

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi

Gempa bumi adalah guncangan yang menghantam permukaan bumi yang disebabkan oleh lepasnya suatu energi secara tiba-tiba yang menciptakan adanya gelombang seismik atau getaran yang disebabkan oleh adanya pergerakan pada kerak atau lempeng bumi (Adeswastoto, dkk., 2017). Dampak utama pasca terjadinya bencana gempa bumi adalah kerusakan bangunan serta fasilitas umum karena pergerakan tanah, jatuhnya korban jiwa akibat tertimpa reruntuhan bangunan, bencana susulan seperti longsor, kebakaran, dsb., (Murtiarto, 2016). Lebih lanjut, gempa bumi dapat menyebabkan gelombang tsunami yang tidak hanya menghantam pesisir pantai, tetapi juga dampaknya dapat dirasakan beberapa km menuju daratan. Adapun beberapa kasus bencana gempa bumi yang menyebabkan kerusakan besar di Indonesia, seperti: gempa yang disertai tsunami di Aceh tahun 2004 (9.2 SR), gempa Nias tahun 2005 (8.7 SR), gempa Yogyakarta tahun 2006 (6.3 SR), dan gempa Padang tahun 2009 (7.6 SR) menyebabkan jatuhnya korban jiwa serta menyebabkan kerugian triliunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi akibat keruntuhan dan kerusakan pada ribuan infrastruktur (Halim dan Widodo, 2017).

Menurut Ghifari, dkk., (2018), adapun jenis-jenis gempa yang ditinjau dari penyebabnya adalah sebagai berikut.

1. Gempa vulkanik, merupakan gempa yang disebabkan oleh aktivitas magma di dalam perut bumi. Getaran gempa vulkanik yang terjadi di sekitar kawasan gunung berapi umumnya terjadi sebelum gunung berapi tersebut meletus.
2. Gempa tektonik, merupakan gempa yang disebabkan oleh aktivitas di dalam permukaan bumi, baik pada lempeng bumi maupun di dalam perut bumi.

Menurut Fadillah (2020) dan Puslitbang (2013), adapun jenis kerusakan pada bangunan akibat bencana gempa bumi ditinjau dari intensitas kerusakan, ciri-ciri, dan biaya perbaikannya adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Jenis Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi

Intensitas Kerusakan	Ciri-ciri Kerusakan	Biaya Penanganan
Ringan	<p>Tidak ada kerusakan pada komponen struktural, namun komponen arsitektural mengalami kerusakan, seperti:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Permukaan dinding plesteran mengalami keretakan. 2. Penutup atap berupa genteng lepas. 3. Penutup langit-langit berupa plafon rusak. 4. Instalasi rusak sebagian. 5. Pintu dan jendela rusak sebagian. 	<p>Biaya maksimum penanganan kerusakannya adalah 35% dari harga satuan tertinggi pada pembangunan gedung yang masih berlaku.</p>
Sedang	<p>Kerusakan sebagian pada komponen struktural, arsitektural, mekanikal, dan elektrik, seperti:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Keretakan kecil pada komponen kolom dan balok. 	<p>Biaya maksimum penanganan kerusakannya adalah 45% dari harga satuan tertinggi pada pembangunan gedung yang masih berlaku.</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Instalasi listrik terputus. 3. Instalasi air atau <i>plumbing</i> rusak. 4. Sebagian kecil atap dan pilar runtuh. 5. Kerusakan fisik sekitar 50 – 70 %. 	
Berat	<p>Kerusakan pada sebagian besar komponen non-struktural dan struktural, seperti:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bangunan roboh, sehingga tidak layak huni. 2. Sebagian besar atap mengalami keruntuhan. 3. Struktur kolom dan balok sebagian besar rusak. 4. Instalasi rusak parah. 5. Kerusakan fisik sekitar lebih dari 70 %. 	<p>Biaya maksimum penanganan kerusakannya adalah 65% dari harga satuan tertinggi pada pembangunan gedung yang masih berlaku.</p>

(Sumber: Fadillah (2020) dan Puslitbang (2013))

2.2 Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) di Indonesia

Building information modeling atau BIM merupakan teknologi hasil perkembangan industri konstruksi 4.0 khususnya pada bidang *Architecture, Engineering, and Construction* (AEC) yang memungkinkan sebuah tim dapat memberikan informasi, baik dalam bentuk kolaborasi antara desain maupun penyampaian desain dalam suatu pelaksanaan proyek untuk mengurangi adanya kesalahan atau perubahan

desain (Ultimaswari, dkk., 2021). Penerapan teknologi BIM mulai diimplementasikan di berbagai sektor di Amerika Serikat pada tahun 2003 oleh suatu organisasi pemerintahan bernama *General Service Administration* (GSA) dengan meluncurkan 9 proyek percobaan. Kemudian tiga tahun berselang, GSA kembali menggunakan teknologi BIM berupa alat pemindai laser pada bangunan untuk membuat *as-built drawing* dari bangunan tersebut. Hal tersebut terus berlanjut sampai adanya peningkatan penggunaan teknologi BIM sebesar 75 % di Amerika Serikat.

Sementara itu, di Indonesia beberapa perusahaan penyedia jasa konstruksi, baik perusahaan BUMN maupun perusahaan swasta telah menerapkan teknologi BIM. Tidak hanya penyedia jasa konstruksi, para pengembang dan konsultan perencana telah menerapkan teknologi BIM juga (Mayang dan Khonsaa, 2020). Namun penerapan teknologi BIM di Indonesia masih belum maksimal (Adhi, dkk., 2016). Menurut Utama dan Sekarsari (2018) di dalam hasil studi pustaka dan penelitian BIM, adapun faktor penghambat penerapan teknologi BIM pada suatu proyek konstruksi adalah sebagai berikut.

1. Kemampuan sumber daya manusia (SDM) yang kurang mumpuni, sehingga adanya kesulitan dalam mengoperasikan perangkat keras dan perangkat lunak di proyek.
2. Beberapa perusahaan penyedia jasa konstruksi masih menerapkan sistem pekerjaan yang lama. Penerapan teknologi BIM di Indonesia juga masih digunakan oleh beberapa aktor konstruksi saja tanpa adanya lembaga yang saling menghubungkan.
3. Kurangnya pemahaman teknologi BIM dalam efisiensi pelaksanaan proyek, sehingga popularitas teknologi tersebut masih tergolong rendah.
4. Kurangnya partisipasi manajemen dalam memberikan pelatihan pengoperasian teknologi BIM.
5. Prosedur penggunaan teknologi BIM yang kompleks dan membutuhkan biaya investasi yang tinggi.

Mengingat semakin pesatnya perkembangan industri konstruksi yang menuntut hasil produksi yang efektif dan efisien, maka pada tahun 2021 pemerintah

menerapkan melalui Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2021 tentang peraturan pelaksanaan Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung menegaskan para penyedia jasa konstruksi wajib menggunakan teknologi BIM minimal 5D pada proyek pembangunan gedung bertingkat menengah sampai bertingkat tinggi dan menggunakan BIM 8D pada proyek pembangunan gedung pencakar langit. Walaupun peraturan tersebut baru dikeluarkan pada tahun 2021, ada beberapa proyek nasional yang telah menggunakan teknologi BIM pada pelaksanaan konstruksinya, yaitu sebagai berikut (Fuad dan Suroso, 2022).

Tabel 2. 2 Daftar Proyek Nasional Yang Menggunakan Teknologi BIM

Nama Proyek	Tahun Pelaksanaan	Kontraktor Pelaksana
Renovasi Stadion Utama Gelora Bung Karno	2017	PT. Adhi Karya (Persero) Tbk.
Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru - Dumai	2017	PT. Hutama Karya (Persero)
Stadion Manahan Solo	2018	PT. Adhi Karya (Persero) Tbk.
Pasar Atas Bukit Tinggi	2018	PT. Brantas Abipraya (Persero) Tbk.
<i>Aquatic Arena</i> Papua	2018	PT. Waskita Karya (Persero) Tbk.
Stadion Papua Bangkit	2019	PT. Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk.
Pasar Renteng Lombok NTB	2019	PT. Nindya Karya (Persero)

(Sumber: Kementerian PUPR)

2.2.1 Pengenalan *Building Information Modeling*

Industri konstruksi merupakan salah satu industri yang memiliki peranan yang krusial dalam rangka peningkatan pertumbuhan ekonomi suatu negara serta pengadaan lapangan pekerjaan (Albab dan Erizal, 2021). Di Indonesia, industri tersebut telah mengalami kemajuan yang dibuktikan dengan semakin banyaknya pembangunan di Indonesia, seperti: pembangunan infrastruktur (Ramdani, dkk.,

2022). Lebih lanjut, semakin meningkatnya pembangunan suatu negara maka semakin ketat pula persaingan bagi para pelaku konstruksi untuk menghasilkan produksi dalam waktu yang singkat, berkualitas, serta ekonomis. Hal tersebut mendorong para pelaku konstruksi untuk menggunakan sistem yang mampu menjawab persoalan-persoalan tersebut dan meninggalkan pelaksanaan konstruksi dengan cara manual yang membutuhkan waktu pekerjaan yang relatif lama (Albab dan Erizal, 2021). Sistem yang dimaksud adalah penggunaan *Building Information Modeling* (BIM).

Building Information Modeling (BIM) atau nama lain *Integrated Project Delivery* (IPD) merupakan suatu representasi model digital, baik pemodelan desain proyek maupun pelaksanaan proyek yang mana suatu tim perencanaan dapat menyampaikan desain proyek secara kolaboratif yang mampu meningkatkan produktivitas tim (Arrafi, dkk., 2023). Penggunaan BIM dalam pelaksanaan proyek menjadikan aspek desain, konstruksi, serta operasional tersistem ke dalam suatu informasi digital yang saling terintegrasi, sehingga penggunaan BIM mampu mempresentasikan siklus hidup suatu bangunan, seperti: tahapan proses konstruksi dan operasional fasilitas (Reista, dkk., 2022). Menurut Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Dinas PUPR), informasi digital tersebut adalah representasi dari karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan, sehingga melalui hal tersebut para pelaku konstruksi dapat mengakses informasi mengenai elemen-elemen bangunan yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pada tahap perencanaan konsep sampai mobilisasi. Sehingga, dengan pemanfaatan metode tersebut, risiko kesalahan selama pelaksanaan konstruksi dapat diantisipasi. BIM mampu memberikan kemudahan bagi para pelaku konstruksi, seperti: konsultan arsitektur, konsultan MEP, konsultan struktur, konsultan *landscape*, bahkan kontraktor dalam berbagi data dan memperbaharui data proyek karena dapat diakses secara bersama-sama (Reista, dkk., 2022).

Penggunaan BIM dapat memberikan banyak manfaat bagi para pelaku konstruksi karena BIM dapat menyimulasikan solusi-solusi sebelum pembangunan dilaksanakan. Selain itu, para pelaku konstruksi juga dapat meninjau desain dengan

akurat dan melakukan evaluasi alternatif dalam hal biaya serta parameter proyek lainnya (Septiliandri, 2021).

2.2.2 Terminologi dan Klasifikasi *Building Information Modeling*

Berikut ini adalah terminologi dan klasifikasi *Building Information Modeling* berdasarkan fungsinya, yaitu sebagai berikut (Firdaus dan Asalina, 2023) dan (Simanjuntak dan Baskoro, 2020).

1. 2D, terminologi BIM yang memberikan informasi dalam bentuk gambar dengan spesifikasinya yang digunakan sebagai gambar kerja.
2. 3D, merupakan informasi dari pemodelan gambar 2D menjadi bentuk digital 3D yang digunakan untuk menganalisis ketidaksesuaian atau *clash* pada komponen-komponen bangunan.
3. 4D, merupakan informasi yang mempresentasikan simulasi waktu dan tahapan (*time simulation*) melalui konstruksi virtual 3D.
4. 5D, merupakan terminologi BIM sebagai estimasi dan simulasi biaya (*cost simulation*) konstruksi virtual 3D.
5. 6D, terminologi BIM yang berfungsi menganalisis performa bangunan, keberlanjutan bangunan (*sustainability*), serta menganalisis energi.
6. 7D, terminologi BIM yang menganalisis siklus operasional bangunan (*life cycle*) dan perawatan bangunan tersebut (*maintenance*).

2.2.3 Keunggulan *Building Information Modeling*

Menurut Gunawan dan Kartika (2021), adapun keunggulan dalam penggunaan teknologi BIM adalah sebagai berikut.

1. *Clash Detection*, merupakan salah satu keunggulan BIM yang mampu mendeteksi adanya ketidaksesuaian atau tabrakan antar desain, baik desain struktur, arsitektur, maupun MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*). Berbeda dengan metode BIM, penggunaan metode konvensional mengharuskan para pelaku konstruksi membuat desain berdasarkan program yang berbeda, sehingga adanya ketidaksesuaian antar gambar. Namun, dengan menggunakan metode BIM, para pelaku konstruksi mampu mendeteksi serta memperkirakan adanya *clash* di awal sebelum pelaksanaan di lapangan,

sehingga keuangan proyek dapat terjaga dengan mencegah pekerjaan ulang akibat *clash*.

2. Program yang terintegrasi, merupakan keunggulan metode BIM di mana program untuk analisa struktur, pendesainan, serta perhitungan volume pekerjaan dapat diakses dengan satu program saja karena adanya integrasi beberapa program. Dengan kata lain, penggunaan BIM juga dapat menghemat kebutuhan sumber daya karena satu sumber daya mampu melakukan beberapa pekerjaan di waktu yang sama dengan teknologi BIM.

Berdasarkan hasil kuesioner yang dilakukan oleh Adhi, dkk., (2016) dalam studi kasus perbandingan penggunaan metode BIM dan metode konvensional perencanaan gedung 20 lantai adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Hasil Kuesioner Perencanaan Gedung 20 Lantai

No.	Nama Perusahaan	Analisa Waktu Perencanaan		Analisa Sumber Daya Manusia	
		BIM	Konvensional	BIM	Konvensional
1	PT. Total Bangunan Persada (Autodesk Revit)	3 – 6 bulan	3 – 12 bulan	5 – 6 personil	Minimal 6 personil
2	PT. Wiratman dan Associates (Autodesk Revit)	5 – 6 bulan	8 – 12 bulan	5 – 6 personil	Minimal 6 personil
3	PT. Pratiwi Putri Sulung (Tekla Structures)	6 bulan	6 bulan	4 personil	10 personil

(Sumber: Adhi, dkk., 2016)

Tabel 2. 4 Rekapitulasi Perbandingan Metode BIM dan Metode Konvensional

No.	Uraian	Metode Konvensional	Metode BIM
1	Waktu Pelaksanaan	12 bulan	6 bulan
2	SDM	15 personil	11 personil
3	Kebutuhan Biaya	Rp. 741.048.000,-	Rp. 353.834.000,-

(Sumber: Adhi, dkk., 2016)

Berdasarkan hasil studi kasus di atas, dengan penggunaan metode BIM, pelaksanaan proyek konstruksi disinyalir lebih efisien serta efektif terhadap biaya, waktu, serta kebutuhan personil. Metode BIM mampu menekan pengeluaran biaya sebesar 52.25%, menghemat waktu perencanaan sebesar 50%, serta menekan kebutuhan sumber daya manusia sebesar 26.66% (Adhi, dkk., 2016).

2.2.4 Pengenalan *Tekla Structures* Sebagai Program BIM

Tekla Corporation selaku perusahaan pengembang *tekla structures* didirikan pada tahun 1996 dengan kantor pusat berada di Espoo, Finlandia. Perusahaan yang telah memiliki kantor cabang di beberapa negara besar, seperti: Swedia, Denmark, Jerman, dan Amerika Serikat tersebut memiliki empat jenis program konstruksi, yaitu: *Tekla Structures* untuk pekerjaan struktur, *Tekla X-City* untuk pekerjaan arsitektur, *Tekla X-Pipe* untuk pekerjaan perpipaan, serta *Tekla X-Power* untuk pekerjaan elektrikal (Septiliandri, 2021). Pada tahun 2011, *tekla corporation* telah tergabung ke dalam *Trimble Group* (Simatupang, dkk., 2020).

