

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

O'Brien dalam Barrie dan Paulson (1984) menyatakan bahwa hanya ada sekitar separuh dari perancang dan kontraktor dalam bidang industri konstruksi yang telah memahami pengertian rekayasa nilai dan hanya ada satu persen saja yang telah menerapkan teknik-tekniknya dengan penuh kesuksesan.

Menurut Zimmerman dan Hart (1982), rekayasa nilai (*value engineering*) adalah suatu teknik manajemen yang mencoba menggunakan pendekatan sistematis untuk mencari keseimbangan fungsi yang terbaik antara biaya, kinerja, dan penampilan dari suatu produk atau proyek. Metode ini adalah untuk memperbaiki kemampuan manajemen dan peningkatannya dengan mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak diperlukan. Pengertian selengkapya mengenai rekayasa nilai (*value engineering*) sebagaimana dikutip dari Zimmerman dan Hart (1982) adalah sebagai berikut.

1. *An oriental system* (sebagai sistem yang terarah)

Rekayasa nilai adalah suatu teknik atau rencana yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak diperlukan dengan menggunakan tahapan rencana tugas (*job plan*).

2. *A multidisciplined team approach* (sebagai pendekatan tim multi disiplin)

Yaitu suatu teknik penghematan biaya yang melibatkan seluruh tim dalam proyek, yaitu pemilik, perencana, dan para ahli yang berpengalaman di bidangnya.

3. *A life cycle oriented* (berorientasi pada biaya siklus hidup)

Rekayasa nilai berorientasi pada biaya total yang diperlukan selama proses produksi dan pengoperasian seluruh fasilitas pendukungnya (berorientasi pada biaya total kepemilikan dan pengoperasian fasilitas).

4. *A proven management technique* (sebagai teknik manajemen yang teruji)  
 Rekayasa nilai adalah suatu teknik penghematan biaya yang telah terbukti dan telah terjamin mampu menghasilkan berbagai produk bermutu dan biaya rendah. Jadi rekayasa nilai sebagai teknik yang direkomendasikan para ahli telah terbukti hasil-hasilnya pada praktek di lapangan oleh para praktisi.
5. *An oriented function* (sebagai fungsi yang terarah)  
 Rekayasa nilai berorientasi pada fungsi-fungsi yang diperlukan pada setiap item yang ditinjau untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Fungsi sebagai sebuah orientasi dalam rekayasa nilai diartikan ke dalam bentuk analisis fungsi dalam tahapan rencana kerja rekayasa nilai.

Zimmerman dan Hart (1982) lebih jauh menjelaskan pengertian rekayasa nilai (*value engineering*) dalam bentuk yang lain, yaitu sebagai berikut.

1. *Not a design review* (bukan peninjauan kembali desain)  
 Artinya bahwa rekayasa nilai bukanlah mengoreksi kesalahan-kesalahan yang dibuat oleh perencana, atau melakukan perhitungan ulang yang telah dibuat perencana.
2. *Not a cheapening process* (bukan pemotongan biaya)  
 Artinya bahwa rekayasa nilai bukanlah proses mengurangi biaya dengan mengorbankan mutu dan kinerja dari produk yang dihasilkan.
3. *Not a requirement done all designs* (bukan suatu keharusan mengerjakan semua desain)  
 Artinya bahwa bukan menjadi sebuah keharusan setiap perencana untuk melaksanakannya. Hal ini disebabkan perencana mempunyai keterbatasan waktu dalam melaksanakan pekerjaannya, sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan perbandingan alternatif semua desain.
4. *Not quality control* (bukan pengendali mutu)  
 Artinya bahwa rekayasa nilai lebih dari sebuah pengendali mutu (lebih dari sekedar meninjau ulang suatu keadaan sebuah desain).

### **3.2 Sebab dan Tujuan Dilakukannya Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

Adanya keterbatasan sumber daya berupa material, biaya, ataupun tenaga kerja sering menjadi kendala kelangsungan sebuah proyek. Keterbatasan sumber

daya tersebut mendorong diadakannya langkah-langkah antisipatif yang bertujuan menjaga kelangsungan proyek atau produk yang dikerjakan. Langkah-langkah tersebut dapat berupa penerapan program efisiensi penggunaan biaya dengan analisis rekayasa nilai.

Hal-hal yang menyebabkan peningkatan penerapan rekayasa nilai (*value engineering*) diantaranya sebagai berikut.

1. Adanya peningkatan pesat pada biaya konstruksi dari tahun ke tahun.
2. Terdapat kekurangan biaya untuk pelaksanaan pembangunan.
3. Adanya suku bunga perbankan yang cukup tinggi terhadap dana-dana yang dipergunakan.
4. Untuk mendapatkan fasilitas yang diperlukan sesuai dengan dana yang tersedia, dapat dimanfaatkan usaha untuk mencapai fungsi utama yang diperlukan dengan biaya seminimal mungkin. Ini adalah usaha dari rekayasa nilai melalui pendekatan secara sistematis dan terorganisasi.

Tujuan dari penerapan rekayasa nilai (*value engineering*) adalah membedakan dan memisahkan antara yang diperlukan dan tidak diperlukan dimana dapat dikembangkan alternatif yang memenuhi keperluan (dan meninggalkan yang tidak perlu) dengan biaya tersendah tetapi kinerjanya sama atau bahkan lebih baik (Soeharto, 2001).

### **3.3 Waktu Penerapan Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

Barrie dan Paulson (1984) menjelaskan, secara umum ada enam tahapan dasar yang memberikan sumbangan dalam realisasi suatu proyek mulai dari suatu gagasan hingga menjadi suatu kenyataan, yang dikenal dengan daur hidup proyek konstruksi atau *The Life Cycle of Construction Project*, yaitu sebagai berikut.

