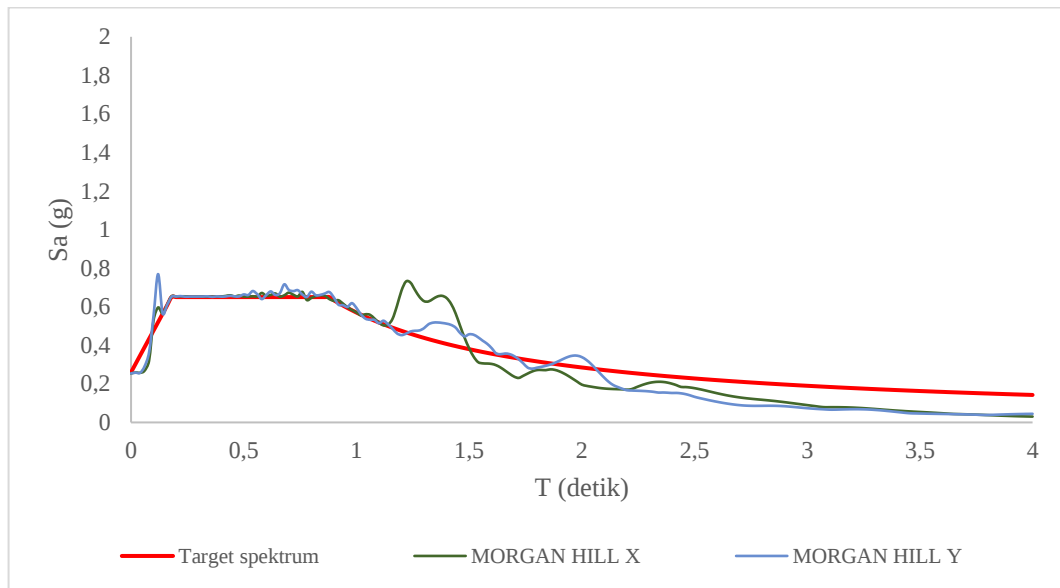
seluruh rekaman yang telah dicocokkan tidak boleh kurang atau lebih dari 10% spektrum target pada rentang periode 0,133 detik hingga 1,144 detik.



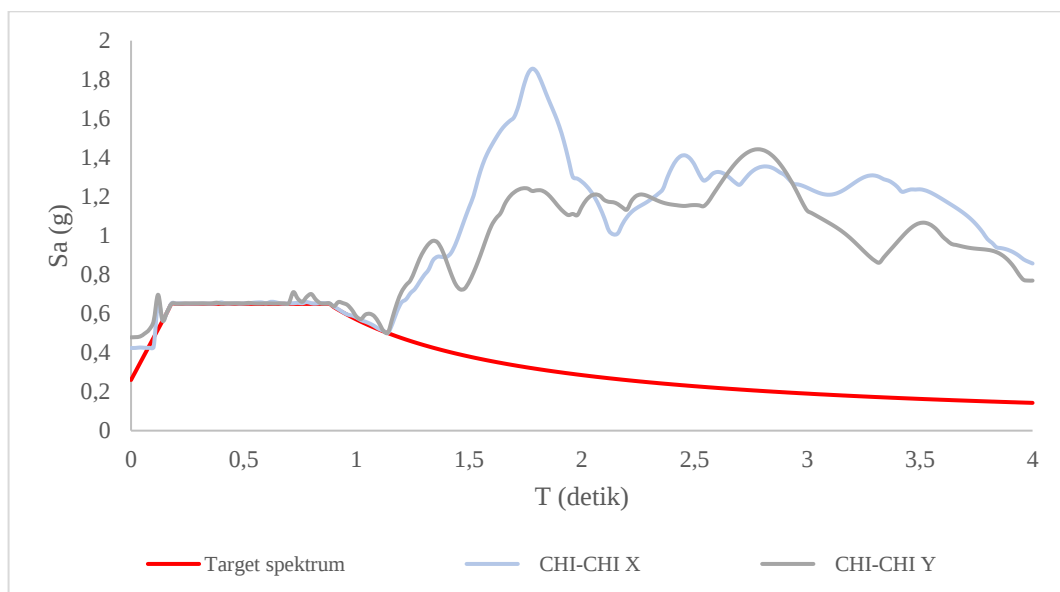
Gambar 5.31 Grafik Spektrum Target dan Hokkaido *Matched*



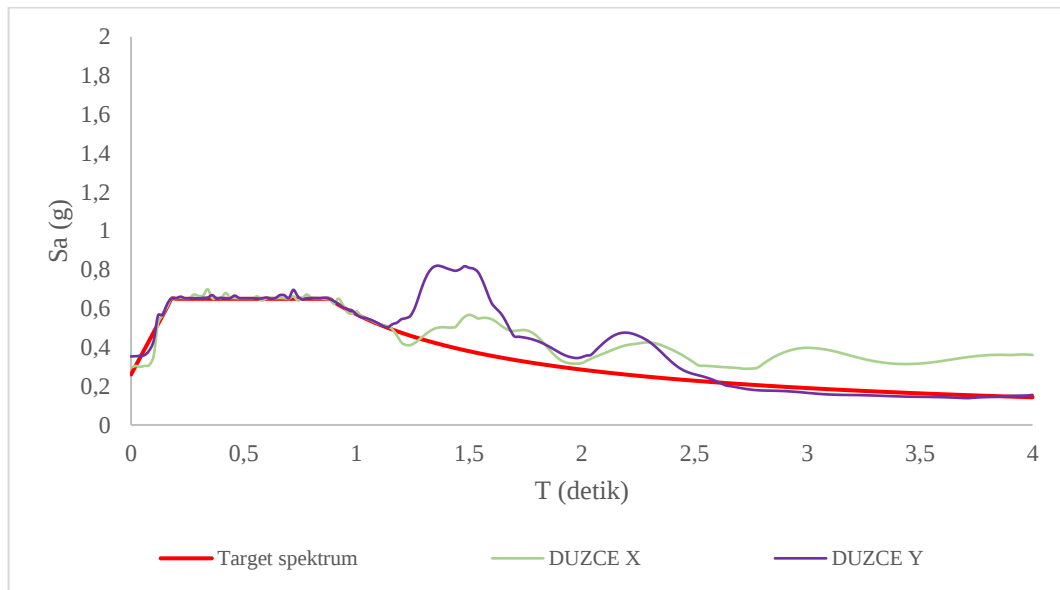
Gambar 5.32 Grafik Spektrum Target dan Loma Prieta *Matched*



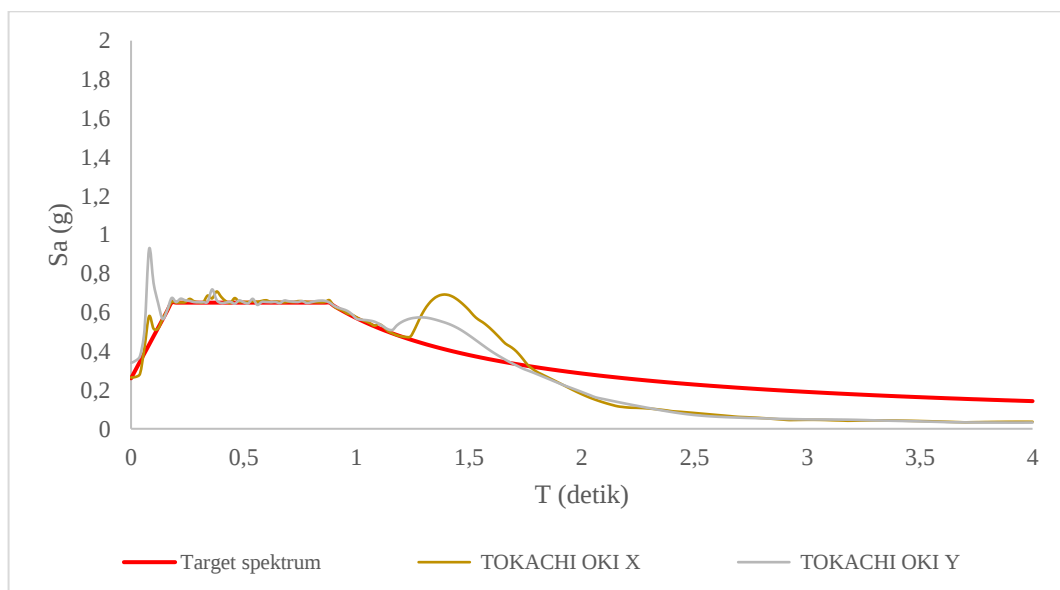
Gambar 5.33 Grafik Spektrum Target dan Morgan Hill *Matched*



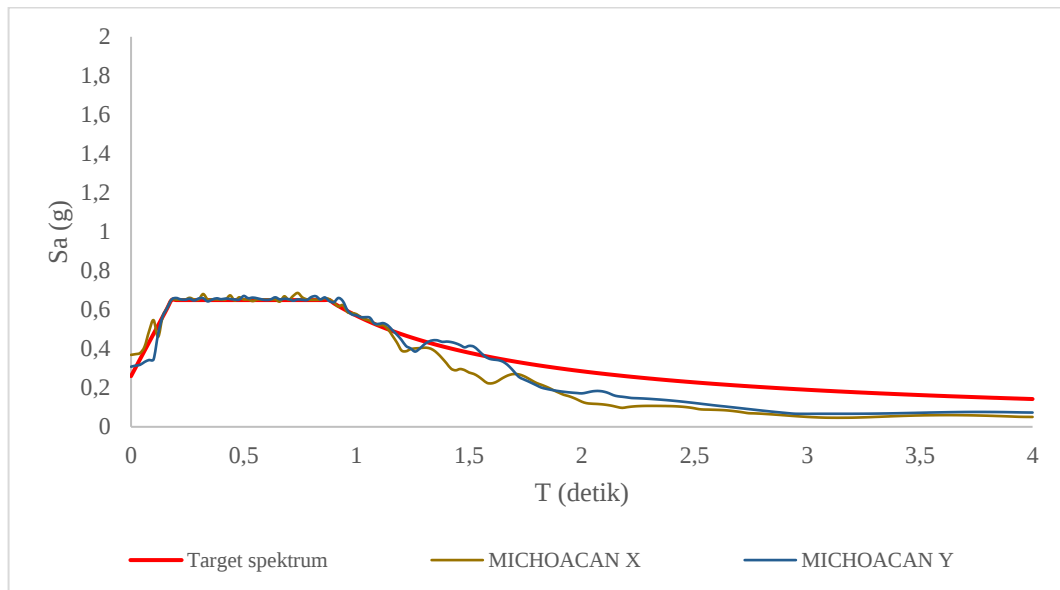
Gambar 5.34 Grafik Spektrum Target dan Chi-Chi *Matched*



Gambar 5.35 Grafik Spektrum Target dan Duzce *Matched*



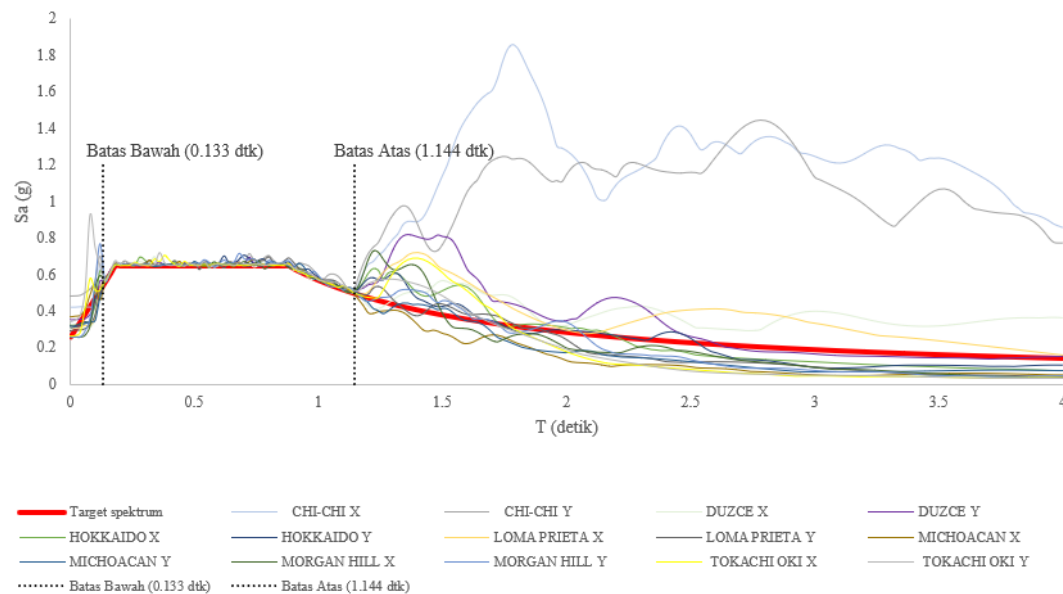
Gambar 5.36 Grafik Spektrum Target dan Tokachi Oki *Matched*



Gambar 5.37 Grafik Spektrum Target dan Michoacan *Matched*

1. Validasi Terhadap Rentang Periode

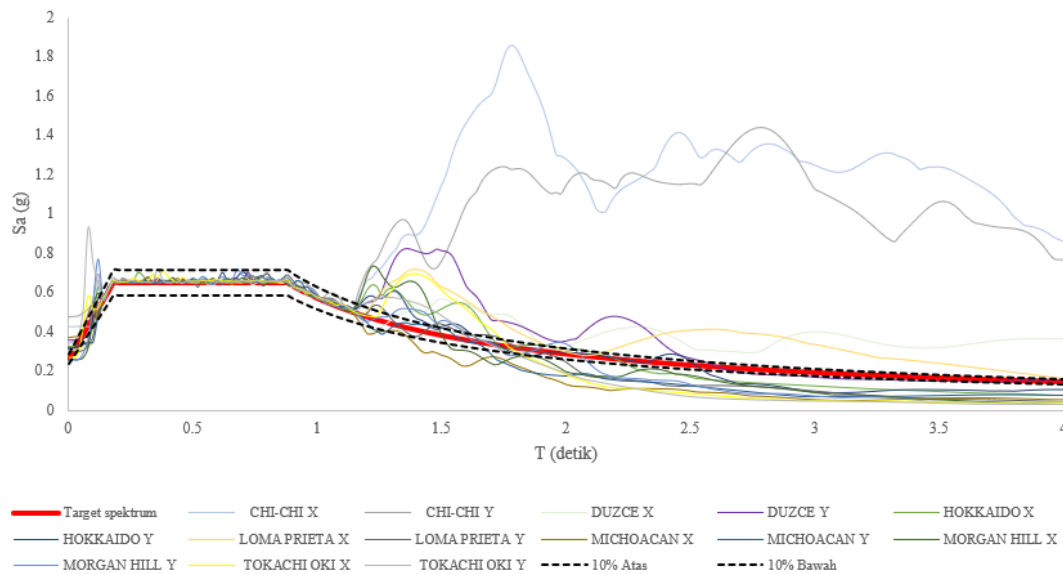
Pencocokan spektral disyaratkan dilakukan pada rentang periode $0,8T_{lower} - 1,2T_{upper}$, yaitu 0,133 detik hingga 1,144 detik. Gambar 5.31 di bawah menampilkan perbandingan spektrum seluruh 14 komponen rekaman terhadap spektrum target dengan penanda garis batas bawah (0,133 detik) dan batas atas (1,144 detik). Pada rentang periode tersebut, seluruh rekaman yang telah disesuaikan terlihat berimpit dan mengikuti bentuk spektrum target dengan baik. Pada periode di luar rentang validasi, beberapa rekaman menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari spektrum target, namun hal ini dapat diterima karena persyaratan pencocokan spektral hanya berlaku pada rentang periode yang telah ditetapkan.



Gambar 5.38 Perbandingan Spektrum Respons 14 Komponen Rekaman Gempa Terhadap Spektrum Target pada Rentang Periode Validasi

2. Validasi Toleransi

SNI 1726:2019 mensyaratkan bahwa nilai rata-rata percepatan semu (*pseudo acceleration*) dari seluruh rekaman yang telah dicocokkan tidak boleh kurang atau lebih dari 10% spektrum target pada rentang periode validasi. Gambar 5.32 menampilkan perbandingan spektrum 14 komponen rekaman dengan tambahan garis batas toleransi $\pm 10\%$ terhadap spektrum target. Secara visual terlihat bahwa rata-rata spektrum dari 14 komponen rekaman berada di dalam koridor batas toleransi tersebut pada seluruh rentang periode validasi 0,133–1,144 detik.



Gambar 5.39 Verifikasi Pencocokan Spektral 14 Komponen Rekaman Gempa pada Rentang Periode 0,133–1,144 Detik dengan Batas Toleransi $\pm 10\%$ Spektrum Target

3. Perhitungan Rasio Spektrum

Perhitungan dilakukan dengan menghitung rasio antara rata-rata spektrum 14 komponen ($S_{a\ avg}$) terhadap spektrum target ($S_{a\ target}$) pada setiap titik periode dalam rentang validasi. Syarat terpenuhi apabila nilai rasio berada pada rentang 0,90–1,10 dari rasio spektrum. Sebagai contoh, perhitungan rasio pada periode $T = 0,133$ detik adalah sebagai berikut.

$$S_{a\ avg} = 0,5699\text{ g}$$

$$S_{a\ target} = 0,5482\text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &= \frac{S_{a\ avg}}{S_{a\ target}} \\ &= \frac{0,5699}{0,5482} \\ &= 1,040\end{aligned}$$

Nilai rasio sebesar 1,040 berada dalam rentang 0,90–1,10, sehingga dinyatakan memenuhi syarat.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh titik periode dalam rentang 0,133–1,144 detik. Hasil perhitungan lengkap disajikan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Rasio Spektrum pada Rentang Periode Validasi

Periode T (detik)	$S_{a\ target}$ (g)	$S_{a\ avg}$ (g)	Rasio	Keterangan
0,12	0,5200	0,5759	1,108	Tidak Memenuhi
0,133	0,5482	0,5699	1,040	Memenuhi
0,14	0,5633	0,5667	1,006	Memenuhi
0,16	0,6067	0,6100	1,005	Memenuhi
0,18	0,6500	0,6556	1,009	Memenuhi
0,2	0,6500	0,6532	1,005	Memenuhi
0,22	0,6500	0,6567	1,010	Memenuhi
0,24	0,6500	0,6535	1,005	Memenuhi
0,26	0,6500	0,6552	1,008	Memenuhi
0,28	0,6500	0,6573	1,011	Memenuhi
0,3	0,6500	0,6575	1,011	Memenuhi
0,32	0,6500	0,6584	1,013	Memenuhi
0,34	0,6500	0,6582	1,013	Memenuhi
0,36	0,6500	0,6594	1,014	Memenuhi
0,38	0,6500	0,6594	1,014	Memenuhi
0,4	0,6500	0,6554	1,008	Memenuhi
0,42	0,6500	0,6584	1,013	Memenuhi
0,44	0,6500	0,6558	1,009	Memenuhi
0,46	0,6500	0,6549	1,008	Memenuhi
0,48	0,6500	0,6553	1,008	Memenuhi
0,5	0,6500	0,6561	1,009	Memenuhi
0,52	0,6500	0,6522	1,003	Memenuhi
0,54	0,6500	0,6588	1,014	Memenuhi
0,56	0,6500	0,6542	1,006	Memenuhi
0,58	0,6500	0,6540	1,006	Memenuhi
0,6	0,6500	0,6556	1,009	Memenuhi
0,62	0,6500	0,6585	1,013	Memenuhi
0,64	0,6500	0,6584	1,013	Memenuhi
0,66	0,6500	0,6560	1,009	Memenuhi
0,68	0,6500	0,6633	1,021	Memenuhi
0,7	0,6500	0,6613	1,017	Memenuhi
0,72	0,6500	0,6670	1,026	Memenuhi
0,74	0,6500	0,6611	1,017	Memenuhi
0,76	0,6500	0,6607	1,016	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Rasio Spektrum pada Rentang Periode Validasi

Periode T (detik)	$S_{a\ target}$ (g)	$S_{a\ avg}$ (g)	Rasio	Keterangan
0,78	0,6500	0,6596	1,015	Memenuhi
0,8	0,6500	0,6621	1,019	Memenuhi
0,82	0,6500	0,6568	1,010	Memenuhi
0,84	0,6500	0,6557	1,009	Memenuhi
0,86	0,6500	0,6580	1,012	Memenuhi
0,88	0,6500	0,6576	1,012	Memenuhi
0,9	0,6333	0,6380	1,007	Memenuhi
0,92	0,6196	0,6307	1,018	Memenuhi
0,94	0,6064	0,6203	1,023	Memenuhi
0,96	0,5938	0,6023	1,014	Memenuhi
0,98	0,5816	0,5911	1,016	Memenuhi
1	0,5700	0,5777	1,014	Memenuhi
1,02	0,5588	0,5632	1,008	Memenuhi
1,04	0,5481	0,5580	1,018	Memenuhi
1,06	0,5377	0,5528	1,028	Memenuhi
1,08	0,5278	0,5398	1,023	Memenuhi
1,1	0,5182	0,5260	1,015	Memenuhi
1,12	0,5089	0,5157	1,013	Memenuhi
1,14	0,5000	0,5060	1,012	Memenuhi
1,144	0,4983	0,5072	1,018	Memenuhi
1,16	0,4914	0,5119	1,042	Memenuhi

Seluruh nilai rasio berada dalam rentang yang disyaratkan, dengan nilai rasio berkisar antara 1,04 hingga 1,018. Dengan demikian, seluruh 7 rekaman gempa beserta 14 komponennya dinyatakan telah memenuhi syarat pencocokan spektral sesuai SNI 1726:2019 dan dapat digunakan sebagai input analisis riwayat waktu linear pada tahap selanjutnya.

5.6 Analis Riwayat Waktu Linear

5.6.1 Parameter *Ground Motion*

Redaman modal yang digunakan adalah konstan sebesar 5% (*Constant at 0.05*) dengan tipe gerak tanah *Transient*. Jumlah output time steps ditentukan

berdasarkan durasi rekaman dan interval waktu masing-masing rekaman gempa. Sebagai contoh, rekaman gempa Loma Prieta memiliki interval waktu $\Delta t = 0,02$ detik dengan durasi rekaman 60 detik, sehingga jumlah time steps dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{Durasi}}{\Delta t} \\ &= \frac{60}{0,02} \\ &= 3000 \text{ steps} \end{aligned}$$

Rekapitulasi karakteristik seluruh rekaman gempa disajikan pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Karakteristik Rekaman Gempa

Nama Gempa	Δt (detik)	Durasi (detik)	Time Steps
Hokkaido, Jepang	0,01	199	19900
Loma Prieta, US	0,02	60	3000
Morgan Hill, US	0,02	60	3000
Chi-Chi, Taiwan	0,01	135	13500
Duzce, Turkey	0,005	58	11600
Tokachi-oki, Jepang	0,01	177	17700
Michoacan, Mexico	0,005	27	5400

5.6.2 Validasi Gaya Geser Dasar

Validasi gaya geser dasar dilakukan melalui dua tahap, yaitu validasi gaya geser dasar hasil analisis ragam spektrum respons (V_{RSA}) terhadap gaya geser dasar statik ekuivalen (V_{statik}) sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, dan validasi gaya geser dasar hasil analisis riwayat waktu (V_{th}) terhadap V_{RSA} yang telah divalidasi, sesuai Pasal 7.9.2.5.2. Contoh perhitungan berikut menggunakan rekaman gempa Loma Prieta.

1. Validasi V_{RSA} terhadap V_{statik}

Sesuai Pasal 7.9.4.1, gaya geser dasar dinamik (V_{RSA}) tidak boleh kurang dari 100% gaya geser dasar statik ekuivalen (V_{statik}). Faktor skala awal untuk analisis ragam spektrum respons dihitung dengan nilai faktor keutamaan gempa $I_e = 1$,

koefisien modifikasi respons arah X $R_x = 8$ (SRPMK), dan arah Y $R_y = 7$ (Sistem Ganda).

$$\begin{aligned} SF_{awal_{RSA_x}} &= \frac{g \times I_e}{R_x} \\ &= \frac{9,81 \times 1}{8} \\ &= 1,226 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF_{awal_{RSA_y}} &= \frac{g \times I_e}{R_y} \\ &= \frac{9,81 \times 1}{7} \\ &= 1,401 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Faktor skala ini diinput pada *scale factor load case* respons spektrum di ETABS, menghasilkan:

$$V_{statik_x} = 6681,37 \text{ kN}$$

$$V_{statik_y} = 7635,86 \text{ kN}$$

$$V_{RSA_{awal_x}} = 4790,95 \text{ kN}$$

$$V_{RSA_{awal_y}} = 5666,13 \text{ kN}$$

Hasil $V_{RSA_{awal}}$ kemudian dibandingkan dengan V_{statik} :

$$\begin{aligned} Rasio_x &= \frac{V_{RSA_{awal_x}}}{V_{statik_x}} \\ &= \frac{4790,95}{6681,37} \\ &= 71,71 \% < 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rasio_y &= \frac{V_{RSA_{awal_y}}}{V_{statik_y}} \\ &= \frac{5666,13}{7635,86} \\ &= 74,20 \% < 100\% \end{aligned}$$

Karena syarat tidak terpenuhi, faktor skala dikoreksi dengan:

$$\begin{aligned} SF_{baru_{RSA_x}} &= SF_{awal_{RSA_x}} \times \frac{V_{statik_x}}{V_{RSA_{awal_x}}} \\ &= 1,226 \times \frac{6681,37}{4790,95} \\ &= 1,71 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SF\ baru_{RSA_y} &= SF\ awal_{RSA_y} \times \frac{V_{statik_y}}{V_{RSA\ awal_y}} \\
 &= 1,401 \times \frac{7635,86}{5666,13} \\
 &= 1,88\ m/s^2
 \end{aligned}$$

Faktor skala baru ini menggantikan faktor skala awal pada *load case* respons spektrum di ETABS, sehingga diperoleh V_{RSA} akhir yang memenuhi syarat:

$$V_{RSA\ akhir_x} = 6681,38\ kN$$

$$\begin{aligned}
 Rasio_x &= \frac{V_{RSA\ akhir_x}}{V_{statik_x}} \\
 &= \frac{6681,38}{6681,38} \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

$$V_{RSA\ akhir_y} = 7635,85\ kN$$

$$\begin{aligned}
 Rasio_y &= \frac{V_{RSA\ akhir_y}}{V_{statik_y}} \\
 &= \frac{7635,85}{7635,86} \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

$V_{RSA\ akhir}$ ini selanjutnya digunakan sebagai nilai pada validasi gaya geser dasar hasil analisis riwayat waktu.

2. Validasi V_{th} terhadap $V_{RSA\ akhir}$

Rekaman gempa riwayat waktu diinput ke ETABS dengan faktor skala awal $g = 9,81\ m/s^2$. Gaya geser dasar elastik hasil analisis riwayat waktu (V_{th}) untuk rekaman gempa Loma Prieta diperoleh sebagai berikut.

$$V_{th\ awal_x} = 39309,98\ kN$$

$$V_{th\ awal_y} = 43733,59\ kN$$

Hasil $V_{th\ awal}$ kemudian dibandingkan dengan $V_{RSA\ akhir}$:

$$\begin{aligned}
 Rasio_x &= \frac{V_{th\ awal_x}}{V_{RSA\ akhir_x}} \\
 &= \frac{39309,98}{6681,38} \\
 &= 588,35\% \geq 100\%
 \end{aligned}$$

$$Rasio_y = \frac{V_{th\ awal_y}}{V_{RSA\ akhir_y}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{43733,59}{7635,86} \\
&= 572,74\% \geq 100\%
\end{aligned}$$

Faktor skala dikoreksi agar $V_{th\ akhir}$ sama dengan $V_{RSA\ akhir}$ untuk mencegah adanya *overdesign* dan *underdesign*, dengan:

$$\begin{aligned}
SF\ baru_{th_x} &= SF\ awal_{th_x} \times \frac{V_{RSA\ akhir_x}}{V_{th\ awal_x}} \\
&= 9,81 \times \frac{6681,38}{39309,98} \\
&= 1,67\text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SF\ baru_{th_y} &= SF\ awal_{th_y} \times \frac{V_{RSA\ akhir_y}}{V_{th\ awal_y}} \\
&= 9,81 \times \frac{7635,85}{43733,59} \\
&= 1,71\text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

Faktor skala baru ini menggantikan faktor skala awal (9810) pada *scale factor load case* analisis riwayat waktu Loma Prieta di ETABS, sehingga diperoleh:

$$V_{th\ akhir_x} = 6681,38\text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
Rasio_x &= \frac{V_{th\ akhir_x}}{V_{RSA\ akhir_x}} \\
&= \frac{6681,38}{6681,38} \\
&= 100\%
\end{aligned}$$

$$V_{th\ akhir_y} = 7635,85\text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
Rasio_y &= \frac{V_{th\ akhir_y}}{V_{RSA\ akhir_y}} \\
&= \frac{7635,85}{7635,86} \\
&= 100\%
\end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil validasi dan faktor skala untuk seluruh rekaman gempa dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar dan *Scale Factor*

Nama Gempa	V_{th_x} (kN)	V_{RSA_x} (kN)	Skala Baru X	V_{th_y} (kN)	V_{RSA_y} (kN)	Skala Baru Y
Hokkaido, Jepang	41013,05	6681,38	1,60	37839,21	7635,86	1,98
Loma Prieta, US	39309,98	6681,38	1,67	43733,59	7635,85	1,71
Morgan Hill, US	39699,03	6681,38	1,65	40407,39	7635,86	1,85
Chi-Chi, Taiwan	48117,57	6681,38	1,36	45906,16	7635,86	1,63
Duzce, Turkey	39541,04	6681,38	1,66	52717,90	7635,86	1,42
Tokachi-oki, Jepang	38753,85	6681,38	1,69	40506,90	7635,86	1,85
Michoacan, Mexico	37937,30	6681,38	1,73	47851,97	7635,86	1,57

Setelah diterapkan skala baru, seluruh rekaman gempa dinyatakan telah memenuhi syarat validasi sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2 dan hasil analisis dapat digunakan untuk evaluasi kinerja seismik struktur pada tahap selanjutnya.

5.7 Evaluasi Kinerja Seismik

5.7.1 Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Evaluasi simpangan antar lantai dilakukan untuk memastikan bahwa deformasi lateral struktur akibat beban gempa tidak melampaui batas yang diizinkan SNI 1726:2019. Simpangan antar lantai aktual (Δ) dihitung berdasarkan simpangan hasil analisis ETABS yang dikalikan dengan faktor amplifikasi defleksi (C_d) dan dibagi dengan faktor keutamaan gempa (I_e). Sesuai SNI 1726:2019, batas simpangan antar lantai izin untuk struktur dengan kategori risiko II adalah $\Delta_{izin} = 0,02 \times h_{sx}$. Karena simpangan yang digunakan sudah dalam bentuk rasio drift ($\frac{\delta_e}{h_{sx}}$), maka batas izin yang digunakan adalah 0,02.