Tekla Structures merupakan hasil pengembangan program perencanaan bangunan baja bernama *Tekla X-Steel* pada tahun 1990 yang membuat pengguna dapat melakukan pemodelan, analisa, pendesainan, serta pendetailan struktur baja (Rachmawati, 2022). Karena *Tekla X-Steel* hanya berfokus pada perencanaan struktur baja saja, maka *Tekla Corporation* kemudian melakukan pengembangan berupa program *Tekla Structures* yang membuat pengguna dapat melakukan pemodelan, analisa, serta pendesainan struktur beton bertulang secara detail (Septiliandri, 2021).

Tekla Structures merupakan program baru hasil revolusi dalam bidang rekayasa struktur yang salah satu keunggulannya dibandingkan program rekayasa struktur lainnya adalah membuat pengguna program mampu mengelola data secara akurat serta membuat model struktur 3D sampai dengan model 7D. Program *Tekla Structures* mempunyai kemampuan dalam *modeling, detailing, engineering, drawing, reporting*, serta *scheduling* yang terintegrasi (Arrafi, dkk., 2023). *Tekla Structures* telah dimanfaatkan bukan hanya oleh perusahaan kontraktor saja, tetapi program tersebut juga telah dimanfaatkan oleh perusahaan manufaktur karena *Tekla Structures* mewadahi keperluan perhitungan dan rekayasa struktur. Selain itu, program tersebut juga mampu mempersingkat proses pengiriman desain (*delivery*), proses fabrikasi, serta manajemen konstruksi. Oleh karena itu, baik perseorangan maupun perusahaan di seluruh dunia telah menggunakan lisensi *Tekla Structures* untuk mendapatkan hasil produksi yang cepat dan akurat (Rachmawati, 2022).

2.3 Prinsip Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan hasil perencanaan yang menggunakan konfigurasi struktur, jenis material, serta sistem bangunan yang sesuai dengan syarat-syarat yang berlaku, sehingga bangunan tersebut memiliki kinerja dan respons yang baik terhadap beban gempa yang bersifat dinamik. Prinsip bangunan tahan gempa yang perlu diperhatikan adalah struktur bangunannya harus sederhana, simetris, tidak ramping, memiliki kekakuan yang cukup, memiliki distribusi massa yang menerus di sepanjang tinggi bangunan, serta elemen struktur vertikal didesain lebih kuat daripada elemen struktur horizontal (*strong column - weak beam*) agar sendi plastis dapat terbentuk pada balok (Siswanto dan Salim, 2018). Menurut Zulfiar, dkk., (2014), bangunan tahan gempa adalah kemampuan struktur bangunan untuk mengurangi kerusakan selama merespons gempa yang terjadi yang dipengaruhi oleh prinsip-prinsip dasar sebagai berikut.

1. Sistem struktur bangunan sesuai dengan tingkat kerawanan gempa bangunan tersebut berada yang terdapat dalam SNI 1726 Tahun 2019.
2. Dalam pendetailan dan sambungan tulangan-tulangan struktur harus terikat secara efektif untuk menjaga aspek kontinuitas dan integrasi struktur bangunan.

3. Penggunaan material beton dan tulangan besi harus sesuai dengan persyaratan material konstruksi bangunan tahan gempa.
4. Penggunaan material yang tidak terlalu berat untuk mengurangi kinerja struktur dalam menopang beban bangunan sendiri.
5. Bentuk bangunan yang simetris dan teratur untuk menghindari terjadinya torsi berlebih.
6. Struktur bangunan memiliki kekakuan dan kesatuan struktur dalam menahan guncangan akibat gempa bumi.
7. Struktur memiliki kemampuan berdeformasi untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan.
8. Struktur bersifat daktail untuk menahan lendutan akibat beban-beban yang diterima struktur bangunan tanpa mengalami keruntuhan.

Sementara itu, adapun prinsip bangunan tahan gempa menurut Takumansang, B. H. O., (2016), adalah sebagai berikut.

1. Material struktur yang digunakan memiliki kekuatan yang lebih besar daripada berat material struktur tersebut. Selain dipengaruhi oleh percepatan gempa, intensitas gaya gempa yang bekerja pada bangunan juga dipengaruhi oleh berat atau massa bangunan itu sendiri. Oleh karena itu, pemanfaatan material konstruksi yang ringan namun memiliki kekuatan yang besar akan dapat meredam intensitas gaya gempa yang bekerja pada bangunan.
2. Material struktur yang digunakan memiliki sifat daktilitas yang tinggi karena material dengan sifat tersebut memiliki tingkat pemencaran gaya yang baik dan merata terhadap gaya gempa yang bersifat bolak-balik. Semakin besar sifat daktilitas material konstruksi suatu bangunan, maka semakin kecil gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Tulangan baja adalah material yang bersifat daktail, sementara beton adalah material yang bersifat getas. Sehingga, untuk mendapatkan sifat daktail pada beton, beton dikombinasikan dengan tulangan menjadi beton bertulang.

3. Material struktur yang digunakan harus memiliki sifat degradasi yang rendah. Sifat degradasi adalah peristiwa berkurangnya kekuatan dan kekakuan suatu material struktur akibat dikenai beban yang berulang-ulang.
4. Material struktur yang digunakan harus monolit dan memiliki pendetailan tulangan yang baik dan benar.

2.4 Analisa Faktor Kegempaan Struktur

Analisa struktur merupakan perhitungan berdasarkan kombinasi pembebanan dan gaya-gaya terfaktor yang sesuai terhadap komponen-komponen struktur, seperti: balok, kolom, dan pelat agar komponen struktur tersebut kuat dalam menahan beban-beban yang dipikulnya (Suwa Muda, dkk., 2017). Lebih lanjut, dalam proses analisa struktur suatu bangunan, struktur tidak hanya direncanakan mampu menopang beban statis, namun struktur juga direncanakan kuat dan tahan terhadap potensi bencana, seperti gempa bumi.

Gempa bumi yang menyebabkan getaran pada permukaan tanah, menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan bentuk dan posisinya. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya lateral bangunan (Zachari dan Turuallo, 2020). Lebih lanjut, dengan adanya gaya lateral pada bangunan, maka analisa struktur perlu dilakukan untuk memperhitungkan besaran pengaruh beban gempa yang bekerja pada struktur, sehingga struktur bangunan tersebut direncanakan mampu menahan beban gempa serta memenuhi filosofi bangunan tahan gempa.

2.4.1 Kategori Risiko Struktur Terhadap Beban Gempa

Menurut SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 4.1.2, kategori risiko struktur bangunan terhadap beban gempa ditentukan oleh faktor fungsional bangunan tersebut. Apabila faktor fungsional bangunan semakin melibatkan banyak manusia, maka kategori risiko bangunan tersebut terhadap beban gempa akan semakin besar.

Berikut ini adalah kategori risiko bangunan terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 Tabel 3.

Tabel 2. 5 Kategori Risiko Struktur Bangunan Terhadap Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Struktur yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia apabila terjadi kegagalan struktur, seperti: fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan, gudang penyimpanan, rumah jaga, dan struktur kecil lainnya	I
Struktur yang memiliki risiko lebih daripada kategori risiko I, seperti: perumahan, rumah toko, rumah kantor atau gedung perkantoran, pusat perbelanjaan atau mal, rumah susun atau apartemen, bangunan industri, fasilitas manufaktur, dan pabrik	II
Struktur yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia, serta berpotensi menyebabkan gangguan ekonomi dan massal apabila terjadi kegagalan struktur. Seperti: bioskop, gedung pertemuan, stadion, fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, fasilitas penitipan anak, penjara, fasilitas lansia, pusat pembangkit listrik biasa, fasilitas penanganan air, fasilitas penanganan limbah, dan pusat telekomunikasi. Selain itu, fasilitas manufaktur bahan kimia berbahaya yang dapat menimbulkan bahaya bagi masyarakat apabila terjadi kebocoran, maka fasilitas tersebut termasuk ke dalam kategori III.	III
Struktur yang dikategorikan sebagai fasilitas penting, seperti: bangunan monumental, gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, rumah ibadah, rumah sakit dan fasilitas kesehatan yang memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, fasilitas pemadam kebakaran, kantor polisi, garasi ambulans dan garasi kendaraan darurat lainnya, tempat perlindungan darurat dari bencana alam, serta fasilitas kesiapan darurat dan pusat operasi yang dibutuhkan saat keadaan darurat. Selain itu, struktur menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, stasiun listrik, tangki	IV

pemadam air kebakaran dan struktur pendukung air tergolong ke dalam kategori IV.	
--	--

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Tabel 3)

Dalam menganalisis struktur, baik struktur gedung maupun non gedung, faktor risiko terhadap beban gempa perlu disesuaikan syaratnya. Semakin tinggi risiko bangunan tersebut gagal, maka semakin rentan jatuhnya banyak korban jiwa. Selain itu, apabila terjadi kegagalan struktur maka faktor ekonomi dan kelangsungan hidup manusia pun akan terganggu yang menyebabkan kerugian yang besar (Firdaus dan Asalina, 2023).

Menurut SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 4.1.2, untuk seluruh kategori risiko struktur terhadap gempa bumi sesuai tabel 3, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e).

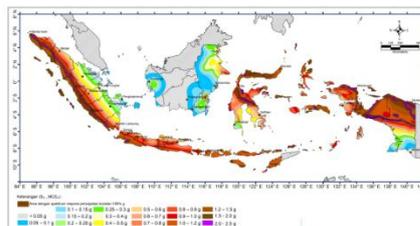
Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Tabel 4)

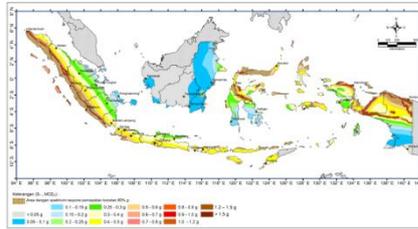
2.4.2 Parameter Respons Spektrum Percepatan Gempa Maksimum

Di dalam SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 6.2, setelah menentukan kategori risiko struktur dan faktor keutamaan gempa suatu struktur bangunan, selanjutnya adalah menentukan nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik (S_S) dan nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode panjang 1 detik (S_I). Nilai-nilai tersebut merupakan acuan dalam menentukan kelas situs tanah di mana suatu struktur berada. Untuk menentukan nilai S_S dan S_I didapatkan melalui peta gempa di bawah ini.



Gambar 2. 1 Peta Parameter Gerak Tanah, S_S

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Gambar 15)

Gambar 2. 2 Peta Parameter Gerak Tanah, S_I

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Gambar 16)

Setelah mendapatkan nilai S_S dan S_I berdasarkan peta gempa di Indonesia, maka parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum MCE_R dapat ditentukan dengan perkalian antara parameter percepatan batuan dengan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi tersebut merupakan faktor getaran percepatan pada periode pendek 0.2 detik (F_a) dan periode panjang 1 detik (F_v) dengan koefisien seperti berikut.

Tabel 2. 7 Faktor Amplifikasi Periode Pendek 0.2 Detik, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektrum Percepatan Gempa Maksimum, MCE_R 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	<i>Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs spesifik</i>					

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Tabel 6)

Tabel 2. 8 Faktor Amplifikasi Periode Panjang 1.0 Detik, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektrum Percepatan Gempa Maksimum, MCE_R Pada Periode Panjang, $T= 1.0$ Detik, S_I
-------------	---

	$S_S \leq 0.1$	$S_S = 0.2$	$S_S = 0.3$	$S_S = 0.4$	$S_S = 0.5$	$S_S \geq 0.6$
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	<i>Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs spesifik</i>					

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Tabel 7)

Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 6.2, menentukan nilai parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum MCE_R pada periode pendek 0.2 detik dan periode panjang 1 detik adalah sebagai berikut.

$$SM_S = F_a \cdot S_S$$

$$SM_I = F_v \cdot S_I$$

2.4.3 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 6.3, parameter respons spektrum percepatan gempa periode pendek (SD_S) dan periode 1 detik (SD_I) ditentukan melalui persamaan di bawah ini.

$$SD_S = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$SD_I = \frac{2}{3} S_{MI}$$

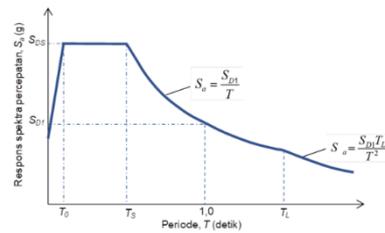
Keterangan:

SD_S = parameter respons spektrum percepatan desain periode pendek

SD_I = parameter respons spektrum percepatan desain periode 1 detik

2.4.4 Spektrum Respons Desain

Menurut Farlianti (2017) yang mengacu kepada SNI 1726 Tahun 2019, respons spektrum percepatan gempa merupakan suatu kurva spektrum dalam bentuk grafik, di mana sumbu absis adalah periode getar struktur (T) dan sumbu ordinatnya adalah percepatan maksimum gempa atau *spectral acceleration* (S_a).



Gambar 2. 3 Grafik Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019, Gambar 3)

Dalam menentukan nilai *spectral acceleration* (S_a) menurut SNI 1726 Tahun 2019 adalah melalui beberapa ketentuan dan persamaan di bawah ini.

1. Untuk periode T lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$), maka persamaannya adalah:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right).$$

2. Untuk periode $T_0 < T < T_s$, nilai S_a sama dengan S_{DS} .

3. Untuk periode $T > T_s$, maka persamaannya adalah: $S_a = \frac{SD1}{T}$.

4. Untuk periode $T > T_L$, maka persamaannya adalah: $S_a = \frac{SD1 \times T_L}{T^2}$

Keterangan:

T = periode getar fundamental struktur

T_L = peta transisi periode panjang Indonesia

$$T_0 = 0.2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

2.4.5 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang diatur oleh SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 6.5 Mengenai Kategori Desain Seismik, struktur bangunan gedung dan non-gedung harus diperhitungkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektrum percepatan gempanya. Menurut Farlianti (2017), tujuan penetapan kategori desain seismik suatu struktur dalam perencanaan bertujuan untuk menentukan sistem rangka pemikul momen yang akan diimplementasikan terhadap struktur di dalam merespons beban-beban yang bekerja dalam struktur, khususnya beban lateral akibat gempa bumi.

Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Spektrum
Percepatan Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I ; II ; 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 2716 Tahun 2019, Tabel 8)

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Spektrum
Percepatan Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I ; II ; III	IV
$S_{DI} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DI} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DI} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 2716 Tahun 2019, Tabel 9)

2.4.6 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya didesain untuk menahan beban-beban lateral melalui suatu mekanisme yang disebut mekanisme lentur (SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 3.50.4). Lebih lanjut, sistem rangka tersebut terbagi ke dalam tiga sistem yang penerapannya berdasarkan tingkat kerawanan gempa daerah di mana struktur tersebut berada, yaitu: sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Menurut Ambarwati (2017), sistem rangka pemikul momen adalah metode perencanaan bangunan gedung bertingkat tinggi dengan perhitungan risiko kegempaan yang terbagi berdasarkan kategori desain seismik lokasi perencanaan

bangunan gedung. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) adalah sistem rangka yang diimplementasikan pada bangunan yang berada di daerah risiko kegempaan yang rendah atau dengan kategori desain seismik A dan B. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) adalah sistem rangka yang diterapkan pada bangunan yang berada di daerah risiko kegempaan tingkat sedang atau dengan kategori desain seismik C. Sementara itu, sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem rangka yang didesain pada struktur bangunan yang berada di daerah dengan tingkat risiko kegempaan yang tinggi atau dengan kategori desain seismik D, E, dan F.

Tabel 2. 11 Pengelompokan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Kategori Desain Seismik		
A dan B	C	D, E, dan F
SRPMB	SRPMM	SRPMK

(Sumber: SNI 1726 Tahun 2019)

Di dalam penerapan suatu sistem rangka pemikul momen berdasarkan tingkat risiko kegempaan daerah bangunan tersebut berada, adapun kelebihan dan kekurangan penerapan masing-masing sistem menurut Karisoh, dkk., (2018) adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 12 Kelebihan dan Kekurangan Penerapan Jenis-Jenis Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Jenis Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	Kelebihan	Kekurangan
Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB)	Biaya pelaksanaan yang relatif lebih murah dari sistem lainnya karena tidak memerlukan pemodelan yang khusus serta desain	Sistem struktur dengan daktilitas yang rendah, sehingga struktur sangat rawan terhadap perubahan alam yang mempengaruhi kondisi

	arsitekturnya yang sederhana.	tanah di mana bangunan tersebut berada.
Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM)	Memiliki pemodelan struktur yang khusus, namun tidak membutuhkan perkuatan yang kompleks dalam strukturnya. Sistem strukturnya memiliki tingkat daktilitas yang sedang, serta sistem ini memiliki desain arsitektural yang sederhana.	Tingkat daktilitas struktur yang sedang rawan apabila terjadi perbuahan alam yang mempengaruhi tanah bangunan tersebut yang dapat menghasilkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan meningkat dari perhitungan gaya-gaya sebelumnya.
Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)	Sistem struktur dengan tingkat daktilitas yang tinggi, serta komponen strukturnya memiliki sistem perkuatan masing-masing.	Dengan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, pendetailan struktur menjadi lebih kompleks sehingga mempengaruhi durasi dan biaya pekerjaan.