1. Konsep dan studi kelayakan (*concept and feasibility studies*)
2. Pengembangan (*development*)
3. Perencanaan (*design*)
4. Konstruksi (*construction*)
5. Operasi dan pemeliharaan (*operation and maintenance*)
6. Perbaikan

Rekayasa nilai dapat diterapkan sepanjang waktu berlangsungnya proyek namun lebih efektif bila rekayasa nilai sudah diaplikasikan pada saat tertentu dalam tahap perencanaan untuk menghasilkan penghematan potensial yang sebesar-besarnya. Secara umum untuk mendapatkan penghematan potensial maksimum, penerapan rekayasa nilai harus dimulai sejak dini pada tahap konsep dan secara berkelanjutan hingga selesainya perencanaan.

Waktu pelaksanaan analisis rekayasa nilai (*value engineering*) pada umumnya dibagi dalam tiga tahap, yaitu sebagai berikut.

### 3.3.1 Tahap konsep perencanaan

Berdasarkan studi-studi yang dilakukan Barrie dan Paulson (1984), penerapan rekayasa nilai sebisa mungkin diusahakan mulai dilaksanakan pada tahap konsep perencanaan. Sebab tahap ini mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap keseluruhan proyek, disamping kita memiliki fleksibilitas yang maksimal untuk mengadakan perubahan-perubahan tanpa menimbulkan biaya tambahan untuk merencana ulang (*redesign*).

Studi Barrie dan Paulson (1984) tersebut telah membuktikan bahwa perencana memiliki pengaruh terbesar pada biaya proyek, demikian pula pemilik proyek yang menetapkan kebutuhan dan kriteria tersendiri mempunyai pengaruh besar terhadap biaya proyek secara keseluruhan. Kurang lebih 70% biaya proyek telah ditetapkan pada akhir tahap konsep perencanaan yang disusun oleh perencana bersama pemilik proyek.

### 3.3.2 Tahap akhir perencanaan

Pada tahap ini hasil perencanaan telah diputuskan dalam hal bentuk, ukuran dan spesifikasi yang mana memungkinkan untuk memberikan kepastian yang lebih akurat dalam menentukan biaya-biaya dari sistem arsitektur dan struktur yang digunakan. Selain itu studi rekayasa nilai masih dapat dilaksanakan pada akhir tahap perencanaan, namun elemen-elemen yang dapat dirubah tanpa mengakibatkan pengunduran waktu dan penambahan biaya untuk merubah perencanaan yang ada berkurang dibandingkan tahapan-tahapan sebelumnya, dan sangat tergantung dengan keadaan penjadwalan waktu dari proyek pada saat dimana studi rekayasa nilai akan dilaksanakan.

### 3.3.3 Tahap pelelangan dan pelaksanaan

Seperti disebutkan sebelumnya, bahwa penerapan rekayasa nilai akan efektif jika dilaksanakan pada tahap perencanaan karena penghematan potensial yang dihasilkan cukup besar, tetapi tidak menutup kemungkinan hal untuk dilaksanakan pada tahap pelelangan dan pelaksanaan.

## 3.4 Nilai, Fungsi, dan Biaya

Penjelasan mengenai nilai, fungsi, dan biaya akan dijabarkan lebih lengkap sebagai berikut.

### 3.4.1 Nilai (*Value*)

Nilai (*value*) mempunyai arti yang sulit dibedakan dengan biaya (*cost*) atau harga (*price*). Nilai mengandung arti subyektif, apalagi bila dihubungkan dengan moral, etika, sosial, ekonomi dan lain-lain.

Pengertian nilai dibedakan dengan biaya karena hal-hal sebagai berikut (Soeharto, 2001).

1. Ukuran nilai ditentukan oleh fungsi atau kegunaannya sedangkan harga atau biaya ditentukan oleh substansi barangnya atau harga komponen-komponen yang membentuk barang tersebut.
2. Ukuran nilai lebih condong ke arah subyektif sedangkan biaya tergantung kepada angka (*monetary value*) pengeluaran yang telah dilakukan untuk mewujudkan barang tersebut.

### 3.4.2 Fungsi (*Function*)

Pemahaman akan arti fungsi amat penting dalam mempelajari rekayasa nilai, karena fungsi akan menjadi objek utama dalam hubungannya dengan biaya. Untuk mengidentifikasinya L.D. Milles menerangkan sebagai berikut (Soeharto, 2001).

Suatu sistem memiliki bermacam-macam fungsi yang dapat dibagi 2, yaitu sebagai berikut.

1. Fungsi dasar, yaitu alasan pokok sistem itu terwujud. Contohnya konstruksi pondasi, fungsi pokoknya menyalurkan beban bangunan kepada tanah basah, hal tersebut yang mendorong pembuatan konstruksi pondasi. Sifa-sifat fungsi

dasar adalah sekali ditentukan tidak dapat diubah lagi. Bila fungsi dasarnya telah hilang, maka hilang pula nilai jual yang melekat pada fungsi tersebut.

2. Fungsi sekunder, yaitu kegunaan tidak langsung untuk memenuhi dan melengkapi fungsi dasar, tetapi diperlukan untuk menunjangnya. Fungsi sekunder sering kali dapat menimbulkan hal-hal yang kurang menguntungkan. Misalnya, struktur pondasi basemen dapat digunakan sebagai ruang parkir atau penggunaan lainnya, tetapi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan muka air tanah. Jika fungsi sekunder dihilangkan tidak akan mengganggu kemampuan dari fungsi utama.

### 3.4.3 Biaya (*Cost*)

Biaya adalah jumlah segala usaha dan pengeluaran yang dilakukan dalam mengembangkan, memproduksi, dan mengaplikasikan produk. Penghasil produk selalu memikirkan akibat dari adanya biaya terhadap kualitas, reliabilitas, dan maintainability karena ini akan berpengaruh terhadap biaya bagi pemakai. Biaya pengembangan merupakan komponen yang cukup besar dari total biaya, sedangkan perhatian terhadap biaya produksi amat diperlukan karena sering mengandung sejumlah biaya yang tidak perlu (*unnecessary cost*) (Soeharto, 2001).

Komponen-komponen total biaya terdiri dari material, tenaga kerja, *testing* dan inspeksi, *engineering* dan penyelidikan, *overhead*, dan laba. Selanjutnya komponen-komponen tersebut dianalisa untuk dibandingkan dengan standar yang dimiliki oleh perusahaan yang bersangkutan.

