

## KAJIAN STUDI ALTERNATIF DESAIN BANGUNAN TERHADAP BEBAN LATERAL PADA BANGUNAN TINGGI

Efa Suriani<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya,  
Jl. Ahmad Yani No.117 Kota Surabaya, 60237

\*efasuriani@uinsby.ac.id

Diterima: 02-12-2021

Direview : 18-04-2022

Direvisi : 02-07-2022

Disetujui: 11-07-2022

**ABSTRAK.** Kondisi tektonik Indonesia terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan kecil, sehingga memberi dampak bahwa wilayah tersebut berpotensi akan sering terjadi gempa. Kota Surabaya dikategorikan sebagai ibukota yang cukup padat, sehingga potensi terjadinya bahaya gempa bumi yang berasal dari sesar Kendeng terbukti aktif serta melakukan pergerakan 5 milimeter per tahun. Menyadari fenomena tersebut merupakan hal yang mutlak sebagai bahan pertimbangan dalam mendisain dan membangun bangunan di wilayah seluruh Indonesia. Sebagai usaha memperkuat pembelajaran terutama pengenalan desain seismik pada mahasiswa Arsitektur, sehingga perlu diteliti prinsip (faktor) yang mempengaruhi desain seismik dengan studi kasus adalah gedung perpustakaan kampus I UINSA, sebagai kajian studi alternatif desain bangunan terhadap ketahanan gedung akibat beban lateral. Metode penelitian adalah deskriptif kuantitatif selanjutnya dianalisis menggunakan *software Resist 4.0*. Prinsip atau faktor desain seismik yang mempengaruhi pada bangunan bertingkat yaitu, informasi detail konstruksi gedung, rencana lantai (bentuk denah), data seismik (peta wilayah gempa), beban angin, jenis perkuatan struktur dan material yang digunakan baik pada arah X maupun Y, dan informasi terkait konstruksi pondasi. Alternatif pilihan desain seismik terdapat 132 pilihan kombinasi yang dapat digunakan terhadap 12 pilihan jenis perkuatan untuk lateral struktur pada arah X dan Y yang tidak sama masing-masing pada kedua arah tersebut. Pilihan tersebut dapat digunakan pada bangunan studi kasus. Hasil analisis sebagai struktur awal (pembelajaran) yang dapat digunakan oleh mahasiswa Arsitektur maupun Teknik sipil dan hasilnya tidak diperkenankan sebagai hasil desain akhir pada bangunan dilapangan.

**Kata kunci:** beban lateral, gedung bertingkat, desain seismik, tahap awal

**ABSTRACT.** Indonesia's tectonic conditions are located at the confluence of the world's large and small plates, thus giving the impact that the region has the potential for frequent earthquakes. Surabaya is categorized as a relatively dense capital city, so the potential for earthquake hazards from the Kendeng fault is proven active and moves 5 millimeters per year. Realizing this phenomenon is an absolute thing as a material consideration in designing and constructing buildings throughout Indonesia. To strengthen learning, especially the introduction of seismic design to Architecture students, it is necessary to examine the principles (factors) that influence seismic design with a case study of the I UINSA campus library building as an alternative study of building design against building resistance due to lateral loads. The research method is descriptive and quantitative, then analyzed using *Resist 4.0* software. Seismic design principles or factors that affect high-rise buildings are detailed information on building construction, floor plans (plan form), seismic data (earthquake area maps), wind loads, types of structural reinforcement, and materials used in both the X and Y directions and information related to foundation construction. Alternative seismic design options 132 combination options can be used against 12 choices of reinforcement types for lateral structures in the X and Y directions, which are not the same in both directions. These options can be used in case study buildings. The results of the analysis as an initial structure (learning) that can be used by students of Architecture and Civil Engineering, and the results are not allowed as the result of the final design of the building in the field.

**Keywords:** lateral load, high rise building, design seismic, preliminary

### PENDAHULUAN

Indonesia menurut Bird, 2003 dalam (Pustlitbang PUPR 2017) terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan kecil, sehingga memberi dampak bahwa wilayah

tersebut berpotensi akan sering terjadi gempa. Lempeng utama yang berjumlah empat yang dimaksud yaitu, Lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Berdasarkan data BMKG dalam (Badan Meteorologi Klimatologi dan

Geofisika 2018) sejak bulan Januari hingga Desember pada tahun 2017, tercatat bahwa gempa bumi telah terjadi sebanyak kurang lebih 20 kali di wilayah Indonesia dengan magnitudo terkecil 3,7 SR dan terbesar 6,9 SR. Sedangkan, kejadian gempa bumi di daerah Jawa Timur berdasarkan (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika 2019) pada tanggal 11 Oktober 2018 pukul 01:44:57 WIB dengan magnitudo 6,1 SR, pusat gempa berada di Laut 61 km Timur Laut Situbondo, Jawa Timur.

Surabaya merupakan ibukota propinsi Jawa Timur, menurut (Harnindra, Sunardi, and Santosa 2017), mengacu pada data Badan Pusat Statistik bahwa Kota Surabaya dikategorikan sebagai ibukota yang cukup padat, sehingga potensi bahaya terjadinya gempa bumi yang berasal dari sesar Kendeng terbukti aktif serta melakukan pergerakan 5 milimeter per tahun.

Menyadari bahwa potensi bahaya terjadinya gempa bumi (disebut beban lateral) tersebut di wilayah Indonesia merupakan hal yang mutlak sebagai bahan pertimbangan dalam mendisain dan membangun bangunan di wilayah seluruh Indonesia (disebut desain seismik).

Perencanaan desain bangunan gedung atau rumah dimasyarakat tentunya pertama kali akan ada campur tangan dari seorang Arsitek. Namun, pada pembelajaran atau kurikulum pada sekolah arsitek yang ada khususnya di Indonesia belum diajarkan atau belum memenuhi minimum persyaratan keseluruhan materi terkait desain seismik. Hal ini diperkuat menurut (Morales-Beltran, Charleson, and Aydin 2020), pengenalan terhadap prinsip-prinsip desain seismik terutama di area rawan gempa merupakan suatu kewajiban pembelajaran di sekolah-sekolah arsitektur, akan tetapi menjadi sebuah dilema oleh para siswa karena dampaknya seperti pemberi batas akan kebebasan pada desain studio mereka.

Menurut (MacNamara 2012), pengetahuan tentang struktur merupakan bagain yang penting namun sering diabaikan dari sekolah arsitektur, hal ini diakui oleh siswa mengingat para lulusan nantinya akan terjun di dunia konstruksi dan permasalahan desain semakin kompleks. Selain itu, menurut (Theodoropoulos 2006), belum ada informasi yang terintegrasi terkait desain pengetahuan seismik untuk arsitektur atau mahasiswa. Seorang arsitek mengambil peran penting dalam desain seismik termasuk bertanggung

jawab untuk mengkomunikasikan strategi tahan gempa kepada pemilik bangunan maupun tokoh masyarakat. Hal ini menjadi penting bagi pendidik atau praktisi memahami bagaimana desain seismik saat ini diajarkan di sekolah arsitektur untuk memperoleh pengajaran terbaik.