(Sumber: Karisoh, dkk., 2018)

2.4.6.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem rangka yang didesain dengan tujuan komponen-komponen strukturnya mampu menopang gaya lateral akibat beban gempa, gaya lentur, gaya geser, serta gaya aksial. Sehingga, sistem ini memiliki struktur dengan tingkat daktilitas penuh yang tepat diimplementasikan pada daerah dengan zona risiko gempa yang tinggi (Ageta, dkk., 2018). Dengan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, struktur bangunan mampu

mengalami siklus respons in elastis pada saat menerima beban gempa rencana (Liando, dkk., 2020).

Berikut di bawah ini adalah filosofi sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) menurut Karisoh, dkk., (2018) yang mengacu kepada SNI.

1. Kolom Kuat Balok Lemah (*Strong Column Weak Beam*)

Pada saat struktur mengalami gaya lateral akibat beban gempa, keruntuhan lokal atau kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung kepada simpangan antar lantai (*lateral story drift*). Apabila kolom struktur kuat, maka simpangan antar lantai akan terdistribusi merata di sepanjang lantai, sehingga keruntuhan lokal dapat dihindarkan. Sementara itu, menurut Rizal (2019), konsep *strong column weak beam* adalah apabila terjadi gempa bumi berskala besar, kerusakan pertama kali harus terjadi pada struktur balok atau disebut kerusakan yang ditoleransi, sehingga struktur bangunan tidak mengalami keruntuhan karena struktur kolom didesain lebih kuat daripada struktur balok.

2. Menghindari Keruntuhan Geser

Pada saat merencanakan dan mendesain struktur, struktur balok harus difungsikan memiliki sifat daktil, sehingga gaya geser akibat kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami *yielding* atau lendutan dapat dihindarkan. Apabila balok mengalami gaya geser berlebih yang didistribusikan langsung menuju kolom, kolom akan mengalami keruntuhan geser. Di dalam SRPMK, konsep tersebut dapat ditentukan dengan melakukan pendekatan desain kapasitas atau mempertimbangkan kemungkinan seluruh gaya yang bekerja pada struktur.

3. Pendetailan Struktur Bersifat Daktil

Beberapa ketentuan pendetailan struktur agar memenuhi filosofi sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sebagai berikut.

- a. Pada struktur balok, area tumpuan atau area sambungan balok dengan kolom yang mengalami plastisitas atau kelelahan dipasang tulangan sengkang yang rapat daripada di area lapangan yang mengalami lentur.

- b. Pendetailan tulangan direncanakan mengacu kepada syarat serta peraturan SNI terkait agar keruntuhan khususnya area sambungan komponen struktur dapat dihindarkan atau dengan kata lain pendetailan struktur bersifat daktail.

2.4.7 Klasifikasi Situs

Gelombang seismik akibat beban gempa yang merambat melalui lapisan tanah di bawah struktur bangunan dapat memperbesar dampak gempa rencana (Zacharias, 2023). Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019, dampak gempa di bawah tanah struktur diperoleh dari analisa klasifikasi situs tanah yang kemudian parameter gempa di dalam batuan dasar dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi untuk mendapatkan nilai parameter percepatan spektrum desain untuk merencanakan struktur bangunan yang tahan gempa.

Klasifikasi situs tanah bergantung pada kondisi fisik tanah yang dipengaruhi oleh percepatan rambat gelombang geser, nilai SPT, dan kuat geser nialir (SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 5.3) dan terbagi ke dalam enam jenis situs berdasarkan sifat-sifatnya, yaitu: tanah batuan keras (SA), tanah batuan (SB), tanah keras dan sangat padat dengan batuan lunak (SC), tanah sedang (SD), tanah lunak (SE), dan tanah khusus (SF). Jenis-jenis situs tanah tersebut diperoleh melalui penyelidikan lapangan atau pengujian tanah terlebih dahulu.

2.4.8 Periode Getaran Fundamental Gempa

Pendekatan periode getaran fundamental akibat guncangan gempa bumi harus diperhitungkan sesuai dengan Pasal 7.8.2, serta diaplikasikan nilai periode maksimumnya dalam analisa gempa bumi. Berikut ini adalah persamaan menentukan periode getaran fundamental ditinjau dari jenis struktur dan ketinggian bangunannya.

$$T_{a \text{ min}} = C_t \times h_n^x$$

$$T_{a \text{ max}} = C_u \times T_{a \text{ min}}$$

Keterangan:

$T_{a \text{ min}}$ = Pendekatan getaran fundamental minimum

$T_{a \text{ max}}$ = Pendekatan getaran fundamental maksimum

C_t = Koefisien getaran fundamental

x = Koefisien akibat getaran fundamental, Ct

h = Tinggi bangunan seismik

2.5 Desain Bangunan Tahan Gempa

Pendesainan struktur bangunan atau *preliminary design* bertujuan untuk merencanakan sistem dan bentuk struktur yang ideal serta ekonomis untuk diimplementasikan ke dalam suatu bangunan. Perencanaan tersebut mengacu kepada peraturan dan persyaratan yang berlaku. Di dalam SNI 2847 Tahun 2019 disimpulkan bahwa perencanaan bentuk struktur bangunan harus berdasarkan syarat-syarat di dalamnya, khususnya dalam merencanakan bangunan tahan gempa.

Berikut ini adalah beberapa persyaratan dalam mendesain komponen struktur, khususnya bangunan tahan gempa menurut SNI 2847 Tahun 2019.

2.5.1 Desain Struktur fondasi

Struktur fondasi merupakan komponen struktur yang memikul beban-beban yang bekerja pada bangunan yang diserap langsung oleh kolom dan kemudian didistribusikan menuju lapisan tanah keras (Mustofa, dkk., 2018). Secara umum, terdapat dua jenis fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. fondasi dangkal meliputi: fondasi telapak, fondasi memanjang, dan fondasi rakit. Sementara itu, fondasi dalam meliputi: fondasi sumuran, fondasi *Bored Pile*, dan fondasi *bored pile* (Wiratmoko, dkk., 2019). Namun, dalam tugas akhir ini, jenis fondasi yang akan ditinjau adalah fondasi *Bored Pile*.

Berikut ini adalah syarat-syarat dalam mendesain fondasi *Bored Pile* berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019.

2.5.1.1 Menentukan Kuat Izin Tiang Berdasarkan Kekuatan Bahan Tiang

Dalam mendesain suatu fondasi, daya dukung fondasi sangat diperhitungkan karena daya dukung fondasi merupakan kemampuan fondasi dalam memikul beban-beban maksimum yang diteruskan oleh struktur-struktur di atasnya (Santoso dan Hartono, 2020). Daya dukung fondasi dipengaruhi oleh faktor kekuatan material fondasi, serta kondisi tanah di mana fondasi tersebut ditempatkan. Semakin baik jenis material dan kondisi tanahnya, maka semakin baik pula kemampuan fondasi dalam meredam beban-beban maksimum bangunan yang bekerja.

Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung kemampuan fondasi *Bored Pile* jika ditinjau berdasarkan material-material penyusunnya.

$$P \text{ tiang} = \sigma \text{ bahan} \times A \text{ tiang}$$

Keterangan:

$P \text{ tiang}$ = Kuat izin *Bored Pile* (kg)

σ = Tegangan izin bahan tiang (kg/cm^2)

$\sigma \text{ baja}$ = $0.35-0.5 \times f_y$

$\sigma \text{ beton}$ = $0.25-0.33 \times f'_c$

$A \text{ tiang}$ = Luas penampang *Bored Pile* (cm^2)

2.5.1.2 Menentukan Kuat Izin Tiang Berdasarkan Kekuatan Tanah

Menurut Wiratmoko, dkk., 2019, peran tanah dalam pekerjaan struktur fondasi adalah sebagai peletakan struktur atau sebagai penyangga beban konstruksi di atasnya. Untuk mendapatkan informasi mengenai daya dukung tanah, maka dilakukan pekerjaan penyelidikan tanah dengan luaran merupakan nilai daya dukung tanah sebagai acuan merencanakan kapasitas fondasi, serta kedalaman tanah sebagai pedoman dalam menentukan jenis fondasi yang digunakan. Lebih lanjut, salah satu bentuk penyelidikan tanah adalah Uji Penetrasi Standar (SPT) yang bertujuan untuk memperoleh data penetrasi tanah ketika dilakukan pembebanan.

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan kemampuan fondasi berdasarkan kekuatan tanahnya.

$$Q_p \text{ tiang} = 4 \times A_p \text{ tiang} \times N_p$$

Keterangan:

$Q_p \text{ tiang}$ = Daya dukung ujung tiang (ton)

$A_p \text{ tiang}$ = Luas penampang ujung *Bored Pile* (ft^2)

N_p = Nilai rata-rata N-SPT di sekitar ujung *Bored Pile*

2.5.1.3 Menghitung Tahanan Selimut Tiang

Menurut Mayerhof (1956), untuk menentukan nilai dukung friksi tiang atau ketahanan selimut tiang terhadap gesekan tanah di sekitarnya, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Q_s \text{ tiang} = \frac{As \text{ tiang} \times \bar{N}}{\text{koefisien}}$$

Keterangan:

Q_s tiang = Data dukung friksi tiang (ton)

As tiang = Luas selimut tiang (ft^2)

\bar{N} = Nilai N-SPT rata-rata di sepanjang tiang

2.5.1.4 Menghitung Daya Dukung *Ultimate* dan *Allowable* Tiang

Daya dukung fondasi *Bored Pile* dalam kondisi *ultimate* merupakan keadaan di mana beban-beban bangunan sudah termobilisasi sepenuhnya, sehingga kapasitas tertinggi fondasi tiang dapat ditentukan (Santoso dan Hartono, 2020). Daya dukung *ultimate Bored Pile* merupakan akumulasi antara daya dukung ujung tiang (Q_p) dengan daya dukung friksi tiang (Q_s).

$$Q_{\text{ultimate}} = Q_p \text{ tiang} + Q_s \text{ tiang}$$

Kemudian, berdasarkan daya dukung fondasi *Bored Pile* dibagikan dengan suatu nilai *safety factor* atau angka keamanan untuk menentukan nilai daya dukung izin *Bored Pile*.

$$Q_{\text{allowable}} = \frac{Q_{\text{ultimate}}}{\text{Safety Factor}}$$

Daya dukung izin *Bored Pile* kemudian dikurangkan dengan berat sendiri tiang untuk mendapatkan daya dukung bersih *Bored Pile*.

$$Q_{\text{neto}} = Q_{\text{allowable}} - \text{berat sendiri tiang}$$

$$\text{Berat sendiri tiang} = A \times L \times w$$

Keterangan:

A = Luas penampang tiang (cm^2)

L = Kedalaman tiang (cm)

w = Massa jenis material tiang (kg/cm^3)

2.5.1.5 Menentukan Kebutuhan Jumlah *Bored Pile*

Dalam merencanakan kebutuhan jumlah *Bored Pile*, gaya tekan akibat beban-beban yang bekerja pada bangunan didesain dapat didistribusikan secara merata oleh

Bored Pile. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan kebutuhan jumlah *Bored Pile* berdasarkan gaya tekan maksimal bangunan.

$$n \text{ tiang} = \frac{P \text{ max}}{Q \text{ netto}}$$

2.5.1.6 Menentukan Efisiensi Kelompok Tiang

Pada pendesainan kelompok *Bored Pile*, efisiensi kelompok tiang harus diperhitungkan karena adanya intervensi garis-garis tegangan antar tiang yang berdekatan. Oleh karena itu, jarak antar *Bored Pile* harus didesain dengan efektif untuk mendapatkan nilai efisiensi yang ideal. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan nilai efisien kelompok *Bored Pile*.

$$Eg = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right]$$

$$\theta = \text{arc tan} \frac{D}{s}$$

$$s = 2.5 D \approx 4D$$

Keterangan:

- m = jumlah baris tiang
- n = jumlah tiang dalam satu baris
- s = jarak antar tiang dari pusat ke pusat tiang
- d = diameter tiang

2.5.1.7 Menghitung Daya Dukung Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang dipengaruhi oleh faktor efisiensi kelompok tiang, jumlah tiang, dan juga daya dukung bersih tiang. Semakin besar nilai efisiensi tiang, maka tiang-tiang fondasi disinyalir mampu menahan gaya tekan bangunan secara maksimal.

$$Q_{tk} = E_g \times n \text{ tiang} \times Q \text{ netto}$$

$$Q_{tk} > \text{Gaya aksial bangunan (P)}$$

2.5.1.8 Syarat Desain Geometri *Pile Cap*

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, adapun syarat-syarat dalam desain geometri *pile cap* adalah sebagai berikut.

Syarat 1. Jarak antar tiang (s) = $2.5 D \approx 4D$

Syarat 2. Jarak tiang menuju tepi *pile cap* (s') = $1.5 D \approx 2D$

Syarat 3. Dimensi *pile cap* = s x banyak baris spasi + 2 x s'

Syarat 4. Tebal efektif *pile cap* = tebal rencana – selimut beton

Syarat 5. Selimut beton *pile cap* = 75 mm

2.5.1.9 Menentukan Gaya Geser Satu Arah *Pile Cap*

Menurut SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 13.4.2.2 dan Pasal 13.4.2.5, dengan adanya gaya tekan terhadap *Bored Pile*, maka momen dan gaya geser terfaktor harus diperhitungkan berdasarkan reaksi setiap tiang.

$$V_u = \sigma \times \text{lebar } pile \text{ cap} \times G'$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$G' = L - \left(\frac{\text{lebar } pile \text{ cap}}{2} + \frac{\text{lebar kolom}}{2} + d \right)$$

Keterangan:

V_u = Gaya geser *pile cap* (KN)

σ = Tegangan tekan nominal beton serat terjauh (MPa)

A = Luas penampang *pile cap* (m^2)

P = Gaya tekan pada kolom (KN)

G' = Daerah pembebanan yang dihitung untuk geser penulangan satu arah

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 13.4.2.3, gaya geser pada *pile cap* harus didesain lebih kecil daripada kuat geser beton *pile cap*.

$$\phi V_c > V_u$$

$$\phi V_c = 0.75 \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times \text{lebar } pile \text{ cap} \times d$$

2.5.1.10 Menentukan Gaya Geser Dua Arah *Pile Cap*

Menurut SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.6.5.2, selain menentukan gaya geser satu arah, gaya geser dua arah pada *pile cap* harus diperhitungkan yang dipengaruhi oleh daerah keliling kritis akibat gaya geser dua arah. Berikut di bawah ini adalah persamaan untuk menentukan gaya geser dua arah *pile cap* berdasarkan pengaruh daerah keliling kritis *pile cap*.

Tabel 2. 13 Persamaan Gaya Geser Dua Arah *Pile Cap*

Vc	
Nilai minimum dari ketiga persamaan berikut.	$0.33\lambda x \sqrt{f'c}$
	$0.17 x \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) x \lambda \sqrt{f'c}$
	$0.083 x \left(2 + \frac{as x d}{bo}\right) x \lambda \sqrt{f'c}$

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 22.6.5.2)

Keterangan:

- λ = Koefisien jenis beton fondasi
 β = Rasio panjang dan lebar kolom fondasi
as = Koefisien posisi kolom (kolom interior = 40, kolom tepi = 30, kolom sudut = 20)
bo = Daerah keliling kritis *pile cap* (bo = 4 x B')
B' = Panjang daerah kritis *pile cap* ($B' = b \text{ kolom} + \frac{d}{2} x 2$)

Gaya geser *pile cap* yang adalah nilai minimum dari ketiga persamaan pada tabel di atas kemudian dikalikan dengan suatu faktor reduksi sebesar 0.75 (ϕVc). Nilai ϕVc harus didesain lebih besar daripada gaya geser yang disebabkan oleh tanah peletakan *pile cap* (Vu).

