

Implementasi Profesionalisme, Etika, dan K3 Pada Perencanaan Struktur Bangunan Villa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Daerah Pantai Bali

Ezra Kenzie Wijaya¹, Tanti Octavia²

¹Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra,
ezrakenzie Wijaya@gmail.com

²Prodi Teknik Industri dan Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra
tanti@petra.ac.id

Abstract—Indonesia, located on the Pacific Ring of Fire, is highly susceptible to seismic activity, highlighting the need for earthquake-resistant infrastructure, especially amid the rapid growth of tourism-driven development. The rapid expansion of villas, resorts, and hotels in Bali, a major tourist destination, demands structural designs that prioritize safety, aesthetics, and functionality. This study focuses on the design of a villa using the Special Moment-Resisting Frame (SMRF) system, in compliance with Indonesian National Standards (SNI) 2847-2019, SNI 1726-2019, and SNI 1727-2020. The design integrates professionalism, ethics, and occupational health and safety (OHS) through iterative analysis using ETABS and Excel. The results show that all structural elements meet the design requirements based on SNI. Beams and columns are designed to account for bending, shear, and axial forces, adhering to the Strong Column-Weak Beam principle to prevent sudden structural collapse. Bored pile foundations are selected based on soil conditions and to minimize environmental impact, in line with ethical principles. The design also incorporates OHS by applying a safety factor through the Load and Resistance Factor Design (LRFD) method to ensure the structure can withstand various loads.

Keywords: Special Moment-Resisting Frame (SMRF), Indonesian National Standards (SNI), Strong Column Weak Beam (SCWB)

Abstrak—Indonesia, yang terletak di Cincin Api Pasifik, memiliki kerentanan tinggi terhadap aktivitas seismik. Kerentanan ini menekankan kebutuhan infrastruktur yang aman ketika gempa, terutama di tengah percepatan pembangunan berbasis pariwisata. Perkembangan pesat villa, resort, dan hotel di Bali sebagai destinasi wisata utama menuntut desain struktur yang mengutamakan keselamatan, estetika, dan fungsionalitas. Penelitian ini membahas perencanaan villa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847-2019, SNI 1726-2019, dan SNI 1727-2020. Perencanaan villa ini mengintegrasikan profesionalisme, etika, dan keselamatan kerja (K3) dengan analisa iteratif menggunakan program ETABS dan Excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua elemen struktur memenuhi persyaratan desain berdasarkan SNI. Balok dan kolom dirancang dengan memperhatikan aspek kekuatan lentur, geser, dan aksial, serta memenuhi prinsip *Strong Column-Weak Beam* untuk mencegah keruntuhan bangunan secara tiba-tiba. Pondasi *bored pile* dipilih berdasarkan jenis tanah sekaligus meminimalkan dampak terhadap lingkungan sekitar, sesuai prinsip etika. Desain mempertimbangkan K3 dengan penerapan faktor keamanan melalui metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) untuk memastikan ketahanan struktur.

Kata Kunci : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Standar Nasional Indonesia (SNI), *Strong Column Weak Beam* (SCWB).

I. PENDAHULUAN

Pemulihan sektor pariwisata Indonesia setelah pandemi telah menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, mendorong pengembangan infrastruktur penting seperti hotel, resort, villa dan fasilitas wisata lainnya. Pertumbuhan ini tidak hanya mempercepat pembangunan di berbagai destinasi wisata, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan perekonomian lokal dan nasional. Sektor pariwisata sendiri menjadi salah satu penyumbang devisa utama serta pencipta lapangan kerja yang signifikan [1]. Namun, pesatnya ekspansi ini juga menuntut perhatian lebih pada aspek perencanaan dan pelaksanaan konstruksi yang

berkualitas serta berkelanjutan.

Sejalan dengan pemulihan sektor pariwisata Indonesia, Bali sebagai destinasi wisata terpopuler terus mendorong pembangunan properti, terutama villa yang diminati oleh investor. Tingginya peminat ini didorong oleh potensi keuntungan besar dalam waktu singkat, sehingga menarik perhatian investor domestik dan internasional. Selain itu, gaya hidup serta kebutuhan akomodasi bagi wisatawan asing yang tinggal dalam jangka waktu lama mempercepat perkembangan properti di Bali. Dengan demikian, pembangunan villa di kawasan pantai Bali tidak hanya mencerminkan pertumbuhan pesat sektor pariwisata, tetapi

juga menuntut perhatian lebih pada perencanaan dan pelaksanaan konstruksi yang berkualitas serta berkelanjutan [2].

Kegagalan desain dan konstruksi bangunan di Indonesia sering kali menjadi sorotan, terutama setelah terjadinya bencana alam. Misalnya, gempa bumi yang mengguncang Bandung baru-baru ini mengakibatkan 3.601 bangunan rusak, menimbulkan 79 orang terluka, dan kerugian mencapai Rp 298 miliar. Kejadian ini menunjukkan bahwa banyak bangunan tidak memenuhi standar keselamatan yang seharusnya diterapkan [3]. Selain itu, gempa Cianjur juga mencatatkan ribuan rumah rusak, di mana para ahli konstruksi menekankan pentingnya penerapan standar dan peraturan yang ketat dalam desain dan pembangunan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut [4]. Kegagalan dalam mengikuti regulasi ini tidak hanya merugikan pemilik bangunan, tetapi juga membahayakan keselamatan masyarakat secara keseluruhan.