Nilai simpangan hasil analisis ETABS yang digunakan dalam evaluasi ini diambil dari nilai *envelope* (terbesar) dari empat kombinasi pembebanan gempa yang telah dijelaskan pada Subbab 5.3.3, yaitu kombinasi gempa dengan beban hidup dominan arah X dan Y, serta kombinasi gempa kondisi uplift dominan arah X dan Y. Nilai simpangan antar lantai aktual yang ditinjau pada tiap lantai dan arah merupakan nilai *envelope* terbesar dari keempat kombinasi tersebut, sehingga

kondisi pembebanan terkritis tetap terwakili dalam evaluasi kinerja struktur. Sebagai contoh, perhitungan simpangan antar lantai aktual untuk lantai 1 gempa Loma Prieta dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta_x &= \frac{C_d \times \delta_{ex}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 0,00193}{1} \\ &= 0,00656 < 0,02\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_y &= \frac{C_d \times \delta_{ey}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 0,000905}{1} \\ &= 0,00497 < 0,02\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh lantai pada kedua arah dan ketujuh gempa. Rekapitulasi hasil perhitungan simpangan antar lantai disajikan pada Tabel 5.20 sampai Tabel 5.26.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Hokkaido

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001193	5,5	1	0,0065615	0,02	Memenuhi
	Y	0,000975	5,5	1	0,0053625	0,02	Memenuhi
2	X	0,001779	5,5	1	0,0097845	0,02	Memenuhi
	Y	0,001679	5,5	1	0,0092345	0,02	Memenuhi
3	X	0,002096	5,5	1	0,011528	0,02	Memenuhi
	Y	0,002199	5,5	1	0,0120945	0,02	Memenuhi
4	X	0,002053	5,5	1	0,0112915	0,02	Memenuhi
	Y	0,002319	5,5	1	0,0127545	0,02	Memenuhi
5	X	0,002612	5,5	1	0,014366	0,02	Memenuhi
	Y	0,002494	5,5	1	0,013717	0,02	Memenuhi

Tabel 5.21 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Loma Prieta

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001193	5,5	1	0,0065615	0,02	Memenuhi
	Y	0,000905	5,5	1	0,0049775	0,02	Memenuhi
2	X	0,001754	5,5	1	0,009647	0,02	Memenuhi
	Y	0,001536	5,5	1	0,008448	0,02	Memenuhi
3	X	0,002086	5,5	1	0,011473	0,02	Memenuhi
	Y	0,001978	5,5	1	0,010879	0,02	Memenuhi
4	X	0,002172	5,5	1	0,011946	0,02	Memenuhi
	Y	0,00205	5,5	1	0,011275	0,02	Memenuhi
5	X	0,003094	5,5	1	0,017017	0,02	Memenuhi
	Y	0,002181	5,5	1	0,0119955	0,02	Memenuhi

Tabel 5.22 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Morgan Hill

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001171	5,5	1	0,0064405	0,02	Memenuhi
	Y	0,000959	5,5	1	0,0052745	0,02	Memenuhi
2	X	0,001748	5,5	1	0,009614	0,02	Memenuhi
	Y	0,001571	5,5	1	0,0086405	0,02	Memenuhi
3	X	0,002087	5,5	1	0,0114785	0,02	Memenuhi
	Y	0,002008	5,5	1	0,011044	0,02	Memenuhi
4	X	0,002177	5,5	1	0,0119735	0,02	Memenuhi
	Y	0,002066	5,5	1	0,011363	0,02	Memenuhi
5	X	0,003102	5,5	1	0,017061	0,02	Memenuhi
	Y	0,002186	5,5	1	0,012023	0,02	Memenuhi

Tabel 5.23 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Chi-Chi

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001025	5,5	1	0,0056375	0,001025	Memenuhi
	Y	0,000835	5,5	1	0,0045925	0,000835	Memenuhi
2	X	0,001496	5,5	1	0,008228	0,001496	Memenuhi
	Y	0,001337	5,5	1	0,0073535	0,001337	Memenuhi
3	X	0,001728	5,5	1	0,009504	0,001728	Memenuhi
	Y	0,001752	5,5	1	0,009636	0,001752	Memenuhi
4	X	0,001627	5,5	1	0,0089485	0,001627	Memenuhi
	Y	0,001855	5,5	1	0,0102025	0,001855	Memenuhi
5	X	0,002448	5,5	1	0,013464	0,002448	Memenuhi
	Y	0,002013	5,5	1	0,0110715	0,002013	Memenuhi

Tabel 5.24 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Duzce

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001018	5,5	1	0,005599	0,02	Memenuhi
	Y	0,000885	5,5	1	0,0048675	0,02	Memenuhi
2	X	0,001577	5,5	1	0,0086735	0,02	Memenuhi
	Y	0,001355	5,5	1	0,0074525	0,02	Memenuhi
3	X	0,001934	5,5	1	0,010637	0,02	Memenuhi
	Y	0,001708	5,5	1	0,009394	0,02	Memenuhi
4	X	0,002081	5,5	1	0,0114455	0,02	Memenuhi
	Y	0,001749	5,5	1	0,0096195	0,02	Memenuhi
5	X	0,003098	5,5	1	0,017039	0,02	Memenuhi
	Y	0,00186	5,5	1	0,01023	0,02	Memenuhi

Tabel 5.25 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Tokachi Oki

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001109	5,5	1	0,0060995	0,02	Memenuhi
	Y	0,000946	5,5	1	0,005203	0,02	Memenuhi
2	X	0,001709	5,5	1	0,0093995	0,02	Memenuhi
	Y	0,001524	5,5	1	0,008382	0,02	Memenuhi
3	X	0,002065	5,5	1	0,0113575	0,02	Memenuhi
	Y	0,001949	5,5	1	0,0107195	0,02	Memenuhi
4	X	0,002116	5,5	1	0,011638	0,02	Memenuhi
	Y	0,002104	5,5	1	0,011572	0,02	Memenuhi
5	X	0,003074	5,5	1	0,016907	0,02	Memenuhi
	Y	0,0023	5,5	1	0,01265	0,02	Memenuhi

Tabel 5.26 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Gempa Michoacan

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001254	5,5	1	0,006897	0,02	Memenuhi
	Y	0,000846	5,5	1	0,004653	0,02	Memenuhi
2	X	0,001924	5,5	1	0,010582	0,02	Memenuhi
	Y	0,001274	5,5	1	0,007007	0,02	Memenuhi
3	X	0,002259	5,5	1	0,012425	0,02	Memenuhi
	Y	0,00155	5,5	1	0,008525	0,02	Memenuhi
4	X	0,002009	5,5	1	0,01105	0,02	Memenuhi
	Y	0,00164	5,5	1	0,00902	0,02	Memenuhi
5	X	0,002655	5,5	1	0,014603	0,02	Memenuhi
	Y	0,001803	5,5	1	0,009917	0,02	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.20 sampai Tabel 5.26, terlihat bahwa seluruh kurva simpangan aktual dari ketujuh rekaman gempa berada di bawah garis batas izin SNI (0,02), simpangan maksimum Arah X terjadi pada lantai 5 akibat gempa Loma Prieta dengan nilai 0,017017 dan simpangan maksimum Arah Y juga berada di lantai 5 akibat gempa Hokkaido sebesar 0,013717. Meskipun lantai atas menghasilkan nilai simpangan yang paling dominan, struktur gedung secara keseluruhan tetap dikategorikan aman karena rasio simpangan aktual terhadap batas izin untuk seluruh lantai nilainya kurang dari 1,0. Seluruh nilai simpangan antar

lantai aktual pada semua lantai untuk kedua arah tidak melampaui batas izin SNI 0,02, sehingga dinyatakan memenuhi syarat sesuai SNI 1726:2019.

Selanjutnya, nilai rata-rata simpangan antar lantai untuk setiap lantai dihitung sebagai dasar evaluasi akhir sesuai SNI 1726:2019 yang mensyaratkan penggunaan nilai rata-rata apabila jumlah rekaman gempa yang digunakan ≥ 7 . Rekapitulasi nilai rata-rata simpangan antar lantai disajikan pada Tabel 5.27 berikut.

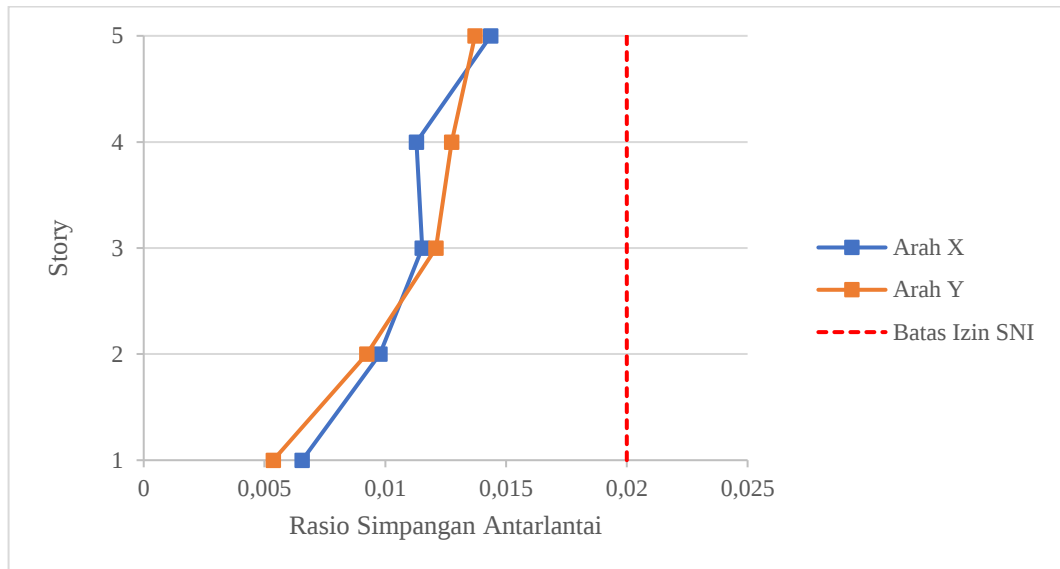
Tabel 5.27 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Rata-Rata

Story	Arah	Drift ETABS	Cd	Ie	Drift Aktual	Batas Izin SNI	Keterangan
1	X	0,001138	5,5	1	0,0062566	0,02	Memenuhi
	Y	0,000907	5,5	1	0,0049901	0,02	Memenuhi
2	X	0,001712	5,5	1	0,0094184	0,02	Memenuhi
	Y	0,001468	5,5	1	0,008074	0,02	Memenuhi
3	X	0,002036	5,5	1	0,0112004	0,02	Memenuhi
	Y	0,001878	5,5	1	0,0103274	0,02	Memenuhi
4	X	0,002034	5,5	1	0,0111846	0,02	Memenuhi
	Y	0,001969	5,5	1	0,0108295	0,02	Memenuhi
5	X	0,002869	5,5	1	0,0157795	0,02	Memenuhi
	Y	0,00212	5,5	1	0,0116576	0,02	Memenuhi

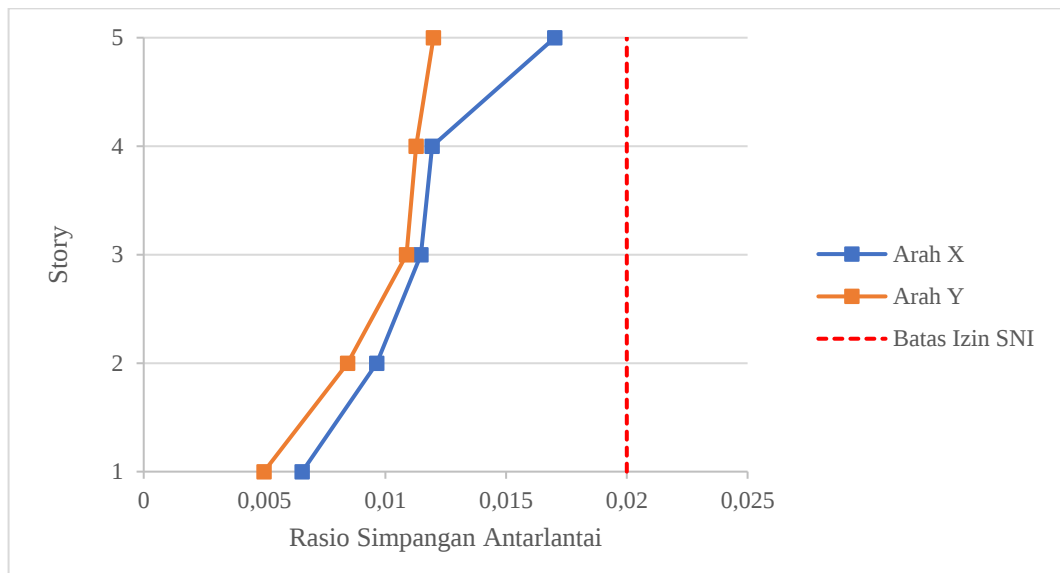
Berdasarkan Tabel 5.27, nilai simpangan antar lantai rata-rata terbesar terjadi pada lantai 5 arah X dengan drift aktual 0,0157795, sedangkan nilai terkecil terjadi pada lantai 1 arah Y dengan drift aktual 0,0049901. Seluruh nilai simpangan antar lantai rata-rata pada semua lantai untuk kedua arah berada di bawah batas izin SNI 0,02, sehingga seluruh lantai dinyatakan memenuhi syarat simpangan antar lantai sesuai SNI 1726:2019.

Secara umum, nilai simpangan antar lantai meningkat dari lantai 1 hingga lantai 5 pada kedua arah. Simpangan arah X cenderung lebih besar dibandingkan arah Y pada setiap lantai, yang mengindikasikan bahwa struktur relatif lebih fleksibel dalam arah X dibandingkan arah Y. Hal ini konsisten dengan perbedaan sistem penahan gaya lateral yang digunakan, di mana arah Y menggunakan sistem ganda dengan kontribusi dinding geser yang meningkatkan kekakuan lateral struktur.

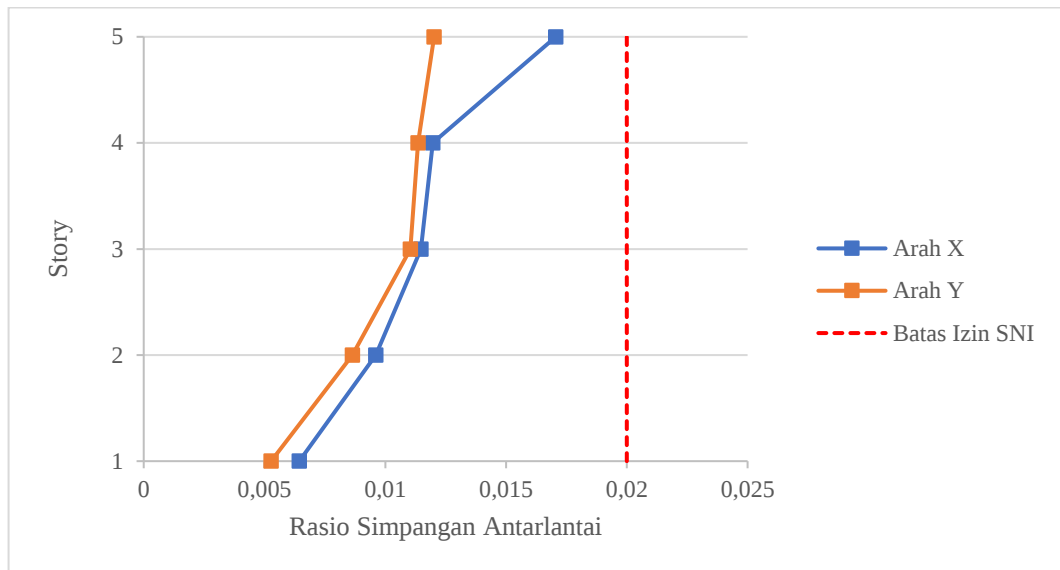
Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pola perilaku deformasi lateral struktur akibat beban ketujuh rekaman gempa yang ditinjau, visualisasi perbandingan simpangan antar lantai aktual terhadap batas izin SNI dapat dilihat pada Gambar 5.40 hingga Gambar 5.46.



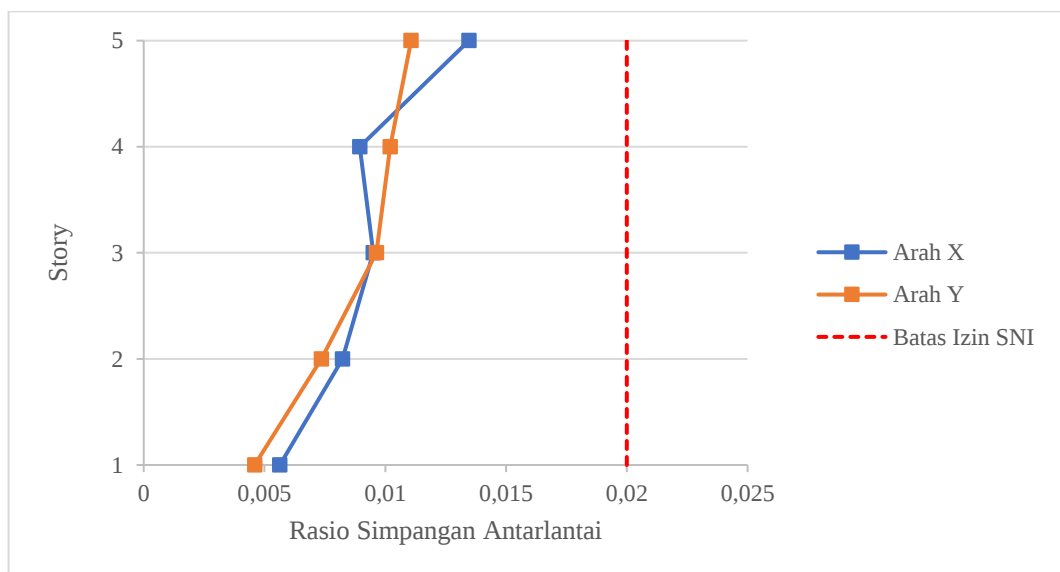
Gambar 5.40 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Hokkaido



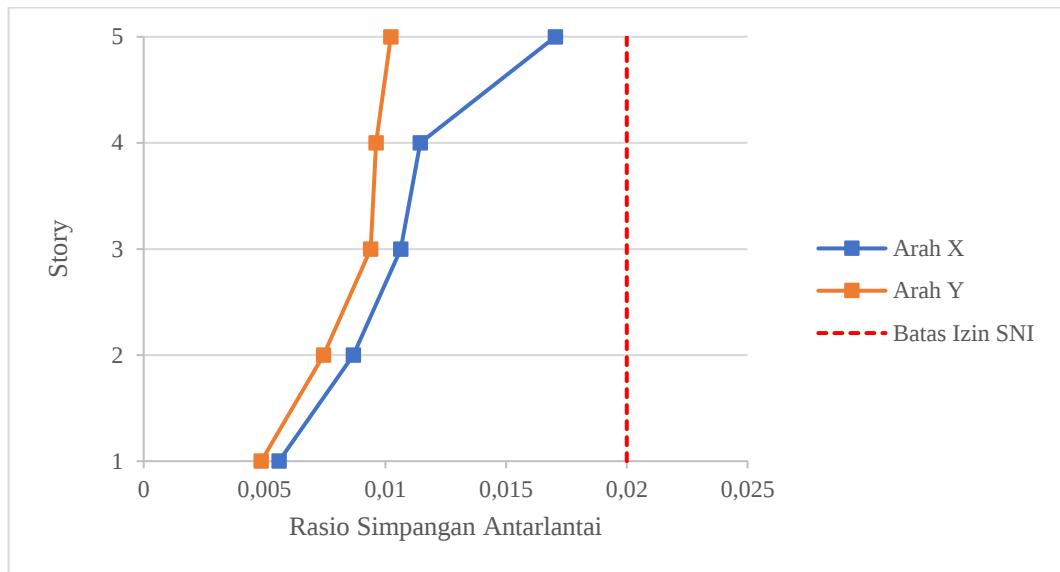
Gambar 5.41 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Loma Prieta



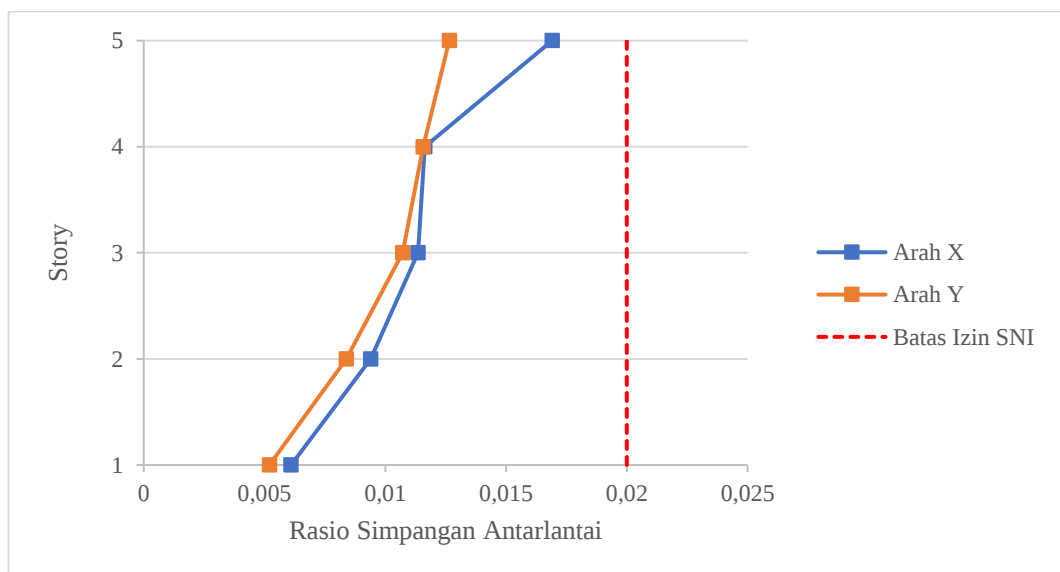
Gambar 5.42 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Morgan Hill



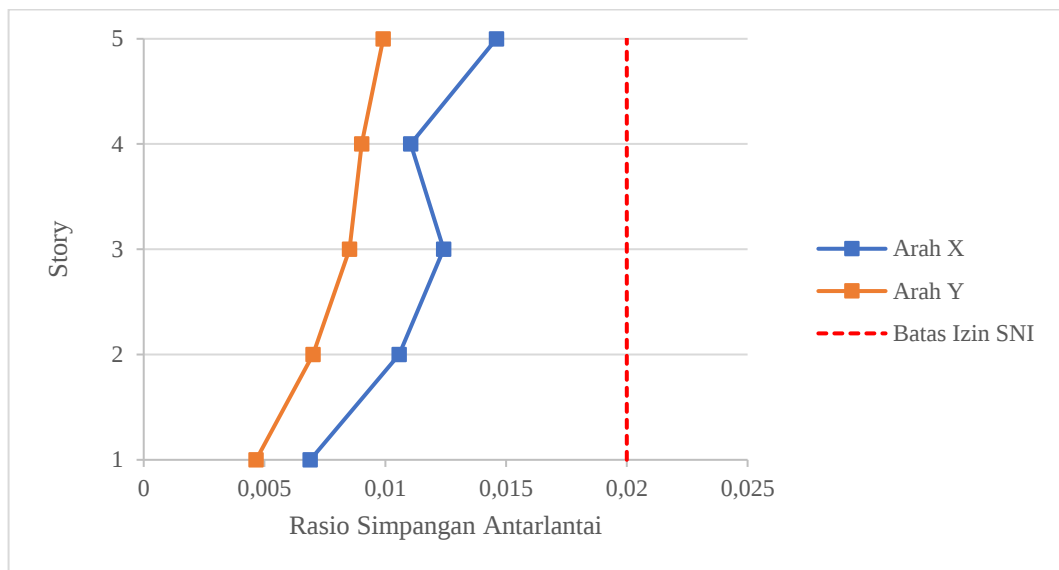
Gambar 5.43 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Chi-Chi



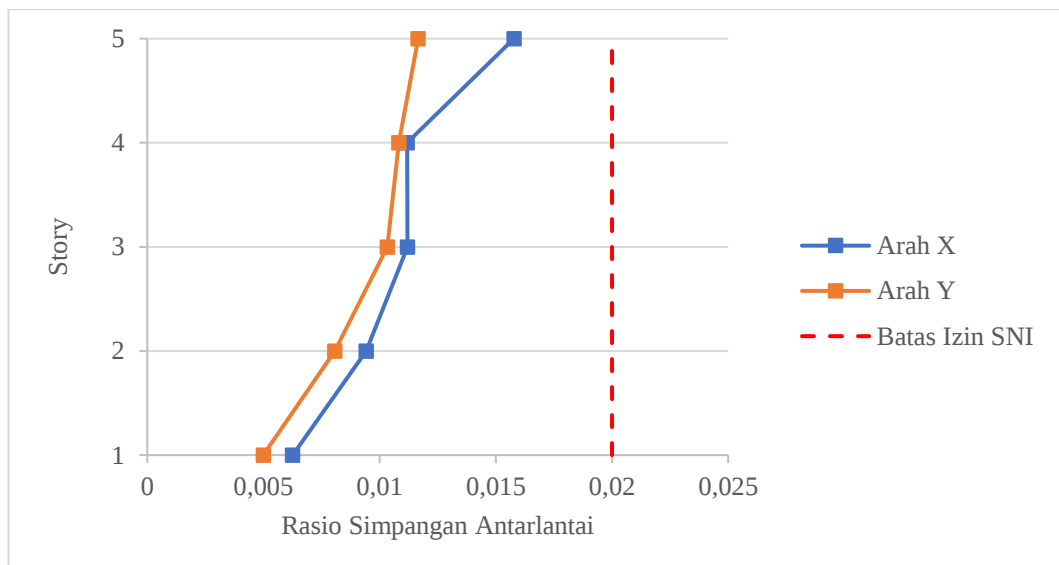
Gambar 5.44 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Duzce



Gambar 5.45 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Tokachi Oki



Gambar 5.46 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Michoacan



Gambar 5. 47 Grafik Simpangan Antar Lantai Rata-Rata

5.7.2 Efek P-Delta

Efek P-Delta merupakan pengaruh gaya aksial terhadap deformasi lateral struktur yang dapat memperbesar momen dan gaya geser pada elemen struktur akibat perpindahan posisi pusat massa. SNI 1726:2019 mensyaratkan evaluasi pengaruh P-Delta melalui koefisien stabilitas (θ) untuk menentukan apakah efek ini perlu diperhitungkan secara eksplisit dalam analisis struktur.

Apabila nilai $\theta \leq 0,1$, maka pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur dapat diabaikan. Namun apabila $0,1 < \theta \leq \theta_{maks}$, maka pengaruh P-Delta harus diperhitungkan dengan mengalikan respons gaya dan perpindahan dengan faktor $\frac{1}{1-\theta}$. Nilai θ_{maks} ditentukan dari perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}\theta_{maks} &= \frac{0,5}{\beta \times C_d} \\ &= \frac{0,5}{1,0 \times 5,5} \\ &= 0,0909\end{aligned}$$

Apabila $\theta > \theta_{maks}$, struktur dinyatakan tidak stabil dan perlu dikaji ulang. Sebagai contoh, perhitungan koefisien stabilitas untuk lantai 1 gempa Loma Prieta sebagai berikut.

Data hasil komputasi ETABS:

$$\begin{aligned}P &= 117686,37 \text{ kN} \\ V_x &= 6236,43 \text{ kN} \\ V_y &= 7228,93 \text{ kN} \\ \theta_x &= \frac{P \times \text{Drift Ratio}_x \times I_e}{V_x \times C_d} \\ &= \frac{117686,37 \times 0,0065615 \times 1}{6666,12 \times 5,5} \\ &= 0,02106 < 0,1 \\ \theta_y &= \frac{P \times \text{Drift Ratio}_y \times I_e}{V_y \times C_d} \\ &= \frac{117686,37 \times 0,0049775 \times 1}{7645,76 \times 5,5} \\ &= 0,01393 < 0,1\end{aligned}$$

Nilai $\theta_x = 0,02106 < 0,1$ dan $\theta_y = 0,01393 < 0,1$, sehingga pengaruh P-Delta pada lantai 1 karena gempa Loma Prieta dapat diabaikan.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh lantai dan gempa pada kedua arah. Rekapitulasi hasil perhitungan koefisien stabilitas disajikan pada Tabel 5.28 hingga Tabel 5.34 berikut.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Hokkaido

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6443,06	0,0065615	5,5	0,02179	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7349,66	0,0053625	5,5	0,01561	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	6034,28	0,0097845	5,5	0,02706	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6934,06	0,0092345	5,5	0,02223	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5214,55	0,011528	5,5	0,02678	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6184,52	0,0120945	5,5	0,02369	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4057,28	0,0112915	5,5	0,02169	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4785,18	0,0127545	5,5	0,02077	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	1963,02	0,014366	5,5	0,02502	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2821,15	0,013717	5,5	0,01663	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.29 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Loma Prieta

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6666,12	0,0065615	5,5	0,02106	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7645,76	0,0049775	5,5	0,01393	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	6179,55	0,009647	5,5	0,02605	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7078,58	0,008448	5,5	0,01992	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5255,64	0,011473	5,5	0,02644	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6028,83	0,010879	5,5	0,02186	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4336,71	0,011946	5,5	0,02147	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4705,31	0,011275	5,5	0,01867	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2556,32	0,017017	5,5	0,02276	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2632,5	0,0119955	5,5	0,01558	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.30 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Morgan Hill

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6560,78	0,0064405	5,5	0,02101	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7545,97	0,0052745	5,5	0,01496	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	5984,66	0,009614	5,5	0,02681	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7172,43	0,0086405	5,5	0,02011	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5299,41	0,0114785	5,5	0,02623	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6295,14	0,011044	5,5	0,02125	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4220,51	0,0119735	5,5	0,02211	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4761,93	0,011363	5,5	0,0186	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2570,25	0,017061	5,5	0,0227	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2570,01	0,012023	5,5	0,016	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.31 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Chi-Chi

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	5677,14	0,0056375	5,5	0,02125	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7400,32	0,0045925	5,5	0,01328	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	5016,69	0,008228	5,5	0,02737	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6306,13	0,0073535	5,5	0,01946	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	4342,44	0,009504	5,5	0,02651	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		5139,86	0,009636	5,5	0,02271	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	3162,92	0,0089485	5,5	0,02205	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		3975,85	0,0102025	5,5	0,02	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	1780,91	0,013464	5,5	0,02585	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2334,29	0,0110715	5,5	0,01622	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.32 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Duzce

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	5452,41	0,005599	5,5	0,02197	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6121,53	0,0048675	5,5	0,01701	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	5309,6	0,0086735	5,5	0,02726	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		5329,79	0,0074525	5,5	0,02334	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	4940,55	0,010637	5,5	0,02608	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4436,49	0,009394	5,5	0,02565	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4250,62	0,0114455	5,5	0,02098	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		3590,49	0,0096195	5,5	0,02088	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2571,39	0,017039	5,5	0,02266	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		1962,45	0,01023	5,5	0,01782	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.33 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Tokachi Oki

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6078,65	0,00609	5,5	0,02147	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7120,31	0,00520	5,5	0,01563	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	5744,18	0,00939	5,5	0,02731	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6878,66	0,00838	5,5	0,02033	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5243,23	0,01135	5,5	0,02623	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		5981,99	0,01071	5,5	0,02170	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4232,33	0,01163	5,5	0,02142	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4604,17	0,01157	5,5	0,01958	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2540,21	0,01690	5,5	0,02275	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2699,66	0,01265	5,5	0,01602	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Tabel 5.34 Rekapitulasi Efek P-Delta Gempa Michoacan

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6776,87	0,006897	5,5	0,02177	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7419,01	0,004653	5,5	0,01342	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	6616,85	0,010582	5,5	0,02669	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6476,89	0,007007	5,5	0,01805	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5681,57	0,0124245	5,5	0,02648	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		5238,41	0,008525	5,5	0,01971	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	3891,47	0,0110495	5,5	0,02212	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		3884,81	0,00902	5,5	0,01809	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2027,96	0,0146025	5,5	0,02462	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2319,37	0,0099165	5,5	0,01461	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Berdasarkan Tabel 5.28 hingga 5.34, nilai koefisien stabilitas (θ_{maks}) tertinggi tercatat sebesar 0,02737 yang terjadi pada Gempa Chi-Chi di Story 2 Arah X, sedangkan nilai terkecil yaitu 0,0049775 yang terjadi pada Gempa Loma Prieta di Story 1 Arah Y. Seluruh nilai θ pada semua lantai untuk kedua arah berada di bawah batas 0,1, sehingga pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur dapat diabaikan.

Selanjutnya, nilai rata-rata koefisien stabilitas (θ) untuk setiap lantai dihitung sebagai dasar evaluasi akhir. Rekapitulasi nilai rata-rata koefisien stabilitas disajikan pada Tabel 5.36 berikut.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Efek P-Delta Rata-Rata

Story	Arah	P (kN)	V (kN)	Drift Aktual	C_d	θ	Batas θ SNI	Batas θ_{maks}	Keterangan
1	X	117686,37	6236,43	0,00626	5,5	0,02147	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		7228,94	0,00499	5,5	0,01477	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
2	X	91794,15	5840,83	0,00942	5,5	0,02691	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		6596,65	0,00807	5,5	0,02043	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
3	X	66616,16	5139,63	0,01120	5,5	0,02639	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		5615,04	0,01033	5,5	0,02228	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
4	X	42859,73	4021,69	0,01118	5,5	0,02167	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		4329,68	0,01083	5,5	0,01949	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
5	X	18806,22	2287,15	0,01578	5,5	0,02359	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan
	Y		2477,06	0,01166	5,5	0,01609	0,1	0,0909	P-Delta Diabaikan

Berdasarkan Tabel 5.35, nilai koefisien stabilitas (θ) rata-rata terbesar terjadi pada lantai 2 arah X dengan nilai 0,02691, sedangkan nilai terkecil terjadi pada lantai 1 arah Y dengan nilai 0,01477. Seluruh nilai θ rata-rata pada semua lantai untuk kedua arah berada di bawah batas θ SNI = 0,1 maupun batas θ_{maks} = 0,0909, sehingga pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur dapat diabaikan untuk seluruh kondisi pembebanan yang ditinjau.