2.5.1.11 Menentukan Tegangan Geser Tanah (Vu)

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan tegangan geser tanah akibat adanya gaya tekan pada kolom *pile cap*.

$$Vu = \sigma x (L^2 - B'^2)$$

$$\phi Vc > Vu$$

2.5.1.12 Syarat Desain Penulangan Lentur *Pile Cap*

Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam mendesain penulangan lentur *pile cap* berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019.

- a. Menentukan daerah pasang tulangan *pile cap* (B)

$$B = \frac{\text{lebar pile cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2}$$

b. Menghitung berat sendiri *pile cap* (q)

$$q = \text{berat jenis material fondasi} \times \text{lebar } \textit{pile cap} \times \text{tebal } \textit{pile cap}$$

c. Menghitung Momen *Ultimate pile cap* (M_u)

$$M_u = 2 \times \left(\frac{P \text{ max}}{n \text{ tiang}} \times s \right) - \frac{1}{2} \times q \times B^2$$

d. Menentukan nilai ketahanan (R_n) *pile cap* dan koefisien ρ perlu

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \times b \times d$$

$$A_s \text{ min} = 0.0018 \times b \times \text{tebal } \textit{pile cap}$$

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu dan } A_s \text{ min}$$

2.5.1.13 Menentukan Kelelahan Baja Tarik

Dalam merencanakan penulangan *pile cap*, baja tarik dapat diasumsikan mengalami kelelahan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma H = 0, C_c = T_s$$

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y ; a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}; c = \frac{a}{\beta}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c ; \epsilon_c = 0.003$$

$$\epsilon_s' = \frac{f_y}{E_s \text{ baja}}$$

$$\epsilon_s > \epsilon_s' \text{ (baja telah mengalami leleh)}$$

2.5.1.14 Menentukan Nilai Momen Nominal *Pile Cap* (M_n)

Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan nilai momen nominal dan momen *ultimate* pada penampang *pile cap*.

$$M_n = 0.85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = \phi \times M_n, \text{ di mana } \phi = 0.9$$

$$M_u > M_n$$

2.5.1.15 Syarat Desain Penulangan *Bored Pile*

Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam mendesain penulangan *Bored Pile*.

- a. Menentukan rasio penulangan longitudinal tiang

$$\rho = \frac{As \text{ tulangan}}{Ag \text{ penampang tiang}}$$

$$\rho \geq 0.50\%$$

- b. Mendesain penulangan transversal tiang

$$Av \text{ tumpuan} = 2 \times \frac{Av \text{ tulangan transversal}}{\text{Jarak tulangan rencana}}$$

- c. Menghitung kuat geser tiang

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.5, adapun persamaan dalam menentukan kuat geser pada fondasi *Bored Pile* adalah sebagai berikut.

$$Vc = 0.17x \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) x \sqrt{f'c} x \text{ Diam.} x d$$

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$As/s \text{ perlu} = \frac{Vs}{fyv x d}$$

$$Av/ss \geq As/s \text{ perlu}$$

Keterangan:

Vc = Kuat geser beton

Vs = Kuat geser baja tulangan *Bored Pile*

As/s = Jarak tulangan transversal *Bored Pile*

Av/ss = Jarak tulangan transversal *Bored Pile* rencana

- d. Menentukan panjang daerah sendi plastis tiang (*confinement*)

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 18.13.7.5.1, daerah sendi plastis pada *Bored Pile* perlu diperhitungkan, agar di sepanjang daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal yang lebih rapat daripada di luar daerah sendi plastis. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan daerah sendi plastis *Bored Pile*.

$$l_o = 7 \times D ; D = \text{diameter tiang}$$

- e. Menentukan nilai *confinement* atau kekangan daerah sendi plastis

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan nilai kekangan daerah sendi plastis fondasi *Bored Pile* (SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 18.13.7.5.1).

$$\rho \text{ terpasang} = \frac{4 \times Av}{s \times d}$$

$$\rho \text{ min} = 0.12 \times \frac{f'c}{fyv}$$

$$\rho \text{ terpasang} \geq \rho \text{ min}$$

Keterangan:

A_v = Luas penampang tulangan transversal daerah tumpuan

s = Jarak tulangan transversal

d = Tebal efektif *pile cap*

f. Menentukan diameter minimum tulangan transversal *Bored Pile*

Berikut ini adalah syarat-syarat menentukan diameter tulangan transversal minimum berdasarkan diameter tiangnya.

Diameter tiang ≤ 500 mm, maka diam. tulangan = D10

Diameter tiang ≥ 500 mm, maka diam. tulangan = D13

g. Menentukan jarak tulangan transversal daerah *confinement*

Berikut ini adalah jarak maksimum tulangan transversal di daerah sendi plastis ditinjau dari diameter tiang dan tebal selimut betonnya.

$$R_b = \frac{\text{diam. tiang}}{2} - \text{selimut beton} - \emptyset_{\text{transversal}} - \frac{\emptyset_{\text{longitudinal}}}{2}$$

$$\theta = \frac{360}{n}; n = \text{banyak tulangan rencana}$$

$$hx = 2 \times R_b \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$s \text{ max 1} = D/4$$

$$s \text{ max 2} = 6 \times db$$

$$s \text{ max 3} = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3}\right)$$

$$s \text{ pakai} \leq s \text{ max 1,2,3}$$

h. Menentukan jarak tulangan transversal luar daerah *confinement*

Berikut adalah persamaan untuk menentukan jarak tulangan transversal luar zona sendi plastis fondasi *Bored Pile*.

$$s_{\max 1} = D/2$$

$$s_{\max 2} = 12 \times db$$

$$s_{\max 3} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} \leq s_{\max 1,2,3}$$

2.5.2 Desain Struktur *Tie Beam*

Struktur *tie beam* merupakan struktur yang didesain secara horizontal pada sistem portal bangunan yang berfungsi untuk membagi beban-beban bangunan yang didistribusikan oleh struktur kolom menuju fondasi secara merata, sehingga sistem struktur ini dapat meningkatkan kestabilan struktur bangunan pada posisinya (Amalia, 2021). Lebih lanjut, perencanaan *tie beam* didesain mengikat antar *pile cap* menjadi satu kesatuan atau monolit, sehingga dengan adanya *tie beam*, sistem struktur suatu bangunan memiliki tingkat kekakuan atau *stiffness* yang besar dalam merespons beban-beban pada bangunan, khususnya beban lateral akibat gempa.

Berikut ini adalah syarat-syarat dalam mendesain struktur *tie beam* yang diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019.

2.5.2.1 Syarat Desain Geometri *Tie Beam*

Di dalam SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.13.6.2, disyaratkan bahwa lebar minimum *tie beam* (b) adalah nilai minimum antara persamaan berikut ini.

$$b \geq \frac{Ln}{20} \text{ atau } b \geq 450 \text{ mm}$$

Keterangan:

Ln = Panjang bentang *tie beam* (mm)

2.5.2.2 Syarat Desain Distribusi Tegangan Beton

Koefisien distribusi tegangan beton (β_1) diperlukan sebagai koefisien dalam menentukan jarak ideal dari serat tekan terjauh menuju sumbu netral *tie beam* (c). Koefisien distribusi tersebut dipengaruhi oleh mutu beton (f'_c) yang akan digunakan. Di dalam SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.2.2.4.3, adapun persamaan dalam menentukan koefisien distribusi tegangan beton adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 14 Nilai Distribusi Tegangan Beton (β_1)

f'_c (MPa)	β_1
--------------	-----------

$17 \leq f'c \leq 28$	0.85
$28 \leq f'c \leq 55$	$0.85 - \frac{0.05 \times (f'c - 28)}{7}$
$f'c \geq 55$	0.65

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

2.5.2.3 Syarat Perhitungan Gaya Aksial *Tie Beam*

Perhitungan gaya aksial *tie beam* (P_u) disyaratkan dalam SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 7.13.6.2 mengenai desain pengikat fondasi harus memiliki kuat tarik atau tekan desain 10% dari gaya aksial kolom akibat beban gravitasi (P_g) dan nilai parameter percepatan respons spektrum periode pendek lokasi struktur dibangun (S_{Ds}) atau melalui persamaan berikut.

$$P_u = 10\% \times S_{Ds} \times P_g$$

Di mana untuk menentukan gaya aksial kolom akibat beban gravitasi (P_g) adalah sebagai berikut.

$$P_g = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$$

DL = *Dead Load* atau beban mati struktur

LL = *Live Load* atau beban hidup struktur

2.5.2.4 Syarat Desain Penurunan *Tie Beam* atau *Differential Settlement*

Di dalam merencanakan *tie beam*, kekuatan *tie beam* terhadap beda penurunan (*differential settlement*) harus diperhitungkan untuk mengetahui batas penurunan yang diizinkan. Di dalam SNI 8460 Tahun 2017 Pasal 9.2.4.3 Mengenai Penurunan Izin, adapun persamaan dalam menentukan nilai beda penurunan *tie beam* (Δ) adalah sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{L_n}{300}$$

2.5.2.5 Perhitungan Gaya Dalam Akibat *Differential Settlement*

Pada saat *tie beam* mengalami *differential settlement*, maka terdapat gaya dalam yang dihasilkan oleh struktur tersebut. Gaya dalam tersebut dipengaruhi oleh modulus elastisitas beton (E_c) dan juga inersia penampang *tie beam* (I_g). Berikut

ini adalah persamaan dalam menentukan gaya dalam *tie beam* akibat *differential settlement*.

$$MD_{diff} = \frac{6 \times E_c \times I_g \times \Delta}{Ln^2}$$

$$VD_{diff} = \frac{12 \times E_c \times I_g \times \Delta}{Ln^3}$$

Keterangan:

MD_{diff} = Momen daerah tumpuan (KN m)

VD_{diff} = Gaya geser (KN)

E_c = 4700 × √(f_c)

I_g = $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

2.5.2.6 Perhitungan Gaya Dalam Akibat Beban Gravitasi (g)

Selain gaya dalam akibat *differential settlement*, gaya dalam akibat beban gravitasi juga harus diperhitungkan untuk menentukan gaya dalam maksimal (*ultimate*) yang mempengaruhi desain penulangan struktur *tie beam*.

$$Mu_{tumpuan} = -\frac{Qu \times Ln^2}{12}$$

$$Mu_{lapangan} = \frac{Qu \times Ln^2}{24}$$

$$Vu_{tumpuan} = \frac{Qu \times Ln}{2}$$

$$Vu_{lapangan} = \frac{Qu \times Ln}{4}$$

Keterangan:

Q_u = Beban merata maksimum *tie beam* (Q_u = 1.4 × (Q_{DL} + Q_{SDL}))

Q_D = Berat sendiri *tie beam* (Q_D = Berat jenis beton × h × b)

Q_{SDL} = Berat dinding pada *tie beam* (Q_{SDL} = Berat jenis dinding × h lantai)

2.5.2.7 Desain Penulangan Longitudinal Tie Beam

Desain penulangan longitudinal *tie beam* diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019 dengan syarat dan persamaan sebagai berikut.

- a. Menentukan jarak bersih antar tulangan (x)

$$x = \frac{b - 2ds - 2d - n \times db}{n - 1}$$

Keterangan:

- ds = Diameter tulangan transversal
 d = Tinggi efektif *tie beam* ($d = h - \text{selimut beton} - ds - db/2$)
 n = Jumlah tulangan longitudinal
 db = Diameter tulangan longitudinal

b. Jarak bersih tulangan (y)

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 25.2.1, adapun jarak bersih tulangan harus lebih besar dari nilai terbesar antara diameter tulangan longitudinal (mm) atau 25 mm.

$$x \geq \text{nilai maksimum antara db atau 25 mm}$$

c. Menentukan kebutuhan tulangan *tie beam*

Dalam menentukan kebutuhan tulangan *tie beam*, luasan tulangan rencana (As pasang) harus didesain lebih besar daripada luasan minimum yang ditentukan oleh SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 9.6.1.2 dengan persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$As \text{ min } 1 = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times fy} \times b \times d$$

$$As \text{ min } 2 = \frac{1.4}{4 \times fy} \times b \times d$$

Keterangan:

- fy = Tegangan leleh tulangan baja (MPa)
 b = Lebar *tie beam* (mm)
 d = Tinggi efektif *tie beam* (mm)

d. Menentukan tinggi blok tegangan persegi ekuivalen *tie beam*

Dalam menentukan Momen Nominal *tie beam* (Mn), tinggi blok tegangan persegi ekuivalen *tie beam* (a) harus diperhitungkan sesuai SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.2.2.4.1 dengan persamaan sebagai berikut.

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b}$$

e. Menentukan jarak antara serat tekan terjauh dengan sumbu netral (c)

Setelah memperhitungkan pengaruh tinggi blok tegangan persegi ekuivalen *tie beam*, maka jarak antara serat tekan terjauh dengan sumbu netral beton dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

- f. Menentukan nilai regangan beton (ϵ_s)

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.2.2.1, nilai regangan tekan maksimum beton saat hancur ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$c = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

- g. Menentukan momen nominal dan momen *ultimate tie beam*

Nilai momen nominal *tie beam* harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang koefisiennya ditentukan oleh SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 21.2.2 ($\phi M_n = \phi \times M_n$). Sementara itu, nilai dari momen *ultimate* adalah hasil penjumlahan dari momen *ultimate* akibat beban gravitas dan momen *ultimate* akibat *differential settlement* ($M_u = M_u \text{ tump/lap} + M_{D\text{diff}}$).

- h. Cek kapasitas gaya dalam *tie beam*

Untuk merencanakan penulangan *tie beam* yang aman, maka nilai faktor reduksi momen nominal harus lebih besar daripada momen *ultimate* total struktur *tie beam* ($\phi M_n > M_u$). Apabila persamaan tersebut tidak terpenuhi, maka penampang *tie beam* atau kebutuhan tulangan dapat diperbesar.

2.5.2.8 Desain Penulangan Transversal *Tie Beam*

Desain penulangan transversal *tie beam* diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019 dengan syarat dan persamaan sebagai berikut.

- a. Menentukan gaya geser *ultimate tie beam* akibat faktor reduksi (ϕ)

Gaya geser *ultimate* akibat faktor reduksi *tie beam* (V_u/ϕ) harus diperhitungkan dalam mendesain penulangan transversal *tie beam* yang berfungsi sebagai acuan dalam menentukan keamanan desain rencana. Faktor reduksi tersebut telah diatur pada Pasal 12.5.3.2 dengan nilai 0.75. Dalam merencanakan tulangan transversal *tie beam*, nilai faktor reduksi harus diperhitungkan apabila lokasi struktur tergolong ke dalam kategori desain seismik D, E, atau F.

b. Mendesain tulangan transversal *tie beam*

Luasan tulangan transversal (A_v) harus didesain secara efektif untuk mendapatkan nilai geser nominal (ϕV_n) yang lebih besar daripada gaya geser *ultimate tie beam* (V_u/ϕ) agar desain tulangan mampu meredam gaya geser struktur. Berikut ini adalah persamaan menentukan luasan tulangan transversal (A_v).

$$A_v = \frac{1}{4} \pi \times d s^2 \times n, n = \text{jumlah kaki atau ties}$$

Selain mendesain penulangan transversal yang efektif, jarak tulangan (s) juga harus didesain agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan. Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 9.7.6.2.2, adapun persamaan dalam menentukan jarak maksimum penulangan transversal adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 15 Jarak Maksimum Tulangan Transversal *Tie Beam*

V_s	Jarak Maksimum Tulangan Transversal (mm)		
		Balok Nonprategang	Balok Prategang
$\leq 0.33 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$	Terkecil dari	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0.33 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$	Terkecil dari	$d/4$	$3h/8$
		300	

(SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2)

Berdasarkan persamaan dalam tabel di atas, adapun persamaan menentukan gaya geser akibat penulangan transversal (V_s) adalah sebagai berikut.

$$V_s = A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s}$$

Keterangan:

A_v = Luas tulangan transversal total (mm^2)

f_{yv} = Tegangan leleh tulangan transversal (MPa)

d = Tinggi efektif *tie beam* (mm)

s = Jarak tulangan transversal rencana (mm)

c. Menentukan gaya geser nominal tulangan transversal (V_n)

Gaya geser nominal tulangan transversal (V_n) ditentukan dengan hasil penjumlahan gaya geser akibat beton (V_c) dan gaya geser akibat tulangan transversal (V_s). Di dalam SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.5.5.1, adapun persamaan dalam menentukan nilai V_c adalah sebagai berikut.