Biaya terbesar (yang sering mengandung biaya tidak perlu) terdiri dari hal berikut.

1. Material

Jenis material tergantung dari macam usaha, dapat berupa baja, besi, logam lain. Termasuk dalam klasifikasi ini adalah instrumen atau bagian-bagian lain yang siap pakai.

2. Tenaga kerja

Jumlah biaya untuk tenaga kerja biasanya cukup besar, yaitu terdiri dari satuan unit dikali jam-orang terpakai.

### 3. *Overhead*

*Overhead* dapat terdiri dari bermacam-macam elemen, seperti pembebanan bagi operasi perusahaan (pemasaran, kompensasi pimpinan, sewa kantor, dan lain-lain). Termasuk juga dalam klasifikasi ini adalah pajak, asuransi administrasi, dan lain-lain.

### **3.5 Rencana Kerja Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

Rencana kerja dari analisis rekayasa nilai (*value engineering*) merupakan kerangka dengan teknik-teknik yang saling terkait satu dengan yang lainnya. Keterkaitan ini terdiri dalam beberapa tahap. Masing-masing tahap dapat diterapkan teknik-teknik yang sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.

Terdapat beberapa pendapat mengenai rencana kerja atau tahapan rekayasa nilai yang pada dasarnya sama dan saling melengkapi. Barrie dan Paulson (1984) memberikan daftar rencana kerja rekayasa nilai menurut beberapa pendapat, diantaranya sebagai berikut dalam Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Perbandingan Tahapan Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

<b>L.D. Miles (1961)</b>	<b>U.S Dept. Of Defense (1963)</b>	<b>E.D. Heller (1971)</b>	<b>A.E. Mudge (1971)</b>	<b>Dell'Isola (1972)</b>	<b>GSA-PBS (1972)</b>	<b>L.D. Miles (1972)</b>
1.Tahap Orientasi	1. Tahap Informasi	1.Tahap Informasi	1.Tahap Seleksi Proyek	1.Tahap Informasi	1.Tahap Orientasi	1.Tahap Informasi
2.Tahap Informasi	2.Tahap Kreatif	2.Tahap Kreatif	2.Tahap Informasi	2.Tahap Kreatif	2.Tahap Informasi	2.tahap Analisis
3.Tahap Kreatif	3.Tahap Analisis	3.Tahap Evaluasi	3.Tahap Fungsi	3.Tahap Analisis	3.Tahap Kreatif	3.Tahap Kreatif
4.Tahap Analisis	4.Tahap Pengembangan	4.Tahap Investigasi	4.Tahap Kreatif	4.Tahap Rekomendasi	4.Tahap Analisis	4.Tahap Penilaian
5.Tahap Perencanaan Program	5.Tahap Penyajian	5.Tahap Pelaporan	5.Tahap Evaluasi		5.Tahap Pengembangan	5.Tahap Pengembangan
6.Tahap Pelaksanaan Program		6.Tahap Penerapan	6.Tahap Investigasi		6.Tahap Penyajian	
7.Tahap Ihtisar dan Kesimpulan			7.Tahap Rekomendasi		7.Tahap Penerapan	
					8.Tahap Tindak Lanjut	

Sumber: Barrie dan Paulson (1984)



Saragih dkk. (2013), juga memberikan daftar perbandingan perbedaan tahapan rekayasa nilai (*value engineering*) dengan pendapat berbeda yang disajikan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut.

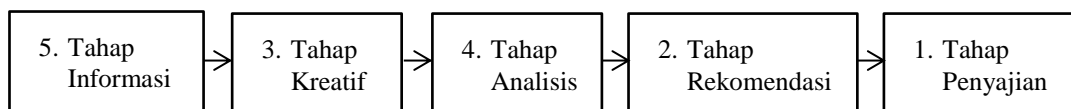
**Tabel 3.2 Perbandingan Tahapan Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)**

Soeharto (2001)	Value Standard and Body of Knowledge (2007)	Value Engineering Policies and Procedures (1998)	Kopelousos (2009)	Mandelbbaum dan Reed (2006)
1.Tahap Informasi	1.Tahap Informasi	1.Tahap Informasi	1.Tahap Informasi	1.Tahap Orientasi
2.Tahap Spekulasi	2.Tahap Analisis	2.Tahap Spekulasi	2.Tahap Analisis	2.Tahap Informasi
3.Tahap Analisis	3.Tahap Kreatif	3.Tahap Analisis	3.Tahap Kreatif	3.Tahap Analisis
4.Tahap Pengembangan	4.Tahap Evaluasi	4.Tahap Pengembangan	4.Tahap Evaluasi	4.Tahap Kreatif
5.Tahap Penyajian	5.Tahap Pengembangan	5.Tahap Pelaporan	5.Tahap Pengembangan	5.Tahap Evaluasi
	6.Tahap Presentasi		6.Tahap Presentasi	6.Tahap Pengembangan
				7.Tahap Presentasi
				8.Tahap Implementasi

Sumber: Saragih dkk. (2013)

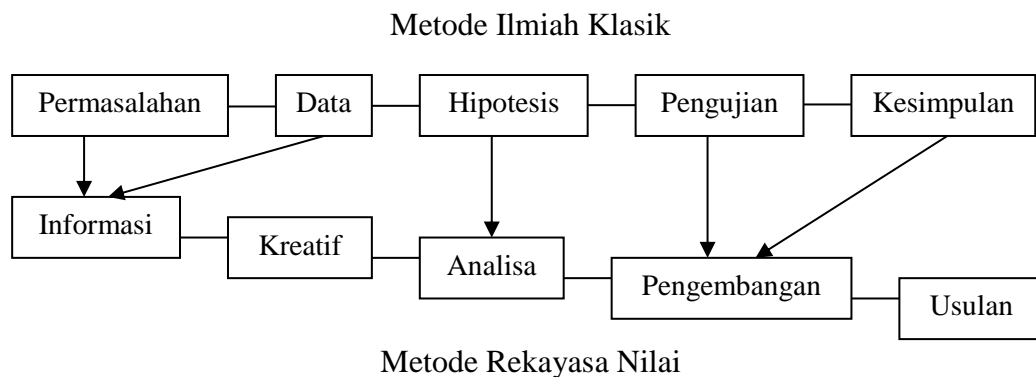
Berdasarkan beberapa perbandingan tersebut, penulis mengambil kesimpulan secara garis besar tahapan rekayasa nilai (*value engineering*) mengacu pada Dell'Isola (1972) adalah tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis, tahap rekomendasi, dan tahap penyajian.