Nilai θ yang relatif kecil pada seluruh lantai menunjukkan bahwa beban gravitasi yang bekerja tidak memberikan amplifikasi perpindahan lateral yang signifikan, sehingga struktur dinyatakan stabil terhadap efek P-Delta berdasarkan nilai rata-rata dari ketujuh rekaman gempa yang digunakan.

5.7.3 Level Kinerja Struktur

Penentuan level kinerja struktur dilakukan dengan membandingkan nilai simpangan antar lantai aktual terhadap batas drift sesuai FEMA 356 Tabel C1-3.

Berdasarkan nilai drift aktual maksimum pada setiap lantai kedua arah, hasil penentuan level kinerja disajikan pada Tabel 5.36 hingga 5.42 berikut.

Tabel 5.36 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Hokkaido

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,0065615	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0053625	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,0097845	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0092345	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,011528	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0120945	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
4	X	0,0112915	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0127545	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,014366	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,013717	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.37 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Loma Prieta

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,0065615	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0049775	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,009647	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,008448	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,011473	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,010879	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
4	X	0,011946	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,011275	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,017017	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0119955	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.38 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Morgan Hill

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,0064405	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0052745	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,009614	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0086405	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,0114785	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,011044	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
4	X	0,0119735	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,011363	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,017061	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,012023	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.39 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Chi-Chi

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,0056375	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0045925	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,008228	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0073535	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,009504	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,009636	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
4	X	0,0089485	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0102025	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,013464	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0110715	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.40 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Duzce

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,005599	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0048675	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,0086735	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,0074525	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,010637	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,009394	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
4	X	0,0114455	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0096195	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
5	X	0,017039	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,01023	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.41 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Tokachi Oki

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,0060995	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,005203	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,0093995	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,008382	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,0113575	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0107195	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
4	X	0,011638	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,011572	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,016907	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,01265	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Tabel 5.42 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Michoacan

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,006897	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,004653	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,010582	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,007007	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,0124245	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,008525	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
4	X	0,0110495	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,00902	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
5	X	0,0146025	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0099165	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)

Berdasarkan hasil rekapitulasi evaluasi kinerja struktur terhadap tujuh rekaman gempa riwayat waktu pada Tabel 5.36 hingga 5.42, penentuan target kinerja Gedung BKD Provinsi Jawa Timur mengacu pada batasan simpangan antar-lantai berdasarkan standar FEMA 356. Dari seluruh pembebanan, nilai simpangan aktual maksimum tercatat sebesar 0,017061 yang terjadi akibat beban Gempa Morgan Hill pada Story 5 arah X. Sebaliknya, nilai simpangan aktual minimum adalah sebesar 0,0045925 yang terjadi akibat Gempa Chi-Chi pada Story 1 arah Y. Secara umum, simpangan mengalami amplifikasi di lantai atas, sementara pada lantai-lantai bawah (Story 1 dan 2), nilai simpangan dominan masih berada di bawah angka 0,01 yang mengindikasikan level kinerja Immediate Occupancy (IO).

Karena simpangan maksimum struktur (0,017061) berada di atas 0,01 namun tidak ada yang melampaui batas 0,02 ataupun menyentuh batas Collapse Prevention (0,04), maka secara keseluruhan level kinerja seismik gedung ini diklasifikasikan ke dalam kategori Life Safety (LS). Hasil ini membuktikan bahwa struktur bangunan telah memenuhi kriteria desain yang ideal untuk fasilitas perkantoran, di mana saat terjadi gempa kuat, gedung dirancang untuk mampu mempertahankan keutuhan strukturnya dari keruntuhan total sehingga keselamatan nyawa penghuni tetap terjamin dan evakuasi dapat dilakukan dengan aman.

Selanjutnya, penentuan level kinerja akhir struktur dilakukan berdasarkan nilai rata-rata simpangan antar lantai aktual dari seluruh rekaman gempa. Rekapitulasi penentuan level kinerja struktur berdasarkan nilai rata-rata disajikan pada Tabel 5.43 berikut.

Tabel 5.43 Penentuan Level Kinerja Struktur Gempa Rata-Rata

Story	Arah	Drift Aktual Maks	Batas IO	Batas LS	Batas CP	Level Kinerja
1	X	0,006256643	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,004990071	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
2	X	0,009418357	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
	Y	0,008074	0,01	0,02	0,04	Immediate Occupancy (IO)
3	X	0,011200357	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,010327429	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
4	X	0,011184643	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,0108295	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
5	X	0,0157795	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)
	Y	0,011657643	0,01	0,02	0,04	Life Safety (LS)

Berdasarkan Tabel 5.43, level kinerja struktur bervariasi antar lantai dan arah tinjauan. Pada lantai 1 dan lantai 2 untuk kedua arah, drift aktual rata-rata masih berada di bawah batas IO (0,01), sehingga dikategorikan *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini menunjukkan bahwa pada lantai-lantai bawah, struktur mampu mempertahankan fungsi operasionalnya dengan kerusakan yang sangat minimal pasca gempa.

Mulai lantai 3 hingga lantai 5 pada kedua arah, drift aktual rata-rata melampaui batas IO namun masih berada di bawah batas LS (0,02), sehingga dikategorikan *Life Safety* (LS). Nilai drift aktual rata-rata terbesar terjadi pada lantai 5 arah X sebesar 0,0157795, yang masih jauh di bawah batas *Collapse Prevention* (0,04).

Perbandingan antara nilai simpangan maksimum individual dan nilai simpangan rerata menunjukkan konsistensi hasil yang memperkuat validitas evaluasi kinerja struktur. Nilai simpangan maksimum tunggal terbesar terjadi akibat

Gempa Morgan Hill pada Story 5 arah X sebesar 0,017061, sementara nilai simpangan rerata terbesar dari ketujuh rekaman gempa pada lokasi dan arah yang sama (Story 5, arah X) tercatat sebesar 0,0157795. Kedua nilai ini berada pada rentang batasan yang sama, yaitu di atas batas IO (0,01) namun di bawah batas LS (0,02), sehingga keduanya menghasilkan klasifikasi level kinerja yang identik yaitu *Life Safety* (LS).

Kesesuaian ini menunjukkan bahwa Gempa Morgan Hill, meskipun menghasilkan simpangan tertinggi di antara ketujuh rekaman, tidak bersifat sebagai outlier ekstrem yang menyimpang jauh dari kecenderungan umum ketujuh rekaman gempa lainnya, melainkan turut berkontribusi secara proporsional terhadap nilai rerata pada lantai dan arah yang sama. Dengan demikian, penggunaan nilai rerata respons struktur sebagai dasar evaluasi ketika jumlah rekaman gempa yang digunakan tidak kurang dari tujuh, maka nilai rerata pada Tabel 5.43 dapat dijadikan acuan utama dalam penentuan level kinerja akhir struktur, sedangkan nilai maksimum individual berfungsi sebagai tinjauan sensitivitas yang menunjukkan bahwa tidak terdapat rekaman gempa tertentu yang menghasilkan respons ekstrem di luar kewajaran. Konsistensi antara kedua pendekatan ini memperkuat kesimpulan bahwa level kinerja *Life Safety* (LS) merupakan hasil evaluasi yang sesuai, bukan sekadar akibat sensitivitas terhadap satu rekaman gempa tertentu.

Dengan demikian, level kinerja seismik Gedung BKD Provinsi Jawa Timur secara keseluruhan ditetapkan berdasarkan kondisi terburuk dari seluruh lantai dan arah yang ditinjau, yaitu *Life Safety* (LS). Level kinerja ini menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban gempa rencana dengan kerusakan struktural yang terbatas, serta masih dapat menjamin keselamatan jiwa penghuni selama dan setelah terjadinya gempa meskipun struktur mungkin mengalami kerusakan yang memerlukan perbaikan sebelum dapat digunakan kembali secara normal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja seismik Gedung BKD Provinsi Jawa Timur menggunakan metode *Linear Time History Analysis* (LTHA) dengan tujuh rekaman gempa yang telah dicocokkan spektrum sesuai SNI 1726:2019, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Validasi Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar statik hasil perhitungan manual adalah $V_{statik,x} = 6681,37$ kN (arah X) dan $V_{statik,y} = 7635,86$ kN (arah Y), sedangkan gaya geser dasar hasil analisis respons spektrum awal adalah $V_{RSA_x} = 4790,95$ kN dan $V_{RSA_y} = 5666,13$ kN. Karena V_{RSA} lebih kecil dari V_{statik} pada kedua arah, penskalaan dilakukan sehingga V_{RSA} akhir menjadi sama dengan V_{statik} , yaitu 6681,38 kN (arah X) dan 7635,86 kN (arah Y). Selanjutnya, gaya geser dasar hasil analisis riwayat waktu (V_{th}) dari ketujuh rekaman gempa telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2 setelah dilakukan penskalaan. Faktor skala arah X berkisar antara 1,36 (Chi-Chi, Taiwan) hingga 1,73 (Michoacan, Mexico), sedangkan faktor skala arah Y berkisar antara 1,42 (Duzce, Turkey) hingga 1,98 (Hokkaido, Jepang). Seluruh nilai faktor skala lebih besar dari 1,0 ($\eta \geq 1,0$), sehingga persyaratan minimum gaya geser dasar terpenuhi untuk semua rekaman gempa yang ditinjau.

2. Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Hasil evaluasi terhadap ketujuh rekaman gempa, nilai simpangan antar lantai aktual pada seluruh lantai untuk kedua arah tidak melampaui batas izin SNI 1726:2019 sebesar 0,02. Nilai simpangan aktual terbesar dari seluruh rekaman gempa pada arah X adalah 0,017061 yang terjadi pada lantai 5 akibat rekaman gempa Morgan Hill, sedangkan pada arah Y nilai terbesar adalah 0,013717 yang terjadi pada lantai 5 akibat rekaman gempa Hokkaido. Nilai simpangan aktual terkecil pada arah X adalah 0,005638 yang terjadi pada lantai 1 akibat rekaman

gempa Chi-Chi, sedangkan pada arah Y nilai terkecil adalah 0,004593 yang terjadi pada lantai 1 akibat rekaman gempa Chi-Chi.

Berdasarkan nilai rata-rata dari ketujuh rekaman gempa, simpangan antar lantai rata-rata terbesar terjadi pada lantai 5 arah X dengan drift aktual 0,0157795, sedangkan nilai terkecil terjadi pada lantai 1 arah Y dengan drift aktual 0,0049901. Simpangan arah X secara konsisten lebih besar dibandingkan arah Y pada setiap lantai, yang mengindikasikan bahwa struktur lebih fleksibel dalam arah X. Hal ini konsisten dengan perbedaan sistem penahan gaya lateral yang digunakan, sistem ganda (*dual system*) pada arah Y dengan kontribusi dinding geser memberikan kekakuan lateral yang lebih tinggi dibandingkan SRPMK pada arah X. Dengan seluruh nilai simpangan antar lantai rata-rata berada di bawah batas 0,02, seluruh lantai dinyatakan memenuhi persyaratan simpangan sesuai SNI 1726:2019.

3. Efek P-Delta

Hasil evaluasi terhadap ketujuh rekaman gempa, nilai koefisien stabilitas (θ) pada seluruh lantai untuk kedua arah berada di bawah batas SNI sebesar 0,10. Nilai θ terbesar dari seluruh rekaman gempa pada arah X adalah 0,02737 yang terjadi pada lantai 2 akibat rekaman gempa Chi-Chi, sedangkan pada arah Y nilai terbesar adalah 0,02369 yang terjadi pada lantai 3 akibat rekaman gempa Hokkaido. Nilai θ terkecil pada arah X adalah 0,02101 yang terjadi pada lantai 1 akibat rekaman gempa Morgan Hill, sedangkan pada arah Y nilai terkecil adalah 0,01328 yang terjadi pada lantai 1 akibat rekaman gempa Chi-Chi.

Ditinjau dari nilai rata-rata dari ketujuh rekaman gempa, koefisien stabilitas rata-rata terbesar terjadi pada lantai 2 arah X dengan nilai $\theta = 0,02691$, sedangkan nilai terkecil terjadi pada lantai 1 arah Y dengan nilai $\theta = 0,01477$. Seluruh nilai θ rata-rata pada semua lantai untuk kedua arah berada di bawah batas SNI $\theta = 0,10$ maupun batas $\theta_{maks} = 0,0909$, sehingga pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur dapat diabaikan untuk seluruh kondisi pembebanan yang ditinjau. Nilai θ yang relatif kecil pada seluruh lantai menunjukkan bahwa beban gravitasi tidak memberikan amplifikasi perpindahan lateral yang signifikan.

4. Level Kinerja Seismik

Evaluasi menggunakan kriteria FEMA 356 terhadap ketujuh rekaman gempa memperlihatkan bahwa level kinerja struktur bervariasi antar rekaman. Pada rekaman gempa Chi-Chi yang menghasilkan simpangan paling kecil, lantai 1 hingga lantai 4 pada kedua arah masih masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), sedangkan lantai 5 masuk dalam kategori *Life Safety* (LS). Sebaliknya, pada rekaman gempa Hokkaido, Loma Prieta, Morgan Hill, Duzce, dan Tokachi-oki, lantai 3 hingga lantai 5 pada kedua arah masuk dalam kategori *Life Safety* (LS). Pada rekaman gempa Michoacan, lantai 2 arah X sudah berada pada kategori *Life Safety* (LS) dengan drift aktual 0,010582, sedangkan lantai 2 arah Y masih berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO) dengan drift aktual 0,007007.

Ditinjau dari nilai rata-rata ketujuh rekaman gempa, lantai 1 dan lantai 2 pada kedua arah dikategorikan *Immediate Occupancy* (IO) dengan drift rata-rata di bawah batas 0,01, yang menunjukkan bahwa pada lantai-lantai bawah struktur mampu mempertahankan fungsi operasionalnya dengan kerusakan yang sangat minimal. Lantai 3 hingga lantai 5 pada kedua arah dikategorikan *Life Safety* (LS) dengan drift rata-rata melampaui batas IO (0,01) namun masih di bawah batas *Collapse Prevention* (0,04). Nilai drift rata-rata terbesar sebesar 0,0157795 pada lantai 5 arah X masih memberikan cadangan yang memadai terhadap batas CP sebesar 0,04. Secara keseluruhan, level kinerja seismik Gedung BKD Provinsi Jawa Timur ditetapkan sebagai *Life Safety* (LS), yang menunjukkan bahwa struktur mampu menjamin keselamatan jiwa penghuni selama dan setelah gempa rencana, meskipun mungkin terdapat kerusakan struktural yang memerlukan perbaikan sebelum gedung dapat dioperasikan kembali secara normal.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat menjadi pertimbangan sebagai berikut.

1. Analisis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode linier (*Linear Time History Analysis*). Untuk mendapatkan gambaran kinerja yang lebih

realistik, disarankan dilakukan analisis nonlinier (*Nonlinear Time History Analysis*).

2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan evaluasi lentur dan DCR pada elemen balok, kolom dan dinding geser guna mendapatkan gambaran kinerja struktur yang lebih komprehensif.
3. Penelitian ini menggunakan tujuh rekaman gempa dari tiga sumber mekanisme (*Benioff*, *Shallow Crustal*, dan *Megathrust*) yang telah dicocokkan spektrum menggunakan SeismoMatch. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan variasi sumber gempa yang lebih beragam atau menggunakan rekaman gempa lokal Indonesia untuk hasil yang lebih representatif terhadap karakteristik seismik wilayah Surabaya.
4. Studi ini tidak memperhitungkan interaksi tanah-struktur (*soil-structure interaction*) meskipun gedung berdiri di atas tanah lunak (Kelas Situs SE). Penelitian lanjutan disarankan untuk mempertimbangkan efek tersebut mengingat pengaruhnya yang signifikan pada respons struktur di atas tanah lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Computers and Structures, Inc. (2018). *CSi Analysis Reference Manual for ETABS, SAP2000, SAFE, and CSiBridge*. Walnut Creek, California: Computers and Structures, Inc.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Hancock, J., Watson-Lamprey, J., & Abrahamson, N. A. (2006). "An Improved Method of Matching Response Spectra of Recorded Earthquake Ground Motions Using Wavelets". *Journal of Earthquake Engineering*, 10(S1), 67–89.
- Moehle, J. (2014). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. New York: McGraw-Hill Education.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (n.d.). *PEER NGA-West2 Database*.
- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Seismosoft. (2023). *SeismoMatch 2023 – A Computer Program for Spectrum Matching of Earthquake Records*. Pavia, Italy: Seismosoft Ltd.
- Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. Yogyakarta: ANDI Offset.
- Wiryadi, I. G. G., Giatmajaya, I. W., Wirawan, I. P. A. P., & Trangipani, N. M. (2021). Analisis riwayat waktu perilaku struktur gedung SMA Negeri 9 Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 43–52. <https://doi.org/10.36733/jikt.v10i2.3000>
- Rifai, M., Alami, F., Isneini, M., & Helmi, M. (2022). Evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan analisis time history (studi kasus: Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(1), 99–114. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v10i1.2370>
- Santoso, A. N., & Astawa, M. D. (2022). Performance evaluation of 34 floors building structure in Surabaya based on SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 185–201. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.3807>
- Kurniawandy, A., Aminsya, M., Cahyadi, B. U., & Djauhari, Z. (2023). Comparative study of the simulation ground motion by amplitude scale and spectral matching. *E3S Web of Conferences*, 464, 02007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346402007>
- Nurhidayatullah, E. F., & Ardiyanto, D. (2025). Seismic performance study of multi-storey building structures with nonlinear time history analysis method. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 9(1), 62–79. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i1.12622>

LAMPIRAN

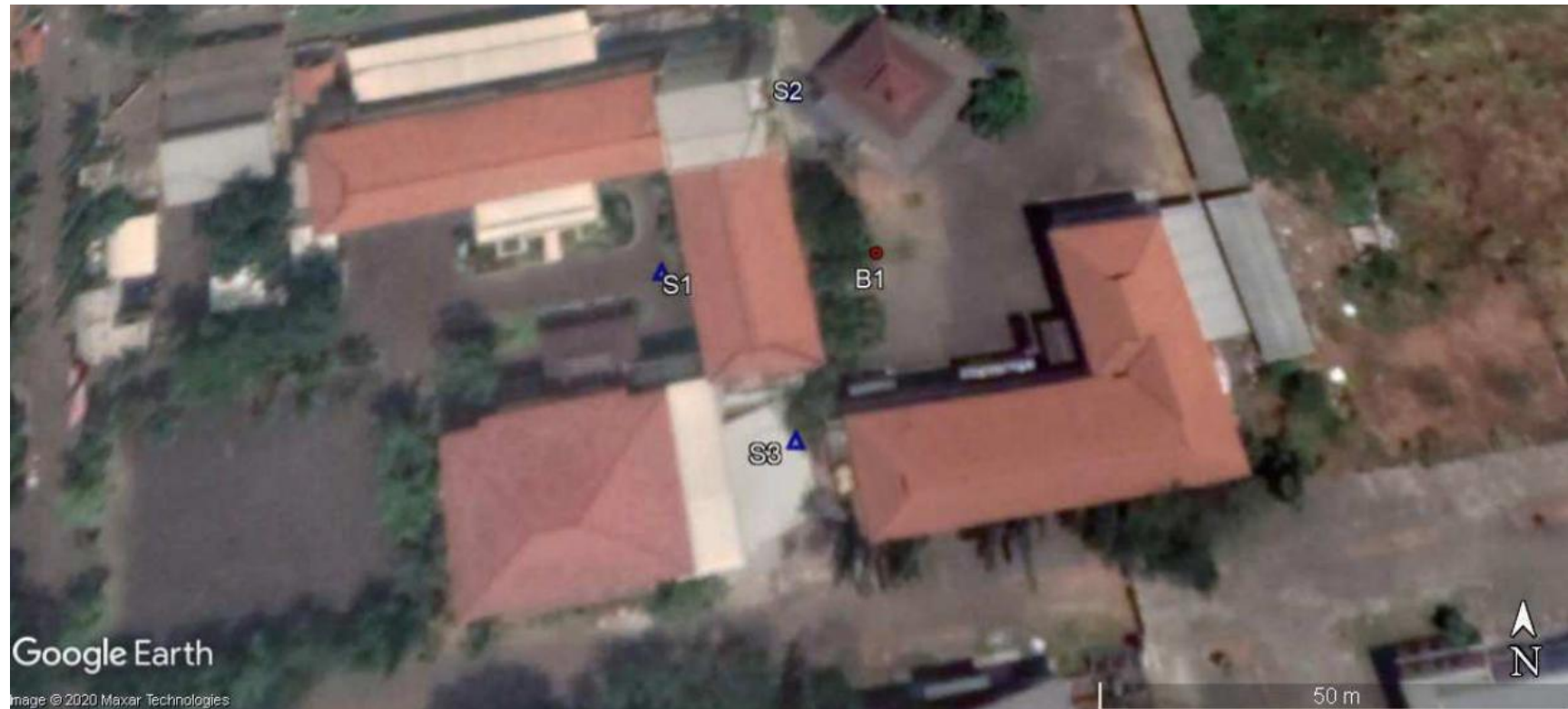
Lampiran 1 Spesifikasi Material

Material	Parameter / Jenis	Simbol / Mutu	Nilai
Beton Bertulang	Kuat desak beton (f'_c)	—	25 MPa
	Modulus elastisitas beton (E_c)	—	23500 MPa
Baja Tulangan	Tulangan sirip (<i>deformed</i>)	S / BjTS 420B	420 MPa
	Tulangan polos (<i>plain</i>)	P / BjTP 280	280 MPa
Modulus Baja	Modulus elastisitas baja (E_s)	—	200000 MPa

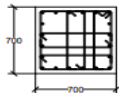
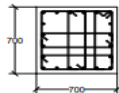
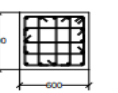
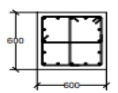
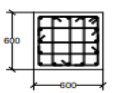
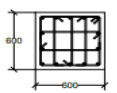
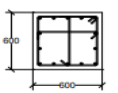
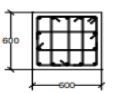
Lampiran 2 Data Tanah Hasil Uji Bore Log

BORE LOG																					
DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties						
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density (γ_d) (g/cm^3)	Specific Gravity GS	Porosity n	Void Ratio e	Unconfined Test q_u kg/cm 2	Direct Shear Test		Atterberg Test			
																c kg/cm 2	ϕ ($^{\circ}$)	LL %	PL %	IP %	
0																					
1			Lanau Kelempungan																		
2		5	Pasir Kelanauan	Coklat	1 + 2 2.00 - 3.25 = 5	14.76	67.27	17.97	0.00	20.37	1.771	2.682	0.353	0.546		0.28	18		NON PLASTIS		
3		5				2 + 3 4.00 - 3.45 = 6	22.00	67.82	10.18	0.00	24.05	1.691	2.694	0.393	0.648		0.27	20		NON PLASTIS	
4		13				3 + 5 6.00 - 8.65 = 13	12.02	85.88	2.10	0.00	25.60	1.464	2.716	0.410	0.695		0.26	23		NON PLASTIS	
5		22				6 + 10 8.00 - 12.85 = 22	22.99	74.29	2.73	0.00	26.63	1.542	2.703	0.419	0.720		0.30	16		NON PLASTIS	
6		24				5 + 8 10.00 - 16.10 = 24	7.95	57.07	34.98	0.00	24.93	1.491	2.662	0.399	0.664		0.31	15		NON PLASTIS	
7		12	Pasir Kelanauan sedikit kulit kerang	Abu-abu																	
8		19				3 + 5 12.00 - 7.12 = 12	1.65	74.05	24.30	0.00	42.26	1.225	2.674	0.531	1.130		0.29	13		NON PLASTIS	
9		22	Lanau Kelempungan	Coklat	7 + 8 14.00 - 11.14 = 19	0.20	9.31	54.05	36.44	45.37	1.201	2.637	0.545	1.197	0.36	0.35	11	81.43	0.00	81.43	
10		22				5 + 10 16.00 - 12.16 = 22	0.16	9.12	49.46	41.25	43.37	1.232	2.641	0.534	1.146	0.38	0.34	12	71.48	32.34	39.14
11		16				6 + 8 18.00 - 10.18 = 16	0.00	1.55	55.41	43.05	50.17	1.141	2.612	0.567	1.311	0.38	0.40	6	71.48	32.34	39.14
12		24			5 + 20 20.00 - 12.20 = 20	0.15	1.98	58.30	39.57	45.78	1.199	2.623	0.546	1.201	0.36	0.39	7	78.29	33.25	45.04	
13		25			Hitam	5 + 12 22.00 - 14.22 = 26	0.00	11.35	54.39	34.27	46.72	1.173	2.652	0.553	1.239	0.35	0.32	14	72.56	34.13	38.43
14		18	Coklat		4 + 8 24.00 - 10.24 = 18	0.89	8.38	51.03	39.71	48.16	1.140	2.645	0.560	1.274	0.33	0.33	13	75.34	34.33	41.01	
15		22				6 + 10 26.00 - 12.26 = 22	0.00	5.48	52.25	42.27	50.00	1.112	2.634	0.568	1.317	0.32	0.36	10	77.34	35.23	42.10
16		24				4 + 8 28.00 - 16.28 = 24	0.89	8.38	51.03	39.71	48.16	1.140	2.626	0.558	1.265	0.39	0.38	8	75.54	31.22	44.32
17		28			7 + 13 30.00 - 15.30 = 28	0.89	8.38	51.03	39.71	48.16	1.140	2.631	0.559	1.267	0.37	0.37	9	75.61	32.16	43.45	

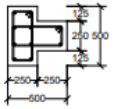
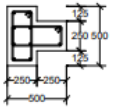
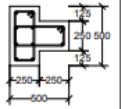
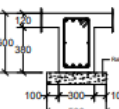
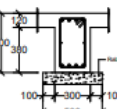
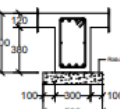
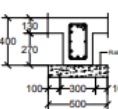
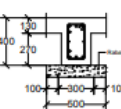
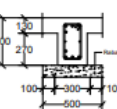
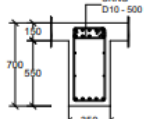
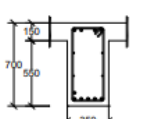
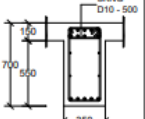
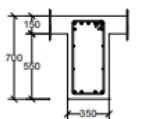
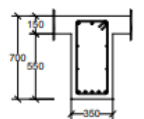
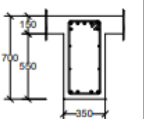
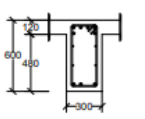
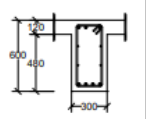
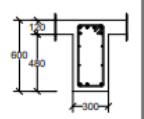
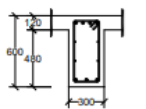
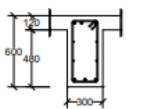
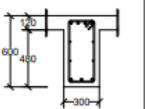
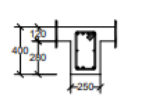
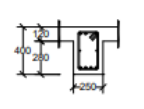
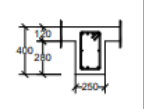
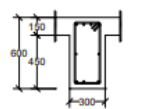
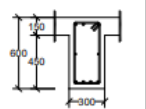
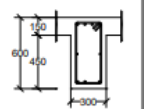
Lampiran 3 Titik Lokasi Pengujian Tanah



Lampiran 4 Detailed Engineering Drawing

Lantai 1 & 2		K1 - 700 X 700			Lantai 3 & 4		K1a - 600 X 600			Lantai 5		K1b - 600 X 600		
POSISI		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	POSISI		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	POSISI		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Ukuran Penulangan		1/4 In	1/2 In	1/4 In	Ukuran Penulangan		1/4 In	1/2 In	1/4 In	Ukuran Penulangan		1/4 In	1/2 In	1/4 In
Jumlah Tulangan		20 D22	20 D22	20 D22	Jumlah Tulangan		16 D22	16 D22	16 D22	Jumlah Tulangan		14 D22	14 D22	14 D22
Sengkang		2.5 D10 - 100	1.5 D10 - 150	2.5 D10 - 100	Sengkang		2.5 D10 - 100	1.5 D10 - 150	2.5 D10 - 100	Sengkang		2.5 D10 - 100	1.5 D10 - 150	2.5 D10 - 100
Selimut Beton		40 mm			Selimut Beton		40 mm			Selimut Beton		40 mm		
Mutu Beton		25 MPa			Mutu Beton		25 MPa			Mutu Beton		25 MPa		
TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN	TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN	TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN
														
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700		700		700	600		600		600	600		600		600
700														

GAMBAR KERJA	
INSTANSI	
	
BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR	
PEKERJAAN	
PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR	
LOKASI	
JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA	
MENGETAHUI	
KUAZA PENGUJIAN ANDARAN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR	
B. AGUS HERU WIDODO, M.M. Pembina Tk. I NIP. 19630522 198609 1 001	
MENGETAHUI	
PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR	
DIAN KUSUMANINGSUM, S.T., M.T. Pembina Tk. I NIP. 19740520 200501 2 007	
CATATAN	
KONSULTAN PERENCANAAN	
	
PDC ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS Jl. Pemuda No. 10, Surabaya Telp. (031) 4244444, 4244445, 4244446 Fax. (031) 4244447 pdc@pdc.co.id www.pdc.co.id	
ASTRIWULANDARI DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT	
TEAM LEADER	
Ir. Bambang Sudharto, M. Amd	
PAU/STRUKTUR	
Ika Sutrisno, S.T.	
PAU/ELEKTRIKAL	
Wahyu Isomah, S.T.	
PAU/MEKANIKAL	
Zulfahrah, S.T.	
JUDUL GAMBAR	
DETAIL KOLAM	
SKALA	
1:100	
DITERBITKAN:	
NO	KODE
55	STR - 2020
JML LMBR	
60	

Lantai 1 - 5	POSISI	K5 - SESUAI DETAIL			POSISI	S1 - 300 x 500			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	POSISI	S2 - 250 x 400			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	GAMBAR KERJA INSTANSI  BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR PEKERJAAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR LOKASI JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA MENGETAHUI KUASA PENGUNA ANGGARAN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M. Pemimpin Tk. I NIP. 19530822 198009 1 001 MENGETAHUI PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T. Pemata Tk. I NIP. 19740520 200501 2 007 CATATAN KONSULTAN PERENCANA  ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS Jl. Pemuda Satek Angas No. 10, Bandung Telp. (022) 4300000 pdc@pdc-engineers.com www.pdc-engineers.com ASTRI WULANGSARI DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT TEAM LEADER : Ir. Reza Nur Setiawan, M. Aech ANALIS DESAIN INTERIOR : Gus Supriyanto, S.T. ANALIS LANSKAP : Reza Setiawan, S.T. ANALIS STRUKTUR : Gus Supriyanto, S.T. ANALIS ELEKTROL : Wawan Setiawan, S.T. ANALIS MEKANIKAL : Zulvanah, S.T. JUDUL GAMBAR : SKALA DETAIL BALOK : 1:100 DITERBITKAN : NO : KODE : JML LMBR 56 STR - 2020 80											
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan													
		Ukuran Penulangan	1/4 In	1/2 In		1/4 In	Ukuran balok	1/4 In			1/2 In	1/4 In	Ukuran balok			1/4 In	1/2 In	1/4 In	Ukuran balok	1/4 In	1/2 In	1/4 In				
		Jumlah Tulangan	12 D16	12 D16		12 D16	Tulangan atas	4 D19			4 D19	4 D19	Tulangan atas			4 D19	4 D19	4 D19	Tulangan atas	4 D19	4 D19	4 D19				
		Senggang	D10 - 100	D10 - 150		D10 - 100	Tulangan bawah	4 D19			4 D19	4 D19	Tulangan bawah			4 D19	4 D19	4 D19	Tulangan bawah	4 D19	4 D19	4 D19				
Selmut Beton	40 mm			Senggang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100											
Mutu Beton	25 MPa			Tulangan pinggang	2 D10	2 D10	2 D10	Tulangan pinggang	2 D10	2 D10	2 D10	Tulangan pinggang	2 D10	2 D10	2 D10											
				Selmut beton balok	50 mm			Selmut beton balok	50 mm			Selmut beton balok	50 mm													
TUMPUAN			LAPANGAN			TUMPUAN			Tumpuan			Lapangan			Tumpuan											
																										
POSISI	B1 - 350 x 700			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	POSISI	B1a - 350 x 700			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	POSISI	B2 - 300 x 600			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280												
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan													
	Ukuran balok	1/4 In	1/2 In			1/4 In	Ukuran balok	1/4 In			1/2 In	1/4 In	Ukuran balok		1/4 In	1/2 In	1/4 In									
	Tulangan atas	9 D19	4 D19			9 D19	Tulangan atas	7 D19			3 D19	7 D19	Tulangan atas		6 D19	3 D19	6 D19									
	Tulangan bawah	5 D19	6 D19			5 D19	Tulangan bawah	4 D19			5 D19	4 D19	Tulangan bawah		3 D19	4 D19	3 D19									
Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang											
Tulangan pinggang		4 D10	4 D10	4 D10	Tulangan pinggang		4 D10	4 D10	4 D10	Tulangan pinggang		4 D10	4 D10	4 D10	Tulangan pinggang											
Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok											
Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan												
																										
POSISI	B2a - 300 x 600			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	POSISI	B3 - 250 x 400			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280	POSISI	B4 - 300 x 600			KETERANGAN : - Mutu Beton f _c 25 MPa - Mutu baja ulir (Sipr) : BJTS 420B - Mutu baja polos (Plain) : BJTP 280												
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan													
	Ukuran balok	1/4 In	1/2 In			1/4 In	Ukuran balok	1/4 In			1/2 In	1/4 In	Ukuran balok		1/4 In	1/2 In	1/4 In									
	Tulangan atas	4 D19	3 D19			4 D19	Tulangan atas	4 D16			3 D16	4 D16	Tulangan atas		4 D16	3 D16	4 D16									
	Tulangan bawah	3 D19	3 D19			3 D19	Tulangan bawah	3 D16			4 D16	3 D16	Tulangan bawah		3 D16	4 D16	3 D16									
Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang		D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100	Senggang											
Tulangan pinggang		4 D10	4 D10	4 D10	Tulangan pinggang		2 D10	2 D10	2 D10	Tulangan pinggang		2 D10	2 D10	2 D10	Tulangan pinggang											
Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok		40 mm			Selmut beton balok											
Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan												
																										

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

**KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Pembina Tk. I
NIP. 19630822 198009 1 001

MENGETAHUI

**PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

DIAG KUSUMAHINGRUM, S.T., M.T.
Pembina Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA

PDC
ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS
Jl. Pahlawan Suroboyo No. 10, Klaten,
Jawa Tengah 57131, Indonesia
Telp. (0271) 400000
Email: pdc@pdc.co.id
www.pdc.co.id

ASTRI WULANDARI

DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER : Ir. Rendiyo Budi Setiawan, M. Arch

PAHLAWAN INTERIOR : Eko Sugianto, S.T.