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

Sementara itu, nilai V_s direncanakan nilai minimum antara persamaan $V_s = A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s}$ dengan $V_s = 0.66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$.

d. Cek kapasitas penulangan transversal

Dalam mendesain penulangan transversal *tie beam*, gaya geser nominal akibat faktor reduksi (ϕV_n) harus lebih besar daripada gaya geser *ultimate* akibat faktor reduksi (V_u/ϕ).

2.5.3 Desain Struktur Balok

Struktur balok merupakan komponen struktur yang didesain untuk dominan menopang momen lentur dan gaya geser, sebagai pengikat struktur kolom, penambah kekakuan pelat, serta meningkatkan kekakuan struktur arah horizontal (Putri, A. H., dkk., 2021). Persyaratan perencanaan komponen struktur balok berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 adalah sebagai berikut.

2.5.3.1 Syarat Desain Geometri Balok

a. Tinggi minimum balok

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 9.3.1.1, adapun tinggi minimum balok nonprategang ditentukan berdasarkan jenis perlekatan atau tumpuan struktur balok.

Tabel 2. 16 Syarat Tinggi Minimum Struktur Balok Nonprategang

Kondisi Perlekatan	Tinggi Minimum (h)
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18.5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1)

b. Lebar minimum balok

Lebar balok minimal 250 mm atau tidak boleh kurang dari 30% tinggi balok tersebut ($b = 0.3 \times h$). Lebar balok juga direncanakan tidak lebih besar daripada lebar kolom penumpu dan 0.75 dari tinggi kolom penumpu tersebut (SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.6.2.1).

c. Panjang bentang bersih balok

Bentang bersih balok (L_n) tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektif balok (d) tersebut untuk menghindari beban bangunan berlebih. Menentukan tinggi efektif balok adalah dengan persamaan sebagai berikut.

$$d = h - \text{selimut beton} - ds - db/2$$

2.5.3.2 Perhitungan Momen Nominal Balok (M_n)

Momen nominal balok merupakan momen *ultimate* balok dibagi dengan faktor reduksi sebesar 0.8. Momen nominal diperuntukkan sebagai acuan besaran momen dalam menentukan desain penulangan longitudinal daerah tumpuan dan lapangan.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

2.5.3.3 Perhitungan Koefisien Ketahanan Balok (R_n)

Koefisien ketahanan R_n diperhitungkan sebagai koefisien untuk menentukan rasio tulangan (ρ) yang efektif digunakan dalam merencanakan luasan penulangan total balok yang akan digunakan.

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

2.5.3.4 Perhitungan Nilai ρ , ρ min, ρ balance, dan ρ max

Menentukan nilai ρ bertujuan untuk mendapatkan suatu koefisien yang efektif di dalam mendesain penulangan balok. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan nilai ρ .

$$R_n = \rho \times f_y - \frac{0.59 \times \rho^2 \times f_y^2}{f'_c}$$

$$\rho \text{ min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{balance} = 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0.75 \times \rho_{balance}$$

2.5.3.5 Menentukan Nilai ρ pakai

Berikut ini adalah ketentuan dalam menentukan nilai ρ pakai dalam mendesain penulangan struktur balok.

Syarat 1. $\rho < \rho_{min}$ (dipakai ρ_{min})

Syarat 2. $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ (dipakai ρ)

Syarat 3. $\rho > \rho_{max}$ (diameter tulangan diperbesar)

2.5.3.6 Menentukan Nilai As Perlu dan As Min Balok

Pendesainan dimensi dan kebutuhan tulangan longitudinal balok dipengaruhi oleh luasan perlu (As perlu) dan luasan minimum (As min) penampang balok. Di dalam SNI 2847 Tahun 2019, balok yang didesain harus memiliki luasan penampang tulangan total (As pasang) yang lebih besar daripada nilai maksimum antara As perlu dan As min penampang balok. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan As perlu dan As min struktur balok.

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

2.5.3.7 Desain Penulangan Longitudinal Balok

Dalam pendesainan tulangan longitudinal balok, banyak tulangan (n) pakai harus direncanakan dengan efektif untuk mendapatkan luas penampang (As pakai) yang ideal atau $As_{pasang} > As_{perlu}$ dan $As_{minimum}$. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan banyak tulangan longitudinal pakai balok.

$$n = \frac{\text{Nilai maks. (As perlu; As min)}}{\text{luas tampang nominal}}$$

$$As_{pakai} = \frac{1}{4} \pi \times D_n^2 \times n$$

Keterangan:

D_n = Diameter nominal tulangan baja ulir (BJTS)

2.5.3.8 Desain Penulangan Transversal Balok

- a. Menentukan nilai gaya geser akibat beton

Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan gaya geser akibat beton dalam merencanakan penulangan transversal balok.

$$V_c = \frac{1}{6} \times (\sqrt{f'_c} \times b \times d \times 10) \times 0.001$$

- b. Menentukan nilai gaya geser beton akibat faktor reduksi

Nilai gaya geser beton akibat faktor reduksi (ϕV_c) harus didesain lebih besar daripada gaya geser *ultimate* (V_u) agar tulangan transversal mampu menyerap gaya geser maksimum yang terjadi pada balok. Adapun nilai faktor reduksi gaya geser beton adalah sebesar 0.6.

$$\phi V_c > V_u$$

- c. Desain penulangan transversal balok

Dalam merencanakan penulangan transversal balok, jarak perlu penulangan transversal balok (s perlu) harus didesain lebih besar daripada jarak pasang penulangan. Adapun persamaan dalam menentukan jarak perlu penulangan transversal adalah sebagai berikut.

$$s \text{ perlu} = \frac{A_v \text{ pakai}}{A_v / s \text{ perlu}}$$

Keterangan:

A_v = Luasan total penulangan transversal balok rencana

A_v / s = Luasan perlu penulangan transversal balok

- d. Desain jarak penulangan transversal balok

Dalam menentukan jarak penulangan transversal, adapun syarat-syarat yang perlu diperhitungkan berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 adalah sebagai berikut.

Syarat 1. $S = d/4$, di mana d adalah tinggi efektif balok

Syarat 2. $S = 6 \times d_b$, di mana d_b adalah diameter tulangan longitudinal

Syarat 3. $S \leq 150 \text{ mm}$

2.5.4 Desain Struktur Kolom

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, struktur kolom adalah komponen struktur vertikal yang difungsikan memikul beban aksial, serta juga dapat menopang

momen, geser, serta torsi struktur bangunan. Syarat-syarat di dalam merencanakan struktur kolom berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 adalah sebagai berikut.

2.5.4.1 Syarat Desain Geometri Kolom

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.2.1, adapun syarat geometri dalam mendesain struktur kolom adalah dimensi penampang terkecil kolom (b) lebih besar atau sama dengan 300 mm dengan rasio dimensi terpendek (b) kolom dengan dimensi terpanjang kolom (h) lebih besar atau sama dengan 0.4.

$$\frac{b}{h} \geq 0.4 \text{ dengan } b \geq 300 \text{ mm}$$

Dalam mendesain tulangan longitudinal kolom, rasio tulangan (ρ) harus memenuhi persamaan dalam SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.4.1 sebagai berikut.

$$\text{Ratio tulangan } (\rho) = \frac{A_{st}}{b \times h}$$

$$1\% \leq \rho \leq 6\%$$

Keterangan:

$$A_{st} = \text{Luasan tulangan total longitudinal (mm}^2\text{)}, A_{st} = \frac{1}{4} \pi \times d b^2 \times n$$

2.5.4.2 Menentukan Kebutuhan Tulangan Longitudinal

Dalam menentukan kebutuhan tulangan utama kolom, diperlukan luasan total penulangan perlu (A_s perlu) yang dapat diperoleh dari hasil analisa struktur. Kemudian, tulangan yang direncanakan harus memiliki luasan yang lebih besar daripada batas minimum luasan total penulangan perlu agar kolom yang didesain efektif dan kokoh dalam menahan beban-beban bangunan yang bekerja di dalamnya.

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

2.5.4.3 Desain *Strong Column Weak Beam*

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, struktur kolom harus didesain lebih kuat daripada struktur balok atau dengan kata lain apabila terjadi beban gempa, keruntuhan awal direncanakan terjadi pada struktur horizontal terlebih dahulu untuk mengantisipasi terjadinya keruntuhan total struktur bangunan. Adapun persamaan

dalam mendesain struktur *strong column weak beam* berdasarkan Pasal 18.7.3.2 adalah sebagai berikut.

$$2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_n^- + M_n^+)$$

Keterangan:

M_{nc} = Momen nominal kolom dari kondisi gaya aksial maksimum (P_{max}) dan gaya aksial minimum (P_{min})

M_n^- = Momen nominal balok area tumpuan

M_n^+ = Momen nominal balok area tumpuan

2.5.4.4 Perhitungan Diagram Interaksi

Perhitungan diagram interaksi bertujuan untuk menganalisis desain penulangan longitudinal kolom terhadap gaya dalam yang bekerja di dalamnya, serta mendesain keefektifan penulangan struktur kolom.

- a. Menentukan faktor distribusi tegangan

Faktor distribusi tegangan ditentukan untuk menentukan nilai tinggi blok tegangan tekan beton (β_1) yang dipengaruhi oleh mutu beton yang digunakan. Berikut ini adalah syarat penggunaan faktor distribusi tegangan kolom.

Syarat 1. $\beta_1 = 0.85$ untuk mutu beton $f'_c \leq 30$ MPa.

Syarat 2. $\beta_1 = 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30)$ untuk mutu beton $f'_c > 30$ Mpa

- b. Menentukan luas tulangan berdasarkan baris pemasangannya

Dalam menentukan gaya dalam tulangan baja, luas masing-masing tulangan setiap barisnya harus diperhitungkan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$A_{si} = \frac{\text{Banyak tulangan tiap baris}}{\text{Jumlah tulangan total}} \times A_s \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak antar tulangan } (x) = \frac{h - 2 \times \text{selimut beton}}{\text{Banyak sela antar tulangan}}$$

Sehingga, berdasarkan persamaan di atas maka jarak tulangan menuju sisi luar permukaan kolom (d_i) adalah sebagai berikut.

$$d_i = \text{banyak sela} \times \text{jarak antar tulangan} + \text{tebal selimut beton}$$

- c. Menentukan gaya aksial nominal kolom

Dalam mendesain gaya aksial nominal (P_n) kolom, maka resultan gaya internal tulangan (C_s) dan gaya internal beton tekan (C_c) harus diperhitungkan. Adapun persamaan dalam menentukan masing-masing gaya adalah sebagai berikut.

$$F_{si} = A_{si} \times f_{si} \times 0.001$$

Keterangan:

F_{si} = gaya dalam tulangan (KN)

f_{si} = tegangan pada lapisan ke- i pada permukaan tulangan (Mpa)

A_{si} = luas total tulangan pada lapisan ke- i (mm^2)

Berdasarkan persamaan di atas, maka resultan gaya dalam tulangan adalah sebagai berikut.

$$C_s = [\sum F_{si}] \times 0.001$$

Keterangan:

C_s = Resultan gaya dalam tulangan (KN)

Sementara itu, persamaan dalam menentukan gaya dalam beton tekan adalah sebagai berikut.

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times b \times a \times 0.003$$

Keterangan:

C_c = gaya dalam beton tekan (KN)

a = tinggi blok tegangan tekan beton (mm) ; $a = \beta_1 \times c$

b = lebar kolom (mm)

Sehingga, gaya aksial nominal kolom (P_n) adalah akumulasi dari resultan gaya dalam tulangan baja dengan gaya dalam tekan beton.

$$P_n = C_s + C_c$$

d. Menentukan momen akibat gaya dalam masing-masing tulangan

Dalam menghitung momen akibat gaya dalam pada tulangan kolom, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$M_{si} = F_{si} \times \left(\frac{h}{2} - d_i \right)$$

Dengan persamaan jumlah momen akibat gaya dalam masing-masing tulangan adalah sebagai berikut.

$$M_s = \sum M_{si}$$

- e. Menentukan momen akibat gaya dalam tekan beton

Selain momen akibat dari tulangan baja, terdapat juga momen akibat gaya dalam pada area tekan beton. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan momen akibat gaya dalam tekan beton (M_c)

$$M_c = C_c \times \left(\frac{h - a}{2} \right)$$

Sehingga, persamaan dalam menentukan momen nominal kolom adalah sebagai berikut.

$$M_n = (M_c + M_s) \times 0.001$$

- f. Menentukan gaya aksial rencana (P_u) dan momen rencana (M_u)

Untuk menentukan gaya aksial rencana dan momen rencana, masing-masing gaya harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) sebesar 0.65.

$$P_u = \phi \times P_n$$

$$M_u = \phi \times M_n$$

- g. Menentukan gaya tekan aksial sentris (P_{no})

Kondisi gaya tekan aksial sentris terjadi pada saat momen nominal bernilai 0. Berikut ini adalah persamaan dalam merencanakan gaya tekan aksial sentris.

$$P_{no} = 0.85 \times [0.85 \times f'_c \times b \times h + A_s \times (f_y - 0.85 \times f'_c)] \times 0.003$$

Pada saat gaya aksial sentris, adapun panjang serat tekan beton menuju sumbu netral ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$c = cb = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d_1$$

Setelah garis netral terletak pada jarak c dari sisi tekan beton terluar, maka nilai regangan masing-masing tulangan adalah sebagai berikut.

$$\epsilon_{si} = 0.003 \times \frac{(c - d_i)}{c}$$

Dengan tegangan masing-masing tulangan adalah sebagai berikut.

$$\epsilon_{si} < \frac{f_y}{E_s} \text{ maka } f_{si} = \epsilon_{si} \times E_s$$

$$\epsilon_{si} \geq \frac{f_y}{E_s} \text{ maka } \frac{\epsilon_{si}}{\epsilon_{si}} \times f_y$$

2.5.4.5 Desain Daerah Sendi Plastis Kolom

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.5.1, tulangan longitudinal kolom harus dipasang dengan tulangan transversal yang lebih rapat di sepanjang daerah sendi plastis kolom (l_o) untuk meningkatkan tahanan kolom terhadap gaya geser dan gaya aksial kolom tersebut. Selain itu, dengan pemasangan tulangan transversal di sepanjang daerah sendi plastis kolom dapat memberikan pengaruh pengekanan pada beton dan juga penyediaan dukungan gaya lateral pada tulangan longitudinal kolom (Pasal 18.7.5).

Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan daerah sendi plastis kolom.

Syarat 1. l_o = dimensi penampang terbesar kolom (h)

Syarat 2. l_o = panjang bentang bersih kolom (l_n)/6

Syarat 3. l_o = minimal 450 mm.

Daerah sendi plastis kolom harus didesain sepanjang nilai maksimum dari ketiga syarat di atas.

2.5.4.6 Desain Tulangan Transversal Daerah Sendi Plastis Kolom

Dalam mendesain kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom, sumbu x dan sumbu y pada kolom harus sama-sama diperhitungkan dengan asumsi jarak tulangan transversal harus lebih rapat daripada jarak tulangan transversal di luar daerah sendi plastis kolom.

$$A_{sh} = \frac{1}{4} \rho_s \pi D n^2 x n$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{A_{sh}}{s}$$

Keterangan:

A_{sh} = Luas total penampang tulangan transversal kolom

A_{sh}/s = Jarak tulangan transversal daerah sendi plastis

2.5.4.7 Desain Kekangan Daerah Sendi Plastis (*Confinement*)

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.5.2, daerah sendi plastis kolom harus dipastikan memiliki kekangan rencana yang lebih besar daripada syarat kekangan yang ditentukan. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan batas kekangan daerah sendi plastis.

$$Ash/s \geq Ash/s \text{ min}$$

$$\frac{Ash}{s} \text{ min1} = 0.3 \times \left(bc/hc \times \frac{f'c}{fyv} \right) * \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right)$$

$$\frac{Ash}{s} \text{ min2} = 0.09 \times bc/hc * \frac{f'c}{fyv}$$

Keterangan:

- bc = Lebar penampang inti beton (mm)
bc = b – 2 x tebal selimut beton
hc = Panjang penampang inti beton (mm)
hc = h – 2 x tebal selimut beton
Ach = Luas penampang inti beton (mm²)
Ach = bc x hc
fyv = Tegangan leleh tulangan transversal (MPa)

2.5.4.8 Syarat Desain Jarak Spasi Tulangan Transversal

Berikut ini adalah syarat desain jarak spasi tulangan transversal kolom maksimum berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.5.3.