Menurut (Charleson 2018), berdasarkan penelitiannya pada umumnya materi terkait dengan desain seismik sangat minim di pembelajaran sekolah arsitektur, sehingga perlunya perbaikan kurikulum dengan menambahkan beberapa materi minimum terkait desain seismik. Solusi yang ditawarkan sebagai berikut ini. Pertama, menyadari peran penting studio desain perancangan dengan menerapkan dua model, yaitu pada kelas studio perancangan diajarkan prinsip-prinsip desain seismik dikombinasikan model sesi konsultasi (diskusi) dengan insinyur profesional selanjutnya diperkenalkan dengan perangkat lunak. Kedua, menambah materi terkait desain seismik dan meningkatkan kompetensi pengajar dengan menempatkan pengajar yang relevan. Ketiga, pengembangan pada perangkat lunak desain seismik yaitu, salah satunya menggunakan perangkat lunak RESIST 4,0.

Oleh sebab itu, sebagai usaha mendukung perbaikan pengembangan kurikulum dan memperkuat pembelajaran terutama pengenalan desain seismik pada mata kuliah desain struktur bangunan pada Program Studi Arsitektur UIN Sunan Ampel Surabaya (UINSA), sehingga perlu diteliti prinsip atau faktor yang mempengaruhi desain seismik pada bangunan bertingkat dan alternatif jenis kekuatan lateral yang dapat digunakan menggunakan perangkat lunak RESIST 4,0 dengan studi kasus bangunan tinggi di kampus I, UINSA sebagai kajian studi alternatif desain bangunan terhadap ketahanan gedung akibat beban lateral pada bangunan tinggi.

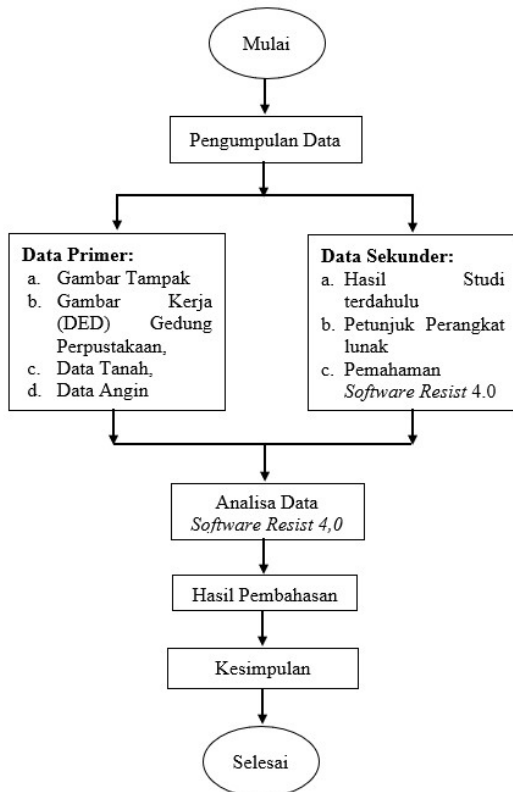
Batasan masalah pada penelitian ini bahwa gedung yang dipilih sebagai studi kasus mendekati atau sesuai dengan ketentuan perangkat lunak dan kelengkapan data yang diperlukan. Perangkat lunak yang digunakan adalah *software RESIST* versi 4,0. Beberapa input awal pada perangkat lunak merupakan adaptasi dari kesesuaian dari kode atau aturan yang berlaku sebagai pendekatan dengan pertimbangan untuk kemudahan dalam menganalisis.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Metode kuantitatif dilakukan dalam rangka pengambilan data dan analisis. Teknik pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer berupa gambar kerja dengan studi kasus bangunan gedung bertingkat di kampus I, UINSA Surabaya. Hasil dari pengumpulan gambar kerja dan pertimbangan kelengkapan data diambil Gedung Perpustakaan baru UINSA.

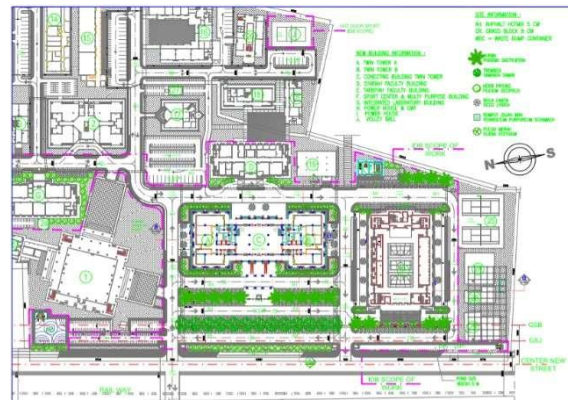
Bahan penelitian yaitu, kondisi fisik dan kondisi non fisik dari bangunan yang diambil sebagai studi kasus. Kondisi non fisik berupa data seismik (peta wilayah gempa), beban angin (data angin), dan data tanah sesuai lokasi bangunan. Data sekunder diambil dari literatur hasil studi terdahulu, petunjuk perangkat lunak, dan pemahaman *software* RESIST 4,0 dengan mengikuti webinar maupun workshop termasuk diskusi lewat email.

Pengolahan data, analisis dan penarikan kesimpulan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak RESIST 4,0. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1, dibawah ini.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian.  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Bangunan gedung eksisting di kampus I, UINSA atau bangunan lama tidak dipilih sebagai objek dalam penelitian ini. Hal ini dikarenakan perlu adanya kegiatan penggambaran ulang untuk gedung-gedung tersebut. Sehingga, diperkirakan akan memakan waktu yang cukup lama dan tenaga yang dikeluarkan (pengukuran dan penggambaran ulang denah atau gambar kerja). Berikut gambar gedung pada *site plan* pembangunan kampus I, UINSA pada gambar 2, berikut ini.



Gambar 2. Site plan pembangunan kampus I, UIN Sunan Ampel Surabaya.  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Berdasarkan kriteria yang memenuhi persyaratan maka, bangunan yang dipilih sebagai studi kasus dalam penelitian ini adalah bangunan gedung perpustakaan UINSA yang memiliki tingkat 7 lantai.

