

Pengaruh Perbedaan Jarak Kolom Terhadap Efisiensi Volume Beton dan Baja Tulangan

Angela Chikita Marcus¹⁾

Bayzoni²⁾

Fikri Alami³⁾

Abstract

Planning structural elements must be done carefully to get optimal results in terms of strength and efficiency of the material. This study aims to determine the dimensions of structural elements, the volume of concrete and steel reinforcement, and cost-efficient values, based on the optimal spacing of columns. This study begins with the calculation of preliminary design of each structural element, internal forces calculation using SAP 2000, and the calculation of reinforcing steel and concrete volume used, including budget estimate plan for each column spacing sample. All the calculation is done by fulfilling the strength and the safety regulations according to SNI 2847:2013. From the research, it is obtained that there are significant differences in the structure of slabs and beams between buildings. The difference is caused by the use of joists in buildings with a column spacing of 8 meters. So, it is concluded that the 4 meters column spacing uses the least volume of concrete. It is 13.61% more efficient compared to the 6 meters column spacing, and 19.52% more efficient than the 8 meters column spacing. For the reinforcing steel, the 6 meters column spacing is more efficient. It is 25.21% more efficient compared to the 8 meters column spacing, and 4.04% more efficient compared to the 4 meters column spacing. For the cost value, the most economical is the building with 6 meters column spacing. The budget estimate plan for 6 meters column spacing is cost less than 4 and 8 meters column spacing. It is 5.07% more economical compared to the 4 meters column spacing and 10.82% smaller than the 8 meters column spacing.

Keywords : column, efficiency, volume, concrete, steel reinforcement, cost value.

Abstrak

Perencanaan elemen struktur harus dilakukan dengan matang untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kekuatan dan efisiensi bahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dimensi elemen struktur, volume beton dan baja tulangan, serta nilai biaya yang efisien, berdasarkan jarak optimal kolom. Penelitian ini dimulai dengan penghitungan preliminary design tiap elemen struktur, penghitungan gaya dalam yang bekerja dengan menggunakan SAP 2000, penghitungan tulangan yang dipakai, dan RAB dari tiap sampel jarak kolom. Penghitungan dilakukan dengan memenuhi kaidah keamanan dan kekuatan menurut standar SNI 2847:2013.

Dari penelitian yang dilakukan, terdapat perbedaan yang signifikan pada struktur pelat dan balok antar bangunan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh pemakaian balok anak pada bangunan dengan jarak kolom 8 meter. Sehingga didapatkan secara total pada jarak kolom 4 meter menggunakan volume beton yang paling sedikit yakni lebih efisien 13,61% jika dibandingkan dengan jarak kolom 6 meter dan lebih efisien 19,52% dibanding jarak kolom 8 meter. Untuk volume baja tulangan, jarak kolom 6 meter lebih efisien, yakni lebih efisien 25,21% jika dibandingkan dengan jarak kolom 8 meter dan lebih efisien 4,04% dibanding jarak kolom 4 meter. Pada perbandingan nilai biaya, yang paling ekonomis adalah bangunan dengan jarak kolom 6 meter dengan nilai RAB lebih kecil 5,07% dibanding nilai biaya untuk bangunan dengan jarak kolom 4 meter dan lebih kecil 10,82% dibanding jarak kolom 8 meter.

Kata Kunci : kolom, efisiensi, volume, beton, baja tulangan, nilai biaya.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: angelaachick@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu konstruksi telah mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Hal ini dapat kita lihat dari semakin banyaknya pembangunan gedung-gedung bertingkat. Kebutuhan akan gedung bertingkat masih banyak diperlukan, baik untuk kebutuhan komersil maupun untuk kebutuhan tempat tinggal.

Membahas tentang inovasi gedung bertingkat, tentunya tidak lepas dari bahan yang umum digunakan yakni beton bertulang. Beton bertulang merupakan salah satu bahan bangunan yang kuat dan tahan lama. Beton sangat kuat terhadap tekan, kekuatan tarik beton relatif rendah, sebaliknya tulangan baja kuat untuk menahan gaya tarik. Kombinasi sifat kedua bahan ini sangat baik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada suatu bangunan.

Pada perencanaan suatu konstruksi, faktor kekuatan tentu menjadi hal utama yang harus diperhatikan dalam suatu perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Terlepas dari faktor kekuatan, faktor biaya juga menjadi salah satu hal yang harus dipertimbangkan. Efisiensi dari beton bertulang yang menjadi bahan baku utama suatu struktur dapat menjadi salah satu solusi.