Tabel 2. 17 Syarat Jarak Spasi Maksimum Tulangan Transversal Kolom

Syarat Maksimum	Persamaan (mm)
Syarat 1	$\frac{b}{4}$, dimana b adalah lebar kolom
Syarat 2	6 x db
Syarat 3	$So = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right)$ 100 mm < So < 150 mm

(Sumber: SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3)

2.5.4.9 Menghitung Gaya Kuat Geser Daerah Sendi Plastis Kolom

Berikut adalah persamaan menentukan nilai gaya kuat geser kolom daerah sendi plastis (Vu) berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.7.6.1.

$$Vu = \frac{2 \times Mpr \text{ Kolom}}{Ln}$$

Keterangan:

M_{pr} = Kekuatan lentur kolom

2.5.4.10 Menghitung Ketahanan Kuat Geser Kolom

Berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai ketahanan kuat geser kolom (V_c) berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.5.6.1.

$$V_c = 0.17 \times \left[\left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \right] \times \sqrt{f'_c} \times h \times d$$

Keterangan:

N_u = Gaya aksial kolom terkecil (KN)

A_g = Luas penampang kolom (mm^2)

d = Tinggi efektif kolom

d = h kolom – selimut beton kolom – d_s – $d_b/2$

d_s = Diameter tulangan transversal

d_b = Diameter tulangan longitudinal

2.5.4.11 Menentukan Ketahanan Kuat Geser Kolom Perlu

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.5.10.1, adapun persamaan dalam menentukan ketahanan kuat geser kolom perlu adalah sebagai berikut.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c, \text{ dimana } \phi = 0.75$$

2.5.4.12 Menentukan Jarak Maksimum Berdasarkan Kuat Geser Perlu

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 22.5.10.5.3 dan Pasal 10.6.2.2, dijelaskan bahwa jarak tulangan transversal daerah sendi plastis harus diperhitungkan terhadap jarak maksimum tulangan yang dipengaruhi oleh ketahanan kuat geser kolom perlu.

$$\frac{V_s}{s} \text{ perlu} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d}$$

$$\frac{V_s}{s} \text{ min 1} = 0.062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{h}{f_{yv}}$$

$$\frac{V_s}{s} \text{ min 2} = 0.35 \times \frac{h}{f_{yv}}$$

Ash/s \geq nilai maksimum V_s perlu, V_s/s min 1 dan V_s/s min 2

2.5.5 Desain Struktur Pelat Lantai dan Pelat Atap

Menurut Kembuan, dkk., (2018), pelat adalah komponen struktur yang memiliki ketebalan yang relatif kecil, namun memiliki bentangan yang luas yang umumnya didesain untuk menopang beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*) pada bangunan. Berdasarkan rasio bentangannya, pelat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sebagai berikut.

2.5.5.1 Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Pelat satu arah atau *two way slab* merupakan pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi pelat yang saling berhadapan dengan rasio panjang bentang panjang dan bentang pendek pelat tersebut lebih besar dari koefisien dua (Putra, dkk., 2020). Adapun syarat-syarat perencanaan komponen struktur pelat yang diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019 adalah sebagai berikut.

2.5.5.1.1 Syarat Geometri Pelat Satu Arah

Tabel 2. 18 Syarat Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Kondisi Tumpuan	Tebal Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 7.3.1.1)

Syarat tersebut di atas hanya berlaku untuk beton berat normal dengan mutu tulangan (f_y) adalah 420 MPa. Apabila di dalam penerapannya menggunakan mutu tulangan lebih dari 420 MPa, maka persamaan pada tabel di atas dikali dengan persamaan $0.4 + f_y/700$ (SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 7.3.1.1.1).

2.5.5.1.2 Syarat Desain Batas Lendutan Pelat Maksimum

Tabel 2. 19 Syarat Lendutan Maksimum Pelat Satu Arah

Jenis Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan Yang Diperhitungkan	Batas Lendutan
-------------------------	---------	------------------------------	----------------

Atap datar	Tidak memikul atau tidak dikombinasikan dengan elemen-elemen non struktural		Lendutan seketika akibat Lr dan R	$l/180$
Lantai	yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau dikombinasikan dengan elemen-elemen non struktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen non struktural, yaitu: jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup.	$l/480$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/240$

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 24.2.2)

2.5.5.1.3 Syarat Tebal Selimut Beton Pelat Satu Arah (*Cor in Situ*)

Tabel 2. 20 Syarat Tebal Selimut Beton Pelat Satu Arah

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut Beton (mm)
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75

Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Semua	25
	Lainnya	Semua	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Semua	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama	40
		Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral, dan sengkang pengekang	25

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 20.6.1.3.2)

2.5.5.1.4 Syarat Tulangan Minimum Pelat Satu Arah

Berikut ini adalah syarat desain tulangan minimum (as min) pelat dengan sistem satu arah.

1. Jenis tulangan ulir (BJTS) dengan mutu tulangan (f_y) kurang dari 420 MPa, maka A_s minimumnya adalah $0.0020 A_g$ di mana A_g adalah lebar bentang pelat (B) x tebal pelat (H).
2. Jenis tulangan ulir (BJTS) dengan mutu tulangan (f_y) lebih dari atau sama dengan 420 MPa, maka A_s minimumnya adalah nilai terbesar dari: $\frac{0.0018 \times 420}{f_y} \times A_g$ dan $0.0014 A_g$.
3. Spasi maksimum (s) tulangan ulir (BJTS) adalah harus kurang dari tiga kali tebal pelat atau kurang dari 450 mm.

2.5.5.2 Syarat Desain Struktur Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Struktur pelat dua arah atau *two way slab* merupakan struktur yang ditumpu oleh komponen struktur lainnya (balok) di setiap sisi pelat, sehingga memungkinkan terjadinya orientasi lendutan dua arah dengan rasio bentang terpanjang dan bentang

terpendeknya adalah kurang dari koefisien dua (Syamsi, 2015). Berikut ini adalah syarat-syarat dalam merencanakan struktur pelat dua arah yang diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019.

2.5.5.2.1 Syarat Geometri Pelat Dua Arah

Di dalam SNI 2847 Tahun 2019 Tabel 8.3.1.1 dan Tabel 8.3.1.2, dijelaskan bahwa mendesain ketebalan minimum pelat dengan sistem dua arah (*two way slab*) dipengaruhi oleh mutu tulangan yang digunakan, serta sistem struktur yang menumpu pelat tersebut. Berikut di bawah ini adalah syarat mendesain ketebalan minimum pelat dengan sistem dua arah.

Tabel 2. 21 Syarat Tebal Minimum Pelat Dua Arah Tanpa Balok

Mutu Tulangan, f_y (MPa)	Tanpa <i>Drop Panel</i>			Dengan <i>Drop Panel</i>		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
420	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
520	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 8.3.1.1)

Tabel 2. 22 Syarat Tebal Minimum Pelat Dua Arah Dengan Balok

$\alpha f m$	Tebal Minimum	
$\alpha f m \leq 0.2$	Tabel 2.16 Berlaku	
$0.2 < \alpha f m \leq 2.0$	Nilai terbesar dari	$\frac{\ln (0.8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha f m - 0.2)}$
		125
$\alpha f m > 2.0$	Nilai terbesar dari	$\frac{\ln (0.8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 8.3.1.2)

Untuk menentukan persamaan yang digunakan dalam mendesain ketebalan minimum pelat dua arah, nilai rasio kekuatan lentur, baik balok yang menumpu pelat maupun pelat itu sendiri harus diperhitungkan terlebih dahulu. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan rasio kekuatan lentur balok terhadap kekuatan lentur pelat (α_f).

$$\alpha_f = \frac{E_c \text{ Balok} \times I_{\text{balok}}}{E_c \text{ Pelat} \times I_{\text{pelat}}}$$

Pada umumnya, mutu beton balok dan pelat sama karena dicor secara monolit. Oleh karena itu, modulus elastisitas balok (E_c Balok) dan modulus elastisitas pelat (E_c pelat) dapat diabaikan karena bernilai sama. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan inersia balok dan juga pelat.

$$I_{\text{Balok}} = k \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I_{\text{Pelat}} = \frac{L \times t^3}{12}$$

Di mana k adalah koefisien inersia balok yang ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)\right]^3}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

Keterangan:

β = Rasio panjang bentang pelat arah x (L_x) dan arah y (L_y)

α_{fm} = Nilai α_f rata-rata

be = Lebar efektif balok

2.5.5.2.2 Perhitungan Beban Pelat dan Beban Terfaktor Pelat

Pada umumnya, beban-beban yang bekerja pada bentangan pelat adalah beban pelat itu sendiri (*dead load*) dan beban hidup pelat (*live load*). Namun, dalam perhitungan beban terfaktor, beban-beban nonstruktural lainnya harus diperhitungkan, seperti: berat material arsitektural, berat material elektrik, berat material perpipaan, dsb. Berat-berat tersebut kemudian diakumulasikan menjadi satu beban mati yang ditopang oleh pelat itu sendiri. Sementara itu, beban hidup pelat ditentukan berdasarkan faktor fungsional gedung itu sendiri sesuai yang disusun di dalam

Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung 1983 (Tabel PPIUG 1983).

Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan beban terfaktor pelat.

$$\text{Beban Terfaktor (Wu)} = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL}$$

2.5.5.2.3 Perhitungan Batasan Minimum Beton Bertulang

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, adapun persamaan dalam menentukan batasan minimum beton bertulang untuk pelat adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho \text{ balance} = 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho \text{ max} = 0.75 \times \rho \text{ balance}$$

2.5.5.2.4 Menentukan Momen-Momen Pelat

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019, momen yang bekerja pada pelat harus diperhitungkan berdasarkan momen yang bekerja pada area lapangan dan juga momen yang bekerja pada area tumpuan. Momen-momen tersebut juga harus diperhitungkan, baik dari arah x dan juga arah y. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan momen yang bekerja pada pelat.

$$\text{Momen pelat} = 0.001 \times \text{Qu} \times \text{Lx}^2 \times (x)$$

Keterangan:

Qu = Wu, beban terfaktor pelat

Lx = Panjang bentang terpendek pelat

x = Koefisien momen pelat

2.5.5.2.5 Menentukan Momen Nominal Pelat

Dalam mendesain penulangan pelat, momen yang bekerja pada pelat baik searah bentang x maupun searah bentang y harus diperhitungkan momen nominalnya (Mn). Momen nominal tersebut adalah nilai momen maksimum pada daerah lapangan dan juga daerah tumpuan pelat. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan momen nominal pelat.

$$Mn = \frac{Mu \text{ max}}{\phi}$$

2.5.5.2.6 Menentukan Koefisien Ketahanan Rn Pelat

Koefisien ketahanan Rn pelat diperhitungkan untuk menentukan nilai ρ efektif yang akan digunakan untuk menentukan kebutuhan luasan penampang pelat. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan nilai ρ berdasarkan persamaan koefisien ketahanan Rn.

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$Rn = \rho \times fy - \frac{0.59 \times \rho^2 \times fy^2}{f'c}$$

2.5.5.2.7 Menentukan Nilai ρ Efektif

Untuk menentukan nilai ρ yang digunakan dalam mendesain luasan perlu penampang pelat, nilai ρ yang didapatkan dari persamaan ketahanan Rn harus dibandingkan dengan nilai minimum, nilai imbang, dan nilai maksimum ρ yang diatur di dalam SNI 2847 Tahun 2019. Berikut ini adalah syarat-syarat menentukan nilai ρ .

Syarat 1. $\rho < \rho_{min}$ (dipakai ρ_{min})

Syarat 2. $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ (dipakai ρ)

Syarat 3. $\rho > \rho_{max}$ (diameter tulangan diperbesar)

2.5.5.2.8 Menentukan Nilai As Perlu dan As Min Pelat

Dalam menentukan luasan perlu (as perlu) dan luasan minimum (as min) pelat, nilai ρ yang digunakan adalah nilai yang memenuhi persamaan di atas. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan nilai as perlu dan as min pelat.

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$As \text{ min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times fy} \times b \times d$$

Tabel 2. 23 Syarat Tulangan Minimum Pelat Dua Arah

Jenis Tulangan	Mutu Tulangan, f_y (MPa)	As min (mm ²)
Batang ulir	< 420	0.0020A _g

Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Nilai terbesar	$\frac{0.0018 \times 420}{f_y} A_g$
		dari:	0.0014A _g

(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Tabel 8.6.1.1)

Untuk pelat solid dan non prategang, spasi maksimum tulangan ulir longitudinal harus kurang dari dua kali tebal pelat atau kurang dari 450 mm.

Keterangan:

d = Tinggi efektif pelat

d = tebal pelat – tebal selimut beton pelat – diameter tulangan pelat/2

2.5.5.2.9 Mendesain Penulangan Pelat Berdasarkan As Perlu dan As Min

Dalam mendesain penulangan pelat, luasan penampang tulangan pelat yang dipakai (as pakai) harus lebih besar daripada nilai minimum yang diperlukan (as perlu dan as min pelat). Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan luasan penampang tulangan pelat yang dipakai.

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \pi \times Dn^2 \times n$$

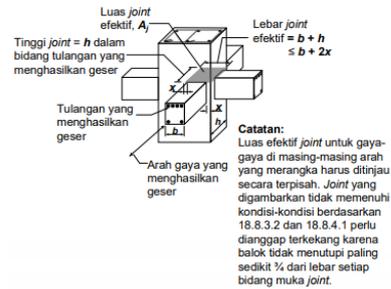
Keterangan:

Dn = Diameter nominal tulangan pelat ulir (BJTS)

2.6 Desain Sambungan (*Joint*) Balok-Kolom

Daerah sambungan atau pertemuan antara struktur balok dan struktur kolom merupakan daerah kritis pada struktur beton bertulang yang harus didesain untuk mampu menahan gaya-gaya yang timbul, khususnya akibat beban gempa (Wardi dan Ardiansyah, 2022). Karena pada daerah sambungan tersebut terjadi konsentrasi tegangan tinggi akibat gaya gempa yang mampu membentuk sendi plastis berlebih yang menyebabkan terjadinya kehancuran (Ristanto, dkk., 2016).

Gempa Padang tahun 2009 dan gempa Lombok tahun 2018 yang menyebabkan banyak bangunan beton bertulang mengalami keruntuhan disebabkan oleh pertemuan balok-kolom yang didesain tidak mampu menahan gaya-gaya yang timbul pada saat terjadi gempa bumi.



Gambar 2. 4 Sambungan Balok-Kolom (*Joint*)
(Sumber: SNI 2847 Tahun 2019, Gambar R18.8.4)

Berikut ini adalah syarat dan tahapan desain sambungan (*joint*) balok-kolom berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.4.