Pertimbangan pemilihan gedung perpustakaan UINSA sebagai berikut:

- Kelengkapan data dibuktikan dengan telah memperoleh gambar kerja lengkap untuk gedung perpustakaan UINSA,
- Jumlah tingkat sesuai dengan ketentuan pada perangkat lunak RESIST 4,0 dimana bangunan yang dapat dianalisis terbatas pada tingkat 8 lantai.
- Bentuk denah dan model grid struktur dari gedung perpustakaan UINSA berbentuk simetris atau beraturan sehingga, untuk pembelajaran awal dapat dengan mudah dibuat pada pemodelan gedung pada perangkat lunak RESIST 4,0 termasuk kemudahan dalam menganalisis.

Berikut beberapa gambar gedung perpustakaan baru UIN Sunan Ampel Surabaya. Gambar 3, merupakan gambar

kerja tampak barat gedung perpustakaan UINSA dan gambar 4, gedung perpustakaan baru eksisting.



Gambar 3. Tampak barat gedung perpustakaan. (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 4. Gedung perpustakaan eksisting. (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Seismik

Perencanaan dalam desain seismik untuk bangunan bertingkat telah disahkan oleh Badan Standarisasi Nasional yaitu, mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan serta SNI 1726:2019 tentang Tata cara Perencanaan

Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Pemilihan sistem struktur atau sistem pemikul gaya geser dapat dilihat pada tabel 2 (dua) dalam peraturan (SNI 1726 2019), berikut ini:

Tabel 1. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\gamma_b^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_s$ (m) <sup>d</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>	
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>									
1. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>h</sup>	5	2%	5	TB	TB	48	48	30	
2. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	4	2%	4	TB	TB	11	11	11	
3. Dinding geser beton polos detail <sup>i</sup>	2	2%	2	TB	TI	11	11	11	
4. Dinding geser beton polos biasa <sup>j</sup>	1%	2%	1%	TB	TI	11	11	11	
5. Dinding geser pracetak menengah <sup>k</sup>	4	2%	4	TB	TB	12'	12'	12'	
6. Dinding geser pracetak biasa <sup>l</sup>	3	2%	3	TB	TI	11	11	11	
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2%	3%	TB	TB	48	48	30	
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3%	2%	2%	TB	TB	11	11	11	
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2%	1%	TB	48	11	11	11	
10. Dinding geser batu bata polos detail	2	2%	1%	TB	11	11	11	11	
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	11	11	11	11	
12. Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	11	11	11	11	
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2%	2	TB	10	11	11	11	
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1%	2%	1%	TB	11	11	11	11	
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6%	3	4	TB	TB	20	20	20	
16. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6%	3	4	TB	TB	20	20	20	
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2%	2	TB	TB	10	11	11	
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3%	TB	TB	20	20	20	
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30	
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3%	2	3%	TB	TB	10'	10'	11'	
4. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>h</sup>	6	2%	5	TB	TB	48	48	30	
5. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	5	2%	4%	TB	TB	11	11	11	
6. Dinding geser beton polos detail <sup>i</sup>	2	2%	2	TB	11	11	11	11	
7. Dinding geser beton polos biasa <sup>j</sup>	1%	2%	1%	TB	11	11	11	11	
8. Dinding geser pracetak menengah <sup>k</sup>	5	2%	4%	TB	TB	12'	12'	12'	
9. Dinding geser pracetak biasa <sup>l</sup>	4	2%	4	TB	11	11	11	11	
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4%	TB	TB	48	48	30	
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	11	11	11	
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6%	2%	5%	TB	TB	48	48	30	
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2%	5	TB	TB	48	48	30	
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2%	4%	TB	TB	11	11	11	
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	2%	4	TB	TB	48	48	30	
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2%	4	TB	TB	11	11	11	
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2%	2	TB	48	11	11	11	
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\gamma_b^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_s$ (m) <sup>d</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>	
19. Dinding geser batu bata polos detail	2	2%	2	TB	TI	11	11	11	
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	11	11	11	
21. Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	11	11	11	
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22	
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka balok baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	11	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10'	11'	11'	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	11'	11'	11'	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>h</sup>	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	11	11	11	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	11	11	11	11	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	11	11	11	
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	11	11	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	11	11	11	11	
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembauran <sup>g</sup>	3%	3 <sup>g</sup>	3%	10	10	10	10	10	
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkannya</b>									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>h</sup>	7	2%	6%	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	6	2%	5	TB	TB	11	11	11	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB	
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7%	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB	
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2%	5	TB	TB	11	11	11	
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	3	5	TB	TB	TB	TB	TB	
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3%	TB	TB	11	11	11	
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB	
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2%	6%	TB	TB	TB	TB	TB	



Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_b^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_u$ (m) <sup>d</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>	
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>									
1. Rangka baja dengan bresing konsentrasi khusus <sup>g</sup>	6	2%	5	TB	TB	10	TI	TI	
2. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>h</sup>	6%	2%	5	TB	TB	48	30	30	
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2%	TB	48	TI	TI	TI	
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3%	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentrasi khusus	5%	2%	4%	TB	TB	48	30	TI	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3%	2%	3	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
8. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>i</sup>	5%	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
<b>F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa<sup>j</sup></b>									
	4%	2%	4	TB	TI	TI	TI	TI	
<b>G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk:</b>									
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2%	1%	2%	10	10	10	10	10	
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1%	1%	1%	10	10	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>l</sup>	2%	1%	2%	10	10	10	10	10	
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1%	1%	1%	10	10	TI	TI	TI	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1%	1	10	TI	TI	TI	TI	
6. Rangka kayu	1%	1%	1%	10	10	10	10	10	
<b>H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever</b>									
	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	

Sumber: (SNI 1726 2019)

Standar tersebut memuat persyaratan minimum yang harus dipenuhi terkait beban, tingkat bahaya, kriteria dan sasaran kinerja.

SNI mempersyaratkan hitungan pembebanan struktur bangunan dikombinasikan dengan kekuatan guncangan gempa sehingga diharapkan bangunan mampu menahan dan beradaptasi dengan guncangan tersebut.

Faktor lain yang mempengaruhi adalah material yang digunakan. Penggunaan material baja dan semen harus sesuai kaidah standar (SNI) yang berlaku.

Perhitungan beban dilakukan berdasarkan berbasis kategori risiko struktur bangunan terhadap pengaruh gempa menjadi 4 (empat) kategori. Misal, kategori risiko I merupakan gedung dan non gedung memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat *failure* atau kerusakan. Sedangkan, kategori risiko IV adalah gedung dan nongedung yang merupakan kategori yang penting, contohnya gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, rumah ibadah, rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya. Penjelasan lebih detail dapat dilihat pada tabel 3 dalam (SNI 1726 2019).

Menurut (Hartuti 2009), prinsip-prinsip utama dalam konstruksi rumah tahan terhadap gempa antara lain:

- Denah yang sederhana dan simetris,
- Bahan bangunan harus seringan mungkin, dan
- Perlunya sistem konstruksi penahan beban yang memadai.