Sebagai seorang perencana struktur bangunan, penting untuk merancang bangunan dengan mengutamakan keselamatan publik dan estetika, terutama pada daerah rawan gempa. Selain itu, desain bangunan juga harus efisien agar biaya yang dikeluarkan tetap terjangkau. Sebagai profesional di bidang ini, perencana wajib mematuhi kode etik keinsinyuran dengan mematuhi peraturan bangunan yang berlaku di Indonesia [5]. Peraturan ini dibuat melalui berbagai pendekatan agar bangunan yang didesain memiliki faktor keamanan dalam memikul beban-beban yang terjadi. Bangunan harus didesain dengan kekuatan yang memadai untuk menahan beban dan tidak mengalami keruntuhan tiba-tiba saat terjadi bencana [6]. Dengan adanya faktor keamanan tersebut, gedung yang didesain diharapkan kuat menahan gaya-gaya yang terjadi. Adapun, peraturan-peraturan bangunan yang digunakan adalah SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 2847-2019 : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, dan SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain [7,8,9].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain Villa sesuai dengan SNI dengan mempertimbangkan etika, K3, dan profesionalisme keinsinyuran. Dalam konteks perencanaan struktur bangunan, profesionalisme seorang insinyur mencakup integritas dalam desain, yaitu memenuhi kebutuhan estetika tanpa mengkompromikan kepatuhan terhadap SNI yang berlaku. Etika dalam perencanaan meliputi pertimbangan dalam proses konstruksi untuk meminimalisir gangguan di lingkungan sekitar. Selain itu, K3 pada tahap desain mencakup keamanan desain/*safety factor* dan identifikasi metode konstruksi yang harus dipertimbangkan demi menjamin keselamatan selama proses pembangunan.

II. LANDASAN TEORI

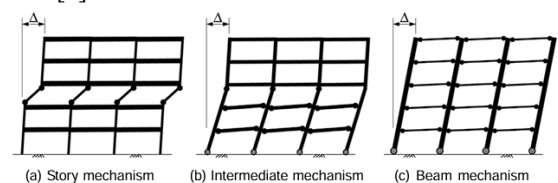
A. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem penahan gaya pada bangunan yang didesain dengan daktilitas tinggi, menggunakan koefisien modifikasi respons (R) sebesar 8. Daktilitas tinggi pada bangunan

mengacu pada kemampuan struktur untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan tanpa mengalami keruntuhan, terutama saat menghadapi beban dinamis seperti gempa bumi. Balok, kolom, dan sambungan balok-kolom dalam rangka momen didesain dan dirinci untuk menahan aksi lentur, aksial, dan geser yang terjadi saat sebuah bangunan bergoyang melalui beberapa siklus perpindahan selama guncangan tanah akibat gempa yang kuat [10].

Desain SRPMK mengikuti pedoman yang ditetapkan dalam Kode Bangunan ACI 318 yang diadopsi di Indonesia menjadi SNI 2847-2019. Peraturan ini mencakup berbagai persyaratan terkait inspeksi, material, anggota rangka (balok dan kolom), serta prosedur konstruksi. Persyaratan ini tidak hanya berlaku untuk elemen-elemen struktural utama, tetapi juga untuk diafragma, pondasi, dan anggota rangka lainnya yang tidak ditunjuk sebagai bagian dari sistem penahan gaya seismik. Menurut SNI 2847-2019, Struktur SRPMK harus digunakan untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik D, E, dan F [8].

Ketika sebuah bangunan didesain, bangunan harus dapat menahan beban-beban yang bekerja serta beban yang terjadi akibat gaya seismik. Ketika sebuah bangunan bergoyang saat gempa, distribusi kerusakan bangunan bergantung pada distribusi simpangan lantai. Jika kolom bangunan lemah, pergeseran dapat terkonsentrasi pada satu atau beberapa lantai, melebihi kapasitas kolom tersebut, seperti pada Gambar 1(a). Sebaliknya, kolom yang kuat dan kaku akan mendistribusikan pergeseran secara merata, mengurangi kerusakan lokal, seperti pada Gambar 1(c). Kerusakan lokal pada kolom tidak diharapkan karena dapat mengakibatkan keruntuhan bangunan secara tiba-tiba. Maka dari itu, SNI 2847-2019 mengatur syarat *Strong Column Weak Beam* pada pasal 18.7 [8].



Gambar 1. Mekanisme Kerusakan Bangunan akibat simpangan [10]

1). Persyaratan Umum Balok SRPMK

Dalam mendesain balok SRPMK, terdapat syarat beberapa syarat yang disebutkan pada SNI 2847-2019, pasal 18.6. Berikut merupakan persyaratan umum untuk balok SRPMK:

- Gaya tekan aksial terfaktor (P_u), tidak melebihi luas penampang (A_g) dikali kuat tekan beton (f'_c) dibagi sepuluh.
- Bentang bersih balok (l_n) harus lebih besar atau sama dengan 4 kali tinggi efektif penampang (d).
- Rasio lebar penampang (b_w) terhadap tinggi penampang (h) harus lebih besar atau sama dengan 0.3.
- Lebar penampang balok (b_w) harus lebih dari 250 mm.
- Lebar penampang balok (b_w) harus kurang dari c_2 ditambah nilai terkecil antara c_2 atau 0,75 kali c_1 .