PAHLAWAN DESAIN : Budi Setiawan, S.T.

PAHLAWAN STRUKTUR : Eko Sugianto, S.T.

PAHLAWAN ELEKTRIK : Wiro Setiawan, S.T.

PAHLAWAN MEKANIKAL : Zulhaman, S.T.

JUDUL GAMBAR : SKALA

DETAIL BALOK : 1:100

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
56	STR - 2020	80

B5 - 250 x 500				KETERANGAN :	
POSISI	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		
Ukuran balok	1/4 ln	1/2 ln	1/4 ln		
Tulangan atas	3 D16	3 D16	3 D16		
Tulangan bawah	3 D16	3 D16	3 D16		
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100		
Tulangan pinggang	2 D10	2 D10	2 D10		
Selut beton balok	40 mm				

B6 - 250 x 300				KETERANGAN :	
POSISI	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		
Ukuran balok	1/4 ln	1/2 ln	1/4 ln		
Tulangan atas	3 D16	2 D16	3 D16		
Tulangan bawah	2 D16	3 D16	2 D16		
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100		
Tulangan pinggang	2 D10	2 D10	2 D10		
Selut beton balok	40 mm				

B7 - 350 x 700				KETERANGAN :	
POSISI	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		
Ukuran balok	1/4 ln	1/2 ln	1/4 ln		
Tulangan atas	5 D19		5 D19		
Tulangan bawah	3 D19		3 D19		
Sengkang	D10 - 100		D10 - 100		
Tulangan pinggang	4 D10		4 D10		
Selut beton balok	40 mm				

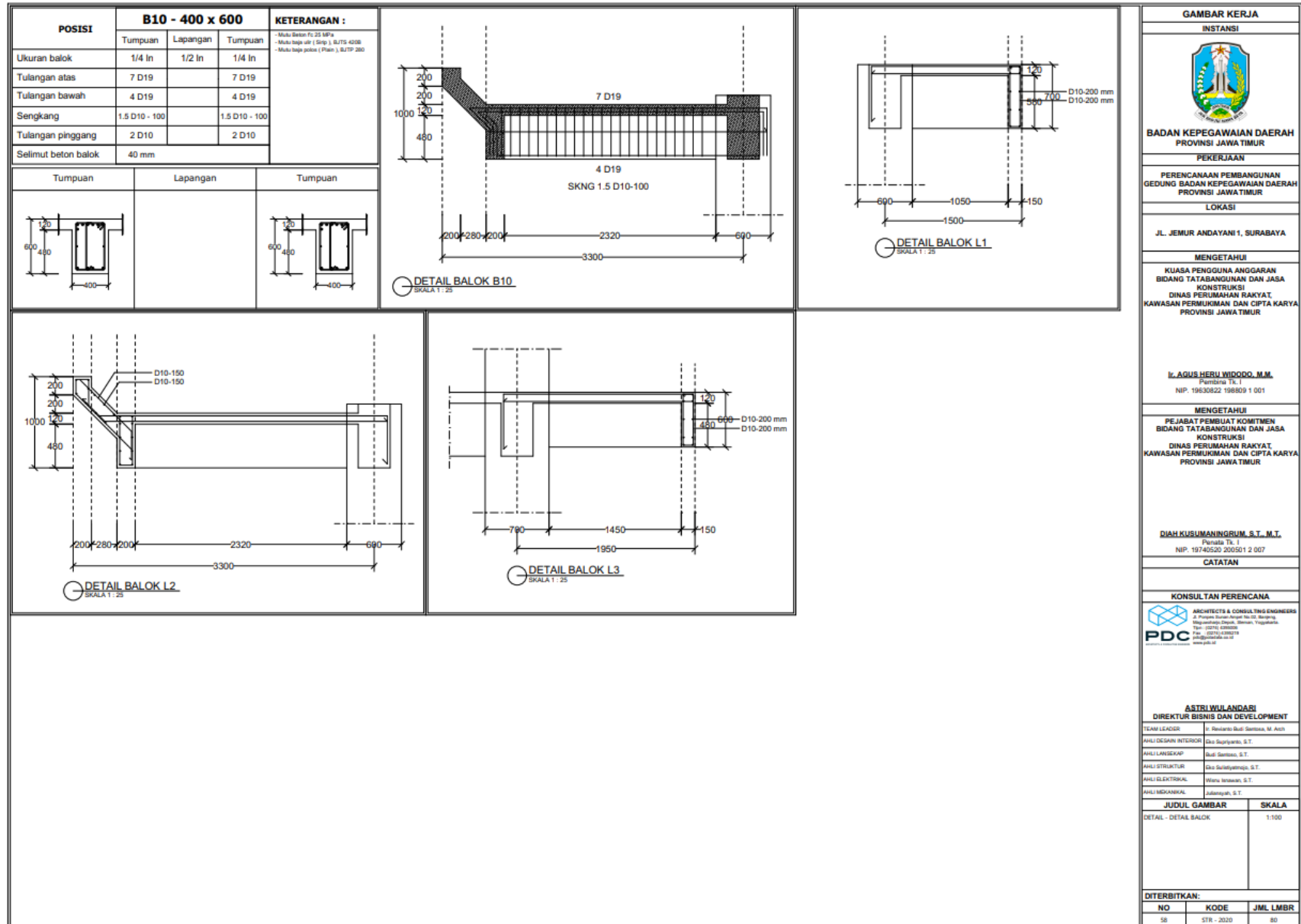
B8 - 300 x 600				KETERANGAN :	
POSISI	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		
Ukuran balok	1/4 ln	1/2 ln	1/4 ln		
Tulangan atas	4 D16		4 D16		
Tulangan bawah	3 D16		3 D16		
Sengkang	D10 - 100		D10 - 100		
Tulangan pinggang	2 D10		2 D10		
Selut beton balok	40 mm				

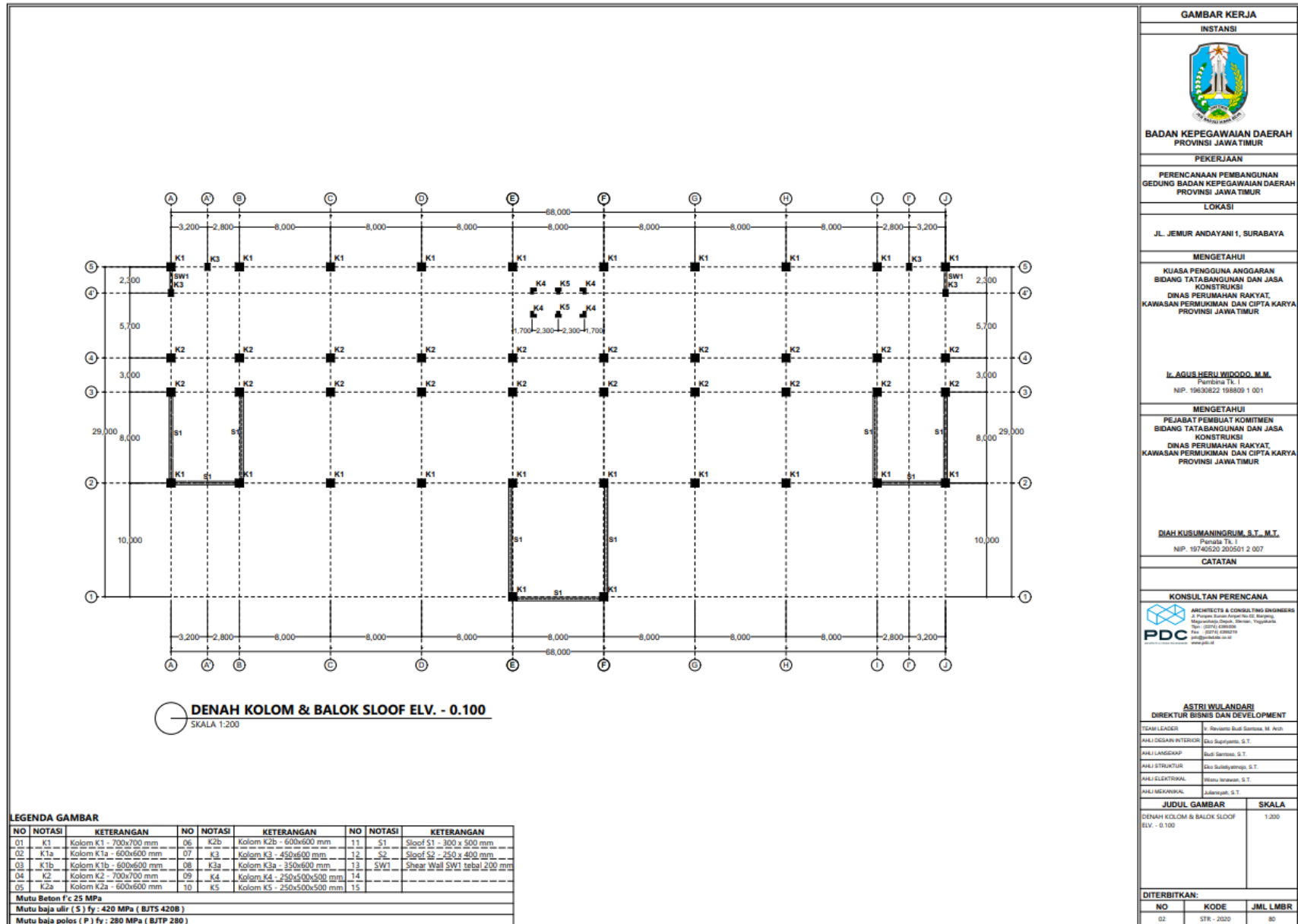
B9 - 400 x 800				KETERANGAN :	
POSISI	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		
Ukuran balok	1/4 ln	1/2 ln	1/4 ln		
Tulangan atas	5 D19	3 D19	5 D19		
Tulangan bawah	3 D19	4 D19	3 D19		
Sengkang	D10 - 100	D10 - 150	D10 - 100		
Tulangan pinggang	4 D10	4 D10	4 D10		
Selut beton balok	40 mm				

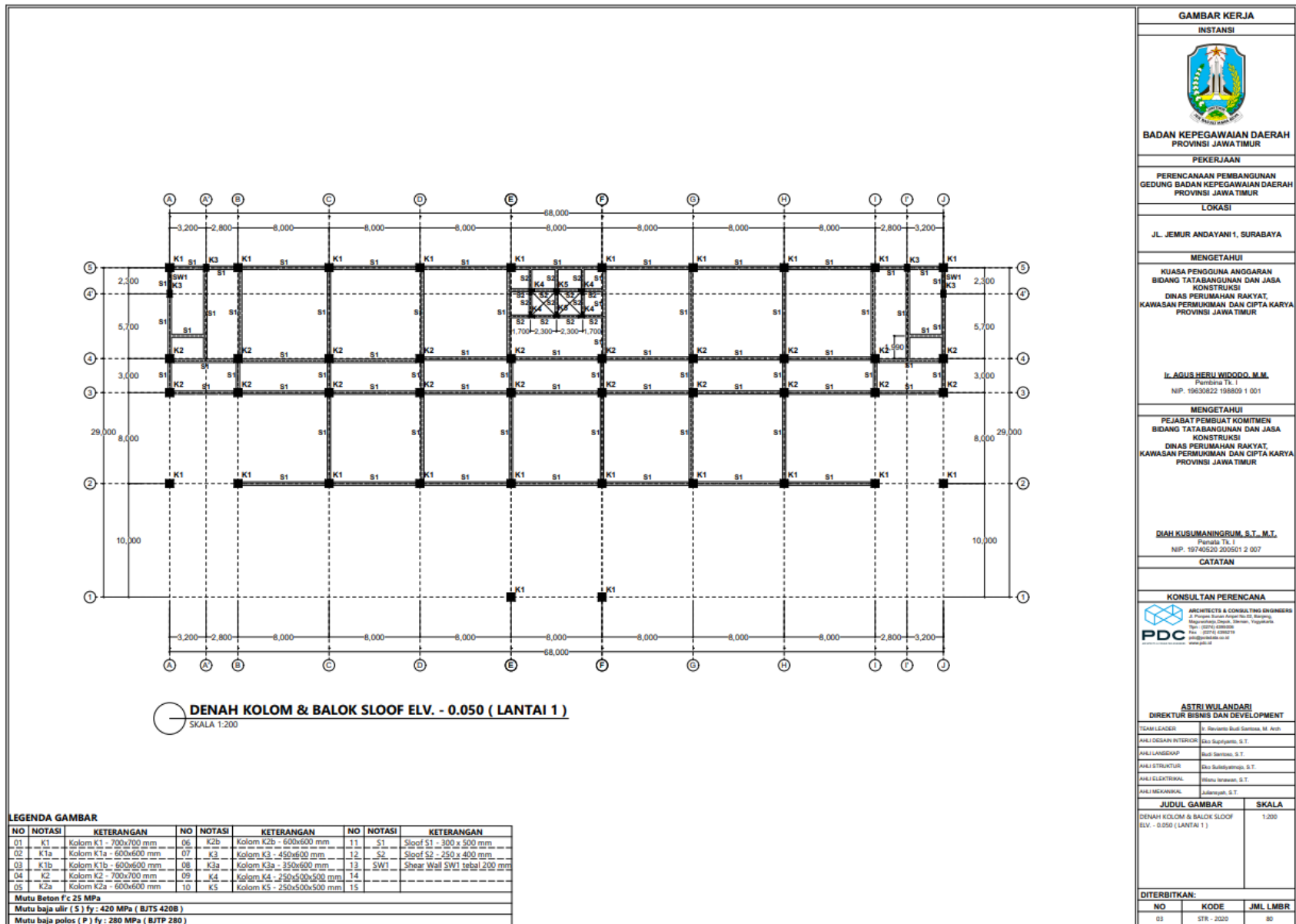
Lantai 1 & 2		POSISI		SW1 - SESUAI DETAIL	
Mutu Beton Fc 25 MPa Mutu baja ulir (Deform) : B.U.TS 420B Mutu baja polos (Plain) : B.U.TP 280		Jumlah tulangan	Tulangan Vertikal		Tulangan Horizontal
		Selut beton	D16 - 150		D16 - 150
		Mutu beton	40 mm		25 MPa
DETAIL 					

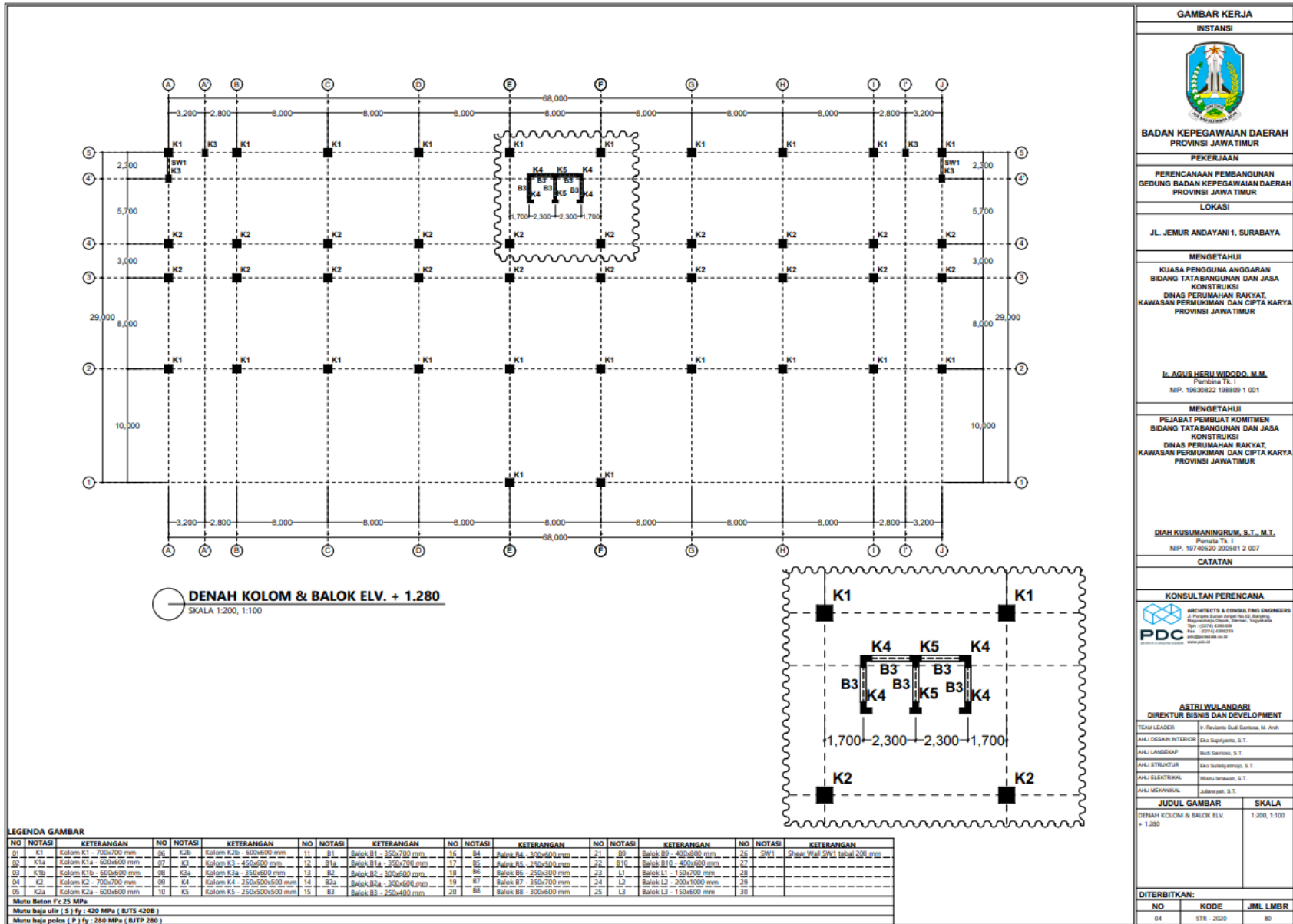
Lantai 3 - 5		POSISI		SW1 - SESUAI DETAIL	
Mutu Beton Fc 25 MPa Mutu baja ulir (Deform) : B.U.TS 420B Mutu baja polos (Plain) : B.U.TP 280		Jumlah tulangan	Tulangan Vertikal		Tulangan Horizontal
		Selut beton	D16 - 150		D16 - 150
		Mutu beton	40 mm		25 MPa
DETAIL 					

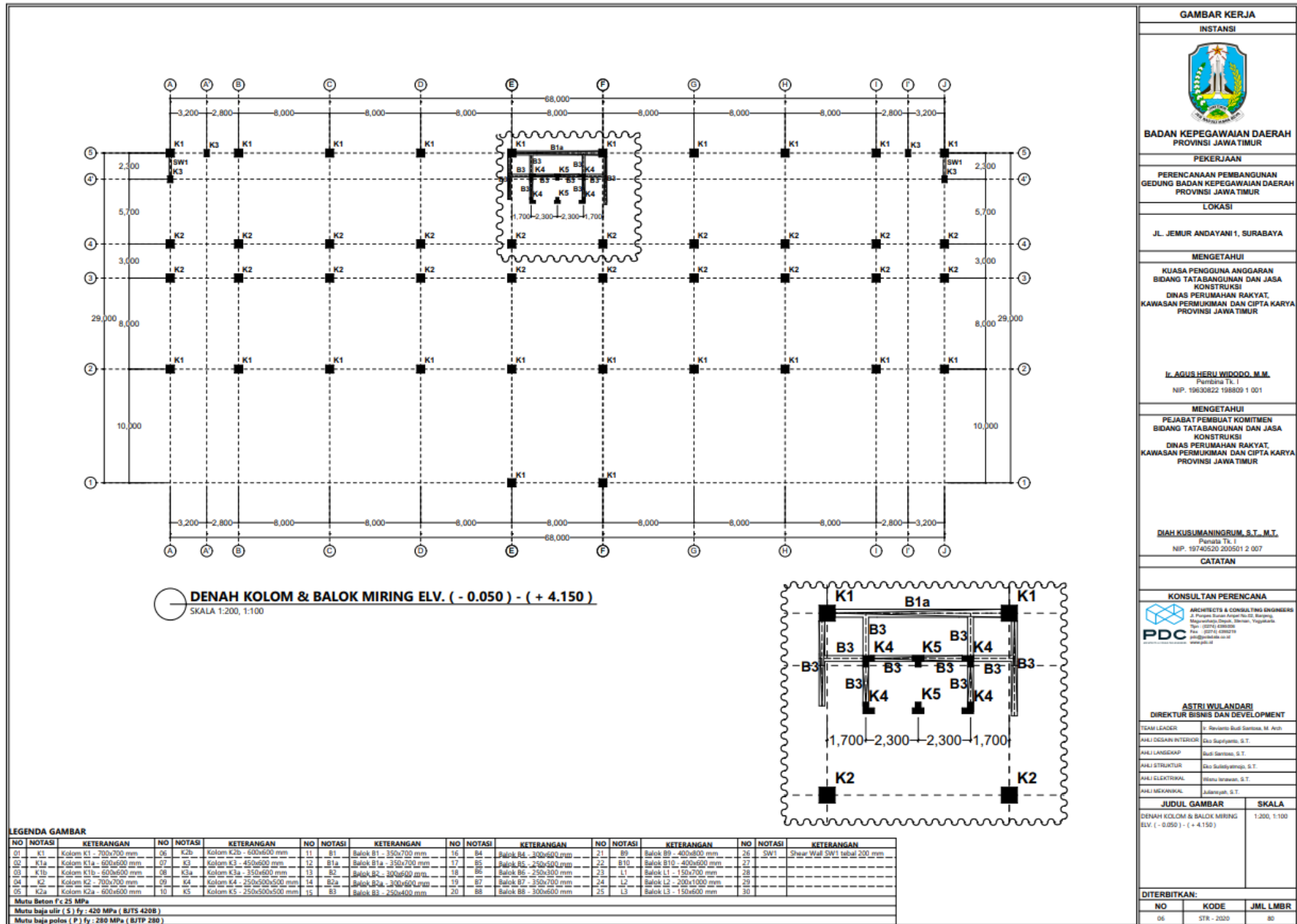
GAMBAR KERJA		
INSTANSI		
BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR		
PEKERJAAN		
PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH PROVINSI JAWA TIMUR		
LOKASI		
JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA		
MENGETAHUI		
KUASA PENGGUNA ANGGARAN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR		
I. AGUS HERU WIDODO, M.M. Penanda Tk. 1 NIP. 19630822 198809 1 001		
MENGETAHUI		
PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA KONSTRUKSI DINAS PERUMAHAN RAKYAT KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA PROVINSI JAWA TIMUR		
DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T. Penanda Tk. 1 NIP. 19740520 200101 2 007		
CATATAN		
KONSULTAN PERENCANA		
ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS J. Prayogo Surono Anggoro No. 22, Bandung Ngurahdharma, Bandung, Yogyakarta Telp. (0271) 420000 Fax. (0271) 420000 pengembangannya@ptc.com		
ASTRI WULANDARI DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT		
TEAM LEADER : Ir. Rezaanto Budi Santosa, M. Arch AHLI DESAIN INTERIOR : Eko Supriyanto, S.T. AHLI LANSKAP : Budi Santosa, S.T. AHLI STRUKTUR : Eko Supriyanto, S.T. AHLI ELEKTRIKAL : Wito Santosa, S.T. AHLI MEKANIKAL : Juhendy, S.T.		
JUDUL GAMBAR		
DETAIL - DETAIL BACK		
SKALA		
1:100		
DITERBITKAN:		
NO	KODE	JML LMBR
57	STR - 2020	80