Berdasarkan (Sila and Raidyarto 2019), sebagian besar bangunan gedung di Indonesia merupakan jenis struktur atau sistem struktur rangka beton bertulang (SRBB). Selain itu, gedung dengan kategori bangunan bertingkat banyak rentan terhadap beban gempa atau beban lateral.

Menurut (Hariyanto 2011), secara umum perencanaan analisis gempa atau desain seismik yang digunakan di Indonesia terdapat dua analisis. Analisis pertama menggunakan analisis gempa statistik dan analisis gempa dinamis. Pada bangunan yang sangat tinggi, bentuk bangunan asimetris dan berlantai banyak akan memerlukan ketelitian yang relatif tinggi. Sehingga, digunakan perencanaan desain seismik yang dinamis. Analisis dinamik terdiri dari analisis ragam respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat waktu. Perhitungan analisis desain seismik biasanya dikerjakan oleh *structural engineer* atau Teknik Sipil.

### Perangkat Lunak RESIST 4,0.

Peneliti mengenal perangkat lunak yang diberi nama oleh pengembang dan pembuatnya Prof. Andrew Charleson yaitu, *software RESIST 4,0* pada kegiatan workshop untuk tenaga pengajar khusus struktur pada program studi Arsitektur yang diselenggarakan oleh salah satu program studi arsitektur di kota Malang. Kegiatan tersebut mengusung tema yaitu, "*Workshop teaching structures to architecture students (including the introduction of earthquake-resistant design)*".

Perangkat ini dibuat untuk membantu beliau dalam kegiatan asistensi tugas pada kegiatan pembelajaran perkuliahan mahasiswa terhadap desain seismik pada program studi Arsitektur yang diampunya.

Menurut (Charleson 2018), hasil survei dengan menggunakan *software RESIST 4,0* sebagai perencanaan awal bukan akhir perencanaan menunjukkan kontribusi yang baik dalam memahami prinsip-prinsip seismik terhadap peserta didik. Konten minimum yang diajarkan juga telah teridentifikasi terkait desain seismik yang harus diajarkan pada sekolah arsitektural. Permasalahan yang rumit tentunya akan dibawa pada tingkat lanjut secara detail pada para ahli insinyur professional.

Berdasarkan (Zealand et al. 2014), petunjuk tahap demi tahap dalam penggunaan *software RESIST 4,0*. Perangkat lunak ini memungkinkan desain struktural pada tahapan awal bangunan akibat beban gempa bumi dan beban angin.



Gambar 5. Kegiatan workshop perangkat lunak RESIST 4,0.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

Resist akan mengkalkulasi kecukupan dimensi struktural dari sistem penahan beban lateral sesuai dengan standar peraturan Selandia Baru. Selain itu, software ini dibuat untuk pengaturan pendidikan dan panduan didalamnya adalah untuk ukuran struktural awal yang dapat digunakan oleh mahasiswa arsitektur maupun Teknik sipil dan hasilnya tidak diperkenankan sebagai hasil desain akhir pada bangunan dilapangan.

Oleh sebab itu, RESIST 4,0 merupakan aplikasi yang dapat digunakan sebagai evaluasi yang disederhanakan dari kinerja struktural sistem penahan beban lateral di sebuah gedung. Resist merupakan sebagian bagian kecil dari keseluruhan tahapan proses desain:

- a. **Desain awal.** RESIST dapat digunakan sebagai cara untuk menentukan pilihan ukuran dan pengujian awal, dan menyediakan titik diskusi antara arsitek dan insinyur.
- b. **Desain Konseptual.** Setelah desain konseptual telah dirumuskan, insinyur struktural akan melakukan pendahuluan desain lain. Semua asumsi dan ukuran awal dievaluasi kembali untuk akurasi dan kesesuaian. Hasil dari RESIST tidak dapat digunakan sebagai pengganti untuk desain awal lengkap oleh insinyur struktural.

### Hubungan antara Desain Seismik dengan Desain Studio.

Menurut (Guthrie 2015), integrasi struktur ke dalam studio arsitektur merupakan upaya yang signifikan dituangkan dalam persiapan, pengembangan tujuan, konten pembelajaran, konsultasi dan koordinasi yang ditinjau oleh komite kurikulum sekolah arsitektur dan fakultas. Pengalaman yang dialami setiap

siswa didalam mengintegrasikan sebuah bangunan sistem struktur ke dalam proyek studionya sangat bermanfaat bagi karir di masa depan.

Menurut (Becker 2013), mengajarkan pengetahuan struktur merupakan tindakan yang cukup *juggling* (memeras otak) karena antara teknis dan kreatifitas. Tidak cukup hanya mengajarkan statika dan kekuatan bahan. Seorang arsitek adalah pencipta ruang oleh sebab itu, diperlukan pemahaman kekuatan dan kelemahan dari sistem struktur yang dimiliki pada sebuah desain bangunan.

### Lingkup dan keterbatasan RESIST 4,0.

Resist dapat digunakan dalam menganalisis bangunan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tinggi bangunan hingga delapan lantai. Hasil analisis menjadi tidak akurat jika bangunan memiliki ketinggian lebih dari total ketinggian 40 m.
2. Dimensi dan bentuk bangunan baik beraturan maupun tidak beraturan dapat digunakan asalkan bentuknya dapat diperkirakan dengan serangkaian garis lurus.
3. Material bangunan yang dapat digunakan yaitu, bangunan beton bertulang, pasangan bata, konstruksi baja dan kayu.

Keterbatasan Resist dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hanya satu jenis sistem struktur dan material yang dapat dipilih sebagai perkuatan akibat beban lateral pada arah X, dan sistem yang berbeda dapat digunakan untuk arah Y. Pemilihan ini biasanya dilapangan memang berbeda penerapannya pada kedua arah dikarenakan untuk memaksimalkan kinerja. Namun, tidak menutup kemungkinan diperbolehkan menggunakan sistem struktur yang sama pada kedua arah.
2. Untuk penyederhanaan analisis, diasumsikan semua ketinggian antar tingkat adalah sama termasuk berat lantai.
3. Dimensi sistem struktur tetap konstan hingga ketinggian bangunan.
4. Resist mengasumsikan atap berbentuk kotak.
5. Resist hanya mendisain untuk elemen struktur arah X dan Y.
6. Resist mendisain untuk elemen penahan beban lateral saja. Tidak

merancang untuk struktur akibat beban gravitasi.

### Input Data

Pengambilan data primer, selain pengumpulan data perencanaan berupa gambar kerja juga melakukan survei dengan mengambil gambar bangunan eksisting di lapangan. Data tersebut digunakan sebagai kelengkapan data yang nantinya akan digunakan sebagai input data pada software RESIST 4.0. Berikut hasil pengambilan gambar gedung perpustakaan UINSA dibawah ini.