2). Persyaratan Tulangan Longitudinal Balok SRPMK

Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk mendesain tulangan lentur balok SRPMK menurut SNI 2847-

2019:

- Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang.
- Luas minimum tulangan pada sepanjang bentang balok adalah yang terbesar dari $(0.25bwd\sqrt{f_c'})/f_y$ atau $(1.4bwd)/f_y$. Selain itu, rasio tulangan (ρ) maksimum pada sepanjang bentang adalah 0.025.
- Kekuatan momen positif di muka kolom harus setidaknya setengah dari kekuatan momen negatif di muka kolom yang sama. Selain itu, kekuatan momen positif dan negatif di setiap penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat dari kekuatan momen maksimum pada kedua muka kolom.
- Spasi bersih antar tulangan harus yang terbesar dari 25 mm atau diameter tulangan (db).

3). Persyaratan Tulangan Transversal Balok SRPMK

Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk mendesain tulangan transversal balok SRPMK menurut SNI 2847-2019:

- Tulangan transversal harus didesain lebih daktail dari tulangan lentur agar tidak terjadi gagal geser yang dapat terjadi secara tiba-tiba. Maka dari itu, gaya geser rencana (V_e) balok harus didesain terhadap gaya yang terjadi akibat pelelehan tulangan longitudinal terpasang (M_{pr}) pada kedua sisi. Pada saat yang sama, tulangan transversal juga harus dapat memikul gaya yang terjadi akibat gravitasi.
- Sengkang tertutup harus dipasang di sepanjang area yang mencakup dua kali tinggi balok, dihitung dari kedua sisi penampang yang diperkirakan akan mengalami leleh akibat lentur (daerah sendi plastis).
- Terdapat syarat jarak sengkang maksimum pada daerah sendi plastis. Jarak terkecil diambil dari 3 rumus berikut : tinggi efektif balok (d)/4, 6 kali diameter tulangan longitudinal (db), dan 150 mm. Untuk daerah di luar sendi plastis, jarak sengkang maksimum adalah tinggi efektif balok (d)/2.

4). Persyaratan Umum Kolom SRPMK

Kolom merupakan komponen yang memikul gaya lentur, geser, dan aksial. Dalam mendesain kolom yang merupakan bagian dari SRPMK, terdapat beberapa syarat yang disebutkan pada SNI 2847-2019, pasal 18.7. Berikut merupakan persyaratan umum untuk kolom SRPMK:

- Dimensi penampang terkecil kolom harus tidak kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0.4.
- Kolom termasuk bagian dari SRPMK bila gaya aksial terfaktor (P_u) dari sembarang kombinasi lebih besar dari $A_g f_c' / 10$.

5). Persyaratan Tulangan Longitudinal Kolom SRPMK

Tulangan longitudinal kolom SRPMK didesain untuk menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi akibat beban gravitasi dan seismik yang terjadi. Berikut syarat-syarat tulangan longitudinal menurut SNI 2847-2019:

- Luas tulangan longitudinal (A_{st}), tidak boleh kurang dari $0.01 A_g$ atau lebih dari $0.06 A_g$.
- Spasi bersih tulangan harus lebih besar dari 1.25 db atau 40 mm.
- Sambungan lewatan diperbolehkan hanya di area tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik. Selain itu, sambungan tersebut harus dilengkapi dengan tulangan transversal yang sesuai dengan ketentuan 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.
- Syarat *Strong Column Weak Beam* pada kolom SRPMK mengharuskan bahwa kekuatan lentur kolom memenuhi persamaan $\sum M_{nc} \geq (1.2) \sum M_{nb}$. $\sum M_{nc}$ merupakan total kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang terhubung ke dalam sambungan, yang dievaluasi pada permukaan sambungan. Kekuatan lentur kolom harus dihitung berdasarkan gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang dianalisis, menghasilkan kekuatan lentur terendah. Sementara itu, $\sum M_{nb}$ adalah total kekuatan lentur nominal balok yang juga terhubung ke dalam sambungan, dievaluasi di muka sambungan.

6). Persyaratan Tulangan Transversal Kolom SRPMK

Tulangan transversal kolom berfungsi sebagai penahan gaya geser serta pengekang untuk menjaga keutuhan kolom. Berikut syarat-syarat tulangan longitudinal menurut SNI 2847-2019:

Tulangan transversal kolom harus dipasang sepanjang l_o dari masing-masing muka kolom dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi. Panjang l_o tidak boleh kurang dari

- Tinggi kolom pada muka kolom atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
- Seperenam tinggi bersih kolom
- 450 mm

B. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai adalah selisih antara simpangan relatif suatu lantai dengan simpangan relatif lantai di bawahnya pada waktu yang bersamaan. Besarnya simpangan antar lantai dipengaruhi oleh kekakuan struktur. Semakin kaku suatu struktur, semakin kecil simpangan yang terjadi. Simpangan antar lantai yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada elemen struktural, seperti kolom dan balok, serta dapat mengakibatkan keruntuhan bangunan. SNI 1726-2019 mengatur batasan simpangan antar lantai bangunan pada Tabel 20 [7]. Dalam desain bangunan dengan sistem SRPMK, syarat simpangan ini harus dipenuhi. Rumus simpangan adalah sebagai berikut:

$$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} \quad (1)$$

Dimana δ_{max} adalah simpangan elastik maksimum suatu tingkat yang didapat dari analisa. C_d adalah faktor pembesaran simpangan yang didapatkan dari Tabel 12 SNI 1726-2019. I_e adalah faktor keutamaan gempa yang didapat dari Tabel 3 SNI 1726-2019. Angka simpangan yang didapat

lalu dibandingkan dengan *allowable drift* atau simpangan ijin berdasarkan tabel berikut.