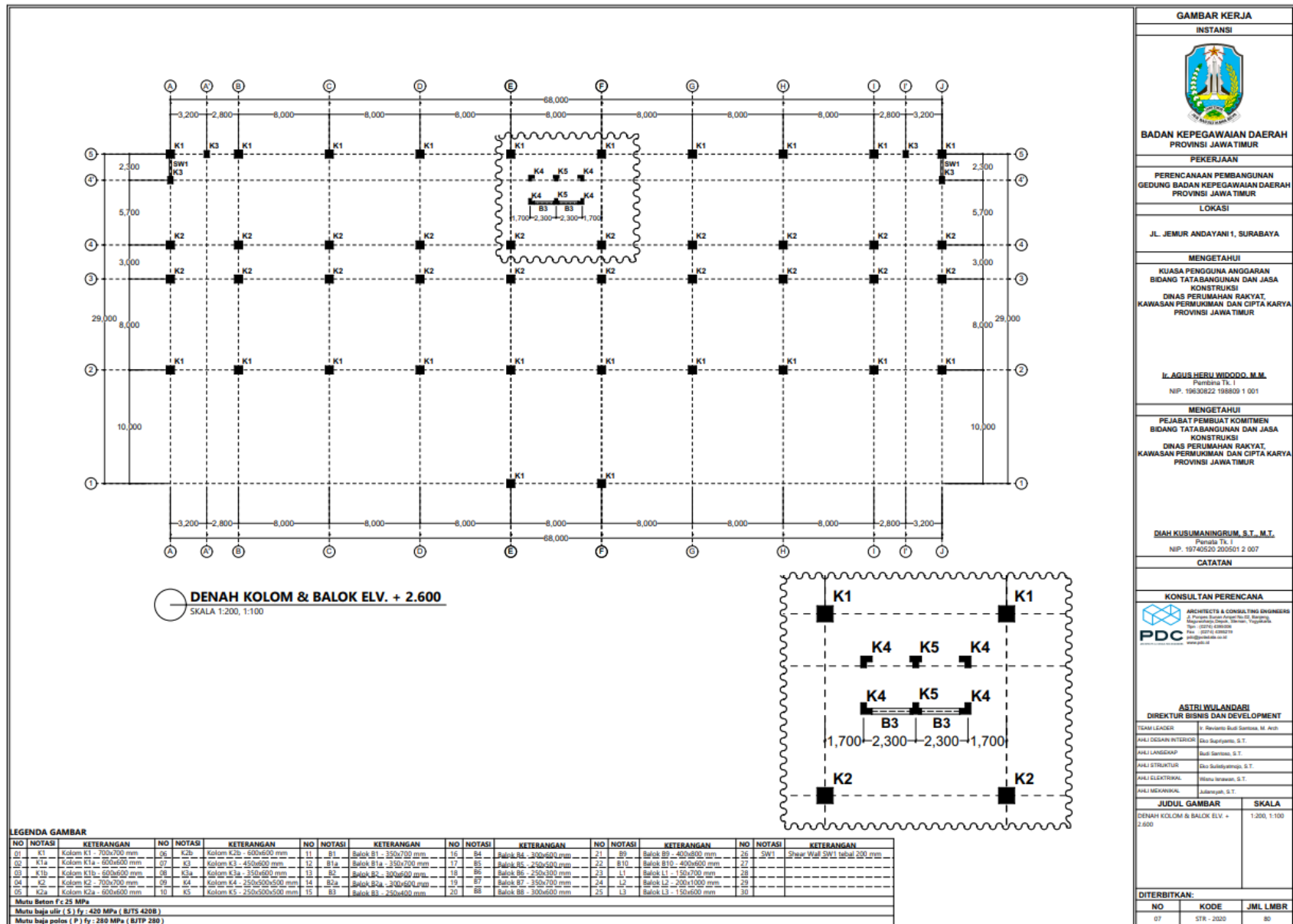


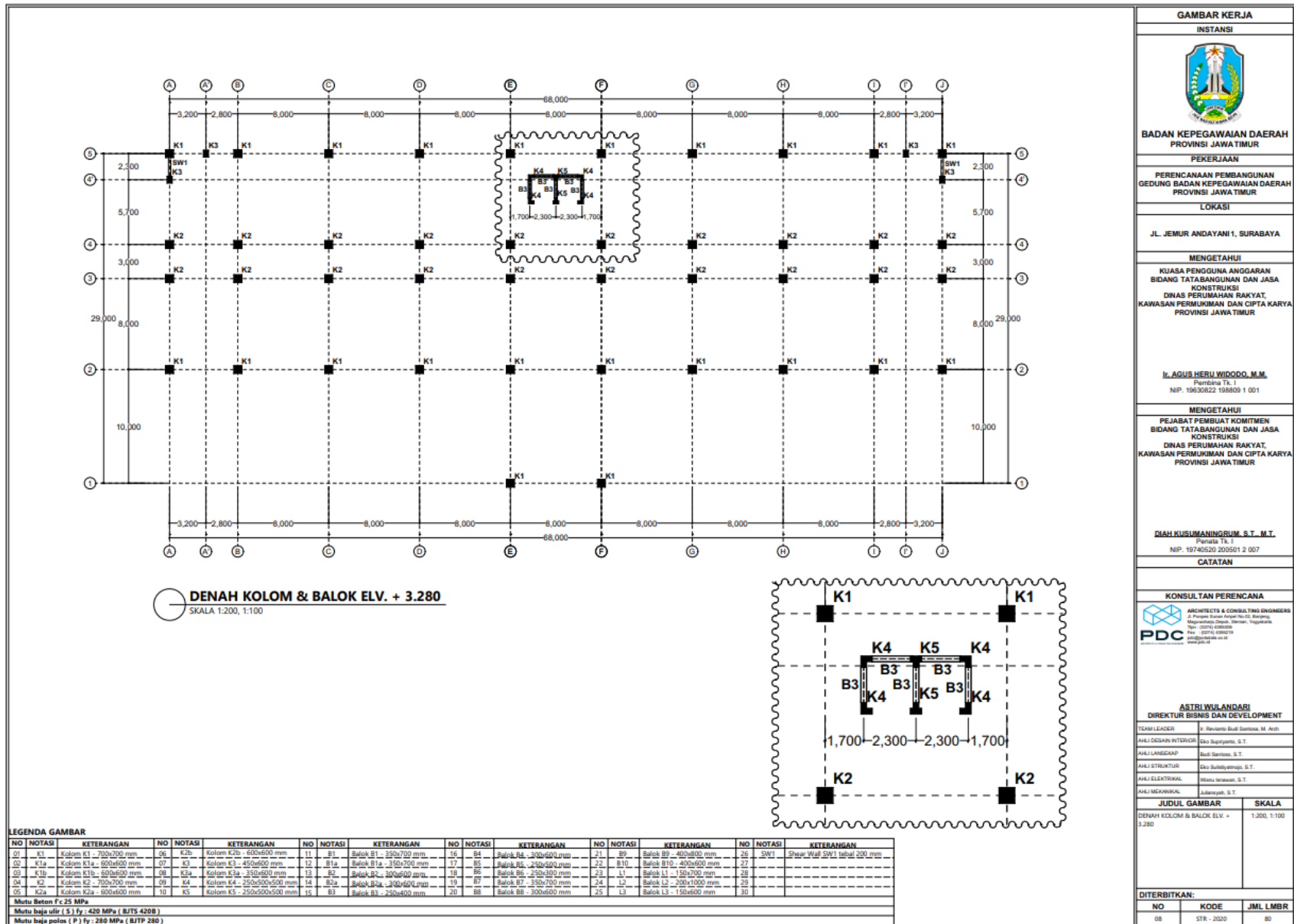


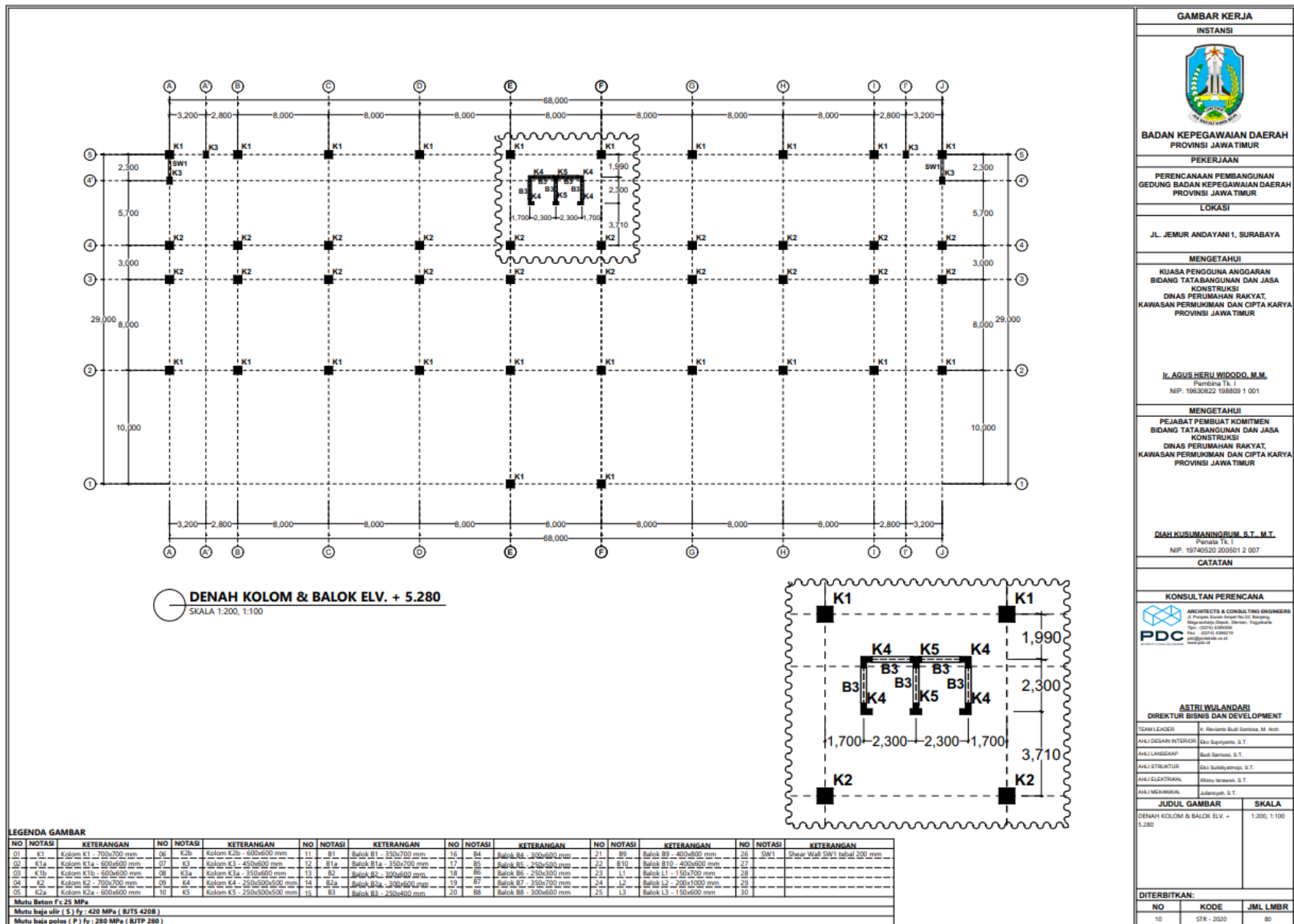


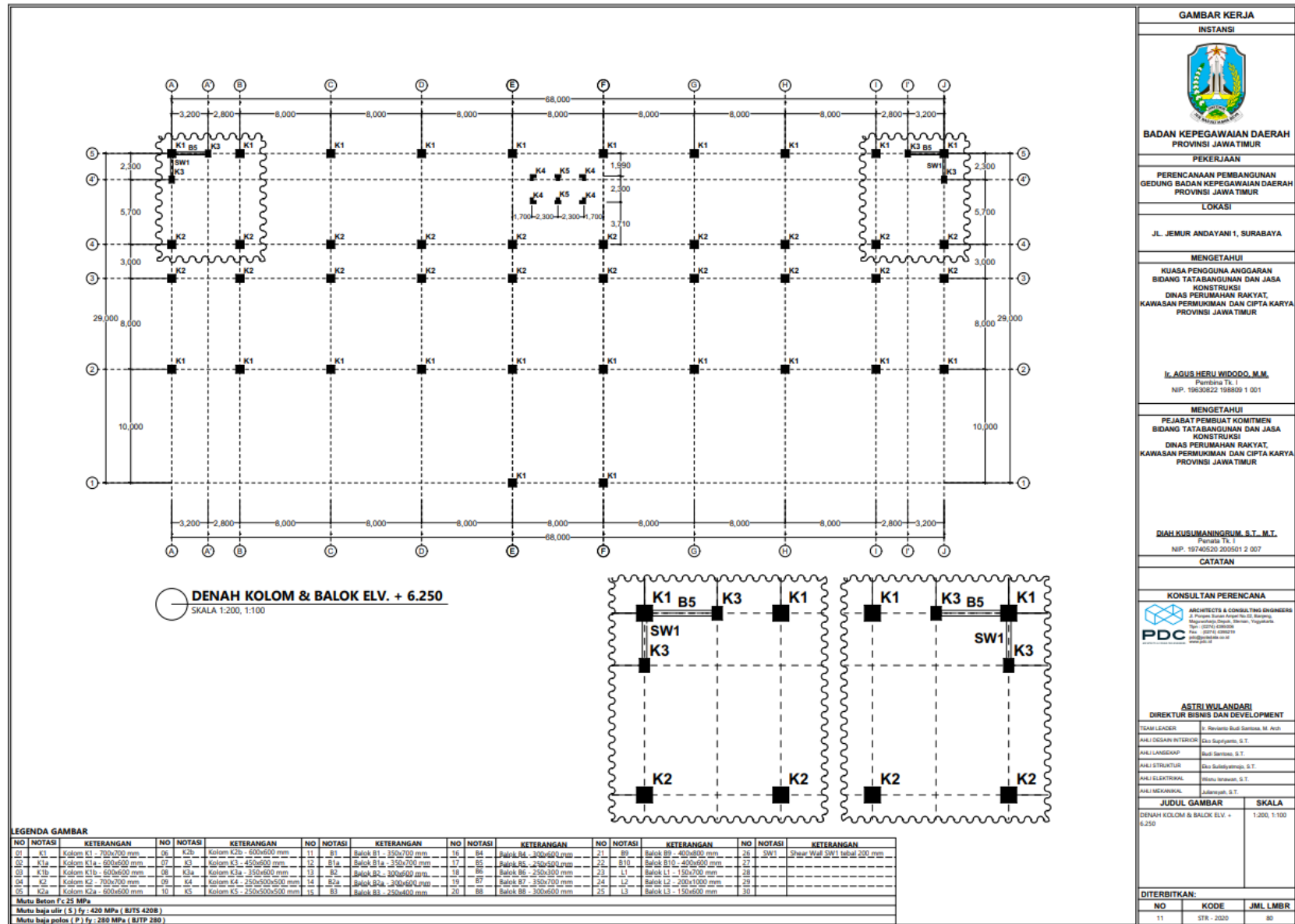


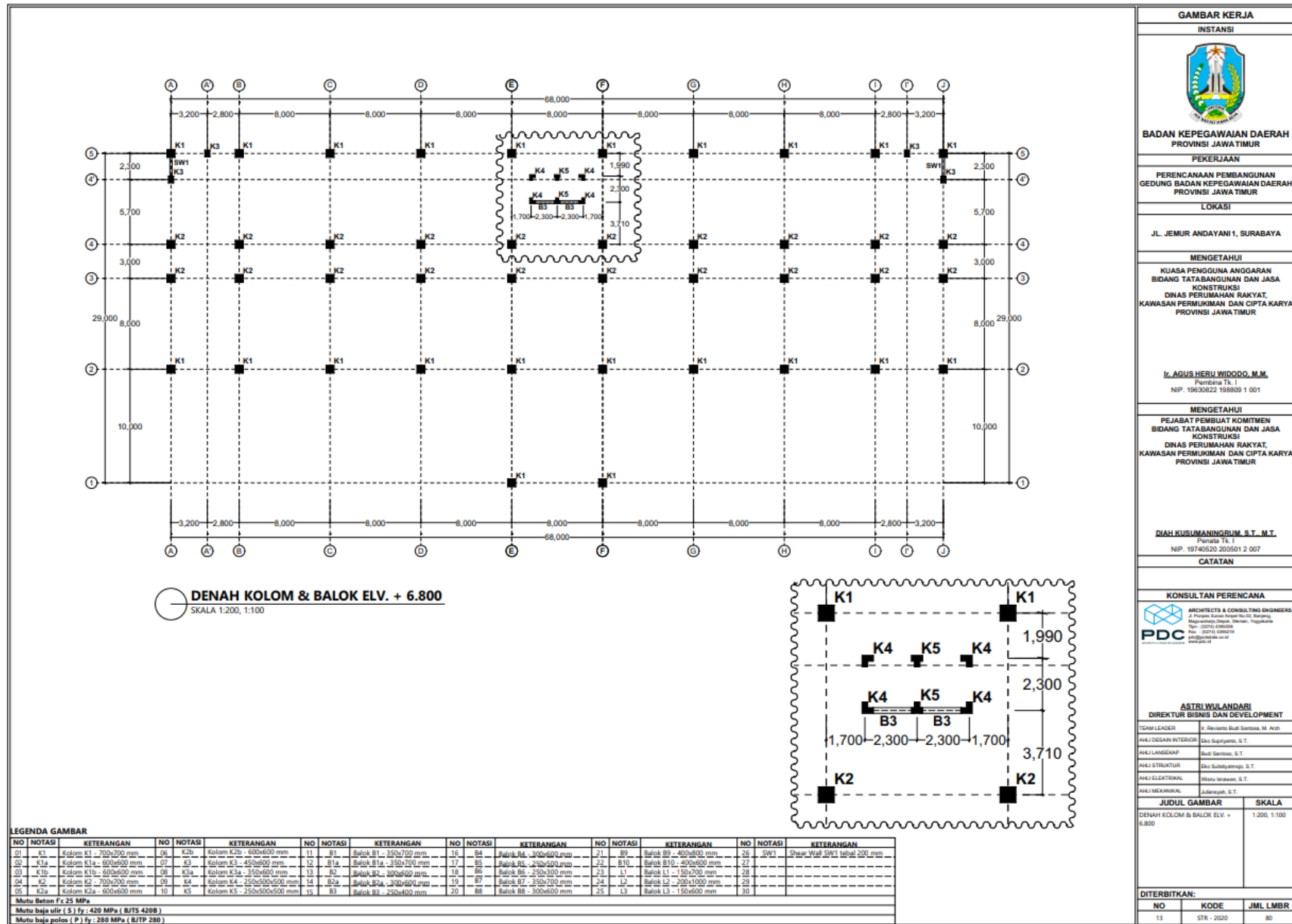


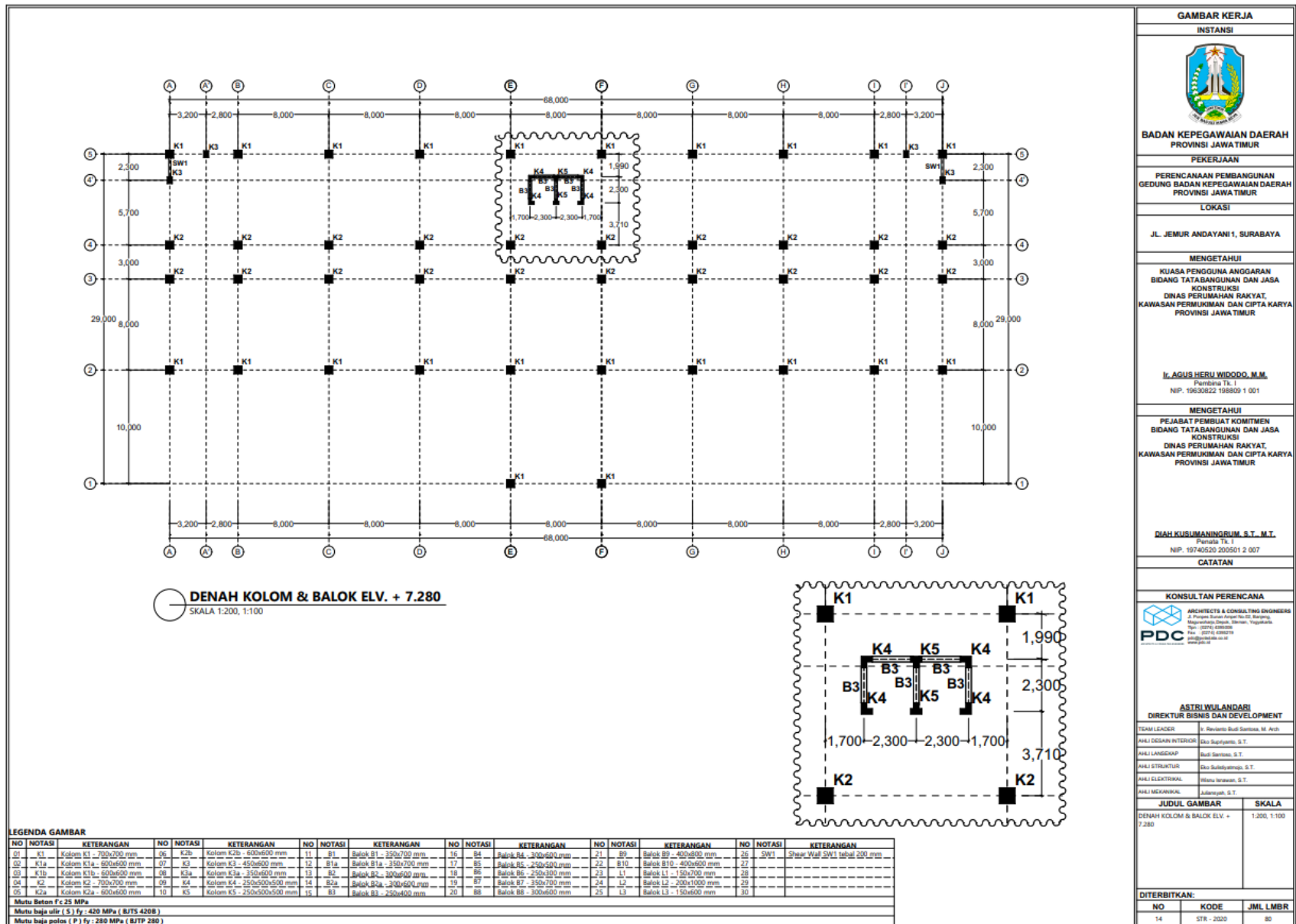


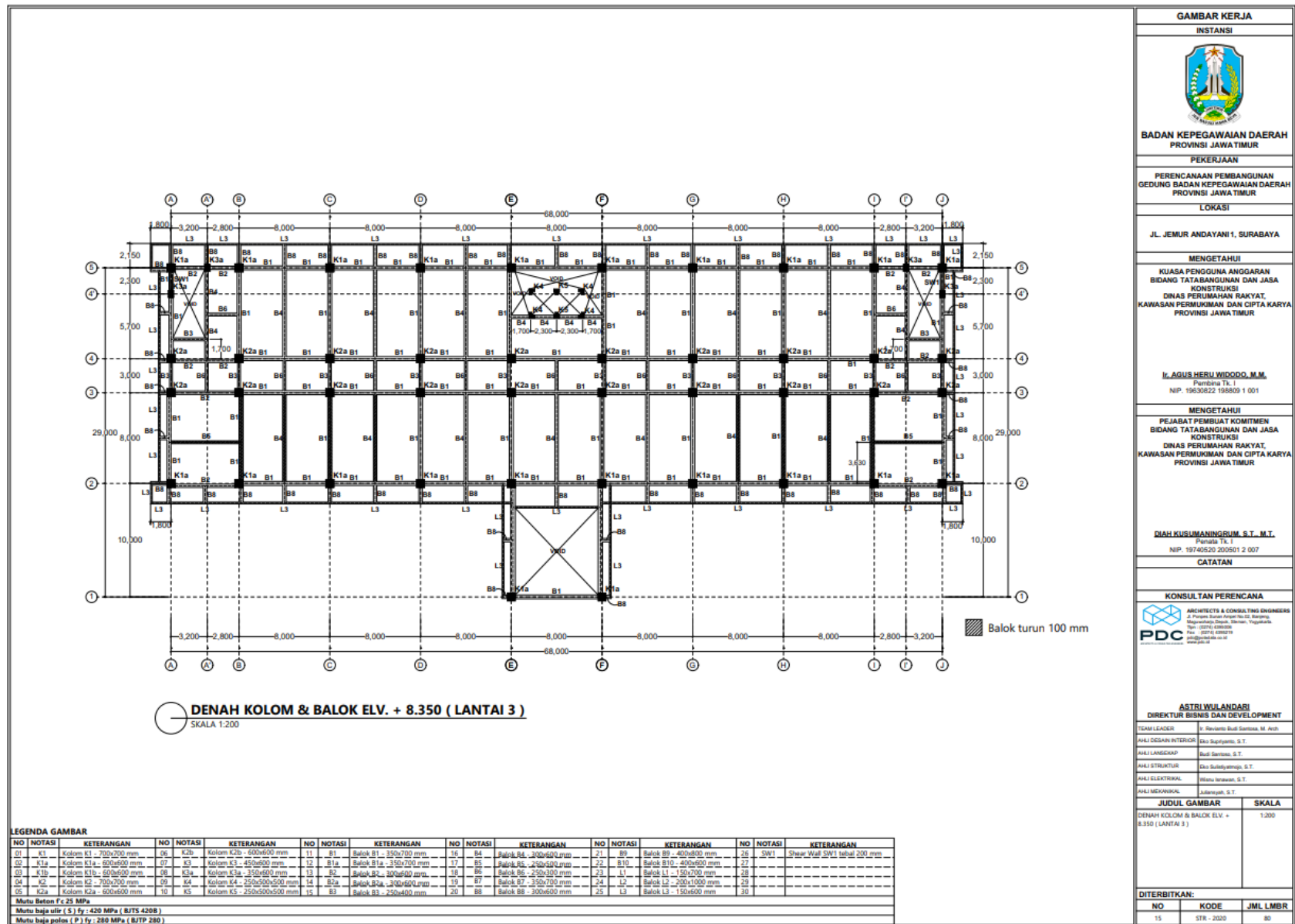


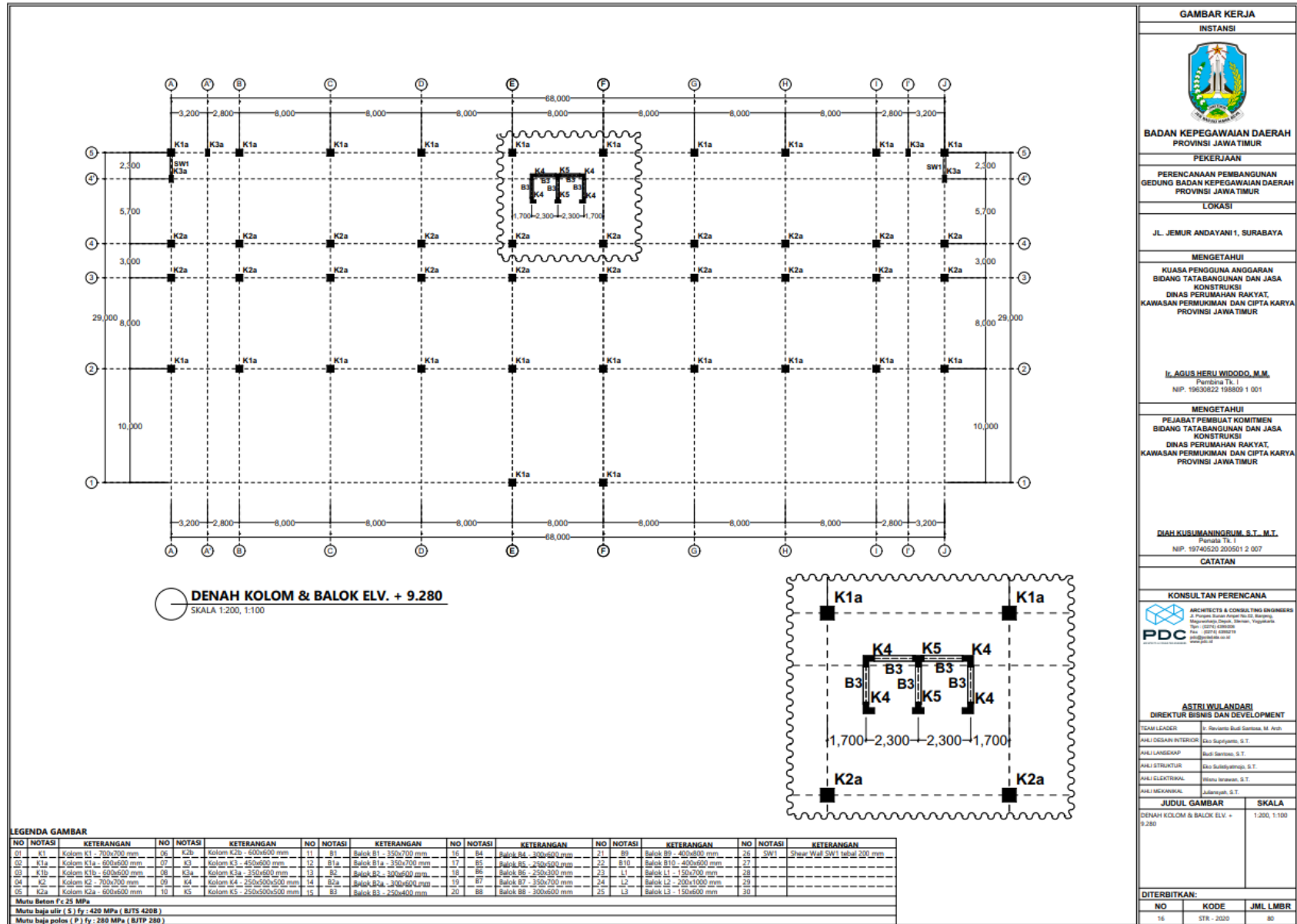


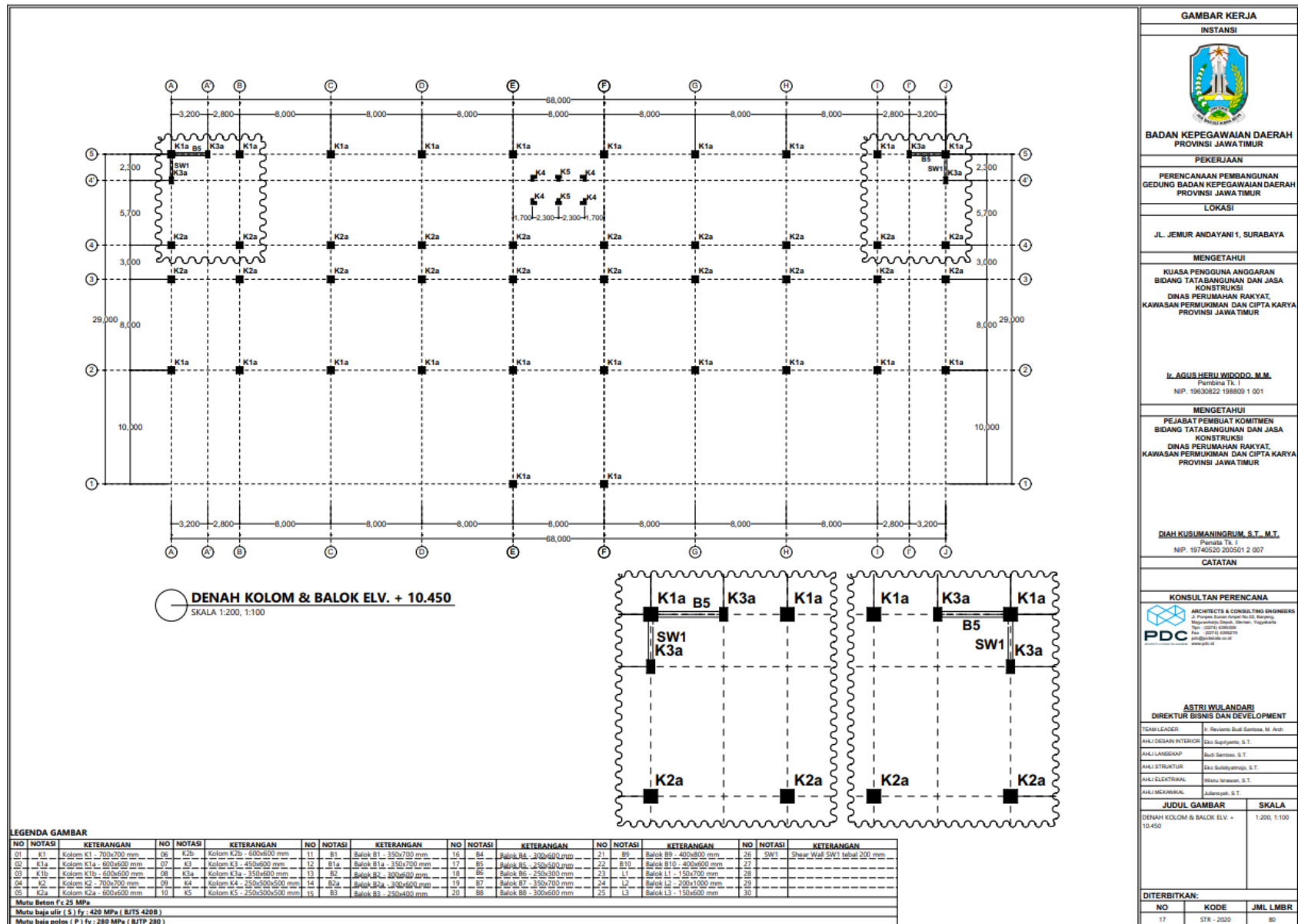


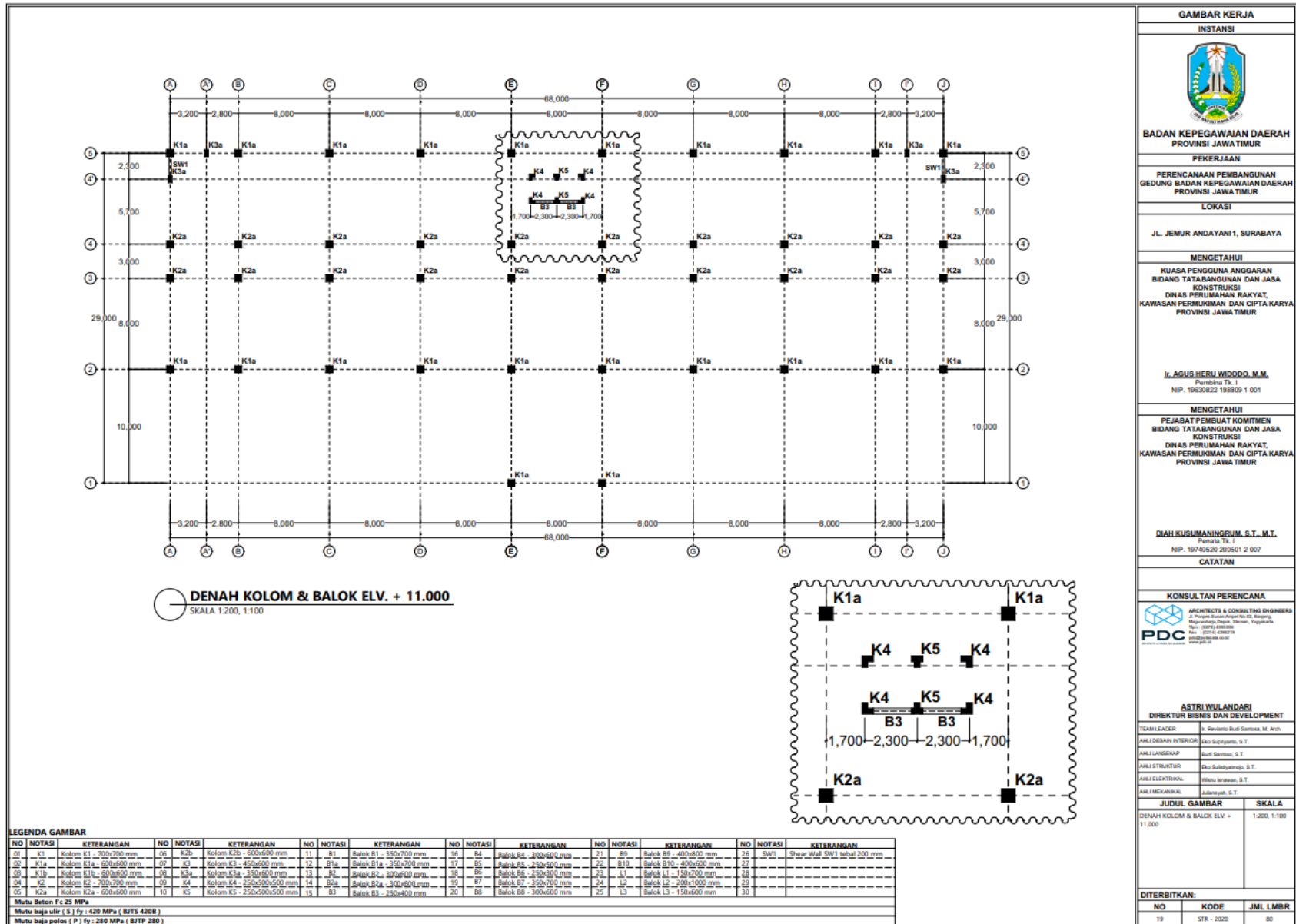


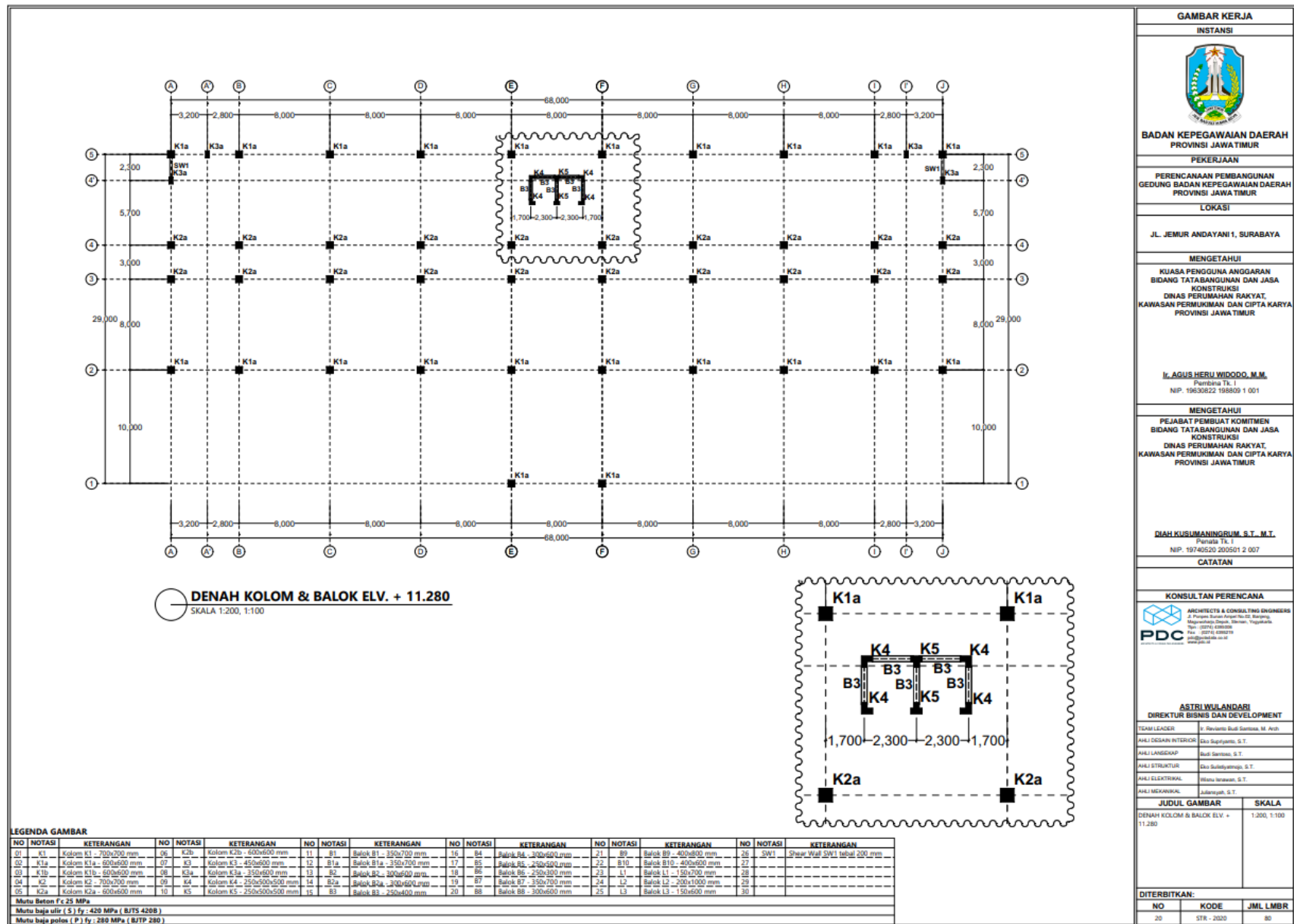


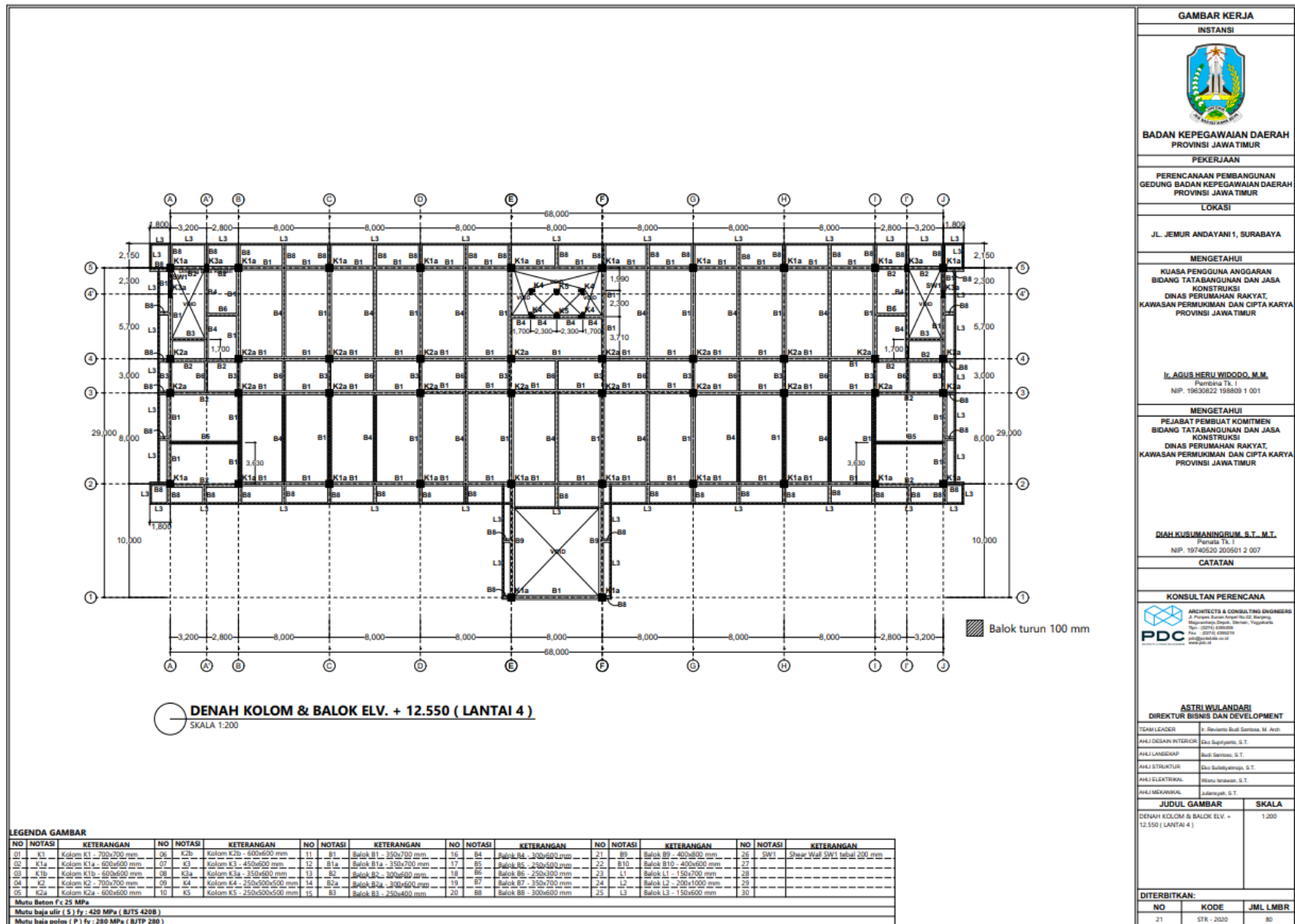


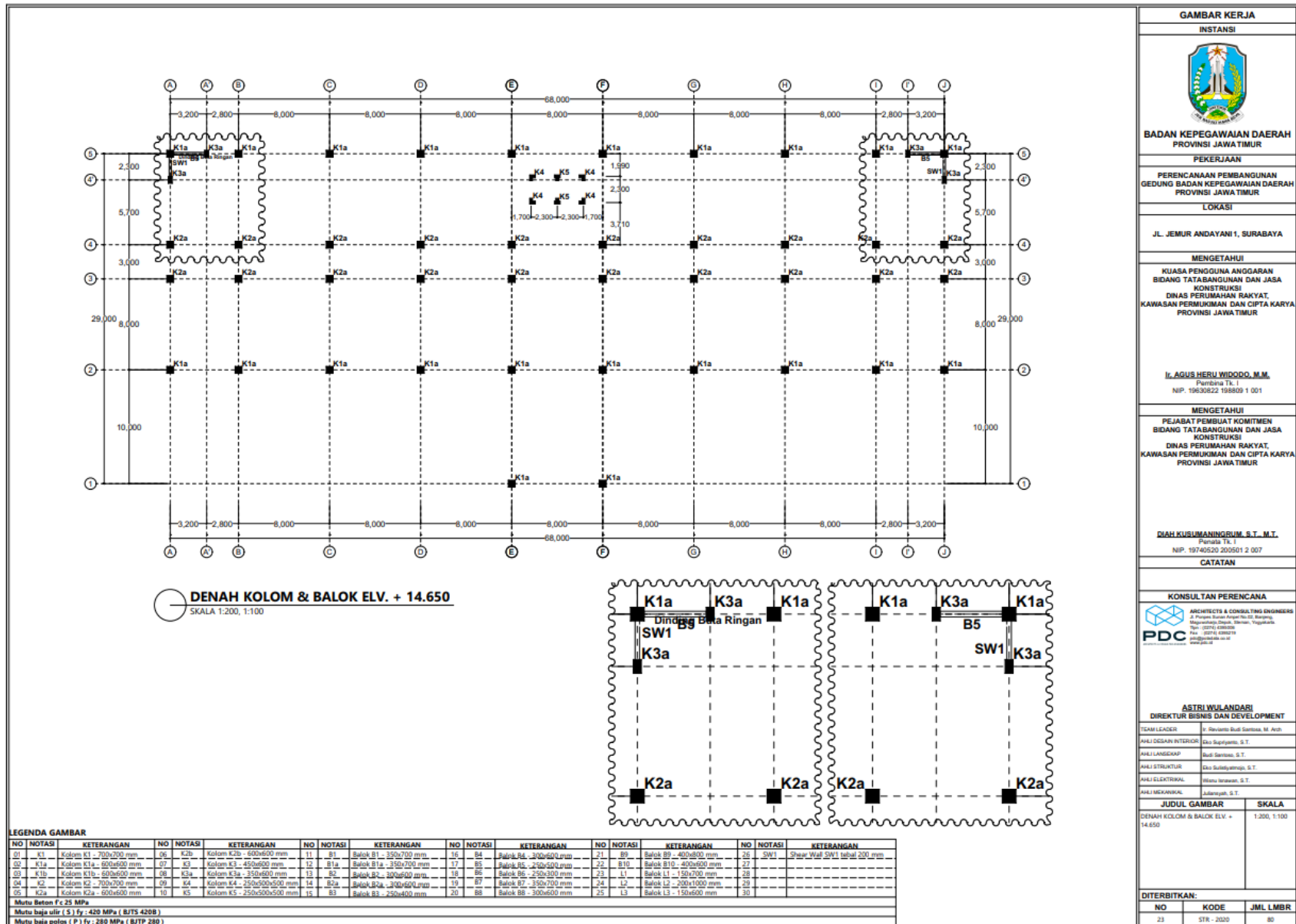


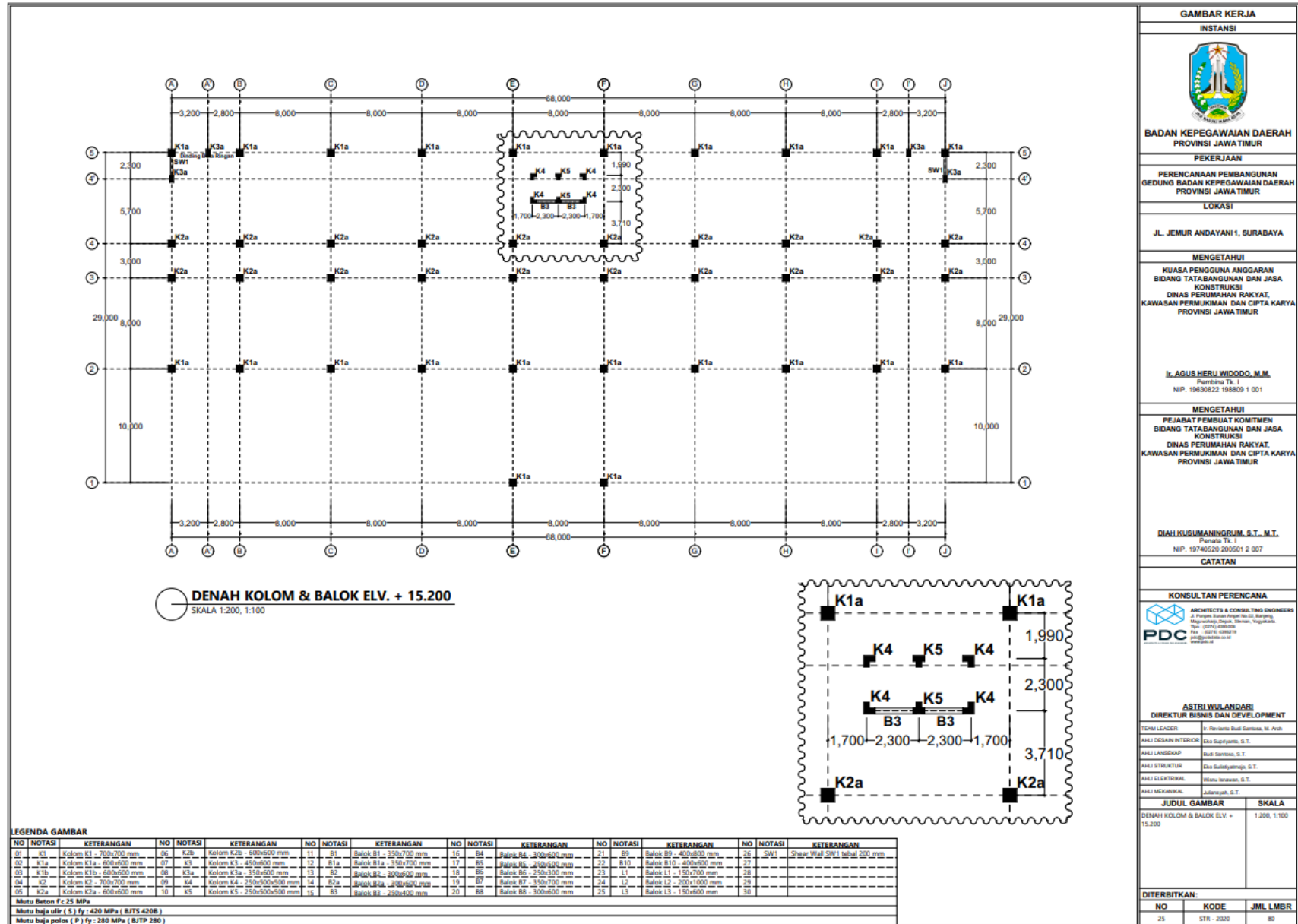


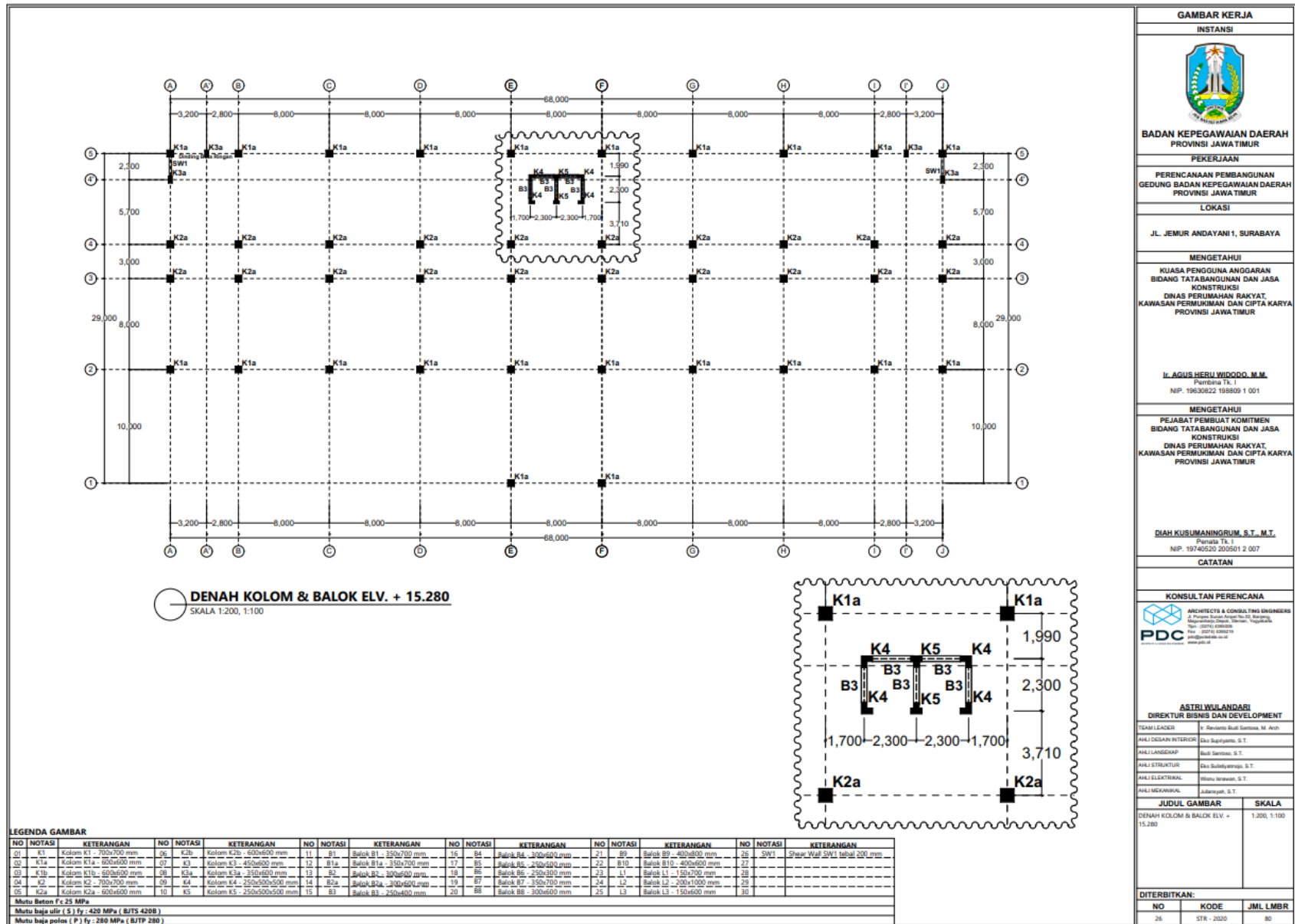


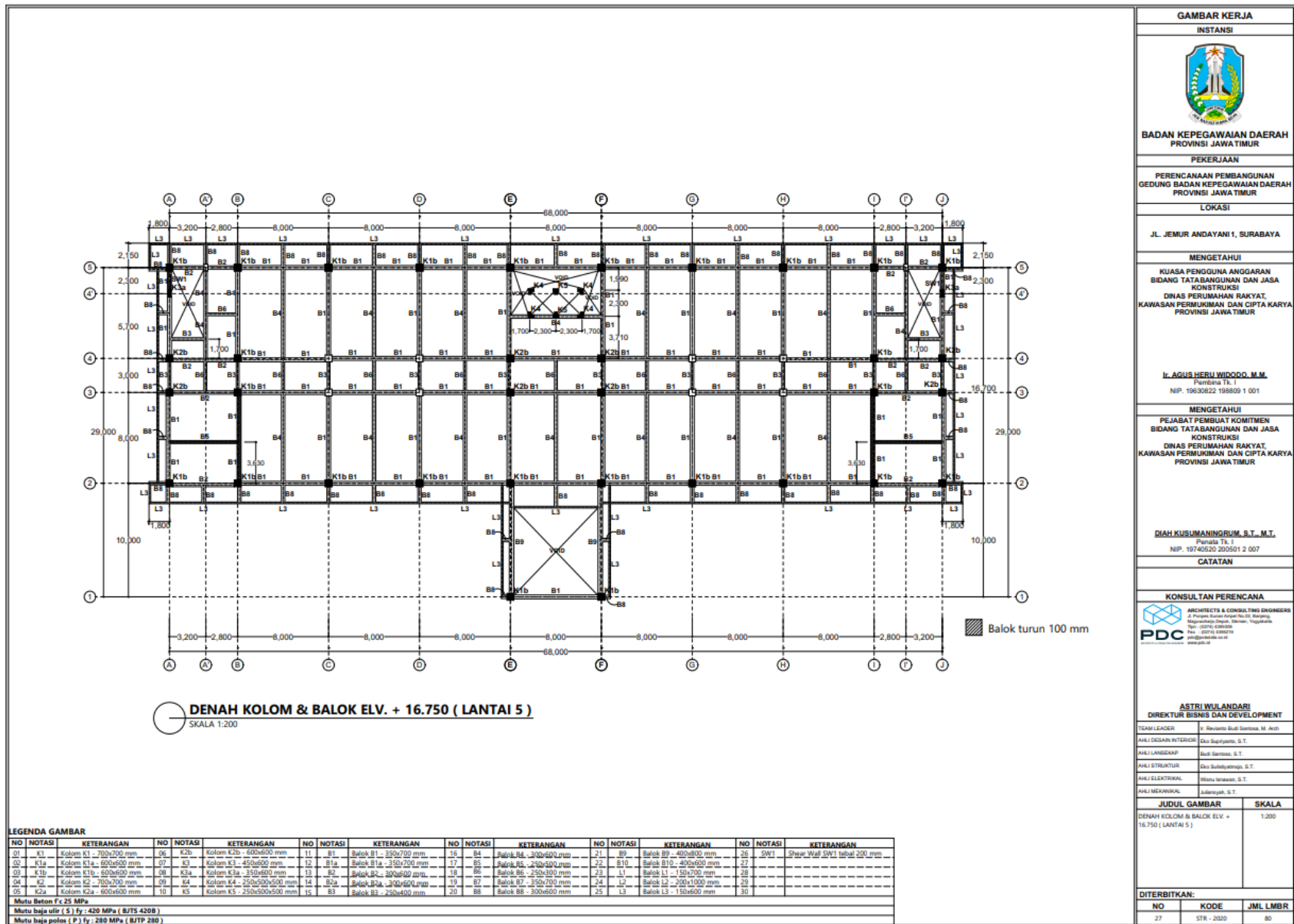


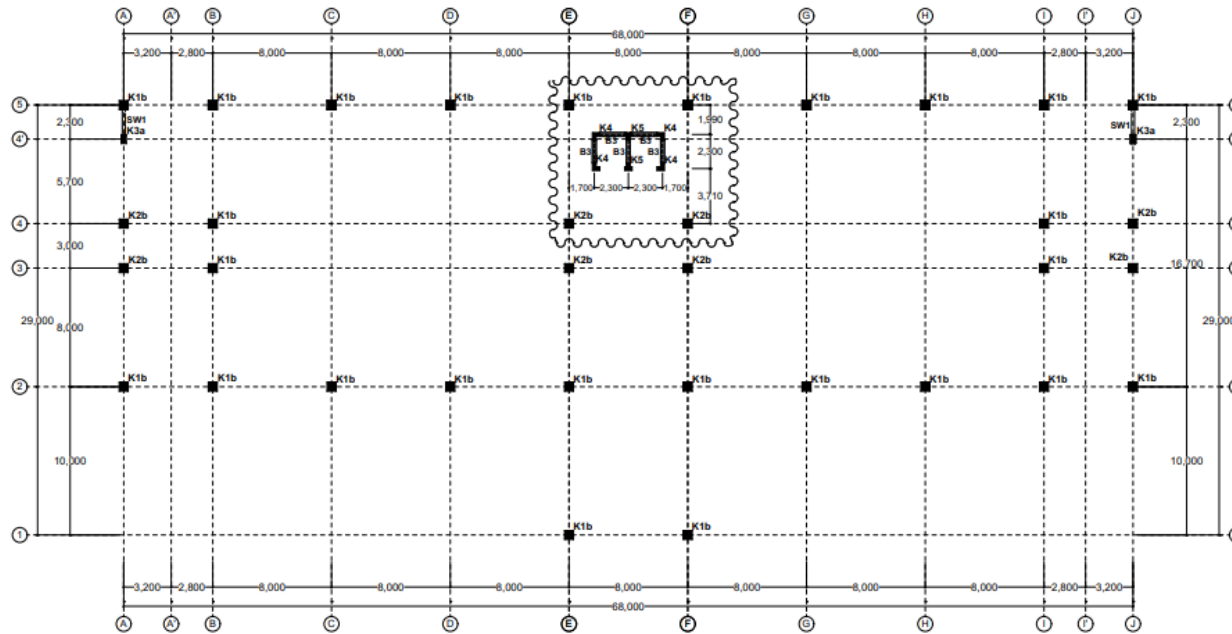




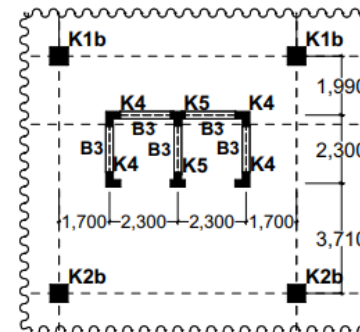








DENAH KOLOM & BALOK ELV. + 17.280
SKALA 1:200, 1:100



LEGENDA GAMBAR

20	NOTAS	KETERANGAN	20	NOTAS	KETERANGAN	20	NOTAS	KETERANGAN	20	NOTAS	KETERANGAN	20	NOTAS	KETERANGAN
01	K1a	Kolom K1a - 700x200 mm	06	K2b	Kolom K2b - 600x600 mm	11	B1a	Balok B1a - 350x700 mm	16	B2a	Balok B2a - 400x700 mm	21	B3a	Balok B3a - 450x700 mm
02	K1b	Kolom K1b - 600x600 mm	07	K3	Kolom K3 - 450x600 mm	12	B1b	Balok B1b - 350x700 mm	17	B2b	Balok B2b - 400x700 mm	22	B3b	Balok B3b - 450x700 mm