- a. Pengambilan gambar tampak luar gedung perpustakaan UINSA. Tujuannya adalah sebagai penentuan perkiraan berat bagian eksterior yang digunakan pada gedung perpustakaan. Informasi gambar tampak juga sebagai acuan penempatan letak perkuatan sistem struktur lateral pada denah bangunan gedung. Sehingga, diharapkan tidak terjadi kekliruan antara tampak bangunan eksisting yang ada dengan penempatan perkuatan lateral dan material yang digunakan (gambar 6 dan 7).
- b. Pendataan gambar kerja atau DED (*detail engineering design*) gedung perpustakaan UINSA. Pengambilan gambar kerja bertujuan untuk mengetahui jarak antar bentang, perkiraan berat material pada konstruksi atap, sistem struktur, perletakan balok dan kolom maupun informasi terkait pondasi yang digunakan.
- c. Data tanah kampus I, UIN Sunan Ampel Surabaya. Data yang diperoleh menurut (Martha, Hakim, and Setyowati 2018), berdasarkan hasil uji laboratorium pada sampel yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, maka jenis tanah pada lokasi gedung kampus I, UINSA merupakan jenis tanah pasir berlempung berlanau, abu-abu terang yang tersusun atas 23,80% kerikil; 44,30% pasir; 12,10%; dan 19,8% lempung. Sedangkan, berdasarkan hasil sondir kedalaman tanah keras berada di kedalaman 26 meter.
- d. Data gempa. Pengambilan data gempa yang diperlukan disesuaikan dengan lokasi gedung perpustakaan. Data ini dapat diambil pada peta gempa Indonesia terbaru dengan memasukkan posisi lokasi gedung

perpustakaan UINSA atau wilayah kota Surabaya pada laman [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).

- e. Data angin. Pengambilan data angin yang diperlukan untuk menentukan beban angin yang ada dilokasi bangunan gedung perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya. Beban angin dapat diperoleh dari data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dengan lokasi daerah kecamatan Wonocolo Surabaya lokasi tersebut juga disesuaikan dengan lokasi gedung perpustakaan UINSA. Beban angin yang dihasilkan relatif kecil sehingga, beban angin dapat diabaikan atau disesuaikan dengan koefisien pada Resist.

### Analisis Data

Tahapan selanjutnya adalah memasukkan informasi data input yang ada pada perangkat lunak RESIST 4.0. Tahapan input data tersebut sebagai berikut:

1. Gedung (*Building*),
2. Rencana Lantai (*Floor Plan*),
3. Informasi beban gempa (*Earthquake*),
4. Informasi beban angin (*Wind*),
5. Perkuatan sistem struktur lateral arah X (*Lateral structure X direction*),
6. Perkuatan sistem struktur lateral arah Y (*Lateral structure Y direction*),
7. Informasi Pondasi (*Advanced*).



Gambar 6. Bukaannya Jendela.  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 7. Perspektif gedung Perpustakaan UINSA.  
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

### Gedung (Building)

Perencanaan gedung perpustakaan UINSA awalnya direncanakan untuk tingkat 9 lantai. Akan tetapi, berdasarkan informasi yang ada dibangun sampai dengan tingkat 7 lantai. Input data ke perangkat lunak diambil dengan ketinggian tingkat 8 lantai dengan pertimbangan disesuaikan dengan RESIST 4,0 bahwa maksimal bangunan yang dapat dianalisis adalah sebanyak 8 lantai. Pertimbangan ini juga dimaksudkan untuk dapat melihat kinerja bangunan yang maksimal. Data input untuk semua informasi yang diperoleh untuk kelengkapan analisis pada input gedung dapat ditabelkan pada tabel 1, berikut ini:

Tabel 2. Input Data Gedung

Data Input	Informasi
Kategori Gedung (Importance category)	Struktur Normal (Normal structures)
Jumlah Tingkat (No. Storeys)	8 (delapan)
Tinggi Bangunan (Story height)	4 Meter
Tinggi Atap (Roof height)	5 Meter (Berdasarkan data pada gambar kerja ketinggian atap bangunan 5,19 Meter sehingga diambil 5 meter).
Berat Lantai (Floor weight)	Kategori berat (Heavy), dengan pertimbangan diambil berat karena menggunakan beton bertulang.
Beban Hidup lantai (Floor live load)	Kantor (Office), dengan pertimbangan gedung perpustakaan mendekati fungsi sebagai kantor.
Berat Dinding Interior (Interior wall weight)	Kategori sedang (Medium), dengan pertimbangan diambil

karena tidak keseluruhan dinding menggunakan pasangan batu bata diperkirakan 25% dari bangunan. Kategori ringan (light), dengan pertimbangan diambil ringan karena dinding eksterior dari kaca. Kategori berat (Heavy), dengan pertimbangan diambil berat karena menggunakan konstruksi baja dan beton bertulang.

Berat dinding eksterior  
(Exterior wall weight)

Berat Atap  
(Roof weight)

Sumber: Analisis Peneliti, 2021

### Rencana Lantai (Floor Plan)

Rencana lantai adalah rencana berapa panjang dan lebar gedung yang akan dibangun. Berdasarkan gambar denah gedung perpustakaan maka, ukuran bangunan yang akan direncanakan 32x22 meter dengan bentuk denah disesuaikan.

### Informasi Beban Gempa (Earthquake)

Lokasi gedung perpustakaan UINSA tepatnya yang beralamatkan di Jl. Ahmad Yani No.117, Jemur Wonosari, Kec. Wonocolo, Kota SBY, Jawa Timur, 60237. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam laman spektra diperoleh informasi diambil untuk koefisien *hazar factor* adalah 0,3 dan kategori tanah termasuk tanah sedang (*medium soil*).

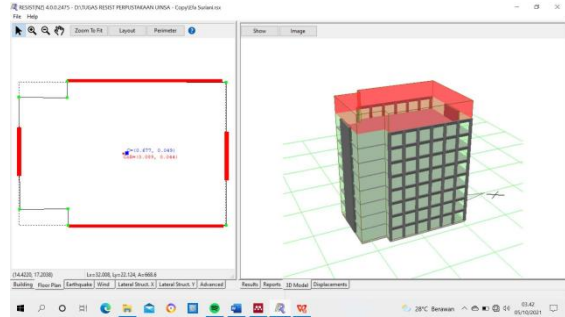


Gambar 8. Detail Dinding interior Gedung Perpustakaan.  
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)