TABEL 1
SIMPANGAN ANTAR TINGKAT IZIN

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025hsx	0,02hsx	0,015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,025hsx	0,02hsx	0,02hsx
Semua struktur lainnya	0,025hsx	0,02hsx	0,02hsx

C. Load & Resistance Factor Design

Load & Resistance Factor Design (LRFD) adalah metode dalam perencanaan struktur untuk memastikan bahwa struktur yang didesain dapat menahan beban yang diberikan dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan ketahanan material. Metode ini didasarkan pada prinsip *limit states*, yang membagi kondisi struktur menjadi *ultimate limit state* (kondisi keruntuhan) dan *serviceability limit state* (kondisi fungsi yang baik). Persamaan dasar yang digunakan adalah :

$$\phi R_n = \gamma Q \quad (2)$$

Dimana ϕ adalah faktor reduksi kapasitas, R_n adalah kapasitas struktur, γ adalah faktor ultimit beban, dan Q adalah beban yang terjadi. Pada SNI 2847-:2019, faktor kombinasi beban diatur pada pasal 5.3, seperti pada Tabel 2. Sementara itu, faktor reduksi diatur pada pasal 21.2, seperti pada Tabel 3.

TABEL 2
FAKTOR KOMBINASI BEBAN

Faktor Beban
1.4D
1.2D+1.6L
(1.2+0.2Sds)D+L+(±Ex±0.3Ey)
(1.2+0.2Sds)D+L-(±Ex±0.3Ey)
(1.2+0.2Sds)D+L+(±0.3Ex±Ey)
(1.2+0.2Sds)D+L-(±0.3Ex±Ey)
(0.9-Sds)D+(±Ex±0.3Ey)
(0.9-Sds)D-(±Ex±0.3Ey)
(0.9-Sds)D+(±0.3Ex±Ey)
(0.9-Sds)D-(±0.3Ex±Ey)

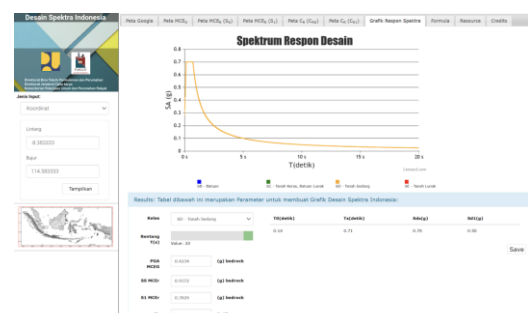
TABEL 3
FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

Gaya atau elemen struktur	ϕ	Pengecualian	f)	Bracket dan korbrel	0,75	-
a) Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3	g)	<i>Strut, ties, zone nodal</i> , dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
b) Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4	h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
c) Torsi	0,75	-	i)	Beton polos	0,60	-
d) Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-	j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-
e) Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-				

D. Analisis Respon Spektrum

Analisis respons spektrum adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan respons maksimum struktur terhadap gempa berdasarkan mode getar alami struktur. Metode ini memanfaatkan spektrum respons yang menggambarkan hubungan antara respons maksimum struktur (seperti perpindahan, kecepatan, atau percepatan) dengan periode getar dan rasio redaman. Tahapan utama meliputi analisis modal untuk menentukan frekuensi alami dan mode getar struktur. Setelah itu dilakukan perhitungan respons maksimum untuk masing-masing mode menggunakan spektrum respons dan kombinasi respons antar mode menggunakan pendekatan statistik seperti *Square Root of the Sum of Squares* (SRSS) atau *Complete Quadratic Combination* (CQC) [11].

Pendekatan ini didasarkan pada asumsi linearitas dan elastisitas struktur, sehingga cocok untuk desain struktur tahan gempa seperti gedung bertingkat dan jembatan. Meski memiliki keterbatasan, seperti kurangnya akurasi dalam kondisi non-linear, metode ini tetap menjadi alat utama untuk desain struktur yang ekonomis dan aman terhadap gempa. Pada peraturan Indonesia, analisis respon spektrum dilakukan dengan menentukan parameter-parameter sesuai lokasi dan kondisi tanah proyek. Parameter-parameter tersebut dimasukkan ke program ETABS untuk membantu melakukan analisa. Gambar 2 menunjukkan grafik respons spektrum untuk lokasi proyek villa di Bali.



Gambar 2. Grafik Respon Spektra Proyek Villa Bali [RSA]

E. Desain Pondasi

Pondasi dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan tipe pondasi bergantung pada kondisi geoteknik tanah, seperti daya dukung, potensi penurunan, dan kedalaman lapisan tanah keras, serta faktor lain seperti bentuk bangunan dan intensitas

beban [12]. Pondasi dangkal, seperti pondasi telapak, pelat, dan jalur, umumnya digunakan pada tanah dengan daya dukung baik dan beban struktur ringan. Sementara itu, pondasi dalam, seperti tiang pancang dan tiang bor, digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah atau jika lapisan tanah keras berada pada kedalaman tertentu.