Kolom merupakan salah satu elemen struktur yang memegang peranan penting. Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok dan plat. Keruntuhan pada kolom dapat menyebabkan keruntuhan lantai yang berakibat fatal pada struktur. Balok merupakan bagian struktural sebuah bangunan yang dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju kolom penopang. Semakin besar jarak kolom, meskipun mengurangi jumlah kolom, namun akan mempengaruhi penulangan balok. Perencanaan kolom dan balok tentu harus diperhitungkan dengan matang untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kekuatan dan efisiensi bahan yang digunakan.

Faktor biaya konstruksi tentunya akan dipengaruhi langsung oleh volume dan jenis bahan dari konstruksi itu sendiri. Oleh karena itu, perencanaan kolom diharapkan dapat mempengaruhi volume dari beton dan baja tulangan agar menjadi lebih efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Menurut SNI 2834:2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton, beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah.

Beton yang baik mempunyai kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah oleh sebab itu beton membutuhkan baja tulangan untuk menahan kuat tarik dari struktur. Untuk kuat tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm² dengan simbol K untuk benda uji kubus dan f'c untuk benda uji silinder. Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas bahan yang digunakan, perawatan, suhu, dan umur dari beton.

2.2 Pelat

Pelat beton bertulang dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, atau jenis struktur lainnya. Plat beton ditumpu oleh balok, kolom, atau diatas tanah. Umumnya balok dan plat dicor secara bersamaan sehingga strukturnya bersifat monolit. Ketebalan plat umumnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran bentangnya (Setiawan, 2016). Pelat beton dibagi menjadi 2 kategori

berdasarkan perbandingan panjang antara bentang panjang terhadap bentang pendek yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

Untuk pelat sendiri direncanakan berdasarkan batas dan standar yang terdapat pada SNI 2847:2013, yakni :

- a) Pasal 9.5.3.2, tentang syarat-syarat dalam menentukan ketebalan minimum pelat 2 arah.
- b) Pasal 13.3.1, tentang luas tulangan yang harus ditentukan dari momen, tetapi tidak boleh kurang dari yang disyaratkan pada pasal 7.12.2.1
- c) Pasal 7.12.2.1, menyatakan rasio minimum luas tulangan utama dan susut suhu terhadap beton bergantung pada mutu tulangan, untuk tulangan mutu 400 digunakan nilai rasio sebesar 0.0018.
- d) Pasal 13.3.2, membatasi spasi tulangan tidak boleh melebihi 2 kali tebal pelat.

2.3 Balok

Balok adalah bagian struktural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju kolom. Selain itu balok juga berfungsi sebagai pengikat kolom-kolom agar apabila terjadi pergerakan kolom-kolom tersebut tetap mempertahankan bentuk dan posisinya semula.

Dalam mendesain penampang balok T maupun L, ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 yaitu:

- a) Pasal 8.12.2, tentang lebar slab efektif sebagai sayap balok-T harus kurang dari $\frac{1}{4}$ panjang bentang balok. lebar efektif sayap balok tidak boleh melebihi delapan kali tebal pelat dan $\frac{1}{2}$ jarak bersih ke badan balok selanjutnya.
- b) Pasal 8.12.3, yang menyatakan bahwa untuk balok dengan slab pada satu sisi saja, lebar sayap tidak boleh melebihi $\frac{1}{12}$ panjang bentang balok, enam kali tebal pelat dan $\frac{1}{2}$ jarak bersih ke balok selanjutnya.
- c) Pasal 9.5.2, mengenai tebal minimum balok untuk konstruksi
- d) Pasal 10.5.1, tentang As minimum balok.
- e) Pasal 11.4.5.1, menyebutkan bahwa spasi tulangan geser tidak boleh melebihi $d/2$ dari struktur tersebut.
- f) Pasal 11.4.6.3, tentang tulangan geser minimum balok.
- g) Pasal 11.5.6.1, menyatakan bahwa tulangan torsi transversal maksimum adalah 300 mm atau keliling sengkang dibagi delapan.
- h) Pasal 11.5.6.2, menyatakan tulangan torsi longitudinal harus memiliki diameter paling sedikit 0,042 kali diameter sengkang namun tidak kurang dari 10 mm, dan pada setiap sudut sengkang paling tidak ada satu tulangan torsi longitudinal.