Analisis rekayasa nilai (*value engineering*) dilakukan dengan skema yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut ini.



**Gambar 3.1 Skema Rencana Kerja Rekayasa Nilai**

Jika perhatikan lebih jauh, terdapat persamaan pola pikir antara metode rekayasa nilai ini dengan metode ilmiah klasik. Gambar 3.2 menunjukkan kesamaan pola pikir tersebut yang terdiri dari beberapa tahap praktis.



**Gambar 3.2 Perbandingan Metode Ilmiah Klasik dengan Metode Rekayasa Nilai**

Sumber : *Indonesian Consultancy Development Project, 1985, Application of Value Engineering*

### 3.5.1 Tahap Informasi

Tahap informasi merupakan tahap awal dalam rencana kerja rekayasa nilai (*value engineering*) yang bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan item pekerjaan yang akan dianalisis. Tahap informasi dari proses rekayasa nilai (*value engineering*) meliputi merumuskan masalah, mengumpulkan fakta, mengenal objek (produk) dengan mengkaji fungsi dan mencatat biaya.

Informasi berupa data-data proyek secara umum maupun data-data tentang item pekerjaan sangat diperlukan. Dengan adanya data-data ini, tahapan-tahapan dalam rencana kerja rekayasa nilai dapat dilakukan. Beberapa prinsip dasar yang dilakukan pada tahap informasi adalah *cost model* dan analisa fungsi. Dibawah ini dijelaskan prinsip-prinsip dasar tersebut.

1. *Cost Model*
2. Analisis Fungsi

Fungsi merupakan suatu pendekatan untuk mendapatkan suatu nilai tertentu. Dalam hal ini fungsi merupakan karakteristik produk atau proyek yang membuat produk atau proyek dapat bekerja atau dijual. Menurut Miles dalam Barrie dan Paulson (1984) mendefinisikan fungsi sebagai dasar dari maksud sebuah item atau pengeluaran yang dapat berupa perangkat keras atau suatu grup tenaga kerja, atau prosedur untuk melakukan atau menyelesaikan suatu fungsi.

O'Brien dalam Barrie dan Paulson (1984) membedakan fungsi sebagai berikut.

- a. Fungsi dasar, yaitu fungsi, tujuan atau prosedur yang merupakan tujuan utama dan harus dipenuhi.
- b. Fungsi sekunder, yaitu fungsi pendukung yang mungkin dibutuhkan tetapi tidak melaksanakan kerja yang sebenarnya.

Analisa fungsi bertujuan untuk mengklasifikasikan fungsi-fungsi utama (*basic function*) maupun fungsi-fungsi penunjangnya (*secondary function*). Selain itu juga untuk mendapatkan perbandingan antara biaya dengan nilai manfaat yang dibutuhkan untuk menghasilkan fungsi tersebut.

Selanjutnya O'Brien menyarankan agar definisi fungsi dilakukan melalui penggunaan dua kata, kata kerja (*verb*) dan kata benda (*noun*). Cara ini memberikan keuntungan sebagai berikut.

- a. Membatasi timbulnya perluasan arti, sebab jika tidak bisa mendefinisikan suatu fungsi dalam dua kata maka pendefinisian masalah menjadi terlalu luas.
- b. Menghindari penggabungan fungsi-fungsi dan pendefinisian lebih dari satu fungsi sederhana, karena dengan hanya menggunakan dua kata kita dipaksa untuk memecah-mecah masalah ke dalam elemen yang paling sederhana.
- c. Merupakan pembantu untuk mencapai tingkat pengertian yang paling mendalam dari hal-hal yang spesifik. Jika hanya dua kata yang digunakan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam komunikasi yang salah pengertian dikurangi hingga tingkat yang paling minimum.

Langkah selanjutnya adalah menentukan perbandingan antara *cost* dan *worth*, dimana *cost* adalah biaya yang dibayar untuk item pekerjaan tertentu (diestimasi oleh perencana) dan *worth* adalah biaya minimal untuk item pekerjaan tetapi fungsi tetap harus dipenuhi (biaya terendah yang diperoleh setelah ide ditemukan tetapi fungsinya tetap). Dengan adanya indeks nilai seperti *cost* dibagi dengan *worth* akan sangat berguna.

### 3.5.2 Tahap Kreatif

Berfikir kreatif merupakan hal yang sangat penting dan diperlukan dalam mengembangkan ide-ide untuk memunculkan alternatif-alternatif dari elemen yang dilakukan modifikasi tetapi masih memenuhi fungsi, kemudian disusun secara sistematis. Tujuannya adalah mendapatkan alternatif desain dengan biaya yang lebih murah tanpa mnegurangi fungsi pokoknya.

Pada tahapan ini anggota tim rekayasa nilai dituntut untuk berfikir lebih dalam. Ide-ide datang dari hasil kerja dalam tahap informasi maupun pemikiran anggota kelompok. Semakin banyak anggota tim yang berpartisipasi maka akan lebih banyak gagasan yang muncul. Barrie dan Paulson (1984) mengutip pernyataan Gordon mengenai kelebihan dari kerja tim ini bahwa upaya berpikir kreatif setiap anggota dalam kelompok akan dirangsang oleh pihak lainnya dalam kelompok tersebut. Pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh salah satu anggota kelompok dapat membangkitkan gagasan bagi anggota kelompok lainnya.

### 3.5.3 Tahap Analisis

Tahapan ini bertujuan untuk menganalisa alternatif-alternatif yang telah ditentukan pada tahap kreatif untuk kemudian dipilih satu alternatif terbaik sebagai desain usulan pada tahap rekomendasi.

Menurut Barrie dan Paulson (1984), serangkaian analisa yang dilakukan atas setiap alternatif yang dihasilkan mempunyai tujuan sebagai berikut.