Pengujian seperti *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT) sering digunakan untuk memperoleh parameter tanah yang diperlukan dalam desain pondasi. Metode perhitungan, seperti metode Terzaghi untuk pondasi dangkal dan metode *Luciano Decourt* untuk tiang bor, memastikan kapasitas pondasi mencukupi terhadap beban struktur. Dengan parameter tanah hasil pengujian, pondasi dapat didesain untuk menjamin stabilitas, efisiensi, dan keamanan selama masa layan bangunan

III. METODOLOGI PERENCANAAN PROYEK

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara analitis untuk mendapatkan dimensi dan penulangan balok, kolom, dan pondasi yang sesuai dengan SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020. Sebelum melakukan perencanaan, dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan. Data-data tersebut merupakan lokasi bangunan, denah arsitek dan MEP, data tanah, dan data beban. Selain itu, ditentukan juga data-data bangunan untuk desain struktur. Tabel 4 dan Tabel 5 menjelaskan data bangunan serta beban yang bekerja menurut SNI 1727-2020.

TABEL 4
DATA BANGUNAN

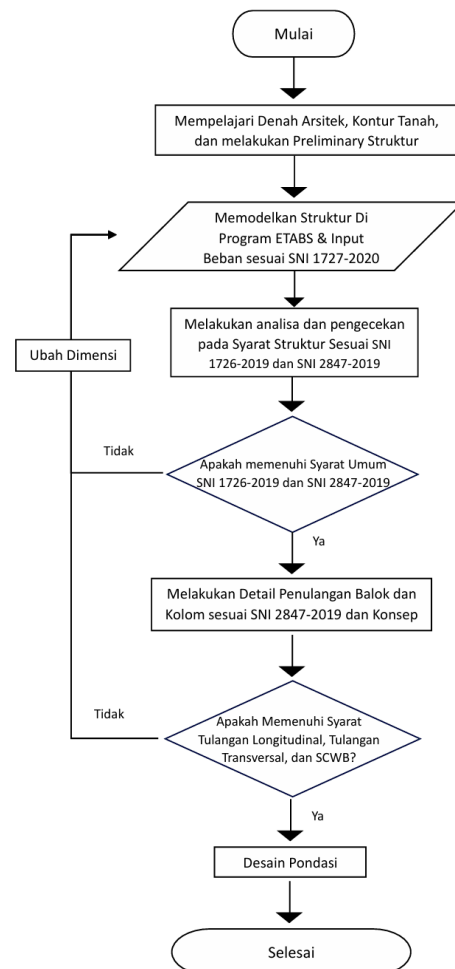
Parameter	Nilai
Tipe Bangunan	Hunian
Lokasi Bangunan	Daerah Pantai di Bali
Tinggi Bangunan	14.35 m
Luas Bangunan	379.54 m ²
Jumlah Lantai	4

TABEL 5
DATA PEMBEBANAN BERDASARKAN SNI 1727-2020

Kategori Beban	Jenis Beban	Nilai Beban	Keterangan
Beban Mati	Berat sendiri beton bertulang	2400 kg/m ³	Berat material utama struktur
	Finishing lantai	125 kg/m ²	Termasuk pelapis lantai
	Plafon + ducting	25 kg/m ²	Berat plafon beserta instalasi ducting
	Tembok bata merah	250 kg/m ²	Berat dinding dengan material bata merah
	Beban garasi	300 kg/m ²	Beban tambahan untuk area garasi
Beban Hidup	Beban kolom	1200 kg/m ²	Beban air dan konstruksi kolam renang
	Lantai (Lower Ground - Atap)	200 kg/m ²	Beban yang berasal dari aktivitas penghuni
	Tangga	200 kg/m ²	Beban penghuni pada elemen tangga
Beban Seismik	Respons spektrum	Berdasarkan data SPT dan CPT	Data lokasi di Bali digunakan untuk perhitungan respons spektrum seismik

Gambar 3 menjelaskan alur desain struktur villa SRPMK. Proses dimulai dengan mempelajari denah arsitek, kontur tanah, dan melakukan preliminary struktur sesuai standar SNI, sambil mempertimbangkan dampak lingkungan sekitar. Struktur kemudian dimodelkan menggunakan program ETABS dengan input beban berdasarkan SNI 1727-2020. Hasil analisis digunakan untuk mendesain balok, kolom, dan pondasi sesuai konsep LRFD di SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Desain dilakukan dengan tetap memperhatikan estetika bangunan. Selain itu, dilakukan pengecekan terhadap syarat *Strong Column Weak Beam* (SCWB) pada tulangan balok dan kolom. Jika desain tidak memenuhi syarat, iterasi dilakukan hingga seluruh

persyaratan terpenuhi.

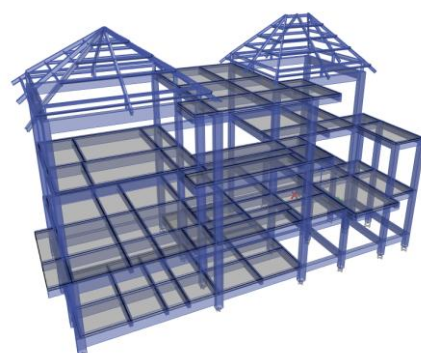


Gambar 3. Alur Desain Struktur Villa SRPMK

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Modeling Struktur

Gambar 4 menunjukkan modeling 3 dimensi Villa SRPMK di ETABS. Modeling tersebut dibuat melalui berbagai proses iterasi sesuai alur desain pada Gambar 3.