2.6.1 Syarat Eksentrisitas Balok

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan data lebar dan eksentrisitas sambungan balok-kolom dengan asumsi kolom interior yang tersambung dengan empat buah balok dengan dimensi yang sama.

$$x = \frac{(h \text{ kolom} - b \text{ balok})}{2}$$

$$x = \frac{(b \text{ kolom} - b \text{ balok})}{2}$$

2.6.2 Menentukan Dimensi Sambungan Balok-Kolom

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.4.3, untuk menentukan luas efektif sambungan balok-kolom, baik arah x maupun arah y pada saat terjadi gempa adalah sebagai berikut.

$$A_{\text{joint-x}} = b_j \times h$$

$$A_{\text{joint-y}} = b \times h_j$$

Keterangan:

A_{joint} = Luas efektif sambungan gempa arah x/arah y

b_j = Lebar efektif sambungan arah y (diambil nilai minimum antar lebar sambungan)

h_j = Lebar efektif sambungan arah x (diambil nilai minimum antar lebar sambungan)

$$b_j/h_j = b \text{ balok} + h \text{ kolom}; b \text{ balok} + 2x \text{ eksentrisitas balok}$$

Dengan syarat: $h_j \geq \frac{1}{2} h$ kolom (Pasal 18.8.2.4)

2.6.3 Menentukan Gaya Tulangan Balok

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.2.1, gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok pada daerah sambungan harus diperhitungkan dengan asumsi tegangan pada tulangan tarik lentur (f_{pr}) = 1.25 f_y .

$$\text{Gaya tulangan} = A_s \times f_{pr}$$

Keterangan:

A_s = Luas penampang tulangan tumpuan atau tulangan lapangan

2.6.4 Menentukan Gaya Geser Akibat Balok

Untuk menentukan nilai gaya geser sambungan balok-kolom akibat balok adalah akumulasi gaya tulangan atas dan tulangan bawah struktur balok yang saling berhadapan.

$$V \text{ balok} = F_s + C$$

Keterangan:

F_s = Gaya tulangan atas balok

C = Gaya tulangan bawah balok

2.6.5 Menentukan Gaya Geser Akibat Kolom (*Beam Hinging*)

Berikut ini adalah persamaan menentukan gaya geser akibat kolom berdasarkan persamaan *Beam Hinging*.

$$V \text{ kolom} = \frac{(M_{pr1} + M_{pr2}) + (V_{e2} + V_{e1})xh/2}{L_n}$$

Keterangan:

M_{pr} = Momen *probable* balok (Nmm)

V_e = Gaya geser balok (N)

Gaya geser kolom berdasarkan *Beam Hinging* harus diperhitungkan berdasarkan arah x dan y, baik pada kondisi tumpuan positif maupun tumpuan negatif.

2.6.6 Menentukan Gaya Geser Total Daerah Sambungan Balok-Kolom

Gaya geser total daerah sambungan balok-kolom adalah selisih antara gaya geser akibat balok dengan gaya geser akibat kolom.

$$V \text{ total} = F_s + C - V \text{ column}$$

2.6.7 Menentukan Kuat Geser Nominal *Joint* Balok-Kolom

Berikut di bawah ini adalah persamaan untuk menentukan kuat geser sambungan balok-kolom berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.4.1 dan Pasal 21.2.4.3.

$$V_n x = c \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times A_{joint} x$$

$$V_n y = c \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times A_{joint} y$$

$$\phi V_n = \phi \times V_n; \phi = 0.85$$

$V_u x$ = gaya geser joint gempa maksimum arah x

$V_u y$ = gaya geser joint gempa maksimum arah y

$$SF x = \phi V_n / V_u$$

$$\text{Syarat: } SF \geq 1$$

Faktor pengali kuat geser (c) dipengaruhi oleh perletakan balok atau konfigurasi sambungan dengan nilai seperti berikut.

Tabel 2. 24 Kekuatan Geser Nominal Sambungan Balok-Kolom (V_n)

Konfigurasi Sambungan	V_n
Untuk sambungan yang terkekang oleh balok pada keempat sisi kolom	$1.7x \lambda \times \sqrt{f'c} \times A_{joint}$
Untuk sambungan yang terkekang oleh balok pada ketiga atau kedua sisi kolom berlawanan	$1.2x \lambda \times \sqrt{f'c} \times A_{joint}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1.0x \lambda \times \sqrt{f'c} \times A_{joint}$

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 18.8.4.1)

2.6.8 Desain Tulangan Transversal Sambungan Balok-Kolom

Berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.3.2, tulangan transversal pada daerah sambungan balok-kolom dapat direduksi kekangannya (*confinement*) sebesar 50%, namun dengan jarak maksimum tulangan transversal adalah 150 mm.

2.6.9 Syarat Desain Panjang Penyaluran Tarik

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan penyaluran tarik pada daerah sambungan balok-kolom berdasarkan SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 18.8.5.1.

$$ldh \text{ hitung} = \frac{f_y \times db}{(5.4 \times \lambda \times \sqrt{f'c}}$$

$$ldh \text{ pakai} = \text{nilai maks } (ldh ; 8db ; 150)mm$$

2.7 Analisa Beban Struktur Bangunan

Dalam merencanakan struktur bangunan, mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan merupakan faktor penting karena struktur bangunan dikatakan aman apabila struktur tersebut mampu menahan beban gravitasi, seperti: beban mati dan beban hidup, serta beban gempa yang dialami struktur bangunan tersebut (Luther, 2021). Berdasarkan SNI 1727 Tahun 2020 dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, adapun beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan adalah sebagai berikut.

2.7.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati atau *dead load* merupakan berat seluruh material konstruksi yang terpasang pada bangunan, berat komponen arsitektural, berat komponen struktural, serta berat peralatan layan terpasang pada bangunan (SNI 1727 Tahun 2020 Pasal 3.1.1). Dengan kata lain, beban mati bangunan merupakan volume komponen struktur bangunan dikali dengan berat jenis material yang digunakan.

Berikut ini adalah beban mati bangunan berdasarkan berat jenis material penyusunnya.

Tabel 2. 25 Beban Mati Bangunan (*Dead Load*)

Jenis Material	Berat Jenis Material	Satuan
Tulangan Baja	7850	Kg/m ³
Beton Bertulang	2400	Kg/m ³

(Sumber: Tabel PPIUG 1983)

2.7.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup atau *live load* merupakan beban yang disebabkan oleh faktor fungsional dan penggunaan struktur gedung atau beban yang disebabkan oleh bukan faktor konstruksi (SNI 1727 Tahun 2020). Berikut ini adalah beban hidup pada bangunan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung 1983.

Tabel 2. 26 Beban Hidup Bangunan (*Live Load*)

Keterangan	Berat Jenis	Satuan
Beban lantai: rumah sakit	250	Kg/m ²
Beban atap: atap daktail	100	Kg/m ²
Beban genangan air hujan pada atap	100	Kg/m ²

(Sumber: Tabel PPIUG 1983)

2.7.3 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan merupakan beban-beban yang diterima struktur bangunan yang disebabkan oleh berat material nonstruktural bangunan. Berikut ini adalah berat material nonstruktural bangunan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung 1983.

Tabel 2. 27 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Komponen Gedung	Berat Jenis Komponen	Satuan
Lapisan spasi dari adukan semen	2100	Kg/m ³
Aspal	14	Kg/m ²
Dinding hebel (tebal 15 cm)	300	Kg/m ²
Dinding parapet	250	Kg/m ²
Plafon	11	Kg/m ²
Rangka plafon	7	Kg/m ²
Keramik	10	Kg/m ²
<i>Ducting</i> dan ME	20	Kg/m ²
<i>Plumbing</i> dan <i>hydrant</i>	25	Kg/m ²
<i>Waterproofing</i>	28	Kg/m ²
<i>Water storage</i> dan air	5.04	KN/m ²

(Sumber: Tabel PPIUG 1983)

2.7.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa merupakan beban akibat adanya percepatan getaran tanah secara berulang-ulang (Usmat, dkk., 2019). Secara garis besar, jenis beban gempa adalah beban statik ekuivalen dan beban respons spektrum. Menurut Arifin, dkk., (2015), perilaku dinamik bangunan dipengaruhi oleh kekakuan dan massa bangunan.

Dalam mendesain bangunan tahan gempa, massa bangunan harus didefinisikan sebagai 30% beban hidup, 100% beban mati, dan 100% beban mati tambahan.

2.7.5 Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin merupakan beban yang timbul akibat adanya selisih tekanan udara yang bekerja pada gedung ada sebagian gedung dengan tekanan minimum sebesar 25 kg/m, serta 40 kg/m untuk bangunan yang berada di sekitar pantai (Paikun, dkk., 2022). Berdasarkan SNI 1727 Tahun 2020 Pasal 26.1.1, dijelaskan bahwa struktur bangunan gedung harus didesain untuk dapat menahan beban angin sebagai parameter angin dasar. Berikut ini adalah prosedur yang diatur dalam Pasal 26 sampai Pasal 31 dalam mendesain beban angin pada bangunan gedung.

2.7.5.1 Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU)

Berdasarkan SNI 1727 Tahun 2020 Pasal 26.1.2.1, pemilihan sistem beban angin utama (SPBAU) dipengaruhi oleh ketinggian bangunan dan jenis struktur bangunannya. Berikut ini adalah prosedur pendesainan beban angin berdasarkan tinggi dan jenis struktur bangunannya.

1. Prosedur Pengarah, untuk bangunan dengan ketinggian yang disyaratkan dalam Pasal 27 (sistem bangunan berdiafragma sederhana dengan ketinggian bangunan kurang dari atau sama dengan 160 ft atau 48.8 meter).
2. Prosedur Amplop, untuk bangunan bertingkat rendah dan berdiafragma sederhana (Pasal 28).
3. Prosedur Pengarah Untuk Perlengkapan Bangunan, digunakan untuk mendesain beban angin pada struktur dan perlengkapan bagian atas atap, dinding pejal, papan reklame, cerobong asap, tangki, papan reklame terbuka, rangka kisi, dan menara batang (Pasal 29).
4. Prosedur Terowongan Angin, digunakan untuk mendesain beban angin pada jenis dan tipe struktur lainnya (Pasal 30).

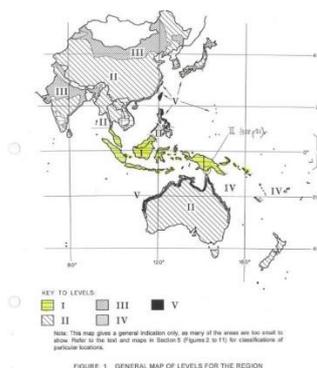
2.7.5.2 Kecepatan Angin Dasar (*V*)

Berdasarkan data kecepatan angin dasar wilayah Asia-Pasifik yang dirilis oleh pedoman Australia HB 212-2002, kecepatan angin dipengaruhi oleh kondisi alam dan geografisnya.

Tabel 2. 28 Kecepatan Angin Dasar, V (m/s) Wilayah Asia-Pasifik

Level Daerah	Deskripsi	Persamaan V_R	V_{60}	V_{500}
I	Badai petir yang kuat dan angin muson	$70 - 56R^{-0.1}$	32	40
II	Badai petir dengan intensitas sedang dan angin kencang ekstra tropis	$67 - 41R^{-0.1}$	39	45
III	Badai petir hebat dan topan sedang	$106 - 92R^{-0.1}$	44	57
IV	Topan dan siklon tropis yang kuat	$122 - 104R^{-0.1}$	52	66
V	Topan dan siklon tropis yang sangat kuat	$156 - 142R^{-0.1}$	60	80

(Sumber: HB 212-2002, Standar Australia)



Gambar 2. 5 Peta Kecepatan Angin Dasar Asia-Pasifik

2.7.5.3 Faktor Arah Angin (Kd)

Berdasarkan SNI 1727 Tahun 2020 Tabel 26.6.1, faktor arah angin (Kd) dipengaruhi oleh tipe struktur, bentuk atap, jenis dinding, serta bentuk bangunannya. Semakin rumit bentuk suatu bangunan (asimetris), maka faktor arah anginnya akan semakin besar.

2.7.5.4 Kategori Eksposur

Berikut ini adalah kategori kekasaran permukaan dan kategori eksposur yang diatur dalam SNI 1727 Tahun 2020 Pasal 26.7.2 dan Pasal 26.7.3.

Tabel 2. 29 Kategori Kekasaran Permukaan

Jenis Kekasaran Permukaan	Keterangan
B	Daerah perkotaan atau pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat. Seperti: pemukiman penduduk.
C	Dataran terbuka atau padang rumput dengan ketinggian bangunan kurang dari 30 ft atau 9.1 meter.
D	Hamparan lumpur halus

(Sumber: SNI 1727:2020 Pasal 26.7.2.)

2.7.5.5 Faktor Topografi (Kzt)

Berdasarkan SNI 1727 Tahun 2020 Pasal 26.8.2, efek peningkatan kecepatan angin (Kzt) harus diperhitungkan yang didesain dengan persamaan berikut ini.

$$Kzt = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

2.7.5.6 Faktor Tiupan Angin

Faktor pengaruh tiupan angin (G) untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil sebesar 0.85.

2.7.5.7 Koefisien Tekanan Internal (Gcpi)

Berikut ini adalah prosedur menentukan koefisien tekanan internal (Gcpi) berdasarkan klasifikasi bangunannya (SNI 1727 Tahun 2020 Tabel 26.13.1)

Tabel 2. 30 Koefisien Tekanan Internal (Gcpi)

Klasifikasi Ketertutupan	Gcpi
Bangunan Tertutup	-0.18
	-0.18
Bangunan Tertutup Sebagian	-0.55
	-0.55
Bangunan Terbuka Sebagian	-0.18
	-0.18
Bangunan Terbuka	0.00

(Sumber: SNI 1727:2020 Tabel 26.13.1)

2.7.5.8 Koefisien Tekanan Eksternal Dinding (C_p)

Koefisien tekanan eksternal dinding (C_p) ditentukan berdasarkan ketetapan pada SNI 1727 Tahun 2020 Gambar 27.3-1, serta ditinjau berdasarkan arah datang dan pergi angin.

2.7.6 Kombinasi Pembebanan (*Load Combination*)

Menurut SNI 2847 Tahun 2019 Pasal 8.3.2.3, dalam mendesain bangunan tahan gempa, pengaruh beban gempa perlu dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya untuk mendesain kekuatan faktor kuat lebih pada bangunan. Berikut ini adalah kombinasi beban yang disimulasikan ke dalam objek perencanaan.

Kombinasi 1. $1.6 DL + 1.6 SDL$

Kombinasi 2. $1.2 DL + 1.2 SDL + 1.6 LL$

Kombinasi 3. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL + 1 EQDX + 0.3 EQDY$

Kombinasi 4. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL + 1 EQDX - 0.3 EQDY$

Kombinasi 5. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL - 1 EQDX + 0.3 EQDY$

Kombinasi 6. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL - 1 EQDX - 0.3 EQDY$

Kombinasi 7. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL + 0.3 EQDX + 1 EQDY$

Kombinasi 8. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL + 0.3 EQDX - 1 EQDY$

Kombinasi 9. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL - 0.3 EQDX + 1 EQDY$

Kombinasi 10. $(1.2 + 0.2S_{DS}) DL + (1.2 + 0.2S_{DS}) SDL + 1 LL - 0.3 EQDX - 1 EQDY$

Kombinasi 11. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL + 1 EQDX + 0.3 EQDY$

Kombinasi 12. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL + 1 EQDX - 0.3 EQDY$

Kombinasi 13. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL - 1 EQDX + 0.3 EQDY$

Kombinasi 14. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL - 1 EQDX - 0.3 EQDY$

Kombinasi 15. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL + 0.3 EQDX + 1 EQDY$

Kombinasi 16. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL + 0.3 EQDX - 1 EQDY$

Kombinasi 17. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL - 0.3 EQDX + 1 EQDY$

Kombinasi 18. $(0.9 - 0.2S_{DS}) DL + (0.9 - 0.2S_{DS}) DL - 0.3 EQDX - 1 EQDY$

Kombinasi 19. 1.6 DL

Kombinasi 20. 1.2 SDL + 1.2 LL

Envelope. Kombinasi 19 + Kombinasi 20

Keterangan:

DL = *Dead Load* (Beban mati struktur)

SDL = *Super Dead Load* (Beban mati struktur tambahan)

LL = *Live Load* (Beban hidup struktur)

EQDX = Beban gempa dinamik arah x

EQDY = Beban gempa dinamik arah y

2.8 Program Analisa dan Desain Struktur

Berikut ini adalah program analisa dan desain struktur yang digunakan dalam pekerjaan struktur tugas akhir ini.

2.8.1 SAP2000

SAP2000 atau *Structural Analysis Program 2000* merupakan program analisa dan desain struktur yang saling terintegrasi dengan prinsip utama program tersebut adalah pemodelan struktur, eksekusi analisis, dan optimasi desain yang dapat dilakukan dalam satu langkah dan satu tampilan saja (Simatupang, dkk., 2020). Dikarenakan program SAP2000 saling terintegrasi, baik analisa dan desain strukturnya, pekerjaan analisa struktur seluruh komponen bangunan dapat dilakukan lebih cepat daripada analisa struktur secara manual dan juga lebih akurat.