03	K1a	Kolom K1a - 600x600 mm	08	K3	Kolom K3a - 350x600 mm	13	B2	Balok B2 - 350x700 mm	18	B2c	Balok B2c - 350x700 mm	23	L1	Lenteng L1 - 150x200 mm
04	K2	Kolom K2 - 700x700 mm	09	K4	Kolom K4 - 250x500x500 mm	14	B2a	Balok B2a - 350x700 mm	19	B27	Balok B27 - 350x700 mm	24	L2	Lenteng L2 - 200x1000 mm
05	K2a	Kolom K2a - 600x600 mm	10	K5	Kolom K5 - 250x500x500 mm	15	B3	Balok B3 - 250x600 mm	20	B8	Balok B8 - 300x600 mm	25	L3	Lenteng L3 - 150x600 mm

CS	Asli	Korunlu
Mutu Beton f_c 25 MPa		

Mutu baja ulir (S) f_y : 420 MPa (BJTS 420B)

Mutu baja polos (P) f_y : 280 MPa (BJTP 280

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

KUASA PENGGUNA ANGGARAN
 BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
 KONSTRUKSI
 DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
 KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
 PROVINSI JAWATIMUR

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.

Pambina Tk. I
NIP. 19630822 198809 1 001

MENGETAHUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
 BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
 KONSTRUKSI
 DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
 KAWASAN PERMUKIMAN DAN Cipta KARYA
 PROVINSI JAWA TIMUR

DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.