2.4 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban aksial pada struktur. Kolom memikul beban dari plat dan balok yang kemudian akan disalurkan ke pondasi. Peraturan SNI 2847:2013 memberi batasan untuk beberapa hal yang berhubungan dengan kolom beton. Beberapa persyaratan tersebut yakni:

- a) Pasal 8.10.1, kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.
- b) Pasal 8.10.3, dalam menghitung momen beban gravitasi pada kolom, diizinkan untuk mengasumsikan ujung jauh kolom yang dibangun menyatu dengan struktur sebagai terjepit.

- c) Pasal 8.10.4, tahanan terhadap momen pada setiap tingkat lantai atau atap harus disediakan dengan mendistribusikan momen di antara kolom-kolom langsung di atas dan di bawah lantai ditetapkan dalam proporsi terhadap kekakuan kolom relatif dan kondisi kekangan.
- d) Pasal 9.3.2.2, memberikan batasan untuk faktor reduksi kekuatan kolom.
- e) Pasal 10.9.1, mensyaratkan bahwa persentase minimum tulangan memanjang adalah 1%, dengan nilai maksimum 8%, terhadap luas total penampang kolom.
- f) Pasal 10.9.2, menyatakan bahwa minimal harus dipasang empat buah tulangan memanjang untuk kolom dengan sengkang persegi atau lingkaran, minimal 3 buah untuk kolom berbentuk segitiga, serta minimal 6 buah untuk kolom dengan spiral.
- g) Pasal 7.10.4, sengkang spiral harus memiliki diameter minimum 10 mm dan jarak bersihnya tidak lebih dari 75 mm, namun tidak kurang dari 25 mm. Untuk penyambungan batang spiral ulir tanpa lapisan dapat digunakan sambungan lewatan sepanjang $48d_b$ atau tidak kurang dari 300 mm. Sedangkan untuk batang spiral polos diambil sepanjang $72d_b$ atau 300 mm.
- h) Pasal 7.10.5.1, tulangan sengkang harus memiliki diameter minimum 10 mm untuk mengikat tulangan memanjang dengan diameter 32 mm atau kurang, sedangkan untuk tulangan memanjang dengan diameter di atas 32 mm harus diikat dengan sengkang berdiameter minimum 13 mm.
- i) Pasal 7.10.5.2, jarak vertikal sengkang atau sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan memanjang, 48 kali diameter sengkang/sengkang ikat, atau dimensi terkecil dari penampang kolom.
- j) Berdasarkan Pasal 10.3.6 SNI 2847:2013 nilai kuat aksial desain, ϕP_n dalam mendesain kolom beton bertulang adalah:
 - Untuk kolom dengan sengkang persegi, nilai kuat aksial desainnya adalah:
$$\phi P_n = 0,80\phi [0,85F_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (1)$$
 - Untuk kolom dengan sengkang spiral, nilai kuat aksial desainnya adalah:
$$\phi P_n = 0,85\phi [0,85F_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2)$$Keterangan:
 $\phi = 0,65$ untuk sengkang persegi dan $0,75$ untuk sengkang spiral
 $A_g =$ luas total penampang kolom
 $A_{st} =$ luas total tulangan memanjang (longitudinal)
maka akan diperoleh nilai A_g yang kemudian diakarkan, $\sqrt{A_g}$ untuk menentukan dimensi kolom minimum.

2.5 Permodelan Struktur dengan Software FEA

Finite Element Analysis adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metodenya adalah dengan cara membagi suatu kasus menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model dengan lebih sederhana. Ada beberapa software untuk penghitungan dengan metode elemen hingga atau (FEA) yang sering digunakan seperti ansys, abaqus, dan SAP2000.

Untuk software ANSYS dapat melakukan analisa struktur (global maupun local), thermal, fluids/CFD, *couplefield* dan electromagnetik serta berbagai kasus keteknikan lainnya. Abaqus merupakan salah satu *software computer-aided engineering* (CAE). Saat ini Abaqus berubah menjadi Abaqus FEA atau SIMULIA Abaqus FEA untuk *finite element analysis*. Abaqus memiliki beberapa produk inti yang dapat digunakan untuk

pemodelan dan analisis komponen mekanik, analisis dinamika fluida tingkat lanjut, dan memecahkan masalah-masalah elektromagnetik.