1. Mengadakan evaluasi, mengajukan kritik dan menguji alternatif yang dihasilkan dalam setiap hasil pada tahap kreatif.
2. Memperkirakan nilai rupiah untuk setiap alternatif.
3. Menentukan salah satu alternatif yang memberikan kemampuan penghematan dengan biaya terbesar namun dengan mutu, penampilan dan keandalan terjamin.

Menurut O'Brien dalam Barrie dan Pulson (1984), batasan-batasan dalam melakukan analisis dalam tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Menghilangkan gagasan-gagasan yang tidak dapat memenuhi kondisi lingkungan dan operasi.

2. Menyingkirkan sementara waktu semua gagasan yang berpotensi, namun berada di luar kemampuan atau teknologi saat ini.
3. Mengadakan analisa biaya mengenai gagasan selebihnya.
4. Membuat daftar dari gagasan dengan segi penghematan yang bermanfaat, termasuk potensi kelebihan maupun kelemahannya.
5. Memilih gagasan dengan kelebihan yang melebihi kelemahannya dan mengusulkan segala sesuatu yang memberi penghematan terbesar.
6. Mempertimbangkan kendala penting seperti estetika, keawetan dan kemudahan pengerjaannya sehingga dapat membuat suatu daftar yang lengkap.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam tahap analisis adalah sebagai berikut.

1. Analisis keuntungan dan kerugian

Pada analisis keuntungan dan kerugian, ide-ide yang dihasilkan pada tahap kreatif diuraikan keuntungan dan kerugiannya kemudian diberi bobot nilai. Evaluasi ide harus dilakukan secara subjektif.

Barrie dan Paulson (1984) mengungkapkan terdapat beberapa kriteria yang dapat digunakan dalam menyaring ide, yaitu sebagai berikut.

- a. Adanya keuntungan dari segi biaya.
- b. Ide yang diusulkan memenuhi persyaratan fungsional.
- c. Keandalan dari ide.
- d. Dampaknya terhadap jadwal desain konstruksi
- e. Apakah dibutuhkan *redesign* yang berlebihan untuk mengimplementasikan ide tersebut.
- f. Apakah terdapat perbaikan terhadap desain asli.
- g. Apakah desain yang diusulkan pernah digunakan pada waktu yang lalu.
- h. Apakah ide tersebut mempengaruhi estetika proyek.

Setelah keuntungan dan kerugian pada setiap ide kreatif diuraikan, kemudian diberi peringkat (*rating*) untuk masing-masing alternatif.

2. Analisis biaya siklus hidup (*life cycle costing*)

Menurut Donomartono dalam Larto (2014), dalam perencanaan biaya total suatu proyek harus memperhatikan sistem yang disebut *life cycle cost* atau *cost of life cycle* agar total biaya *ultimate* dari pekerjaan konstruksi, operasional, pemeliharaan dan pergantian alat dapat diperhitungkan dengan baik.

Kelly dan Steven Male (1993) mengungkapkan prinsip-prinsip ekonomi yang dipakai dalam *life cycle cost*, yaitu sebagai berikut.

- a. Biaya sekarang (*present cost*)
- b. Biaya di kemudian hari (*future cost*)
- c. Biaya yang dikeluarkan pertahun (*annual cost*) dengan menggunakan formula diskanto (*discounting formula*)

Menurut Zimmerman dan Hart (1982), ada beberapa tipe dari *life cycle cost*, yaitu sebagai berikut.

- a. Biaya investasi
- b. Biaya pemilikan/pembebasan tanah
- c. Biaya rekayasa (perencana, desain dan pengawasan)
- d. Biaya perubahan desain
- e. Biaya administrasi
- f. Biaya penggantian
- g. Nilai sisa
- h. Biaya operasional
  - 1) Gaji staff
  - 2) Bahan bakar
  - 3) Listrik
  - 4) Bahan kimia
  - 5) Jadwal pengoperasian
  - 6) Perbaikan dan servis
  - 7) Pemulihan sumber daya
  - 8) Transformasi
- i. Biaya perawatan
  - 1) Suku cadang

- 2) Buruh
  - 3) Pemeliharaan preventif
  - 4) Kebersihan
  - 5) Keawetan produk
3. Analisis pemilihan alternatif

Analisa pemilihan alternatif dilakukan dengan cara alternatif-alternatif dinilai dan dipilih satu yang terbaik. Pada awalnya, kriteria-kriteria yang digunakan untuk menilai alternatif-alternatif diberi bobot dengan menggunakan pembobotan kriteria metode *zero-one*.

Kriteria atau parameter lain harus diperhatikan, misalnya biaya *redesign*, waktu implementasi, performansi, keselamatan, dan estetika. Setelah semua kriteria diberi bobot dan alternatif-alternatif diberi nilai untuk masing-masing faktor, maka dipilih satu alternatif terbaik yang mempunyai hasil perkalian antara bobot dengan nilai tertinggi. Alternatif terbaik inilah yang akan dipilih sebagai alternatif usulan dalam tahap rekomendasi.

#### 3.5.4 Tahap Rekomendasi

Tahap rekomendasi merupakan tahap akhir yang bertujuan untuk memberikan rekomendasi secara tertulis dari alternatif yang dipilih dengan pertimbangan dari analisa sebelumnya.

Menurut Dell'Isola (1975), dalam tahap ini ada 3 hal yang harus dilakukan, yaitu sebagai berikut.

1. Tim harus meninjau semua solusi alternatif yang diajukan dengan sangat hati-hati dan detail untuk meyakinkan bahwa nilai yang tinggi dan penghematan yang signifikan yang benar-benar ditawarkan.
2. Proposal yang dibuat untuk pihak manajemen harus benar dan akurat.
3. Tim harus mempresentasikan sebuah rancangan untuk mengimplementasikan proposal tersebut.

#### 3.5.5 Tahap Penyajian

Menurut Saptono (2011) dalam Ferdian dkk. (2015), tahap penyajian adalah tahapan terakhir dari rangkaian analisis rekayasa nilai (*value engineering*) yang tujuannya yaitu menawarkan atau memberikan laporan mengenai seluruh tahap

dalam rencana rekayasa nilai kepada pihak manajemen atau pemberi tugas untuk dapat diputuskan apakah desain yang dipilih mampu dan baik untuk dilakukan.