Gambar 4. Modeling ETABS Struktur Villa SRPMK

B. Pengecekan Syarat Struktur

1). Persyaratan Penskalaan Gaya

SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 mengatur bahwa jika

periode fundamental struktur melebihi $CuTa$, maka periode T harus dibatasi sebesar $CuTa$. Selain itu, jika gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) lebih kecil dari gaya geser dasar metode statik ekuivalen (V), hasil analisis harus disesuaikan dengan faktor penskalaan V/V_t . Tabel 6 menunjukkan perhitungan penskalaan gaya untuk struktur Villa SRPMK.

TABEL 6
PARTISIPASI RAGAM VILLA

PERHITUNGAN GAYA GESER DASAR (BASE SHEAR) BANGUNAN			
Faktor keutamaan (I_a)	=	1	(Tabel 4 SNI 1726-2019)
S_1	=	0.398 g	(puskim.go.id)
$S_{0.5}$	=	0.7106 g	
$S_{0.1}$	=	0.5047 g	
Kategori Desain Seismik	=	D	(Tabel 8 dan 9 SNI 1726-2019)
Sistem Struktur	=	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	
R	=	8	(Tabel 12 SNI 1726-2019)
Koefisien batas periode C_u	=	1.4	(Tabel 17 SNI 1726-2019)
Nilai parameter periode C_t	=	0.0466	(Tabel 18 SNI 1726-2019)
Nilai parameter periode x	=	0.9	(Tabel 18 SNI 1726-2019)
Tinggi bangunan (h_n)	=	10.4 m	
Berat seismik efektif (W)	=	558 ton	
Periode pendekatan (T_p)	=	0.3835 detik	(Persamaan 36 SNI 1726-2019)
Batasan periode ($C_u T_p$)	=	0.5368 detik	
Periode terjadi (T_x)	=	0.67 detik	
Periode terjadi (T_y)	=	0.705 detik	
Periode yang digunakan	=	0.5368 detik	
Koefisien respons seismik (C_s)	=	0.0888	(Persamaan 31 SNI 1726-2019)
C_s max	=	0.1175	(Persamaan 32 SNI 1726-2019)
C_s min	=	0.0313	(Persamaan 34 SNI 1726-2019)
C_s yang digunakan	=	0.0888	
Base shear (V)	=	49.57 ton	(Persamaan 30 SNI 1726-2019)
PERHITUNGAN SKALA GAYA RESPONS SPEKTRUM			
Base shear arah x (V_x)	=	44.788 ton	
Base shear arah y (V_y)	=	43.935 ton	
Skala gaya arah x	=	1.107	
Skala gaya arah y	=	1.128	

2). Persyaratan Modal/Ragam

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1, Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Tabel 7 menjabarkan periode bangunan dan partisipasi ragam untuk struktur villa SRPMK.

TABEL 7
PARTISIPASI RAGAM VILLA

Case	Mode	Period sec	SumUX	SumUY
Modal	1	0.705	0.00%	54.30%
Modal	2	0.67	55.80%	54.30%
Modal	3	0.589	55.90%	55.90%
Modal	4	0.3	55.90%	57.50%
Modal	5	0.291	56.20%	64.90%
Modal	6	0.273	66.30%	65.50%
Modal	7	0.248	66.70%	68.40%
Modal	8	0.207	66.80%	70.40%
Modal	9	0.196	67.70%	73.10%
Modal	10	0.195	73.60%	73.40%
Modal	11	0.182	73.80%	73.70%
Modal	12	0.167	73.80%	73.80%
Modal	13	0.126	73.90%	73.80%
Modal	14	0.107	73.90%	73.80%
Modal	15	0.096	73.90%	73.80%
Modal	16	0.085	73.90%	73.80%
Modal	17	0.079	73.90%	73.80%
Modal	18	0.072	73.90%	73.80%
Modal	19	0.052	74.20%	97.80%
Modal	20	0.05	97.80%	98.70%
Modal	21	0.044	99.68%	99.90%
Modal	22	0.026	99.93%	99.90%
Modal	23	0.017	99.99%	99.90%
Modal	24	0.015	100.00%	100.00%

3). Persyaratan Simpangan

SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 mengatur bahwa simpangan antar tingkat (Δ) dihitung sebagai selisih simpangan pusat massa tingkat atas dan bawah. Simpangan yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan ijin berdasarkan Tabel 20 pada

SNI 1726:2019. Tabel 8 menunjukkan simpangan antar tingkat untuk struktur Villa SRPMK.

TABEL 8
SIMPANGAN ANTAR TINGKAT

Lantai	Δ Elastik X	Δ Elastik Y	ΔX	ΔY	Δ Ijin
Atap	0.13%	0.15%	0.73%	0.81%	2.00%
Lantai 3	0.19%	0.26%	1.07%	1.43%	2.00%
Lantai 2	0.12%	0.16%	0.64%	0.87%	2.00%
Lantai 1	0.03%	0.04%	0.15%	0.20%	2.00%

C. Rekapitulasi Desain SRPMK

1). Rekapitulasi Penulangan Balok SRPMK

Untuk penulangan balok, digunakan bantuan software ETABS dan Excel. Data yang didapat dari ETABS diolah menggunakan excel untuk menghitung dan membuat kode balok dengan berbagai syarat tulangan longitudinal dan transversal sesuai syarat SNI 2847-2019. Tabel 9 menunjukkan daftar penulangan balok.