SAP2000 merupakan program analisis struktur yang dikembangkan berdasarkan program SAP1 pada sekitar tahun 1975. Sampai sekarang, program tersebut dikenal di dunia sebagai pioner di bidang software rekayasa struktur dan kegempaan. Sebagai software yang tumbuh di lingkungan perguruan tinggi, banyak yang mempelajari source code program tersebut dan menjadi cikal bakal program analisa struktur serupa lainnya.

Pada penelitian ini penulis melakukan permodelan dan analisis struktur pada menggunakan SAP2000v14 dikarenakan SAP lebih unggul dalam kemudahan analisis dan desain. SAP2000 juga lebih khusus pada bidang analisis struktur dan umum digunakan untuk memodelkan struktur bangunan dibandingkan software lain seperti Abaqus dan Ansys.

2.6 Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima struktur ke lapisan tanah (Agus Setiawan, 2016).

Mendesain struktur pondasi memerlukan analisis yang meliputi kondisi struktur atas, profil dari lapisan tanah, beban kerja struktur, dan beberapa hal lainnya yang perlu dipertimbangkan. Pendesainan struktur pondasi yang optimal dapat menghasilkan biaya konstruksi yang optimal pula.

Peraturan SNI 2847:2013 memberi batasan untuk beberapa hal yang berhubungan dengan Pondasi telapak. Beberapa persyaratan tersebut yakni:

- a) Pasal 22.7.4, menyatakan tebal pondasi telapak beton polos struktur tidak boleh kurang dari 200 mm.
- b) Pasal 22.7.6.2, bahwa kekuatan geser pada pondasi telapak diatur oleh dua kondisi, yakni :
 - Aksi balok untuk pondasi, dengan penampang kritis yang menerus dalam bidang yang melintasi lebar pondasi keseluruhan dan berada pada jarak h dari daerah reaksi.
 - Aksi dua arah untuk pondasi, dengan penampang kritis yang tegak lurus terhadap pondasi telapak dan terletak sedemikian rupa hingga kelilingnya b_0 minimum.
- c) Pasal 22.10.1 menyatakan tulangan tidak boleh lebih kecil dari D13 dan harus memiliki rasio luas total minimal 0.002.

2.7 Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan Anggaran Biaya (RAB) adalah suatu metode penyajian dan penghitungan rencana biaya yang harus dikeluarkan dari awal pekerjaan dimulai hingga pekerjaan tersebut selesai dikerjakan. Rencana biaya tersebut mencakup dari keseluruhan kebutuhan pekerjaan dalam konstruksi, baik itu biaya material atau bahan yang diperlukan, upah pekerja, dan biaya lain yang diperlukan. Rancangan Anggaran Biaya dihitung sesuai dengan *Permen PU No.11 Th. 2013* tentang Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Preliminary Study

Preliminary study yang dimaksudkan dalam studi ini adalah penentuan parameter-parameter seperti tebal pelat, dimensi balok, kolom dan jarak kolom yang akan digunakan dalam permodelan struktur. Bagian ini juga termasuk penentuan mutu beton yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan. Pendekatan penelitian yang digunakan dalam skripsi ini yaitu pendekatan kualitatif karena hasil dari penelitian yang dilakukan berupa hasil analisa yang memperlihatkan kelayakan, dan struktur yang paling optimal dalam segi kekuatan maupun efisiensi volume bahan.

3.2 Permodelan Struktur

Dalam penelitian ini objek studi dimodelkan dan disimulasikan dengan menggunakan *software* FEA. Model frame tiga dimensi dipilih untuk lebih mendekati bentuk *real* struktur. Spesifikasi bangunan gedung yang akan direncanakan memiliki fungsi sebagai gedung perkantoran 4 lantai dan dianggap di area aman gempa. Jenis beton yang digunakan adalah mutu normal dengan kekuatan mutu sedang dengan $f'c$ struktur kolom, balok dan pelat adalah 30 MPa. Tulangan yang digunakan adalah tulangan ulir BJTD 40. Untuk pembebanan pada gedung akan mempertimbangkan beban hidup, beban mati akibat berat sendiri dan beban mati tambahan. Model struktur yang ditinjau adalah bangunan dengan jarak kolom 4, 6, dan 8 meter sebagai sampel permodelan.