### 3.6 Analisis Perangkingan

Analisis perangkingan adalah suatu cara yang digunakan dalam perekayasaan untuk mengkaji lebih dalam semua alternatif yang dihadirkan baik secara kualitatif atau kuantitatif (Larto, 2014). Dalam melakukan analisis perangkingan dapat dilakukan dengan 2 (dua) metode yang akan diuraikan dalam bahasan berikut.

#### 3.6.1 Perangkingan Metode *Zero-One*

Menurut Julianus dalam Larto (2014), metode Zero One adalah salah satu cara pengambilan keputusan yang bertujuan untuk menentukan urutan prioritas fungsi-fungsi (kriteria). Prinsip metode ini yaitu dengan menentukan relativitas suatu fungsi “lebih penting” atau “kurang penting” terhadap fungsi lainnya. Fungsi yang “lebih penting” diberi nilai satu (*one*), sedangkan nilai yang “kurang penting” diberi nilai nol (*zero*). Kemudian dengan menghadirkan referensi perbandingan maka didapatkan indeks untuk masing-masing kriteria yang nantinya menjadi parameter perhitungan dalam penentuan nilai pengambilan keputusan untuk masing-masing alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Keuntungan metode *zero-one* adalah mudah dimengerti dan pelaksanaannya cepat dan mudah.

Preferensi alternatif untuk kriteria biaya (Larto, 2014) adalah sebagai berikut.

Alternatif	Preferensi
A	$A > B : A > C$
B	$B < A : B > C$
C	$C < A : C < B$

Preferensi alternatif untuk kriteria mudah (Larto, 2014) adalah sebagai berikut.

Alternatif	Preferensi
A	$A > B : A > C$
B	$B < A : B > C$



C  $C < A : C < B$

Preferensi alternatif untuk kriteria pelaksanaan cepat (Larto, 2014) adalah sebagai berikut.

Alternatif	Preferensi
A	$A = B : A = C$
B	$B = A : B = C$
C	$C = A : C = B$

Pada tahap perangkingan ini menggunakan dua metode *zero-one* yang berbeda, yaitu metode *zero-one* mencari bobot untuk kriteria yang diusulkan dan metode *zero-one* untuk mencari indeks. Penghitungan bobot alternatif ini didasarkan pada Persamaan 3.1 berikut.

$$\text{Bobot alternatif} = \frac{\text{Angka rangking yang dimiliki}}{\text{Jumlah angka rangking}} \times 100 \quad (3.1)$$

Penentuan angka rangking dilakukan dengan cara terbalik tergantung pada jumlah fungsi yang dihadirkan dan perangkingan diberi nilai yang tertinggi untuk fungsi yang diprioritaskan. Untuk lebih jelasnya, metode *zero-one* untuk mencari bobot dan indeks dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4 berikut.

**Tabel 3.3 Metode Zero-One untuk Mencari Bobot**

No.	Fungsi	Angka Rangking	Bobot	Keterangan
1	Biaya	3	50	Prioritas tertinggi
2	Pelaksanaan cepat	2	33,33	Prioritas sedang
3	Mudah	1	16,67	Prioritas rendah
Jumlah angka rangking		6	100	

Sumber: Larto (2014)

Prioritas tertinggi ditentukan untuk fungsi yang mempunyai bobot tertinggi, prioritas sedang ditentukan untuk fungsi yang mempunyai bobot sedang, dan prioritas rendah ditentukan untuk fungsi yang mempunyai bobot terendah. Jika fungsi lebih dari tiga, maka penentuan prioritas menyesuaikan skala dari tertinggi hingga skala terendah.

**Tabel 3.4 Metode *Zero-One* untuk Mencari Indeks (Kriteria Biaya)**

Alternatif	A	B	C	Jumlah	Indeks
A	X	1	1	2	2/3
B	0	X	1	1	1/3
C	0	0	X	0	0
Jumlah				3	1

Sumber: Larto (2014)

Keterangan:

1 = lebih penting

0 = kurang penting

X = fungsi yang sama

Analisis metode *zero-one* dilakukan dengan mengumpulkan fungsi-fungsi yang tingkatannya sama, kemudian disusun dalam suatu matriks *zero-one*. Selanjutnya dilakukan penilaian fungsi-fungsi secara berpasangan, sehingga matriks dinotasikan dengan X. Nilai-nilai pada matriks ini kemudian dijumlahkan menurut baris dan dikumpulkan pada kolom jumlah.

Sebagai contoh untuk pengisian matriks kriteria biaya pada alternatif A ( $A > B : A > C$ ) yaitu pada baris 1 kolom 2 bernilai 1 artinya fungsi A lebih penting dari fungsi B, pada baris 1 kolom 3 bernilai 1 artinya fungsi A lebih penting dari fungsi C. Pada alternatif yang lain (B dan C) juga dilakukan hal yang sama sehingga diperoleh urutan prioritas, yaitu A, B, dan C berdasarkan jumlah nilai. Metode *zero-one* ini digunakan untuk semua alternatif terhadap fungsi hingga diketahui nilai indeksnya.

### 3.6.2 Penilaian Akhir Alternatif dan *Existing* (Pembobotan)

Analisis pembobotan digunakan untuk mengetahui nilai prioritas dari suatu item. Penilaian *existing* dan alternatif yang muncul dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Penilaian *Existing* dan Alternatif yang Muncul**

No.	Alternatif Bobot	Kriteria			Total	Keterangan
		1	2	3		
		50	33,33	16,67		
1	Alternatif A	Indeks X	Indeks X	Indeks X	$\Sigma X$	Indeks bobot
2	Alternatif B	Indeks X	Indeks X	Indeks X	$\Sigma X$	Indeks bobot
3	Alternatif C	Indeks X	Indeks X	Indeks X	$\Sigma X$	Indeks bobot

Sumber: Larto (2014)

Pada Tabel 3.5, nilai dari X didapat dari hasil perkalian indeks dengan bobot sementara dan hasil total dari total ( $\Sigma X$ ) menjadi bobot total alternatif yang berfungsi menjadi suatu alat untuk mengambil keputusan yang dapat menggabungkan kriteria kualitatif (tidak dapat diukur) dan kriteria kuantitatif (dapat diukur).