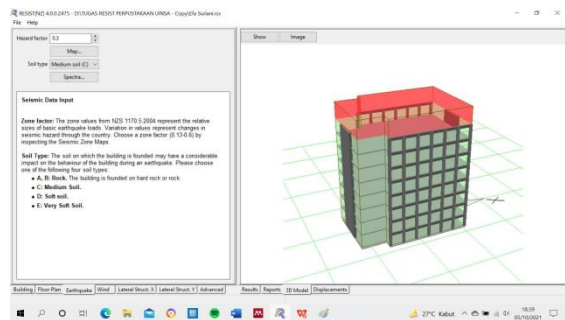
Gambar 9. Detail Dinding Eksterior Gedung Perpustakaan.  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



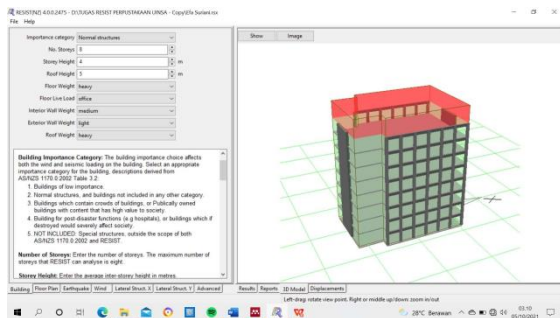
Gambar 11. Input rencana lantai (Floor Plan).  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

### Informasi beban Angin (Wind)

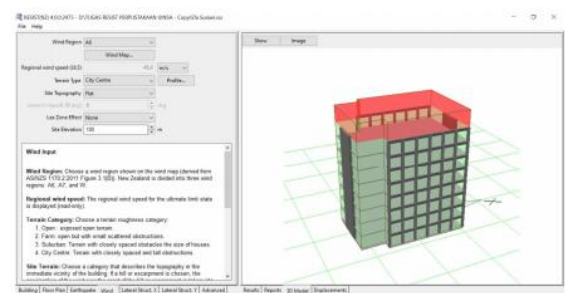
Data angin mengikuti aturan yang ada di perangkat lunak atau berdasarkan peta angin di Selandia Baru. Hal ini, berdasarkan data BMKG untuk lokasi gedung perpustakaan UINSA hasilnya relatif kecil sehingga disesuaikan diambil yang paling kecil pada peta angin default software RESIST 4,0.



Gambar 12. Input beban gempa (Earthquake).  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 10. Input Data Gedung.  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 13. Input beban angin (Wind).  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

### Perkuatan Struktur arah X dan Y (Lateral structure X and Y direction)

Macam perkuatan untuk struktur beban lateral atau gempa untuk arah X dan arah Y, dapat dipilih dan direncanakan sesuai pilihan pada perangkat lunak RESIST 4,0. Pilihan tersebut dapat dilihat pada tabel 2. Kombinasi untuk pilihan perkuatan pada arah X atau pada arah Y, dari ke-12 macam pilihan yang dapat digunakan pada RESIST 4,0. Pada arah X disarankan sistem perkuatan struktur yang berbeda pada arah Y (hasil diskusi dengan owner software RESIST 4,0). Oleh sebab itu, alternatif pilihan kombinasi dari perkuatan lateral dapat disimbolkan sesuai pada tabel 3.

Tabel 3. Pilihan Perkuatan Struktur Lateral

Sistem Struktur Lateral arah X atau Y	Material
Struktur Dinding (Use structural walls)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Beton bertulang (Reinforced concrete),</li> <li>Pasangan bata beton bertulang/Reinforced concrete masonry (2004),</li> <li>Kayu (Plywood/timber)</li> </ol>
Rangka Momen (Use moment frames)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Beton bertulang (Reinforced concrete),</li> <li>Baja (Steel),</li> <li>Kayu (Timber).</li> </ol>
Rangka Brasing (Use braced frames)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Steel, Steel Braced Type:                     <ol style="list-style-type: none"> <li>Concentric bracing,</li> </ol> </li> </ol>

- b. Concentric tension only bracing,
  - c. Eccentric bracing,
  - d. Inverted V bracing
2. Timber  
 Timber Braced Type:
- a. Concentric bracing,
  - b. Concentric Tension Only Bracing

Sumber: Analisis Peneliti, 2021

Tabel 4. Pemisalan Perkuatan Struktur Lateral

No.	Sistem Struktur Lateral arah X atau Y	Pemisalan
1.	Use structural walls Material: Reinforced concrete	A
2.	Use structural walls Material: Reinforced concrete	B
3.	Use structural walls Material: Plywood/timber	C
4.	Use moment frames Material: Reinforced concrete	D
5.	Use moment frames Material: Steel	E
6.	Use moment frames Material: Timber	F
7.	Use braced frames Material: Steel Braced type: Concentric bracing	G
8.	Use braced frames Material: Steel Braced type: Concentric tension only bracing	H
9.	Use braced frames Material: Steel Braced Type: Eccentric Bracing	I
10.	Use braced frames Material: Steel Braced Type: Inverted V bracing	J
11.	Use braced frames Material: Timber Braced Type: Concentric Bracing	K
12.	Use braced frames Material: Timber Braced Type: Concentric tension only bracing	L

Sumber: Analisis Peneliti, 2021

Hasil dari pemisalan perkuatan lateral dapat dihitung menggunakan rumus permutasi. Sehingga, terdapat 132 kemungkinan yang dapat menjadi pilihan untuk perkuatan lateral arah X dan pada arah Y. Berikut macam kombinasi perkuatan struktur lateral pada tabel berikut.

Tabel 5. Macam kombinasi perkuatan lateral

No.	Lateral Struc. X	Lateral Struc. Y	No.	Lateral Struc. X	Lateral Struc. Y
1	A	A	73	A	G
2	B	A	74	B	G
3	C	A	75	C	G
4	D	A	76	D	G
5	E	A	77	E	G
6	F	A	78	F	G
7	G	A	79	G	G
8	H	A	80	H	G
9	I	A	81	I	G
10	J	A	82	J	G
11	K	A	83	K	G
12	L	A	84	L	G
13	A	B	85	A	H
14	B	B	86	B	H
15	C	B	87	C	H
16	D	B	88	D	H
17	E	B	89	E	H
18	F	B	90	F	H
19	G	B	91	G	H
20	H	B	92	H	H
21	I	B	93	I	H
22	J	B	94	J	H
23	K	B	95	K	H
24	L	B	96	L	H
25	A	C	97	A	I
26	B	C	98	B	I
27	C	C	99	C	I
28	D	C	100	D	I
29	E	C	101	E	I
30	F	C	102	F	I
31	G	C	103	G	I
32	H	C	104	H	I
33	I	C	105	I	I
34	J	C	106	J	I
35	K	C	107	K	I
36	L	C	108	L	I
37	A	D	109	A	J
38	B	D	110	B	J
39	C	D	111	C	J
40	D	D	112	D	J
41	E	D	113	E	J
42	F	D	114	F	J
43	G	D	115	G	J
44	H	D	116	H	J
45	I	D	117	I	J
46	J	D	118	J	J
47	K	D	119	K	J
48	L	D	120	L	J
49	A	E	121	A	K
50	B	E	122	B	K
51	C	E	123	C	K
52	D	E	124	D	K