TABEL 9
DAFTAR PENULANGAN BALOK

Kode	b (mm)	h (mm)	Tulangan (D)	Tumpuan		Lapangan		Sengkang Tumpuan	Sengkang Lapangan
				Atas	Bawah	Atas	Bawah		
BG24-1	200	400	13	2	2	2	2	2D10-150	2D10-150
BG24-2	200	400	13	3	2	2	3	2D10-150	2D10-150
BG25-1	200	500	13	2	2	2	5	2D10-200	2D10-200
BG25-2	200	500	13	2	2	2	2	2D10-200	2D10-200
BG25-3	200	500	13	3	3	3	3	2D10-200	2D10-200
GG36-1	300	600	16	8	4	3	5	2D10-100	2D10-200
GG36-2	300	600	16	6	3	3	4	2D10-100	2D10-200
GG36-3	300	600	16	5	3	3	6	2D10-100	2D10-200
GG36-4	300	600	16	5	3	3	5	2D10-100	2D10-200
GG36-5	300	600	16	3	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG35-1	300	500	13	6	4	4	6	2D10-100	2D10-200
GG255-1	250	500	16	5	3	2	5	2D10-100	2D10-200
GG255-2	250	500	13	6	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG255-3	250	500	13	5	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG255-4	250	500	13	3	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG255-5	250	500	13	4	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG255-6	250	500	13	4	3	3	6	2D10-100	2D10-200
GG254-1	250	400	13	5	4	3	3	2D10-100	2D10-150
GG254-2	250	400	13	3	3	3	3	2D10-150	2D10-150
GG254-3	250	400	13	4	3	3	3	2D10-100	2D10-150
GG34-1	300	400	13	5	3	3	3	2D10-100	2D10-200
GG34-2	300	400	13	4	3	3	3	2D10-100	2D10-200

2). Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMK

Untuk penulangan kolom, digunakan bantuan software ETABS dan Excel. Data yang didapat dari ETABS diolah menggunakan excel untuk menghitung dan membuat kode kolom dengan berbagai tulangan longitudinal dan transversal sesuai syarat SNI 1726-2019. Selain itu dilakukan juga pengecekan syarat SCWB pada kolom berdasarkan penulangan terpasang balok. Tabel 10 menunjukkan daftar penulangan kolom.

TABEL 10
DAFTAR PENULANGAN KOLOM

Kode	b (mm)	h (mm)	Tulangan (D)	Jumlah Tulangan	Sengkang Arah X	Sengkang Arah Y
KG1	400	500	16	18	3D10-100	4D10-100
KG2	400	400	16	16	3D10-100	3D10-100
KG3	300	400	16	14	2D10-100	3D10-100
KG4	300	300	16	8	2D10-100	2D10-100

D. Rekapitulasi Desain Pondasi

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, lapisan tanah di lokasi proyek terdiri dari lempung berlanau lunak hingga sangat kaku pada kedalaman 0–4 meter, dengan daya dukung rendah dan tidak cocok untuk pondasi dangkal. Pada

kedalaman lebih dalam ditemukan lapisan pasir padat dan breksi vulkanik yang lebih stabil. Mengingat struktur villa memiliki beban signifikan, pondasi *bored pile* dipilih untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras, mengurangi risiko penurunan, dan menjamin stabilitas bangunan.

Selain itu, penggunaan *bored pile* dipertimbangkan karena adanya bangunan tetangga di sekitar lokasi proyek. Penggunaan tiang pancang dianggap kurang etis karena getaran yang ditimbulkan berpotensi mengganggu dan merusak struktur di sekitarnya. Berdasarkan perhitungan daya dukung *bored pile* menggunakan metode *Luciano Decourt*, didapatkan daya dukung ijin 35 ton pada kedalaman 7 meter dari tanah eksisting.

E. Analisa Hasil Desain Struktur

Hasil dari desain struktur menunjukkan bahwa semua elemen dalam struktur SRPMK telah memenuhi standar bangunan yang berlaku, termasuk SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, dan SNI 1727-2020. Dalam proses ini, aspek profesionalisme, etika, dan keselamatan kerja (K3) menjadi prinsip dasar dalam setiap keputusan desain. Prinsip-prinsip ini diterapkan untuk menciptakan bangunan yang tidak hanya kuat dan ekonomis, tetapi juga estetik dan aman bagi lingkungan sekitar.

Desain yang dihasilkan menunjukkan bahwa balok telah memenuhi syarat untuk dimensi serta tulangan longitudinal dan transversal. Balok-balok ini didesain untuk dapat menahan beban lentur dan geser sepanjang masa pakai. Kolom juga telah didesain dengan mengikuti prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB), melalui beberapa iterasi untuk menyesuaikan dimensi di area servis bangunan agar tetap memenuhi syarat tanpa mengganggu aspek arsitektural.