### 3.7 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Menurut Ibrahim (1993), yang dimaksud rencana anggaran biaya (*begrooting*) suatu bangunan atau proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut.

Menurut Djojowiriono (1984), rencana anggaran biaya merupakan perkiraan biaya yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek.

Adapun menurut Niron (1992), rencana anggaran biaya mempunyai pengertian sebagai berikut.

- Rencana : Himpunan *planning* termasuk detail dan tata cara pelaksanaan pembuatan sebuah bangunan.
- Anggaran : Perhitungan biaya berdasarkan gambar bestek (gambar rencana) pada suatu bangunan.
- Biaya : Besarnya pengeluaran yang ada hubungannya dengan borongan yang tercantum dalam persyaratan yang ada.

Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja. Biaya (anggaran) adalah jumlah dari masing-masing hasil perkiraan volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan.

Secara umum, perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) ditulis dalam Persamaan 3.1 berikut.

$$\text{RAB} = \Sigma \text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan} \quad (3.1)$$

Menurut Mukomoko (1987), dalam menyusun biaya diperlukan gambar-gambar bestek serta rencana kerja, daftar upah, daftar harga bahan, buku analisis, daftar susunan rencana biaya, serta daftar jumlah tiap jenis pekerjaan.

### 3.8 Tanah

Dalam pandangan ilmu teknik sipil, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu dengan yang lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1994).

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel tersebut dapat berisi air, udara, atau yang lainnya (Hardiyatmo, 1992).

Dalam pekerjaan konstruksi tanah merupakan suatu peranan yang penting dikarenakan segala bentuk bangunan pada umumnya selalu dibangun di atas maupun di dalam tanah.

### 3.9 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya untuk memperoleh informasi bawah tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi bangunan sipil

(Dirgananta, 2018). Tujuan dari penyelidikan tanah adalah untuk mengetahui data mengenai kapasitas daya dukung tanah, muka air tanah, dan kondisi tanah. Penyelidikan tanah harus dilakukan hingga mencapai kedalaman dimana tanah memberikan daya dukungnya terhadap struktur yang akan dibangun.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan cara pengujian CPT atau sondir. Pengujian sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut  $60^\circ$  dan dengan luasan ujung  $1,54 \text{ in}^2$  ( $10 \text{ cm}^2$ ). Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap  $20 \text{ mm/detik}$ , sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi ( $q_c$ ) juga terus diukur. Tujuan dari pengujian sondir ini adalah untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikator dari kekuatan tanahnya dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan tanah yang berbeda.

### **3.10 Pondasi**

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu struktur bangunan yang berfungsi meneruskan beban bangunan bagian atas ke lapisan tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Brown, 1995). Persyaratan umum yang harus dipenuhi pondasi antara lain sebagai berikut.

1. Terhadap tanah dasar, yaitu:
  - a. pondasi harus mempunyai bentuk, ukuran, dan struktur yang sedemikian rupa sehingga tanah dasar mampu memikul gaya-gaya yang bekerja,
  - b. penurunan yang terjadi tidak boleh terlalu besar atau tidak merata, dan
  - c. bangunan tidak boleh bergeser atau mengguling.
2. Terhadap struktur pondasi sendiri, yaitu struktur pondasi harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja.

Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan sebagai struktur bawah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kondisi tanah dasar, beban yang diterima pondasi, peraturan yang berlaku, biaya, kemudahan dalam pelaksanaan, dan sebagainya. Menurut Das (1998), berdasarkan elevasi kedalamannya pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal merupakan sistem pondasi sedemikian rupa sehingga beban masih dapat ditahan dari lapisan tanah sehingga kedalaman tidak melebihi dari lebar pondasi atau  $D/B \leq 1$ .

2. Pondasi dalam

Pondasi dalam merupakan pondasi dimana bebannya sudah tidak sanggup untuk didukung oleh lapisan atas tanah. Hal ini disebabkan karena kondisi tanah atau daya dukung dari tanah tersebut sudah tidak mampu dan juga beban kolom yang demikian besar. Pondasi dalam umumnya terletak pada kedalaman  $\geq 3$  m. Adapun jenis pondasi yang termasuk dalam katagori pondasi dalam adalah pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor (*bored pile*), dan pondasi sumuran.

### 3.11 Pondasi Dangkal

Bowles (1991) menyatakan bahwa pondasi dangkal dinamakan sebagai alas, telapak, telapak tersebar atau pondasi rakit. Kedalaman pada umumnya  $D/B \leq 1$  tetapi mungkin agak lebih. Menurut Terzaghi (1943), pondasi dangkal adalah jika kedalaman pondasi  $\leq$  lebar pondasi, maka pondasi tersebut dikatakan pondasi dangkal. Pada prinsipnya pondasi dangkal berupa pondasi telapak, yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah di pondasi tersebut.

Menurut Das (1990), untuk kenyamanan pondasi dangkal harus mempunyai 2 sifat, yaitu sebagai berikut.

1. Pondasi harus aman terhadap kegagalan geser secara keseluruhan pada tanah yang mendukungnya.
2. Pondasi seharusnya tidak mengalami perpindahan yang berlebihan (penurunan).

Berdasarkan bentuknya, pondasi digolongkan dalam 4 macam, yaitu sebagai berikut.