53	E	E	125	E	K
54	F	E	126	F	K
55	G	E	127	G	K
56	H	E	128	H	K
57	I	E	129	I	K
58	J	E	130	J	K
59	K	E	131	K	K
60	L	E	132	L	K
61	A	F	133	A	L
62	B	F	134	B	L
63	C	F	135	C	L
64	D	F	136	D	L
65	E	F	137	E	L
66	F	F	138	F	L
67	G	F	139	G	L
68	H	F	140	H	L
69	I	F	141	I	L
70	J	F	142	J	L
71	K	F	143	K	L
72	L	F	144	L	L

Sumber: Analisis Peneliti, 2021

Berdasarkan tabel 4, pemisalan sistem struktur lateral terdapat 144 kemungkinan kombinasi kemudian dikurangi dengan pilihan yang sama pada arah X atau arah Y. Sehingga, jumlah total alternatif perkuatan lateral adalah 144-12 = 132 pilihan.

### Penerapan Perkuatan lateral arah X dan Y

Salah satu contoh pemisalan pada penerapan perkuatan lateral untuk arah X dan Y, pada gedung perpustakaan UINSA dengan pilihan kombinasi kedua pada tabel 5, dapat dijabarkan pada tabel 6 dan gambar sebagai berikut ini. Penempatan perkuatan lateral harus disesuaikan dengan kondisi denah dan posisi bukaan jendela. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kesalahan yang akhirnya dapat mengubah tampak bangunan aslinya.

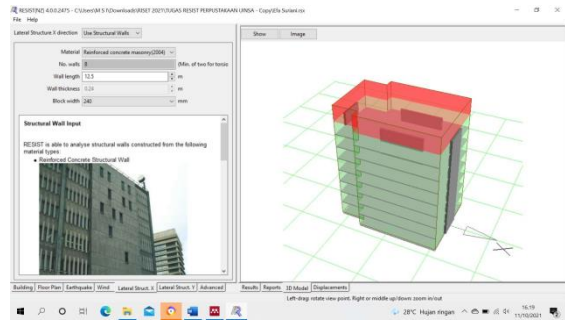
Tabel 6. Macam kombinasi perkuatan lateral

No.	Perkuatan lateral arah X	Perkuatan lateral arah Y
Kombinasi 2	Use structural walls Material: Reinforced concrete masonry (2004)	Use structural walls Material: Reinforced concrete

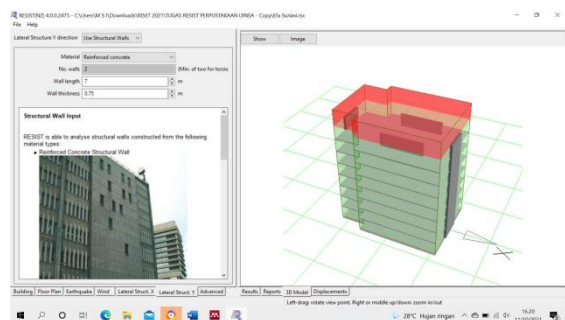
Sumber: Analisis Peneliti, 2021

### Informasi Lanjutan (Advanced information)

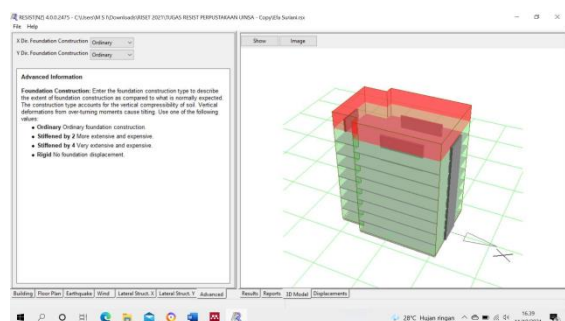
Tahapan ini terkait dengan informasi jenis pondasi yang digunakan pada gedung yang akan dibuat pemodelan. Input data untuk gedung perpustakaan dipilih pada kategori konstruksi pondasi biasa atau Ordinary foundation construction.



Gambar 14. Input lateral struktur arah X. (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 15. Input lateral struktur arah Y. (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)



Gambar 16. Input terkait Pondasi. (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2021)

### PILIHAN ALTERNATIF PERKUATAN

Penjelasan pilihan alternatif perkuatan lateral untuk arah X dan arah Y yang dapat digunakan pada perangkat lunak RESIST 4,0 dapat dijabarkan sebagai berikut.

Penjelasan pada tabel 3 diatas adalah macam pilihan perkuatan yang disediakan pada aplikasi berdasarkan sistem struktur yang digunakan dan jenis material penjabaran dari sistem struktur yang ada. Sistem struktur perkuatan lateral terdapat 3 pilihan yaitu, menggunakan:

1. Struktur dinding (*Use structural walls*),
2. Rangka Momen (*Use moment frames*),
3. Rangka Brasing (*Use braced frames*).

Selanjutnya, dari ketiga pilihan tersebut dijabarkan dapat menggunakan material sebagai berikut.

Jika menggunakan struktur dinding maka material yang dapat digunakan,

1. Struktur dinding (*Use structural walls*) material beton bertulang (*Reinforced concrete*),
2. Struktur dinding (*Use structural walls*) material pasangan bata beton bertulang (*Reinforced concrete masonry*),
3. Struktur dinding (*Use structural walls*) material kayu (*Plywood/timber*).

Jika menggunakan rangka momen (*Use moment frames*), maka material yang dapat digunakan,

1. Rangka momen (*Use moment frames*) material beton bertulang (*Reinforced concrete*),
2. Rangka momen (*Use moment frames*) material baja (*Steel*),
3. Rangka momen (*Use moment frames*) material kayu (*Timber*).

Jika menggunakan rangka bracing (*Use braced frames*), dari baja maka tipe yang dapat digunakan,

1. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *concentric bracing*,
2. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *concentric tension only bracing*,
3. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *Eccentric bracing*,
4. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *inverted V bracing*.