Penata Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA



ASTRI WULANDARI
KTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER	Ir. Reviyanto Budi Santosa, M. Arch
-------------	-------------------------------------

AHLI DESAIN INTERIOR	Dia Supriyanto, S.T.
----------------------	----------------------

AHLI LANGKAP	Rudi Santosa, S.T.
--------------	--------------------

AHLI STRUKTUR	Dua Salsalyatnaja, 1
---------------	----------------------

AHLI ELEKTRIKAL	Wiana Irawan, S.T
-----------------	-------------------

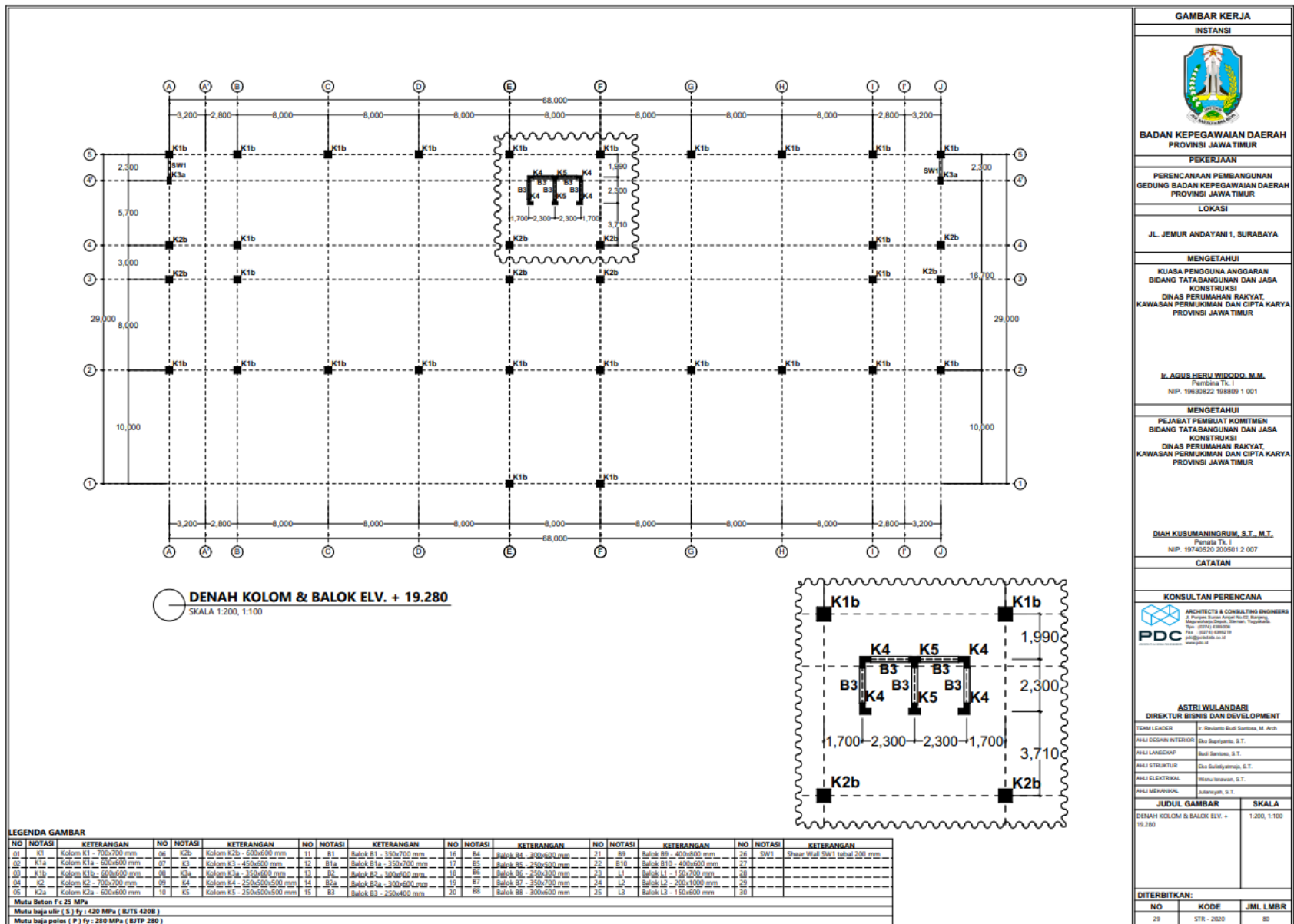
AHLI MEKANIKAL	Julianayah, S.T.
----------------	------------------

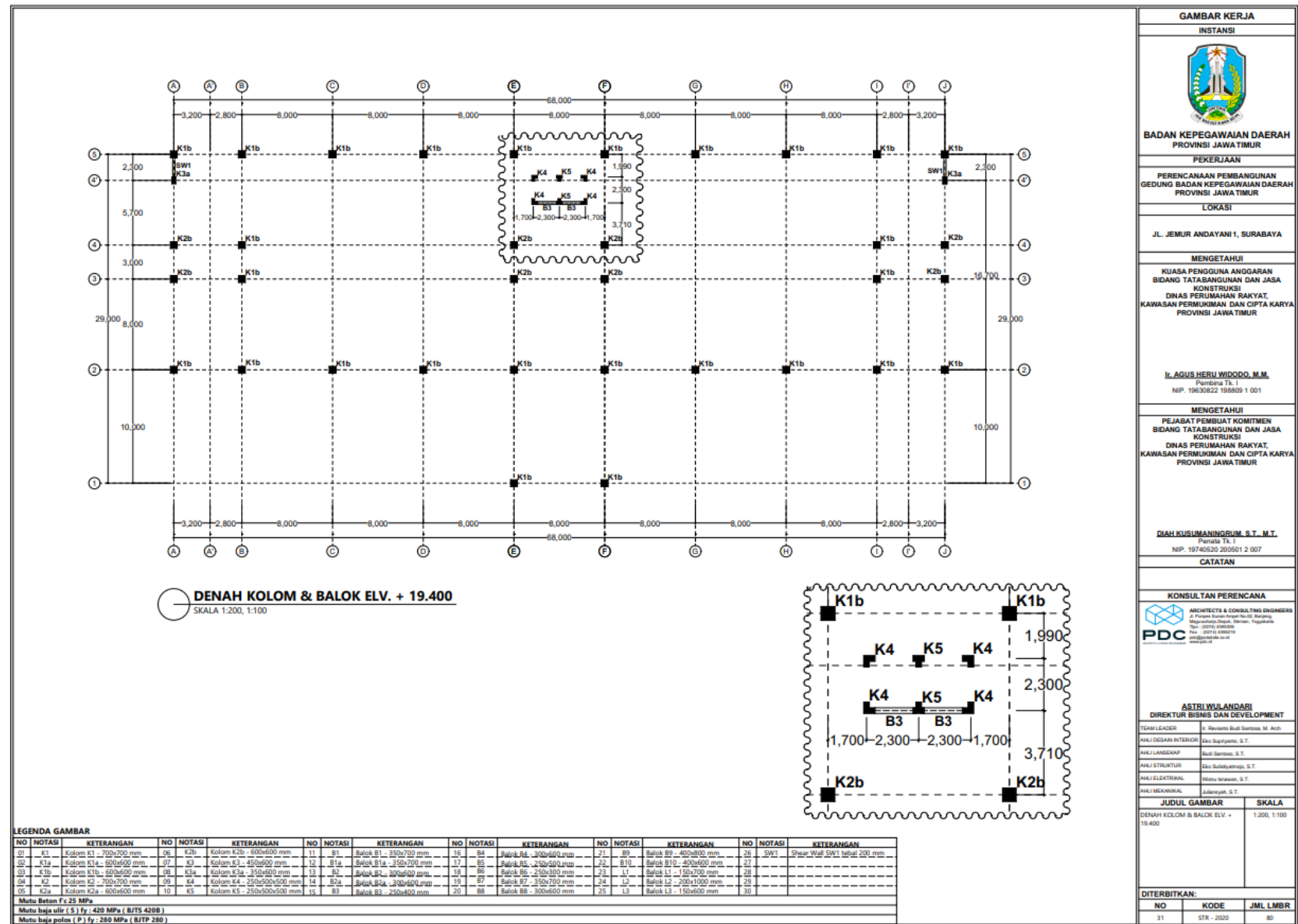
JUDUL GAMBAR

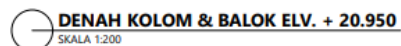
DENAH KOLOM & BALOK ELV. + 17.280	1:200, 1:100
-----------------------------------	--------------

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
28	STR - 2020	80



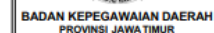




Mutu Beton f_c 25 MPa
Mutu baja ulir (S) f_y : 420 MPa (BJTS 420B)
Mutu baja polos (P) f_y : 280 MPa (BJTP 280)

Mutu baja ulir (S) f_y : 420 MPa (BJTS 420B)
 Mutu baja polos (P) f_y : 280 MPa (BJTP 280)

INSTANSI



PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

MENGETAHUI
PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

CATATAN

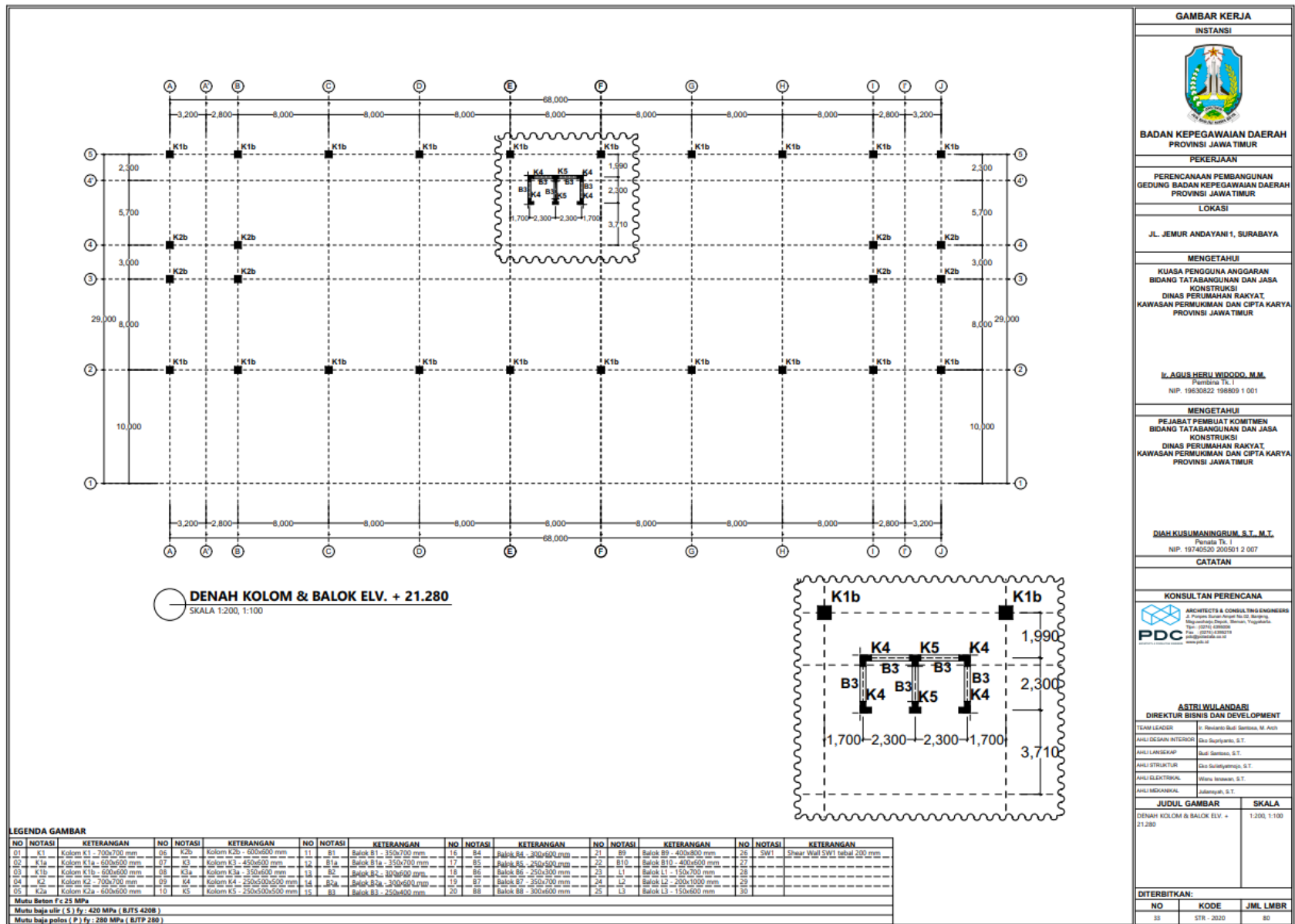
ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS
 3, Pongpan Suran-Angut No.52, Bangpoo
 Bang-Na-Bangkok, Bangkok, Thailand
 Tel: + (662) 41 439000
 Fax: + (662) 41 439010
 pcd@pccdata.co.th
 www.pcd.co.th

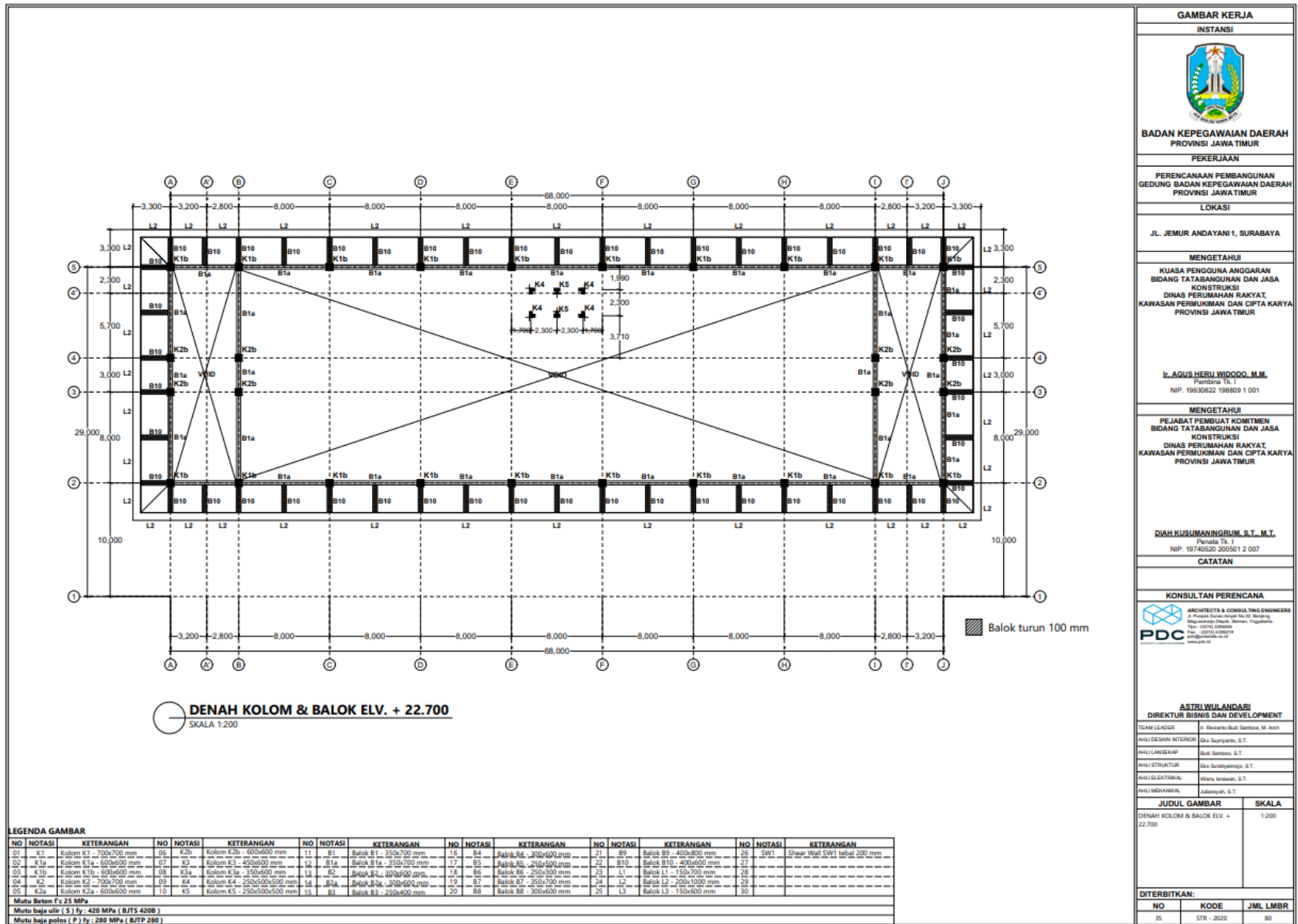
TEAM LEADER	Ir. Reviyanto Budi Santosa, M. Ach
-------------	------------------------------------

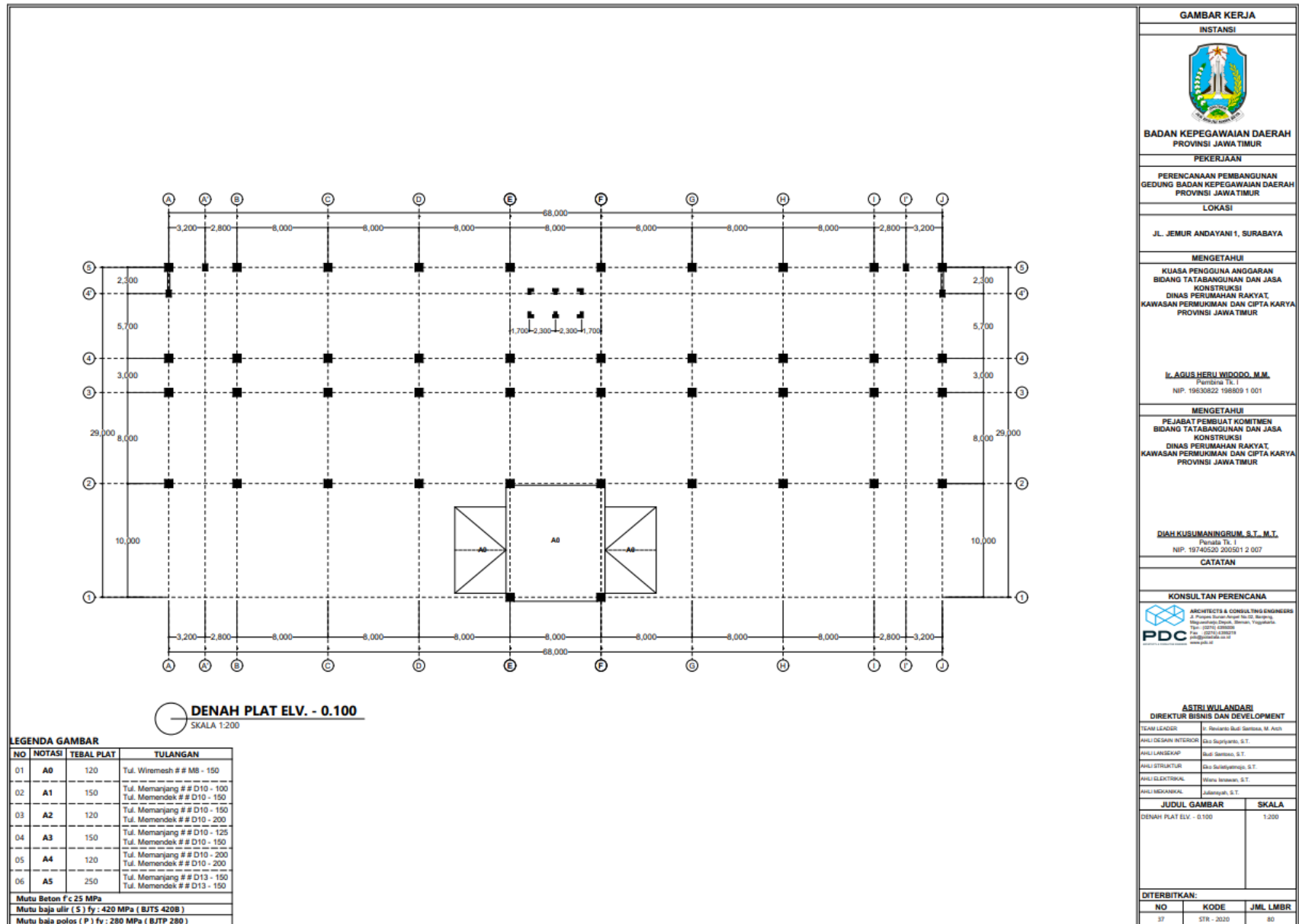
JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