Pada analisa geoteknik, pondasi didesain menggunakan *bored pile* yang sesuai dengan kondisi tanah di area villa. Desain ini tidak hanya memenuhi kebutuhan struktural tetapi juga mempertimbangkan etika serta dampak minimal pada bangunan sekitar saat proses konstruksi berlangsung.

Bangunan juga telah didesain dengan mempertimbangkan faktor keamanan melalui penerapan metode *Load & Resistance Factor Design*. (LRFD). Dengan adanya faktor keamanan ini, harapannya bangunan tidak langsung roboh saat menerima beban mati, hidup, atau gempa dan penghuni punya cukup waktu untuk menyelamatkan diri. Selain itu, potensi risiko lingkungan seperti korosi di area pantai telah diantisipasi dengan menggunakan beton berkualitas tinggi (kuat tekan ≥ 30 MPa), sesuai dengan rekomendasi SNI 2847-2019.

Koordinasi yang intensif dengan berbagai pihak, termasuk *owner*, arsitek, dan konsultan MEP, dilakukan untuk memastikan setiap keputusan desain mampu mengakomodasi kebutuhan dan kepentingan semua pihak yang terlibat. Hasil dari kolaborasi ini menghasilkan desain struktur yang tidak hanya fungsional, tetapi juga mencerminkan profesionalisme, etika, dan komitmen terhadap keselamatan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Desain struktur villa dengan sistem SRPMK telah menghasilkan bangunan yang memenuhi standar SNI sekaligus mengintegrasikan aspek profesionalisme, etika, dan keselamatan kerja (K3). Setiap elemen struktur didesain untuk menjamin keamanan, efisiensi, dan estetika yang sesuai dengan karakteristik lokasi di area pantai. Dari segi profesionalisme, seluruh komponen SRPMK telah didesain dengan mempertimbangkan estetika sesuai dengan standar SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, dan SNI 1727-2020. Balok dan kolom didesain untuk memenuhi syarat tulangan longitudinal, tulangan transversal, serta konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Dari segi K3, struktur didesain menggunakan konsep LRFD untuk memastikan faktor keamanan yang memadai dan perlindungan terhadap risiko selama masa pakai bangunan. Dari segi etika, desain memperhatikan dampak lingkungan sekitar dan meminimalkan gangguan pada bangunan di sekitarnya selama proses konstruksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia-Nya, sehingga paper ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan paper ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat dan tulus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Tanti Octavia, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing sekaligus Ketua Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, atas waktu, bimbingan, saran, kritik, serta motivasi yang diberikan selama proses penyusunan paper ini.
2. Ir. Hendra Tjahjadi, IPU, Asean Eng., APEC Eng., ACPE, selaku dosen pembimbing lapangan, atas masukan yang berharga dalam penyelesaian jurnal ini.
3. Tata usaha dan staf kependidikan Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Kristen Petra.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, baik secara langsung maupun tidak langsung, atas segala bantuan dan dukungan dalam proses penyusunan jurnal ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Keuangan. (2023). Kian Melesat di 2023, Pariwisata Indonesia Bersiap Menuju Level Prapandemi. [Online]. Tersedia: <https://mediakeuangan.kemenkeu.go.id/article/show/kian-melesat-di-2023-pariwisata-indonesia-bersiap-menuju-level-prapandemi>.
- [2] Detik Properti. (2023). Properti di Bali Semakin Menjamur, Bisa Jadi Ini Faktornya. [Online]. Tersedia: <https://www.detik.com/properti/berita/d-7346221/properti-di-bali-semakin-menjamur-bisa-jadi-ini-faktornya>
- [3] Kompas Properti. (2020, Januari). Gedung Bertingkat Menengah Runtuh: Potret Kegagalan Konstruksi. [Online]. Tersedia: <https://properti.kompas.com/read/2020/01/06/182759621/gedung-bertingkat-menengah-runtuh-potret-kegagalan-konstruksi>
- [4] Bisnis.com. (2022, November). Ribuan Rumah Rusak Akibat Gempa Cianjur, Ini Kata Ahli Konstruksi. [Online]. Tersedia: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20221122/47/1600966/ribuan-rumah-rusak-akibat-gempa-cianjur-ini-kata-ahli-konstruksi>

- [5] Persatuan Insinyur Indonesia (PII). (2022). Kode Etik Insinyur. [Online]. Tersedia: <https://pii.or.id/data/landasan-hukum/kode-etik>
- [6] F. P. Pinontoan, "Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado," *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 1, hal. 22–33, Jan. 2017. [Online]. Tersedia: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/22026/21727>
- [7] Badan Standardisasi Nasional. SNI 1726:2019, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," 2019.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. SNI 2847:2019, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," 2019.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. SNI 1727:2020, "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain," 2020.
- [10] NIST GCR 8-917-1, "NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures," National Institute of Standards and Technology, 2008. [Online]. Tersedia: <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr8-917-1.pdf>
- [11] S. Patel dan M. A. Lotfi, "Response Spectrum Analysis of Multi-Story Shear Buildings Using Machine Learning Techniques," *Computation*, vol. 11, no. 7, hal. 1–15, Juli 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/computation11070126>
- [12] M. M. Elsherif dan H. M. Sallam, "Integrated Methods for Selecting Construction Foundation Type Based on Using a Value Engineering Principle," *Sustainability*, vol. 15, no. 11, hal. 1–19, Mei 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/su15118547>