3.4 Langkah Penelitian

Langkah penelitian selengkapnya terdapat dalam bagan alir penelitian. Setelah dilakukan *preliminary study* pada model bangunan, dilakukan analisa menggunakan SAP2000v14, dilanjutkan penghitungan kebutuhan tulangan, pondasi, dan RAB dari model bangunan. Selanjutnya dilakukan perbandingan nilai berupa perbandingan biaya yang dikeluarkan dan volume beton dan baja yang didapat untuk tiap jarak kolom, serta menyimpulkan hasil analisis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

Dimensi penampang struktur hasil dari preliminari disain didapat sebagai berikut.

Tabel 1. Preliminary Desain Struktur

L	f_y	Balok		Pelat	Kolom	Keterangan
		h	b	h	h	
4000	400	350	250	100	350	
6000	400	450	350	140	400	
8000	400	650	350	100	500	balok induk
	400	350	250			balok anak

4.2 Permodelan Struktur Gedung

Data-data berupa mutu bahan, dimensi, dan pembebanan di input ke software Structural Analysis Program kemudian dibuat menjadi dua buah permodelan gedung yang akan menghasilkan data momen lentur, momen torsi, gaya aksial, dan gaya geser.

4.3 Perhitungan Tulangan Pelat

Dari hasil perhitungan yang dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2013 didapat tulangan pelat untuk model bangunan adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Tulangan Pelat

Jarak Kolom (mm)	Tebal Pelat (mm)	Tulangan
4000	100	D8 - 200
6000	140	D8 - 240
8000	100	D8 - 200

4.4 Perhitungan Tulangan Balok

Dari hasil perhitungan yang dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2013 didapat tulangan balok untuk tiap model bangunan adalah sebagai berikut.

a) Jarak kolom 4 meter

Tabel 3. Tulangan Balok Pada Bangunan dengan Jarak Kolom 4 Meter

Tipe Balok	Tulangan Lentur			Tulangan geser		Tulangan Torsi Longitudinal	jumlah
	Tump. kiri	Lapangan	Tump. kanan	1/4 L	2/4 L		
A	3D13	3D13	3D13	D8-100	D8-100	2D10	92
B	3D13	3D13	4D13	D8-100	D8-100	2D10	24
C	4D13	3D13	4D13	D8-100	D8-100	2D10	40
D	3D16	2D16	3D16	D8-100	D8-100	2D10	180

b) Jarak kolom 6 meter

Tabel 4. Tulangan Balok Pada Bangunan dengan Jarak Kolom 6 Meter

Tipe Balok	Tulangan Lentur			Tulangan geser		Tulangan Torsi Longitudinal	jumlah
	Tump. kiri	Lapangan	Tump. kanan	1/4 L	2/4 L		
A	3D19	3D19	3D19	D10-150	D10-155	2D13	16
B	2D22	2D22	3D22	D8-155	D8-155	2D13	24
C	3D22	2D22	3D22	D10-150	D10-155	2D13	16
D	4D22	3D22	4D22	D8-155	D8-155	2D13	72
E	3D22	2D22	3D22	D10-150	D10-155	2D16	32

c) Jarak Kolom 8 meter

Tabel 5. Tulangan Balok Pada Bangunan dengan Jarak Kolom 8 Meter

Tipe Balok	Tulangan Lentur			Tulangan geser		Tulangan Torsi Longitudinal	jumlah
	Tump. kiri	Lapangan	Tump. kanan	1/4 L	2/4 L		
A	3D22	3D22	3D22	D10-100	D10-150	2D19	8
B	3D22	3D22	3D22	D10-150	D10-180	2D16	6
C	3D25	3D25	4D25	D8-200	D8-200	2D16	4
D	4D25	3D25	4D25	D8-200	D8-200	2D16	2
E	3D19	2D19	3D19	D8-100	D8-100	2D10	16
F	2D19	2D19	3D19	D8-100	D8-100	2D10	2
G	4D25	3D25	3D25	D10-100	D10-200	2D19	2
H	4D22	3D22	4D22	D8-200	D8-200	2D16	2
I	4D25	3D25	4D25	D10-100	D10-140	2D19	34
J	4D25	4D25	5D25	D8-150	D8-200	2D16	10
K	5S25	3D25	5D25	D8-150	D8-200	2D16	8
L	3D19	2D19	4D19	D8-100	D8-100	2D10	18
M	4D19	2D19	4D19	D8-100	D8-100	2D10	18
N	5D25	4D25	4D25	D8-150	D8-200	2D19	4