Jika menggunakan rangka bracing (*Use braced frames*), dari kayu maka tipe yang dapat digunakan,

1. Rangka bracing (*Use braced frames*) material kayu tipe *concentric bracing*,
2. Rangka bracing (*Use braced frames*) material kayu tipe *concentric tension only bracing*,

Sehingga, dari masing-masing jenis sistem struktur dan material terdapat 12 pilihan seperti pada tabel 4 dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Struktur dinding (*Use structural walls*) material beton bertulang (*Reinforced concrete*),
2. Struktur dinding (*Use structural walls*) material pasangan bata beton bertulang (*Reinforced concrete masonry*),

3. Struktur dinding (*Use structural walls*) material kayu (*Plywood/timber*).
4. Rangka momen (*Use moment frames*) material beton bertulang (*Reinforced concrete*),
5. Rangka momen (*Use moment frames*) material baja (*Steel*),
6. Rangka momen (*Use moment frames*) material kayu (*Timber*),
7. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *concentric bracing*,
8. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *concentric tension only bracing*,
9. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *Eccentric bracing*,
10. Rangka bracing (*Use braced frames*) material baja tipe *inverted V bracing*,
11. Rangka bracing (*Use braced frames*) material kayu tipe *concentric bracing*,
12. Rangka bracing (*Use braced frames*) material kayu tipe *concentric tension only bracing*,

Berdasarkan diskusi peneliti dengan pengembang RESIST 4,0 pemilihan penggunaan perkuatan struktur untuk arah X dan arah Y. Penerapan dilapangan perkuatan arah X dan Y dilaksanakan berbeda. Meskipun tidak menutup kemungkinan dapat digunakan model yang sama. Akan tetapi, disarankan tetap berbeda.

Hasil dari kompilasi kombinasi tersebut terdapat 132 pilihan yang dapat digunakan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan yang telah dilakukan pada penelitian ini, sesuai dengan tujuan awal penelitian dapat disimpulkan bahwa prinsip-prinsip desain seismik atau faktor yang mempengaruhi pada bangunan tinggi atau bertingkat yaitu, informasi detail konstruksi gedung, rencana lantai (bentuk denah), data seismik (peta wilayah gempa), beban angin, jenis perkuatan struktur dan material yang digunakan baik pada arah X maupun Y, dan informasi terkait konstruksi pondasi.

Analisa terkait alternatif pilihan struktur lateral pada desain seismik pada gedung bertingkat menggunakan perangkat lunak RESIST 4,0 yaitu, terdapat 132 pilihan kombinasi yang dapat digunakan terhadap 12 pilihan jenis perkuatan untuk lateral struktur pada arah X dan Y yang tidak sama masing-masing pada kedua arah tersebut.

Alternatif pilihan perkuatan struktur lateral pada studi kasus gedung perpustakaan



kampus I, UIN Sunan Ampel Surabaya dapat menggunakan 132 pilihan kombinasi yang disediakan pada perangkat lunak RESIST 4,0.

Beberapa saran dan masukan dalam penelitian ini antara lain, perlu kemampuan bahasa yang lebih baik lagi untuk dapat memaksimalkan pemahaman dan komunikasi saat diskusi atau petunjuk penggunaan perangkat maupun manual *software RESIST 4,0*.

Tujuan dari penelitian ini terbatas pada mengetahui alternatif perkuatan yang dapat digunakan pada bangunan tinggi dengan studi kasus bangunan gedung perpustakaan kampus I, UINSA dengan menggunakan *software RESIST 4,0*.

Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk mengetahui rekomendasi jenis perkuatan lateral yang efektif dan efisien dengan melakukan analisis pada 132 pilihan (analisis menggunakan RESIST 4,0) dan disesuaikan dengan kondisi eksisting bangunan sehingga tidak mengubah tampak bangunan (*Façade existing*) termasuk ketersediaan biaya, material dan teknologi yang ada.

Selain itu, berdasarkan hasil diskusi peneliti dengan pengembang RESIST 4,0 bahwa perkuatan ini dimaksudkan untuk menahan akibat beban lateral (beban gempa dan Angin) bukan pembebanan akibat gravitasi (berat sendiri bangunan).

Hasil analisis digunakan sebagai struktural awal (pembelajaran) yang dapat digunakan oleh mahasiswa Arsitektur maupun Teknik sipil dan hasilnya tidak diperkenankan sebagai hasil desain akhir pada bangunan dilapangan.

Beberapa tahapan dalam penelitian ini, peneliti menemukan banyak informasi baru dan membuka wawasan tidak hanya sekitar prinsip desain namun, permasalahan dilapangan cukup kompleks sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam menyelesaikan permasalahan terkait disain seismik pada gedung bertingkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2018. "Katalog Gempa Signifikan Dan Merusak 1874-2017." 252.  
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2019. *Katalog Gempa Signifikan Dan Merusak 1821-2018*.  
Becker, Hollee Hitchcock. 2013. "The

Structures - Design Studio Link The Structures – Design Studio Link."  
Charleson, Andrew. 2018. "Earthquake Engineering Education in Schools of Architecture: Developments during the Last Ten Years Including Rule-of-Thumb Software." *Journal of Architectural Engineering* 24(3):04018020. doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000324.  
Guthrie, James B. 2015. "Structural Engineering Integration into Architecture Studios."  
Hariyanto, Agus. 2011. "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum\_." 89:1–72.  
Harnindra, Vidya Amalia, Bambang Sunardi, and Bagus Jaya Santosa. 2017. "Implikasi Sesar Kendeng Terhadap Bahaya Gempa Dan Pemodelan Percepatan Tanah Di Permukaan Di Wilayah Surabaya." *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 6(2). doi: 10.12962/j23373520.v6i2.27603.  
Hartuti, Evi Rine. 2009. *Buku Pintar Gempa*.  
MacNamara, Sinead. 2012. "Bringing Engineering into the Studio: Design Assignments for Teaching Structures to Architects." *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. doi: 10.18260/1-2--21028.  
Martha, Luluk, Abdul Hakim, and Rr. Diah Nugraheni Setyowati. 2018. "Kajian Air Hujan Melalui Lubang Resapan Biopori (Lrb) Di Uin Sunan Ampel Surabaya." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 4(1):39–45. doi: 10.29080/alard.v4i1.408.  
Morales-Beltran, Mauricio, Andrew Charleson, and Elif E. Aydin. 2020. "Sawtooth Method for Teaching Seismic Design Principles to Architecture Students." *Journal of Architectural Engineering* 26(1):04019031. doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000387.  
Pustlitbang PUPR. 2017. *Buku Peta Gempa 2017*.  
Sila, Ardi Azis, and Adri Raidyarto. 2019. "Analisis Perbandingan Struktur Baja Dan Struktur Beton Akibat Gempa Kuat ( Studi Kasus Gedung Hotel Fame Jayapura )." (November):363–72.  
SNI 1726, Badan Standar Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*.  
Theodoropoulos, Christine. 2006. "2006-1765 : SEISMIC DESIGN EDUCATION IN SCHOOLS OF ARCHITECTURE Christine Theodoropoulos , University of

Oregon.”  
Zealand, New, National Society, Earthquake  
Engineering, New Zealand Standards,  
Although Resist, Resist User Guide, New  
Zealand, New Zealand, New Zealand,  
and T. It. 2014. “RESIST Step-by-Step  
Guide.” (November):1–8.