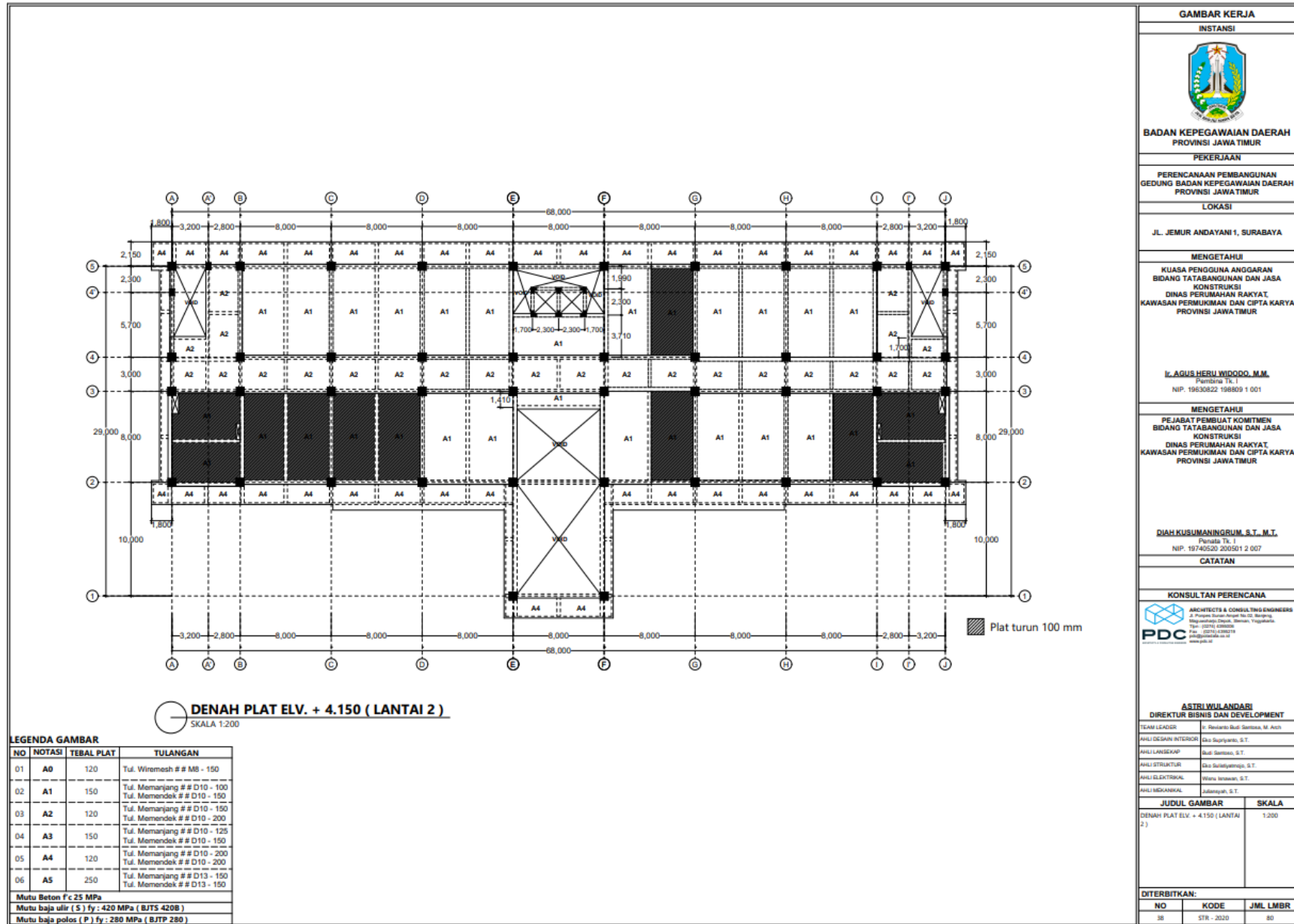
SKALA

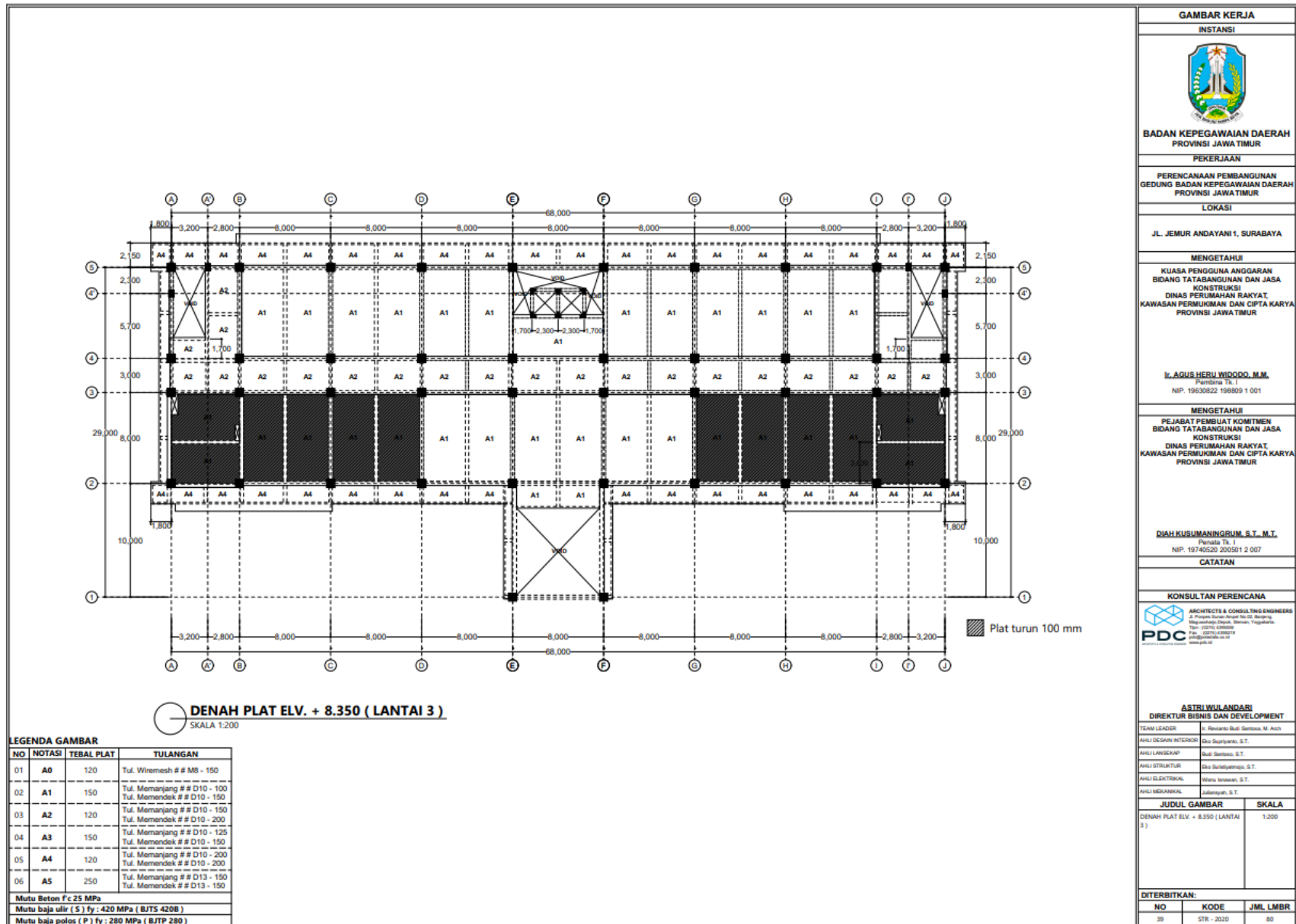
NO	KODE	JML LME
32	STR - 2020	80

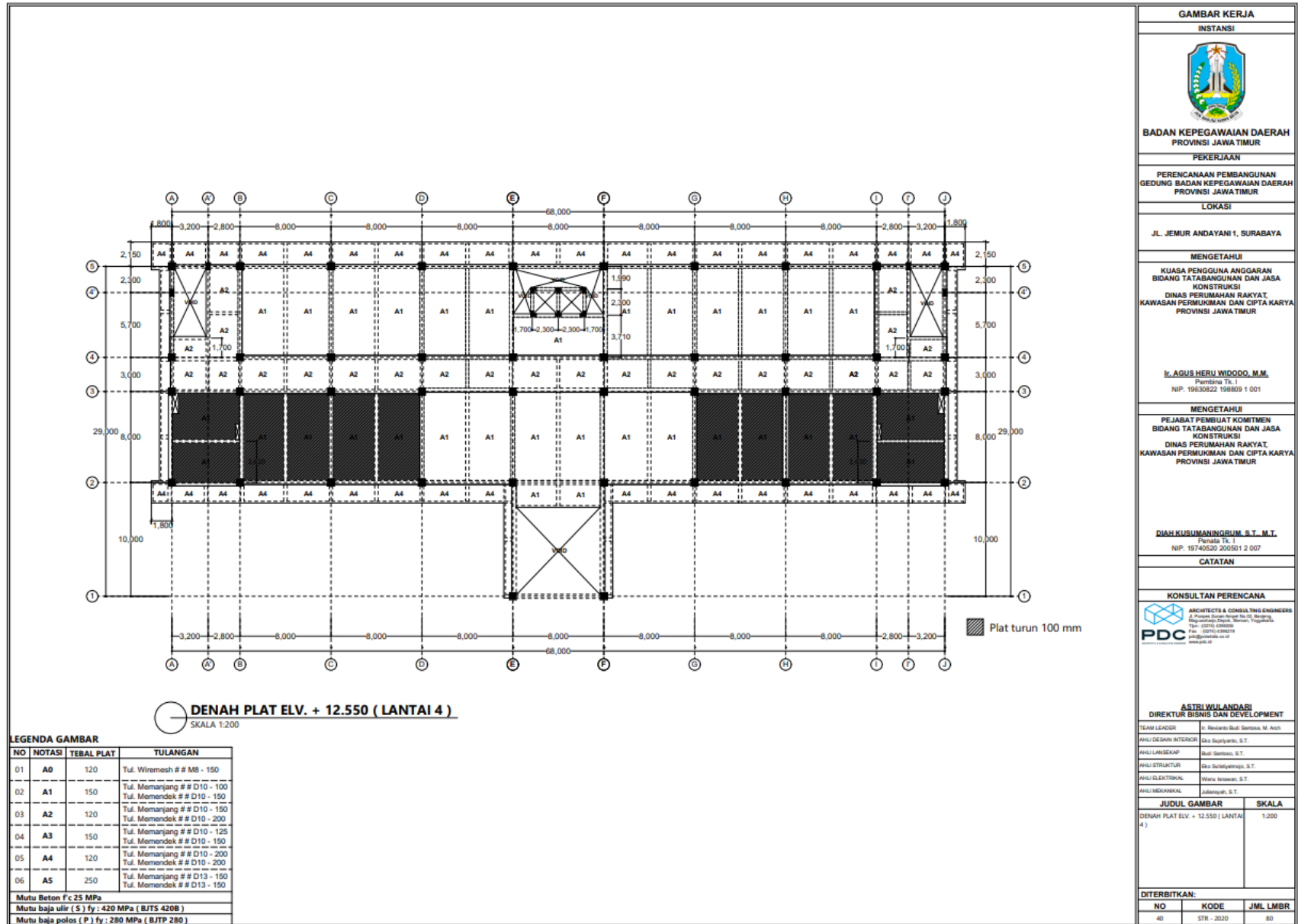


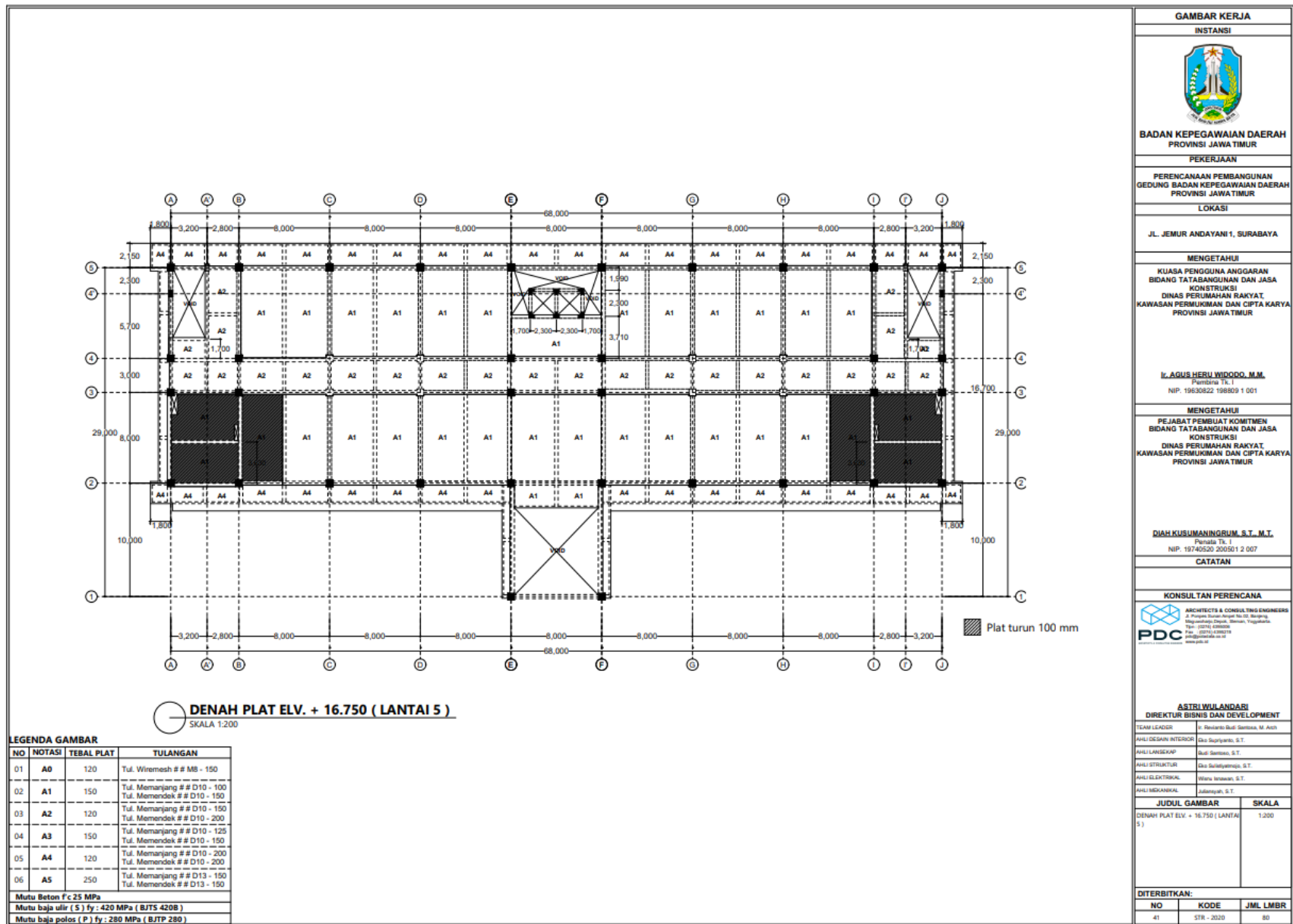


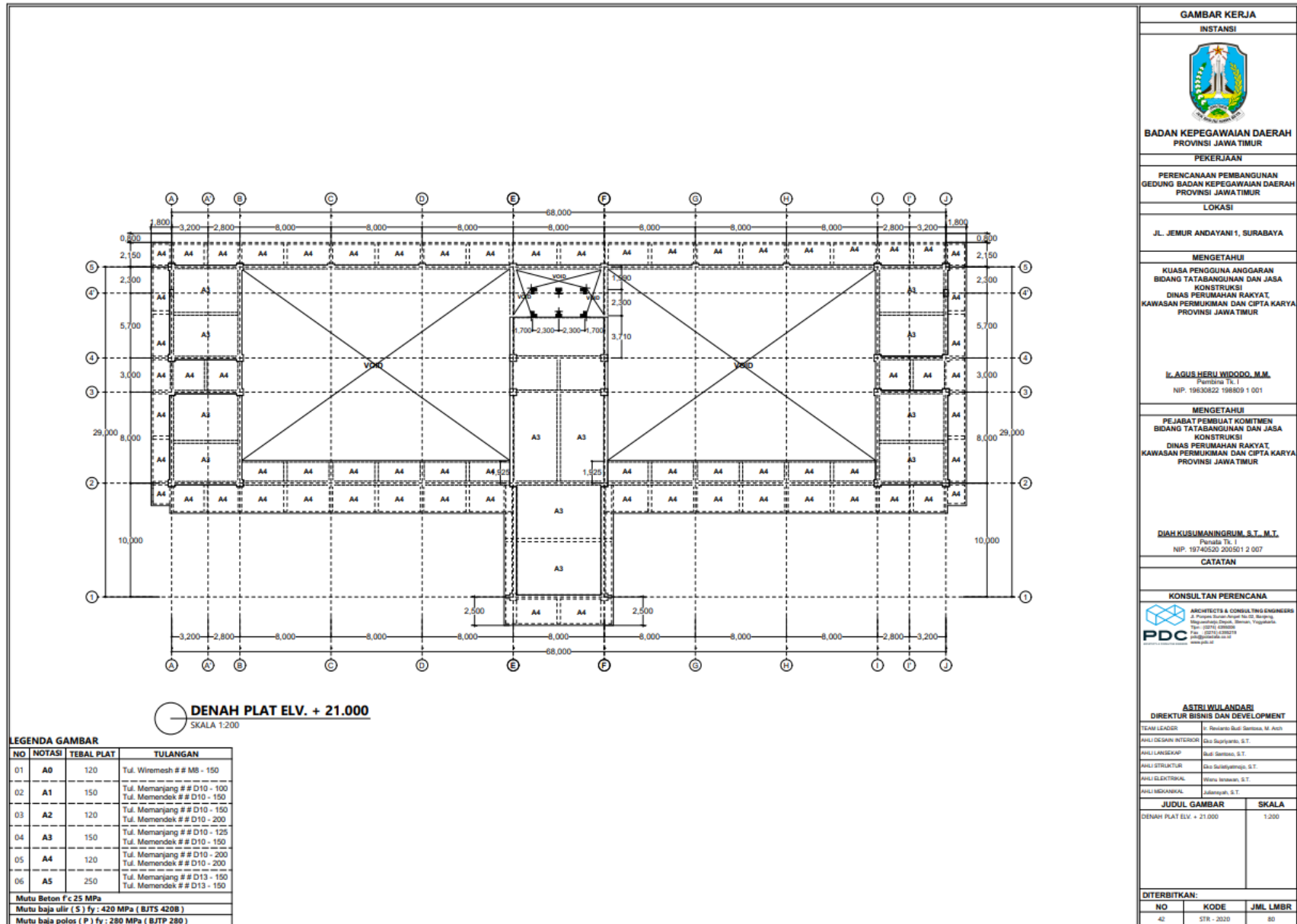


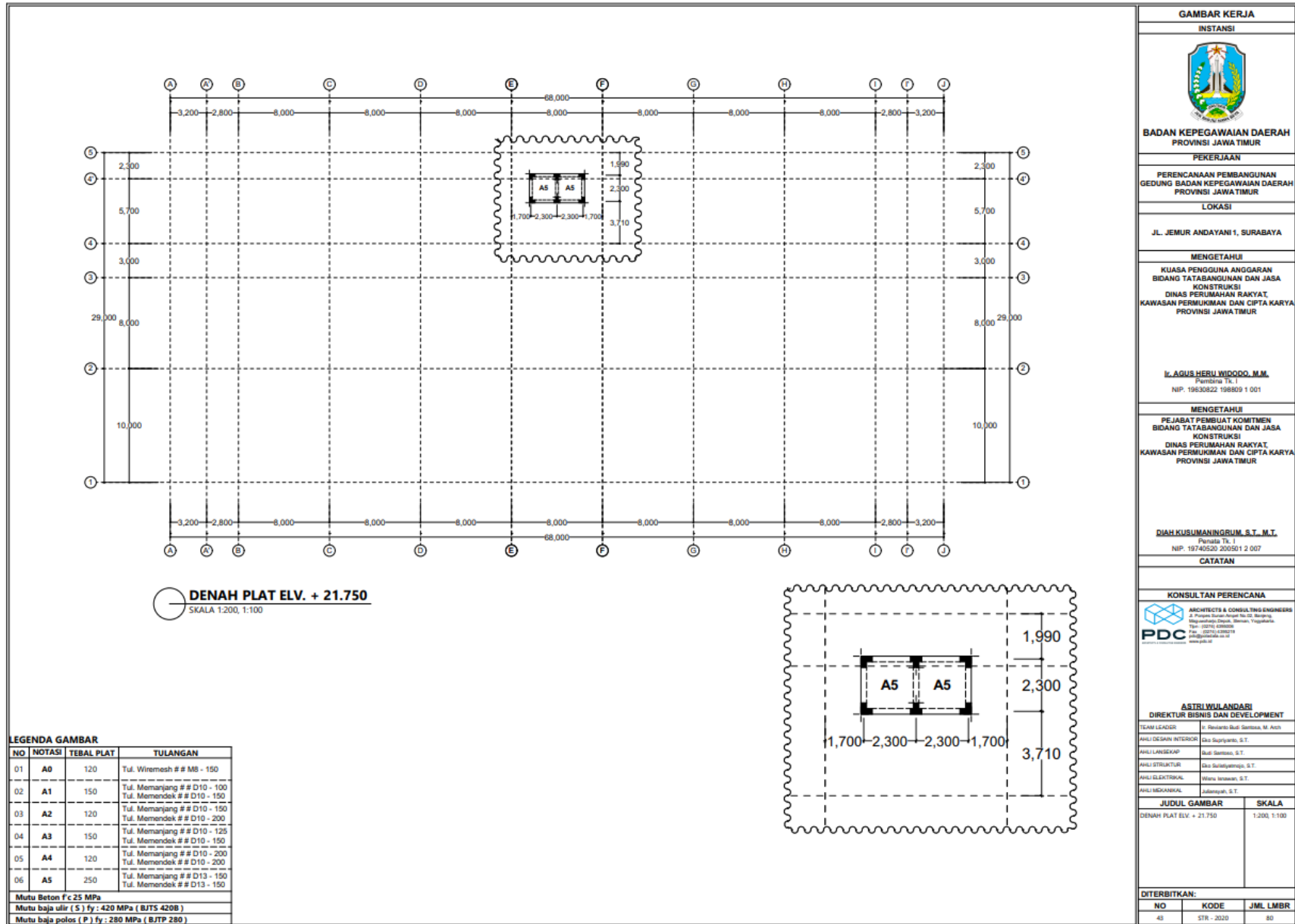


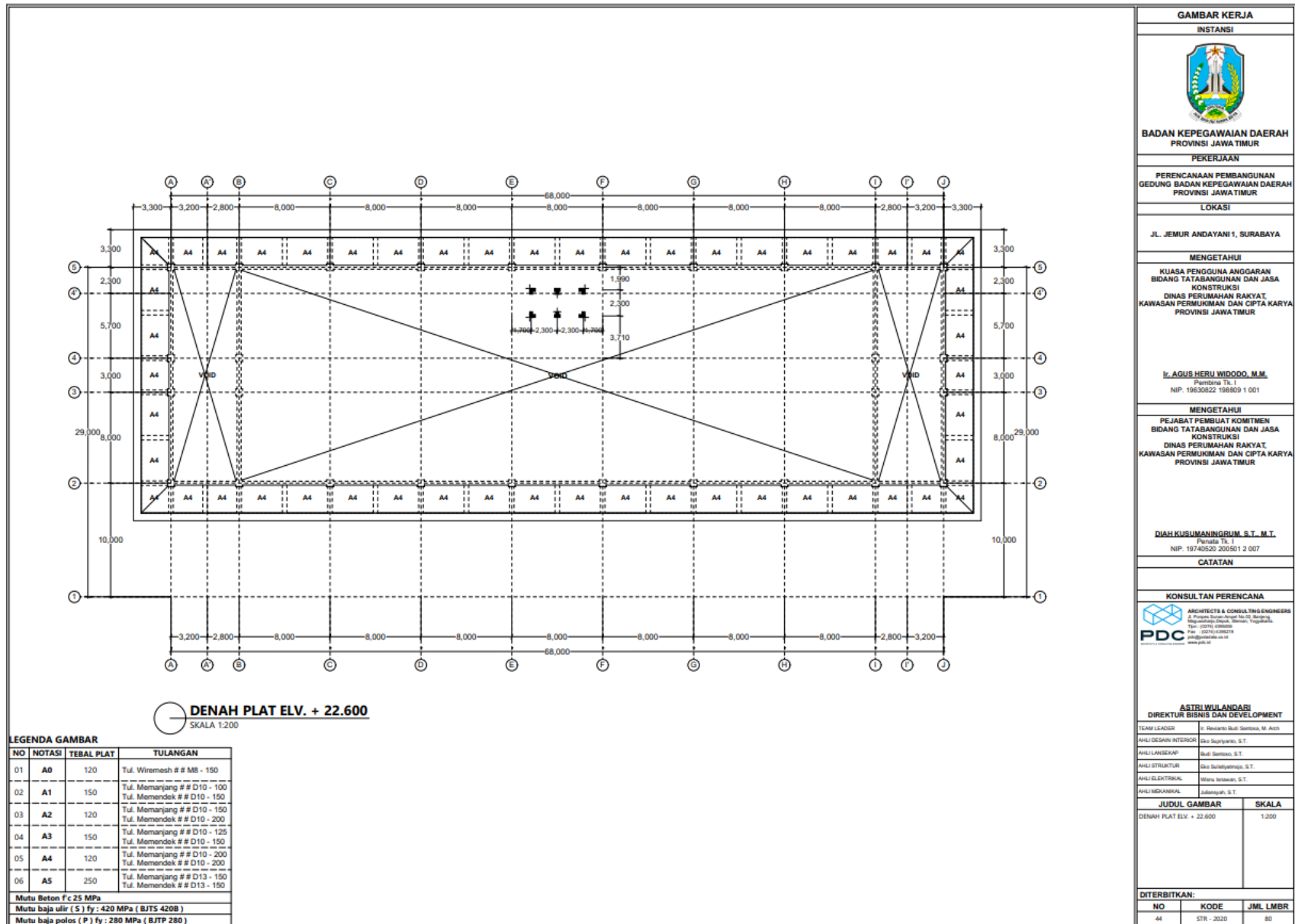


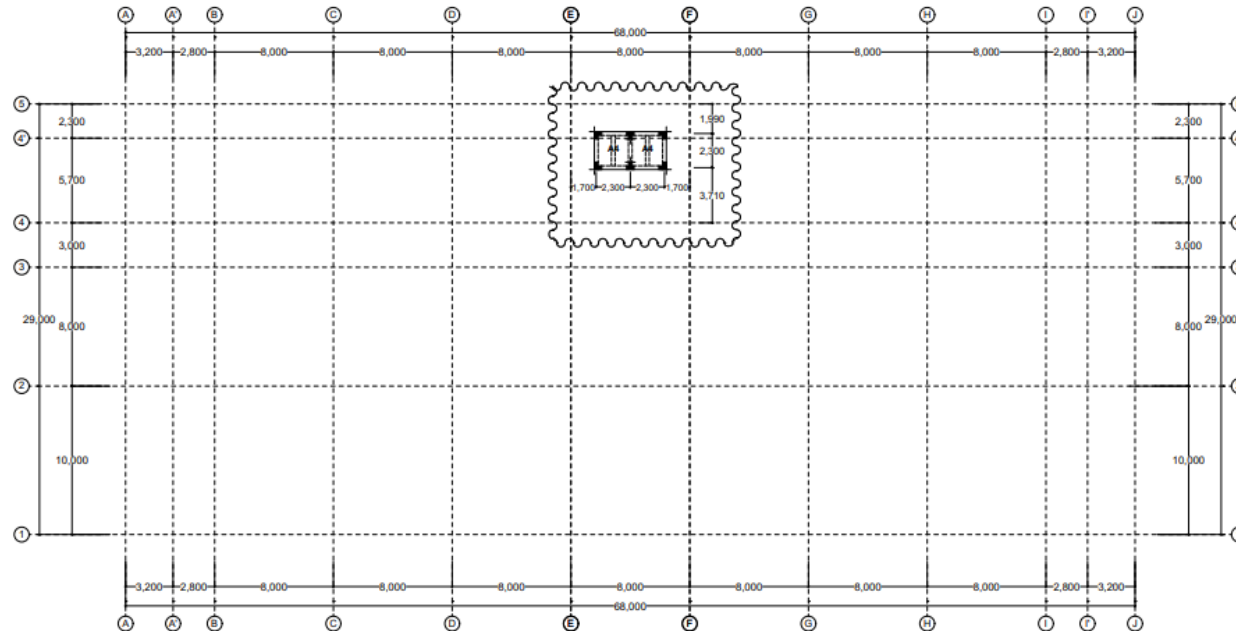




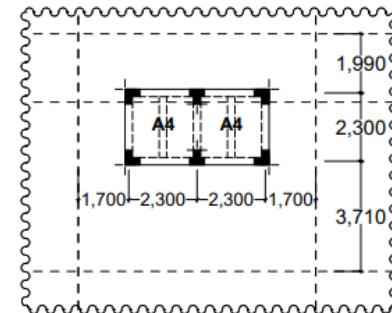








DENAH PLAT ELV. + 24.750
SKALA 1:200, 1:100



LEGENDA GAMBAR

NO	NOTASI	TEBAL PLAT	TULANGAN
01	A0	120	Tul. Wiremesh # M8 - 150
02	A1	150	Tul. Memanjang # D10 - 100 Tul. Memendek # D10 - 150
03	A2	120	Tul. Memanjang # D10 - 150 Tul. Memendek # D10 - 200
04	A3	150	Tul. Memanjang # D10 - 125 Tul. Memendek # D10 - 150
05	A4	120	Tul. Memanjang # D10 - 200 Tul. Memendek # D10 - 200
06	A5	250	Tul. Memanjang # D13 - 150 Tul. Memendek # D13 - 150

Mutu Beton $f'c$ 25 MPa
Mutu baja ulir (S) f_y : 420 MPa (BJTS 420B)
Mutu baja polos (P) f_y : 280 MPa (BJTP 280)

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

**KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Pamda Tk. 1
NIP. 19630822 198809 1 001

MENGETAHUI

**PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.
Pamda Tk. 1
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA



ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS
Jl. Pahlawan Revolusi No. 10, Malang
Malang, Jawa Timur 64111, Indonesia
Telp. (0341) 438828
Fax. (0341) 438828
www.pdc.id

ASTRI WULANDARI

DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER Ir. Rendarto Budi Santosa, M. Asih

AHLI DESAIN INTERIOR Eko Supriyanto, S.T.

AHLI LANSKAP Budi Santosa, S.T.

AHLI STRUKTUR Eko Sutiyanto, S.T.

AHLI ELEKTRIKAL Wawan Wawan, S.T.

AHLI MEKANIKAL Zulharyati, S.T.

JUDUL GAMBAR

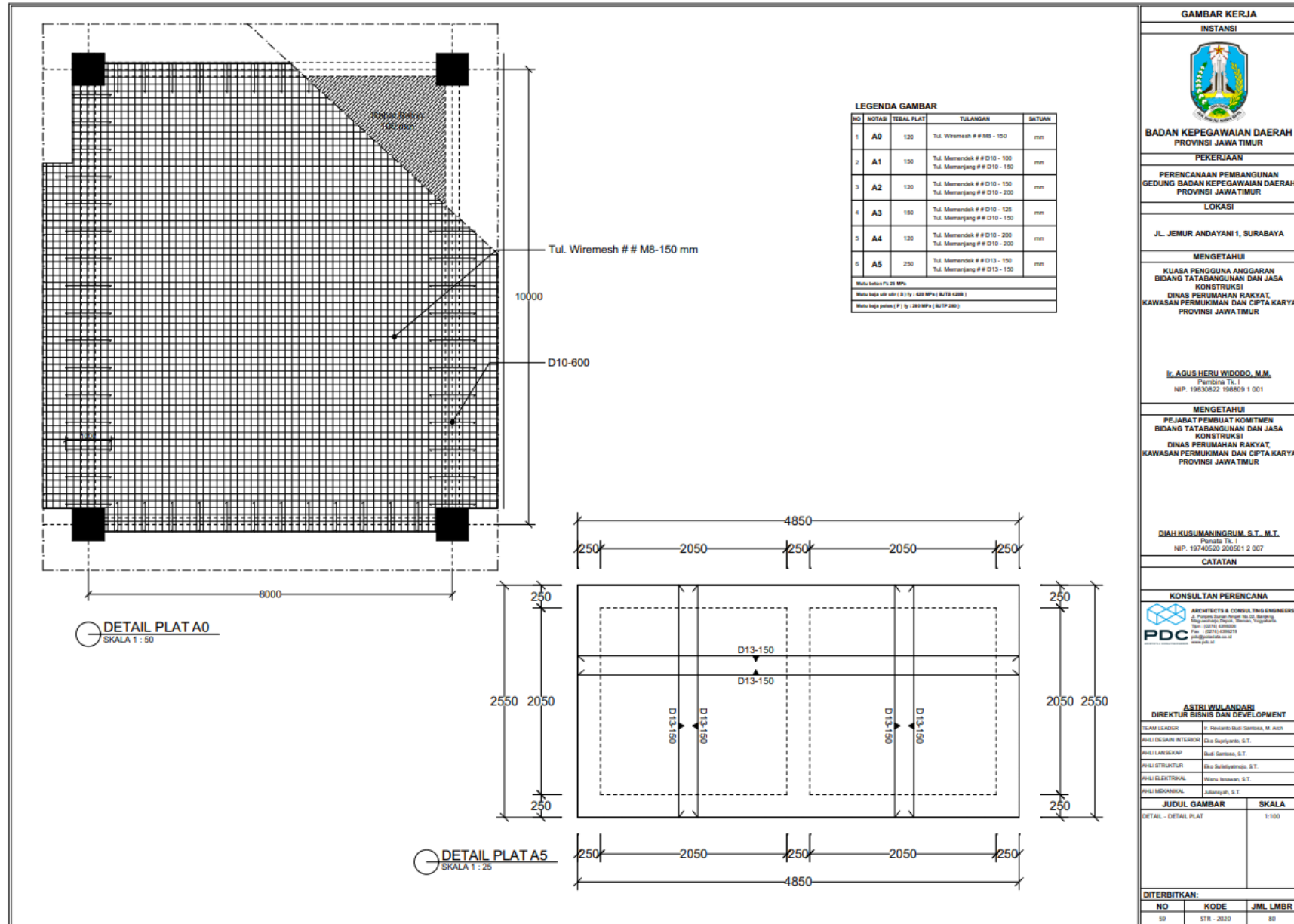
DENAH PLAT ELV. + 24.750

SKALA

1:200, 1:100

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
40	STR-2020	80





LEGENDA GAMBAR

LEGENDA GAMBAR				
NO	NOTASI	TEBAL, FLAT	TULANGAN	SATUAN
1	A0	120	Tul. Wernisch # 148 - 150	mm
2	A1	150	Tul. Memendak # D10 - 100 Tul. Memanjang # D10 - 150	mm
3	A2	120	Tul. Memendak # D10 - 150 Tul. Memanjang # D10 - 200	mm
4	A3	150	Tul. Memendak # D10 - 125 Tul. Memanjang # D10 - 150	mm
5	A4	120	Tul. Memendak # D10 - 200 Tul. Memanjang # D10 - 200	mm
6	A5	250	Tul. Memendak # D13 - 150	mm

Mutu beton f'c 25 MPa
Mutu baja ulir ulir (S) fy : 420 MPa (S.JTS 420B)
Mutu baja polos (P) fy : 280 MPa (S.JTP 280)

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWATIMUR

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN Cipta KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Pembina Tk. I
NIP. 19630822 198809 1 001

MENGETAHUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
 BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
 KONSTRUKSI
 DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
 KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
 PROVINSI JAWA TIMUR

DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.
Penata Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA

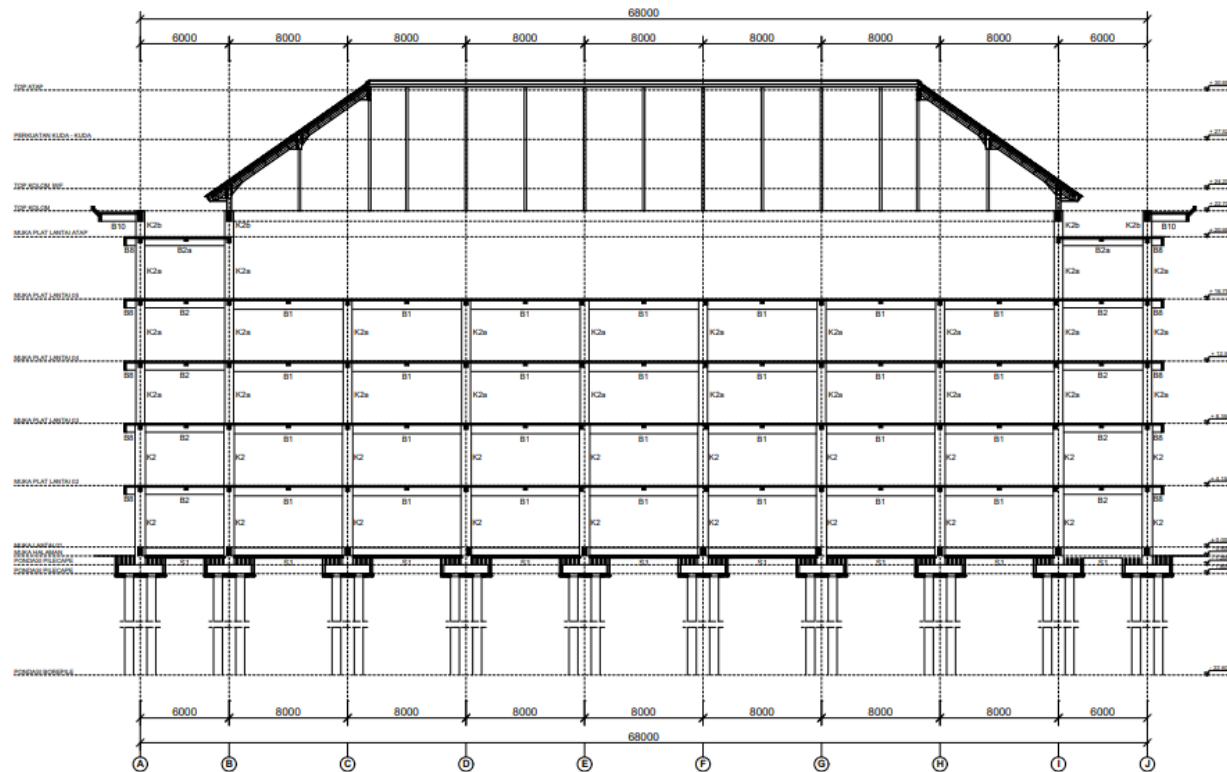


ASTRI WULANDARI
DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER	I. Rivaldo Budi Santosa, M. Arch
AHLI DESAIN INTERIOR	Gko Supriyanto, S.T.
AHLI LANSKAP	Budi Santosa, S.T.
AHLI STRUKTUR	Gko Sulistyantoro, S.T.
AHLI ELEKTIRAL	Wana Imanan, S.T.
AHLI MEKANIKAL	Julianyah, S.T.

JUDUL GAMBAR	SKALA
DETAIL - DETAIL PLAT	1:100

DITERBITKAN:		
NO	KODE	JML LMB
61	STR - 2020	80



POTONGAN AS 3 (A - J)
SKALA 1:200

GAMBAR KERJA

INSTANSI



BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Pemula Tk. I
NIP. 19630822 198809 1 001

MENGETAHUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

DIAN KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.
Pemula Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA



ASTRI WULANDARI
DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER	Ir. Rendiarto Budi Setiawan, M. Arch
MAL/DESAIN INTERIOR	Eko Supriyanto, S.T.
MAL/LANSKAP	Budi Setiawan, S.T.
MAL/STRUKTUR	Eko Supriyanto, S.T.
MAL/ELEKTRIKAL	Wawan Setiawan, S.T.
MAL/MEKANISAL	Andriyanto, S.T.

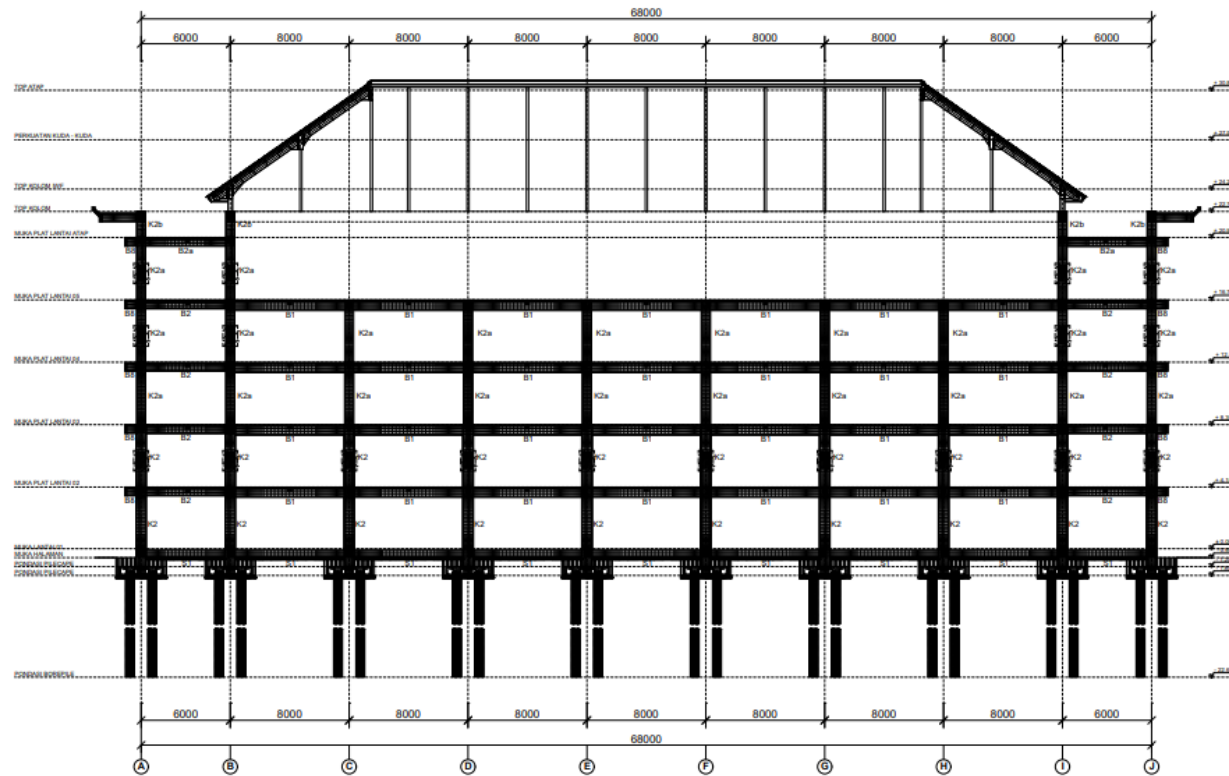
JUDUL GAMBAR **SKALA**

POTONGAN AS 3 (A - J)

1:200

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
77	STR - 2020	80



POTONGAN PORTAL AS 3 (A - J)
SKALA 1:200

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

**KUASA PENGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Pemerintah Tk. I
NIP. 19630822 198809 1 001

MENGETAHUI

**PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT,
KAWASAN PERMUKIMAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR**

DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.
Pemerintah Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA

ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS
PDC
A. Priyono, Satrio, Anwar, Nuzli, Baiding,
Diponegoro, Dhuha, Suman, Yogiandana,
Tari, (0271) 4388888
Fax : (0271) 4388878
info@pdc-indonesia.com
www.pdc.id

ASTRIWIJANDARI

DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEKNIK LANSIA
Ir. Diantoro Budi Santosa, M. Arch
SAHL DESAIN INTERIOR
Des. Supriyanto, S.T.
SAHL LANSIAKAP
Budi Santosa, S.T.
SAHL STRUKTUR
Des. Sutisnyanto, S.T.
SAHL ELEKTRIKAL
Warna Irawan, S.T.
SAHL MEKANIKAL
Juhendyah, S.T.

JUDUL GAMBAR

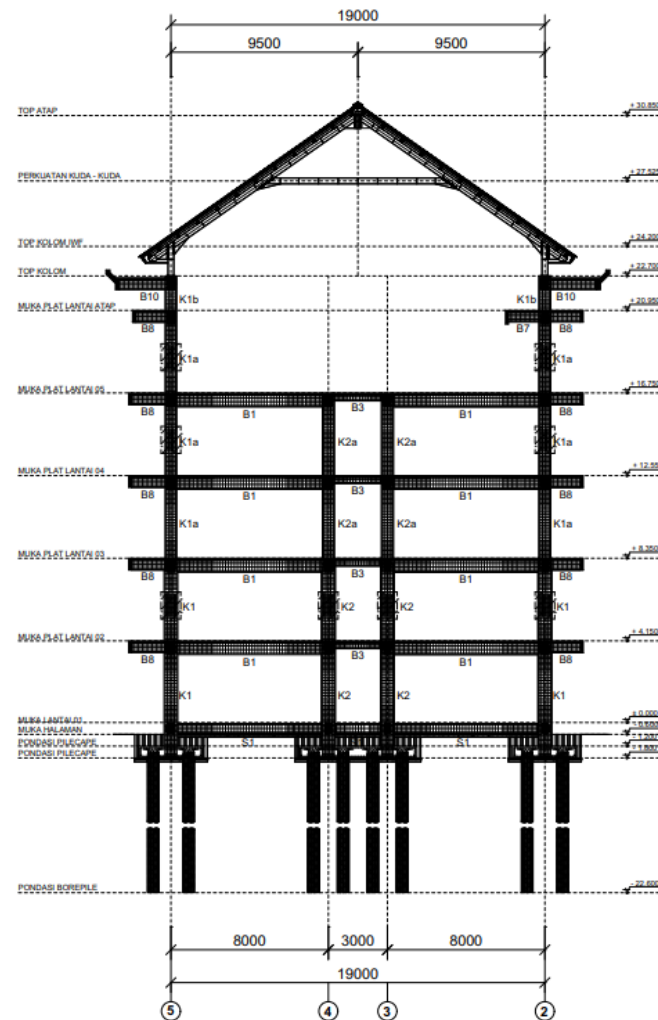
SKALA

POTONGAN PORTAL AS 3 (A - J)

1:200

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
78b	STR - 2020	80



POTONGAN PORTAL AS D (1 - 5)
SKALA 1:150

GAMBAR KERJA

INSTANSI



**BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR**

PEKERJAAN

PERENCANAAN PEMBANGUNAN
GEDUNG BADAN KEPEGAWAIAN DAERAH
PROVINSI JAWA TIMUR

LOKASI

JL. JEMUR ANDAYANI 1, SURABAYA

MENGETAHUI

KUASA PENGGUNA ANGGARAN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT
KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

Ir. AGUS HERU WIDODO, M.M.
Peminda Tk. I
NIP. 19630822 196809 1 001

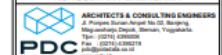
MENGETAHUI

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN
BIDANG TATABANGUNAN DAN JASA
KONSTRUKSI
DINAS PERUMAHAN RAKYAT
KAWASAN PERUMUKAN DAN CIPTA KARYA
PROVINSI JAWA TIMUR

DIAH KUSUMANINGRUM, S.T., M.T.
Peminda Tk. I
NIP. 19740520 200501 2 007

CATATAN

KONSULTAN PERENCANA



ARCHITECTS & CONSULTING ENGINEERS
A. Purnama, S.T., M.T., S.P.
A. Purnama, S.T., M.T., S.P.
Telp. (031) 450000
Fax. (031) 450000
www.pdc.co.id

ASTRI WULANDARI
DIREKTUR BISNIS DAN DEVELOPMENT

TEAM LEADER Ir. Rendiarto Budi Santosa, M. Adu
AHU DESAIN INTERIOR Dico Supriyanto, S.T.
AHU LANSKAP Budi Santosa, S.T.
AHU STRUKTUR Dico Supriyanto, S.T.
AHU ELEKTRIK Widyawan, S.T.
AHU MEKANIKAL Zulainah, S.T.

JUDUL GAMBAR **SKALA**
POTONGAN PORTAL AS D (1 - 5) 1:150

DITERBITKAN:

NO	KODE	JML LMBR
78c	STR - 2020	80