O	5D25	3D25	5D25	D8-100	D8-200	2D19	2
P	4D19	2D19	3D19	D8-100	D8-100	2D10	18
Q	3D25	3D25	4D25	D10-100	D10-140	2D19	4
R	3D25	3D25	3D25	D8-100	D8-200	2D16	4
S	4D25	3D25	3D25	D10-100	D10-150	2D19	4
T	5D25	4D25	4D25	D8-100	D8-200	2D16	2

4.5 Perhitungan Tulangan Kolom

Dari hasil perhitungan yang dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2013 didapat tulangan kolom untuk tiap model bangunan adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Tulangan Kolom

Jarak Kolom (mm)	Tulangan Utama	Tulangan Geser	Jumlah
4000	8D16	D8 - 140	196
6000	8D16	D8 - 170	91
	8D25	D8 - 170	9
8000	8D22	D10 - 200	56
	12D25	D10 - 200	8

4.6 Perhitungan Pondasi

Dari hasil perhitungan yang dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2013 didapat tulangan pondasi untuk tiap model bangunan adalah sebagai berikut.

a) Jarak Kolom 4 Meter

Tabel 7. Tulangan Pondasi pada Bangunan dengan Jarak Kolom 4 Meter

Tipe Pondasi	Lebar Pondasi	Tebal Pondasi	Tulangan Stek	Tulangan Pelat	Jumlah Pondasi
A	1300	500	4D16	12D13-250	4
B	1700	500	4D16	14D13-250	22
C	2200	500	4D16	16D13-250	23

b) Jarak Kolom 6 Meter

Tabel 8. Tulangan Pondasi pada Bangunan dengan Jarak Kolom 6 Meter

Tipe Pondasi	Lebar Pondasi	Tebal Pondasi	Tulangan Stek	Tulangan Pelat	Jumlah Pondasi
A	2000	500	4D16	16D13-250	4
B	2400	500	4D16	18D13-250	12
C	3100	500	4D16	22D16-250	9

b) Jarak Kolom 8 Meter

Tabel 9. Tulangan Pondasi pada Bangunan dengan Jarak Kolom 8 Meter

Tipe Pondasi	Lebar Pondasi	Tebal Pondasi	Tulangan Stek	Tulangan Pelat	Jumlah Pondasi
A	2400	500	4D22	18D16-250	4
B	3000	500	4D22	18D16-330	8
C	4000	650	4D22	34D16-220	4

4.7 Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan Anggaran Biaya pada penelitian ini dihitung sesuai dengan *Permen PU No.11 Th. 2013* tentang Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil.

4.8 Hasil Perbandingan

Untuk pelat, beton dan baja tulangan pada bangunan dengan jarak kolom 4 meter dan 8 meter sama besar. Penghitungan tebal pelat menggunakan cara yang sama, namun volume pelat yang tercantum di tabel untuk bangunan dengan jarak kolom 8 meter adalah volume pelat yang ditopang oleh balok anak. Hal ini disebabkan oleh penggunaan balok anak pada bangunan dengan jarak kolom 8 meter.

Untuk tulangan pelat pada jarak kolom 4 meter menggunakan D8-200 sedangkan untuk jarak kolom 6 meter menggunakan besi tulangan D8-240. Hal ini disebabkan oleh adanya pembatasan tulangan di SNI 2847:2013 Pasal 13.3.2 dimana disebutkan bahwa jarak maksimal antar tulangan pelat adalah dua kali tebal pelat.

Pada perhitungan balok, bangunan pada jarak kolom 8 meter menggunakan balok anak untuk mengurangi ketebalan pelat. Penggunaan balok anak dipilih karena lebih efisien dalam hal efisiensi kebutuhan beton dibanding metode lain seperti *drop panel*. *Drop panel* memang unggul dalam efisiensi waktu dan kemudahan pemasangan namun pelat yang terpasang akan lebih tebal dimensinya.

Pada perhitungan pondasi, tebal pondasi yang digunakan untuk jarak kolom 4, 6, dan 8 meter diasumsikan sama yakni 500 mm dengan lebar pelat pondasi yang berbeda tergantung oleh momen dan beban aksial yang dialami tiap kolom. Namun pada pondasi tipe 2B untuk jarak kolom 8 meter pelat pondasi menjadi lebih tebal yakni 650 mm dikarenakan beban aksial yang cukup besar.