2.8.2 SP-Column

SP-Column merupakan program analisa struktur vertikal bangunan yang pada umumnya digunakan untuk menganalisis kapasitas dan efektivitas struktur vertikal. Gaya-gaya dalam yang merupakan hasil analisa struktur program SAP2000, seperti: gaya tekan aksial, gaya momen, dan gaya geser dapat digunakan sebagai tolak ukur dalam menganalisis kemampuan kolom yang telah didesain geometri, material, dan

penulangannya. Salah satu luaran dari program *SP-Column* adalah diagram interaksi.

Diagram interaksi dari *SP-Column* merupakan diagram yang menampilkan hasil analisa gaya dalam kolom terhadap daerah kapasitas keruntuhan tekan kolom. Struktur kolom dinyatakan mampu memikul beban atau gaya dalam kolom apabila gaya momen dan aksial maksimumnya masih berada di dalam daerah keruntuhan tekan yang masih dapat dipikul kolom.

2.9 Penjadwalan

Penjadwalan merupakan pekerjaan konstruksi untuk merencanakan dan menyimulasikan waktu pelaksanaan dan perkembangan aktivitas konstruksi dengan cara pengalokasian sumber daya pada waktu tertentu sesuai dengan kapasitas sumber daya tersebut (Widyastuti, dkk., 2019). Pengalokasian sumber daya tersebut dilakukan untuk pemberian sejumlah tugas atau operasi yang dilaksanakan sesuai jangka waktu yang telah ditetapkan, serta bertujuan juga untuk pengambilan suatu keputusan.

Menurut Laksono dan Nursetyo (2021), manfaat lain dari penyusunan penjadwalan dalam pekerjaan konstruksi adalah sebagai berikut.

1. Sebagai pedoman bagi unit pekerjaan mengenai waktu memulai dan menyelesaikan masing-masing pekerjaan.
2. Sebagai pertimbangan yang sistematis dan realistis bagi pihak manajemen untuk mengalokasikan sumber daya dan waktu.
3. Sarana penilaian perkembangan pelaksanaan proyek.
4. Dengan adanya pengalokasian, kelebihan pemanfaatan sumber daya dan waktu yang berlebih dapat dihindarkan.
5. Dengan adanya penjadwalan, waktu pelaksanaan proyek dapat dipastikan.
6. Memberikan rekomendasi dalam kegiatan pengendalian proyek.

Berikut ini adalah jenis-jenis penyusunan penjadwalan atau *time schedule* dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

2.9.1 *Gantt Chart*

Menurut Widyastuti, dkk., (2019), *ganttt chart* merupakan jenis penjadwalan yang ditampilkan dalam bentuk diagram perencanaan yang digunakan untuk penjadwalan sumber daya dan alokasi waktu, sehingga pelaksanaan proyek sesuai dengan urutan kerja yang direncanakan.

Sementara itu, menurut Munadia dan Gani (2019), *ganttt chart* merupakan penjadwalan dalam bentuk grafik batang atau *bar chart* yang menampilkan daftar pekerjaan, serta batasan waktu untuk menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan tersebut.

2.9.2 Kurva S

Kurva S atau *S Curve* merupakan susunan penjadwalan dalam bentuk grafik dengan sumbu vertikal merupakan nilai kumulatif biaya atau perkembangan pelaksanaan suatu kegiatan, serta sumbu horizontal yang berupa interval waktu pelaksanaan kegiatan. Dengan kata lain, kurva s mengindikasikan perkembangan proyek berdasarkan waktu dan bobot pekerjaan yang direpresentasikan sebagai persentase kumulatif seluruh kegiatan konstruksi (Laksono dan Nursetyo, 2021).

Langkah-langkah dalam penyusunan penjadwalan dalam bentuk kurva s menurut Laksono dan Nursetyo (2021) adalah sebagai berikut.

1. Menyusun Persentase Bobot Biaya Setiap Pekerjaan

Bobot pekerjaan merupakan persentase selesainya suatu pekerjaan konstruksi yang dibandingkan dengan persentase seluruh pekerjaan. Bobot pekerjaan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Bobot Pekerjaan} = \frac{\text{Biaya Tiap Pekerjaan}}{\text{Biaya Total}} \times 100\%$$

2. Menyusun Rasio Persentase Bobot Biaya Pekerjaan Pada Durasi

Bobot biaya setiap periode waktunya didapatkan dengan cara bobot pekerjaan dibagi dengan durasi pelaksanaan pekerjaan.

3. Menyusun Kumulatif Persentase Bobot Biaya Pekerjaan

Selanjutnya dalam menyusun penjadwalan kurva s, bobot biaya kemudian dijumlahkan sesuai dengan lajur waktu pelaksanaannya. Hal tersebut bertujuan untuk menyusun arus kas rencana proyek.

4. Membuat Kurva S Berdasarkan Persentase Kumulatif Bobot Biaya

Untuk menyusun kurva s, kumulatif bobot pekerjaan disusun sebagai absis dan periode waktu disusun sebagai ordinat sehingga menghasilkan suatu kurva s.

2.10 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perencanaan biaya proyek merupakan kegiatan perhitungan dan penyusunan harga dari bahan-bahan, pekerjaan, serta volume pekerjaan berdasarkan data sesungguhnya (Mardhani, 2020). Dalam perhitungan dan penyusunan anggaran biaya proyek, perhitungan harga khususnya volume pekerjaan harus dilakukan dengan akurat dan berdasar kepada gambar perencanaan agar kesalahan yang nantinya mengarah kepada perselisihan biaya dapat dihindarkan (Reista, dkk., 2022). Adapun persamaan dalam menentukan rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut.

$$\text{RAB} = \sum(\text{Volume Pekerjaan} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan})$$

Harga satuan pekerjaan disusun berdasarkan analisa bahan bangunan, upah pekerja konstruksi, serta analisa alat berat dan peralatan konstruksi yang bergantung pada kepadatan dan produktivitas setiap daerah (Mardhani, 2020). Sementara itu, volume pekerjaan merupakan uraian perhitungan secara rinci besarnya volume suatu pekerjaan berdasarkan gambar kerja.

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 31 Penelitian Terdahulu

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	2023	Muhammad Ar Rayyan Fridaus dan Rahma Uyun Asalina	Perencanaan Ulang Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan	Menganalisis struktur objek penelitian menggunakan program SAP2000, serta	Pengumpulan data, analisa pembebanan struktur, <i>preliminary design</i> ,	Hasil analisa struktur, model 3D dan volume material yang terintegrasi.

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			Masyarakat Universitas Diponegoro Dengan Konsep BIM 3D	memodelkan objek penelitian menjadi visual 3D menggunakan program <i>Autodesk Revit.</i>	analisa struktur, perhitungan rencana tulangan, dan pemodelan menggunakan program BIM 3D <i>Autodesk Revit.</i>	
2	2022	Husnul Khatimi dan Kristnanda Floter Pardosi	Implementasi <i>Building Information Modeling</i> 4D (Studi Kasus: Proyek Lanjutan Pembangunan Gedung Kantor Sekretariat Daerah Kabupaten Tapin)	Menerapkan BIM 4D pada objek penelitian yang sebelumnya masih berdasarkan metode konvensional.	Pengumpulan data berupa <i>as-built drawing</i> , kurva-s, dan RAB, yang kemudian dikaji serta dimodelkan kembali berdasarkan BIM.	Pemodelan bangunan BIM 3D, penjadwalan proyek berdasarkan <i>Tekla Task Manager</i> , Visual 4D, dan volume pekerjaan yang terintegrasi BIM.
3	2021	Maulana Gunawan dan Nia Kartika	Penerapan <i>Building Information</i>	Mengaplikasikan BIM 4D pada objek penelitian,	Pengumpulan data penelitian,	Hasil representasi model 3D

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			<i>Modeling</i> (BIM) Pada Proyek Pasar Soreang Kabupaten Bandung	serta menganalisis kinerja waktu proyek berdasarkan kurva-s.	pemodelan data dengan <i>Tekla Structures</i> , dan analisa kinerja waktu proyek dengan konsep BIM 4D.	objek penelitian dengan <i>Project Visualiazation</i> yang terintegrasi 4D.
4	2021	Muhammad Riyan Hidayat, Eka Purnamasari, dan Akhmad Gazali	Penerapan Metode <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Pada Struktur Pembangunan Gedung FKPPI Kota Banjarmasin	Menganalisis struktur berdasarkan kombinasi pembebanan menggunakan program SAP2000, memodelkan objek penelitian ke dalam visual 3D yang terintegrasi dengan BIM 4D dan 5D.	Pengumpulan data objek penelitian, analisa kombinasi pembebanan, pemodelan 3D dan detail penulangan struktur, melakukan analisa <i>clash</i> , menyusun volume pekerjaan dan RAB objek penelitian.	Model 3D objek penelitian yang terintegrasi BIM 4D dan 5D, serta hasil analisa struktur.

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5	2021	Syahrul Huzaini	Penerapan Konsep <i>Building Information Modeling</i> (BIM) 3D Dalam Mendukung Pengestimasian Biaya Pekerjaan Struktur	Membuat model BIM 3D objek penelitian, serta menganalisis perbandingan estimasi biaya antara metode BIM dan metode konvensional.	Pengumpulan data, pemodelan struktur, penyusunan volume pekerjaan, penyusunan RAB, dan pemodelan visual 3D struktur gedung.	Model 3D, 4D, dan 5D struktur yang terintegrasi BIM.
6	2021	Ilham Agung Nur Prasetyo, Taufiq Rochman, dan Wahidin	Perencanaan dan Pemodelan 3D Struktur Gedung <i>Co-Working Space</i> 4 Lantai Soekarno Hatta Kota Malang Berbasis <i>Building Information Modeling</i>	Menganalisis dan mendesain komponen-komponen struktur dengan metode BIM.	Pengumpulan data, analisa struktur, dan pendetailan tulangan struktur.	Visualisasi elemen 3D struktur berbasis BIM.
7	2020	Partogi H. Simatupang,	Integrasi Program <i>Tekla</i>	Merencanakan gedung beton	Studi literatur,	Gambar kerja berupa

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Tri M. W. Sir, dan Verry A. Wadu	<i>Structures</i> Dan SAP2000 Dalam Perencanaan Gedung Beton Struktural	bertulangan dengan integrasi <i>tekla structures</i> dan SAP2000.	pemodelan pembebanan dan analisa struktur, serta pemodelan hasil analisa struktur dengan konsep BIM.	gambar detail dan sambungan, serta <i>bill of material</i> yang terintegrasi BIM.
8	2023	Frans Okto Simatupang, Ruddy Kurniawan, dan Sabril Haris.	Analisa Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Untuk Berbagai Variasi Tinggi Bangunan	Menganalisis pengaruh ketinggian bangunan yang bervariasi terhadap beban gempa.	Pengumpulan data dan pemodelan struktur dengan ETABS v.17.0. dan <i>Spcolumn</i> v.6.0.	Gambar dan spesifikasi struktur bangunan tahan gempa.
9	2023	Adam Rizky Christiandava dan Adelia Azzahra	<i>Redesign</i> Struktur Gedung <i>Head Office Awann Group</i> Berdasarkan Integrasi BIM <i>Autodesk</i> Melalui <i>Revit</i> ,	Menganalisis struktur objek penelitian, serta memodelkan kembali struktur menggunakan metode BIM.	Pengumpulan data, studi literatur, perencanaan sistem struktur, <i>preliminary design</i> , pemodelan	<i>Detail Engineering Design</i> , BIM 5D, dan hasil analisa struktur.

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			<i>Naviswork</i> , dan SAP2000.		struktur dengan program SAP2000 dan pembebanan, analisa struktur, dan pemodelan BIM 3D.	
10	2020	Mochammad Rizal Fadillah	Metode Analisis Perhitungan Struktur Bangunan Tahan Gempa (Studi Kasus Gedung E, F Universitas Muhammadiyah Sukabumi)	Menyusun tahapan pengolahan data analisa bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 dengan probabilitas 2% atau dalam kala ulang 50 tahun.	Studi pustaka (SNI 1726 Tahun 2012 dan SNI 2847 Tahun 2013), pengumpulan data, pemodelan struktur, dan analisa struktur.	<i>Database</i> perhitungan struktur bangunan tahan gempa.
11	2019	Widan Amrullah, Toni Hartono Bagio, dan Julistyana Tistogondo	Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai Dengan Sistem Rangka	Merencanakan struktur gedung agar sesuai dengan prinsip SRPMK.	Pengumpulan data, <i>preliminary design</i> , analisa pembebanan,	Gambar dan desain rencana struktur gedung 38 lantai sesuai

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		analisa struktur, dan membuat gambar rencana.	dengan prinsip SRPMK.
12	2018	Patrisko Hirel Karisoh, Servie O. Dapas, dan Ronny Pandaleke	Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	Merencanakan komponen-komponen struktur gedung sesuai dengan SRPMK agar struktur bersifat daktil sesuai dengan acuan SNI 1726 Tahun 2012 dan SNI 2847 Tahun 2013.	Studi literatur, merencanakan data teknis objek penelitian, <i>preliminary design</i> , pemodelan struktur di dalam ETABS 2016, memodelkan pembebanan pada struktur, analisa struktur, dan kontrol keamanan struktur.	Desain gedung beton bertulang yang bersifat daktil, serta sesuai dengan prinsip SRPMK.
13	2018	Muhammad Satrya Ageta,	Desain Modifikasi	Merencanakan desain struktur	Pengumpulan data objek	Gambar kerja dari program

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Endah Wahyuni, dan Bambang Pisceca	Struktur Gedung Asrama Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) Sumatera Barat Menggunakan SRPMK dan Balok Prategang pada Lantai Atap	beton prategang agar bersifat daktil dan monolit, serta memenuhi syarat Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.	penelitian, studi literatur, <i>preliminary design</i> , perhitungan dan pembebanan struktur, dan analisa struktur.	AutoCAD yang telah dilakukan perencanaan struktur sesuai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
14	2017	Yuniar Dwi Ambarwati	Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Desain Struktur Hotel Ammeerra Jakarta	Menganalisis sistem struktur tahan gempa yang efisien yang dapat diterapkan pada perencanaan struktur Hotel Ammeerra Jakarta berdasarkan SNI yang berlaku.	Pengumpulan data-data proyek, analisa pembebanan, pemodelan struktur, analisa gaya dalam dengan program SAP2000, perhitungan tulangan, dan membuat	Gambar arsitektural, gambar struktural, serta gambar detail panjang penyaluran struktur pelat, tangga, balok, dan kolom.

No.	Tahun Terbit	Nama Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
					hasil perencanaan.	

(Sumber: Studi Literatur Penulis)

Berdasarkan studi literatur dari jurnal-jurnal penelitian terdahulu, penerapan metode *Building Information Modeling* (BIM) dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi lebih efisien dan efektif terhadap waktu, biaya pelaksanaan, serta kualitas pekerjaan. Metode BIM menawarkan teknologi *clash detection* untuk mendeteksi apabila terdapat ketidaksesuaian gambar atau perencanaan, sehingga solusi dari permasalahan tersebut dapat segera ditentukan oleh perencana. Oleh karena itu, pekerjaan ulang atau pembongkaran pekerjaan dapat dihindarkan yang membuat waktu pelaksanaan dan biaya pengeluaran pekerjaan proyek lebih terjaga. Dengan memanfaatkan metode BIM juga memberikan kepada para perencana hasil pendesainan yang detail, sehingga hasil produksi di lapangan juga menjadi bermutu. Di samping menerapkan metode BIM, pemilihan sistem struktur yang tahan gempa juga sangat krusial di dalam perencanaan suatu struktur. Struktur yang tahan gempa akan lebih aman ditinggali pada daerah yang tingkat risikonya tinggi. Pemilihan sistem struktur tersebut dapat diperoleh dengan merencanakan struktur berdasarkan SNI yang berlaku, serta melakukan simulasi beban-beban yang bekerja terhadap struktur. Sehingga, evaluasi terhadap struktur dapat dilakukan. Selain itu, pemilihan jenis material dan mutu bahan bangunan akan sangat mempengaruhi respons struktur terhadap beban-beban yang bekerja di dalamnya.