Dari Setiap perhitungan diatas untuk tipe pelat, balok, kolom, dan pondasi untuk momen maksimum dari jarak kolom yang berbeda didapat hasil seperti Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan pada Momen Maksimum

Keterangan	4 m	6 m	8 m
Pelat			
a. Tebal Pelat (mm)	100	140	100
b. Tulangan	D8-200	D8-240	D8-200
c. Kebutuhan beton 1 plat (m ³)	1,6	5,04	1,6*
d. Kebutuhan baja tulangan 1 plat (kg)	46,8	98,28	46,8
Balok			
a. Dimensi balok (mm ²)	250 x 350	350 x 450	350 x 650 (induk) 350 x 250 (anak)
b. Tulangan			
- tump. kiri	3D16	4D22	5D25
- lapangan	2D16	3D22	3D25
- tump. kanan	3D16	4D22	5D25
- torsi memanjang	2D10	2D13	2D16
- sengkang	D8-100	D8-155	D8-150
c. Kebutuhan beton 1 balok (m ³)	0,35	0,945	1,82
d. Kebutuhan bj tulangan 1 balok (kg)	51,1352	132,585	217,9176
Kolom			
a. Dimensi Kolom (mm ²)	350 x 350	400 x 400	500 x 500
b. Tulangan			
- Tulangan utama	8D16	8D25	12D25
- sengkang	D8-140	D8-170	D10-200
c. Kebutuhan beton (kg)	0,49	0,64	1
d. Kebutuhan baja tulangan (kg)	65,1308	178,1643	207,8005
Pondasi			
a. Dimensi Pondasi (mm ²)	2200x2200	3100x3100	4000x4000
b. Tebal Pondasi (mm ²)	500	500	650

c. Tulangan - Tulangan stek - Tulangan pondasi	4D16 16D13-250	4D16 22D16-250	4D22 34D16-220
d. Kebutuhan beton (kg)	2,6038	5,045	10,7375
e. Kebutuhan baja tulangan (kg)	113,7428	189,681	572,4432

*berdasarkan volume yang ditopang oleh balok anak.

Penggunaan beton dan baja tulangan untuk tiap aspek struktur total dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11 Tabel penggunaan beton dan baja tulangan pada aspek struktur

Jenis Struktur	4 m	6 m	8 m
Pelat			
a. Kebutuhan total baja tulangan (kg)	6.379,2	6.289,62	6.379,2
b. Kebutuhan total beton (m ³)	230,4	322,56	230,4
Balok			
a. Kebutuhan total baja tulangan (kg)	15.757,58	20.893,72	32.568,03
b. Kebutuhan total beton (m ³)	117,60	151,2	228,76
Kolom			
a. Kebutuhan total baja tulangan (kg)	12.756,63	7.612,33	8.446,92
b. Kebutuhan total beton (m ³)	96,04	64	64
Pondasi			
a. Kebutuhan total baja tulangan (kg)	4.835,62	3.745,7	5.125,77
b. Kebutuhan total beton (m ³)	99,83	91,82	94,97

Dari Tabel 11 didapat bahwa pelat untuk jarak kolom 4 dan 8 meter sama besar untuk volume beton dan baja, dan lebih hemat dibandingkan volume beton dan baja untuk jarak kolom 6 meter. Pada balok yang paling efisien adalah pada jarak kolom 4 meter dan yang paling boros adalah pada jarak kolom 8 meter, yang disebabkan penggunaan balok anak. Sedangkan untuk kolom dan pondasi jarak kolom 6 meter lebih efisien dibandingkan 4 dan 8 meter baik dalam hal kebutuhan beton maupun baja tulangan.



Gambar 1. Diagram Kebutuhan Beton dan Baja Tulangan

Dari Diagram dapat dilihat bahwa pada jarak kolom 6 meter kebutuhan beton dan baja tulangan dapat lebih efisien terutama pada bagian kolom dan pondasi. Setelah dihitung Rancangan Anggaran Biaya untuk setiap bangunan didapat hasil perbandingan sebagai berikut.

Tabel 4.12 Tabel Perbandingan jarak kolom 4, 6, 8 meter

Jarak Kolom (m)	Volume Baja Total (kg)	Volume Beton total (m ³)	Total Biaya
4	40,098.04	543.87	Rp4.069.643.855,93
6	38,541.68	629.57	Rp3.873.137.446,52
8	51,532.08	675.73	Rp4.247.374.015,69

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa dari segi biaya yang paling optimal adalah pada jarak kolom 6 meter, dimana menghabiskan biaya sekitar Rp Rp3.873.137.446,52. Hal tersebut dikarenakan jumlah kolom yang tidak sebanyak jarak kolom 4 meter dan dimensi kolom yang tidak sebesar 8 meter. Juga adanya pengaruh bekisting yang tentunya akan semakin banyak dibuat pada jarak kolom 4 meter.

Pada jarak kolom 8 meter kebutuhan beton lebih tinggi dibandingkan dengan jarak kolom 6 dan 4 meter karena dimensi elemen struktur yang juga semakin besar dikarenakan jarak kolom semakin besar. Untuk kebutuhan volume baja, jarak kolom 6 meter lebih optimal dibandingkan jarak kolom 4 dan 8 m.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari perbandingan hasil analisis dan desain gedung yang memiliki jarak kolom yang berbeda, adalah sebagai berikut:

- Dimensi yang digunakan untuk pelat, balok, dan kolom adalah dimensi minimum yang sudah dihitung menggunakan preliminary design dan sudah disesuaikan dengan SNI 2847:2013. Namun untuk bangunan dengan jarak kolom 8 meter penghitungan α_m digunakan juga pada balok anak untuk menghitung tebal pelat.
- Pada struktur pelat kebutuhan beton dan baja yang digunakan bangunan jarak kolom 4 meter dan 8 meter sama karena pada bangunan dengan jarak kolom 8 meter menggunakan balok anak yang dapat memperkecil tebal pelat.
- Pada struktur balok kebutuhan tulangan dan beton maksimum adalah pada jarak kolom 8 meter. Hal tersebut dikarenakan adanya balok anak yang pastinya akan menambah volume beton, dan baja tulangan.
- Pada struktur kolom dan pondasi, volume beton dan baja tulangan yang paling efisien adalah pada jarak kolom 6 meter dibandingkan jarak kolom 4 dan 8 meter. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan jumlah dan dimensi kolom, dimana untuk bangunan dengan jarak kolom 4 meter jumlah kolom akan semakin banyak dan menyebabkan peningkatan volume beton dan baja tulangan. Sedangkan untuk bangunan dengan jarak kolom 8 meter dimensi yang dibutuhkan akan lebih besar karena menanggung momen dan beban aksial yang lebih besar, sehingga meskipun jumlah volume beton yang didapat memiliki selisih perbedaan yang kecil, pada baja tulangan akan terdapat perbedaan nilai yang cukup besar.
- Volume beton total yang dibutuhkan pada jarak kolom 4 meter adalah sebesar 543.87 m³ dan lebih efisien 13,612% jika dibandingkan dengan jarak kolom 6 meter yang dan lebih efisien 19,5197% dibanding jarak kolom 8 meter.
- Volume baja tulangan yang dibutuhkan pada jarak kolom 6 meter adalah sebesar 38,541.68 kg dan lebih efisien 25,2083% jika dibandingkan dengan jarak kolom 8 meter dan lebih efisien 4,0381% disbanding jarak kolom 4 meter.
- Untuk perbandingan nilai biaya, yang paling ekonomis adalah bangunan dengan jarak kolom 6 meter dengan nilai Rancangan Anggaran Biaya lebih kecil 5,073% dibanding nilai biaya untuk bangunan dengan jarak kolom 4 meter dan lebih kecil 10,823% dibanding jarak kolom 8 meter.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318, “ Building Code Requirements for Structural Concrete (*ACI 318-11*) and Commentary, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Mich.

Aldilla, Rafli Rakhma. 2016. “Desain Ulang Struktur Beton Bertulang Pada Bangunan Laboratorium Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. Skripsi. Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Asroni, Ali. 2010. *Kolom, Fondasi dan Balok “T” Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta

Badan Standardisasi Nasional. 2013. “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*”. Jakarta : BSN.

Badan Standardisasi Nasional. 2000. “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 2834:2000)*”. Jakarta : BSN.

Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)*

Setiawan, Agus. 2016. “*Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*”. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Sutandi, Arianti (2019). Perbandingan Slab dengan Drop Panel dan Slab dengan Balok ditinjau dari Volume Beton dan Biaya. *Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol. 2, No. 1*.

Universitas Lampung. 2013. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.

Yanita, Rachmi (2019). Value Engineering Pada Perencanaan Struktur Pelat Antara Sistem Drop Panel Flat Slab Terhadap Sistem Beam Slab. *TECHNOPEX-2019 Institut Teknologi Indonesia*.