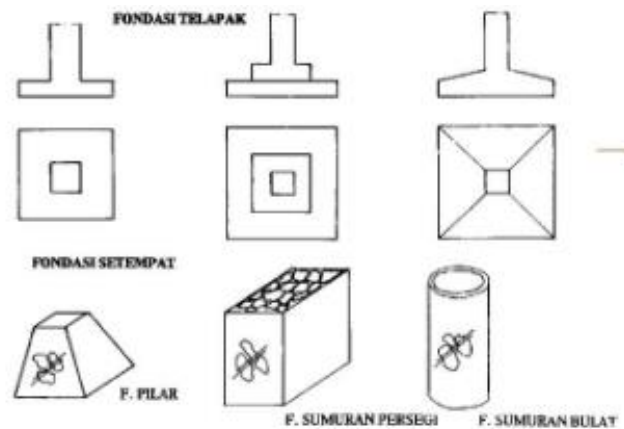
1. Pondasi setempat (*individual footing*)

Pondasi setempat dibuat pada bagian yang terpisah (di bawah kolom pendukung/kolom struktur, tiang, dan sebagainya), juga biasa digunakan pada konstruksi bangunan kayu di daerah rawa-rawa. Ciri-ciri pondasi setempat

adalah dipakai pada kedalaman tanah lebih dari 1,50 m dari muka tanah dan dipasang di bawah kolom utama pendukung bangunan. Seluruh beban bangunan disalurkan ke kolom-kolom utama dan diteruskan ke pondasi di bawahnya. Pondasi ini dihubungkan oleh balok *sloof* dengan pondasi setempat lain, dan *sloof* ditopang oleh pondasi batu kali. Jenis pondasi setempat berdasarkan bahan pembentuknya, yaitu sebagai berikut.

- a. Pelat beton bertulang (pondasi telapak/*footplat*).
- b. Pasangan batu kali, dapat berupa kerucut terpotong atau kubus tegak, dan bulat (pondasi sumuran).
- c. Pondasi umpak, dipakai untuk bangunan sederhana dengan dipasang di bawah setiap tiang penyangga. Antara tiang dihubungkan dengan balok kayu di bagian bawah tiang sedangkan di bagian atas tiang menyatu dengan atapnya.

Bentuk dan jenis pondasi setempat dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



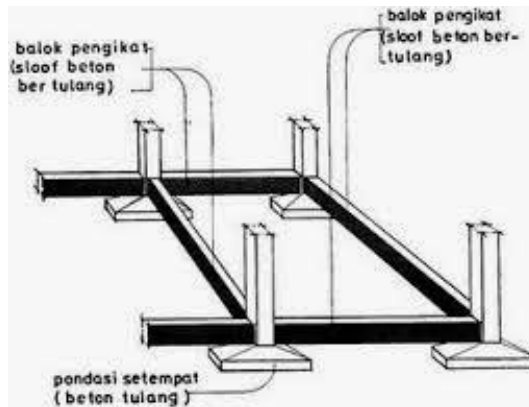
**Gambar 3.3 Bentuk-Bentuk Pondasi Setempat**

## 2. Pondasi menerus (*continuous footing*)

Pondasi menerus digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat. Pondasi menerus (pondasi langsung) adalah jenis pondasi yang banyak dipakai untuk bangunan rumah yang tidak bertingkat. Untuk seluruh panjang, jenis pondasi ini mempunyai ukuran yang sama besar dan terletak pada kedalaman yang sama. Oleh karena itu untuk memasang pondasi menerus terlebih dahulu harus dibuatkan galian tanahnya dengan kedalaman yang

sama, yang kemudian dipasang profil-profil untuk memasang pondasi sehingga diperoleh bentuk yang direncanakan.

Gambar pondasi menerus dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

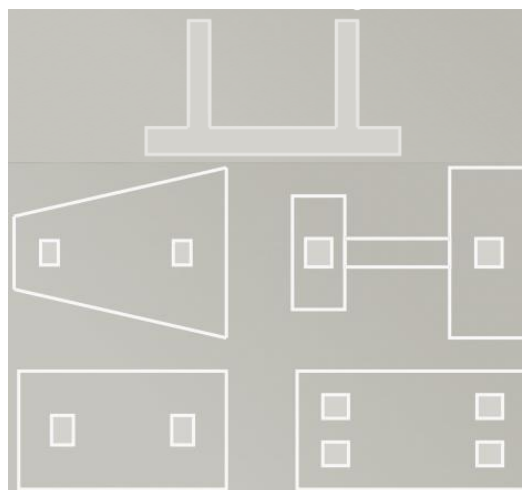


**Gambar 3.4 Pondasi Menerus**

3. Pondasi gabungan (*combined foundation*)

Pondasi gabungan merupakan pondasi pelat yang mendukung kolom lebih dari satu. Pondasi ini dipakai apabila luas tanah untuk bangunan sangat terbatas, misalnya di kanan dan kirinya sudah padat bangunan.

Gambar pondasi gabungan dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



**Gambar 3.5 Pondasi Gabungan**

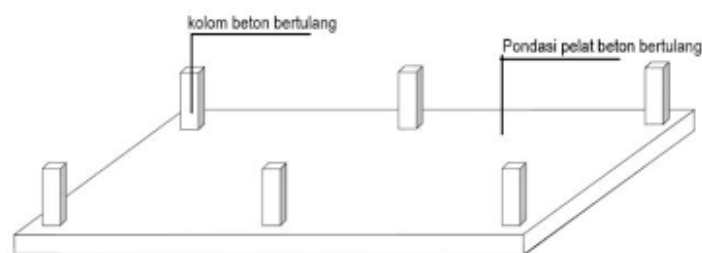
4. Pondasi pelat/rakit (*mat foundation/raft foundation*)

Pondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk menghubungkan permukaan (*interface*) antara satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis



(jalur) dengan tanah dasar. Pondasi ini dapat menopang gedung bertingkat banyak, tendon air minyak, mesin, peralatan industri, dan bangunan lainnya. Pondasi rakit digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan apabila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya.

Gambar pondasi rakit dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



**Gambar 3.6 Pondasi Rakit**

### 3.11.1 Parameter Desain Geoteknik

Terzaghi (1943) merupakan orang yang pertama kali mengungkapkan teori secara lengkap untuk mengevaluasi kapasitas dukung ultimit pondasi dangkal secara kasar. Berdasarkan teori ini, pondasi dangkal adalah apabila kedalaman pondasi ( $D_f$ ) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi. Parameter desain geoteknik pada penelitian ini mengacu pada “perhitungan fondasi *footplate*” oleh Ilham (2010).

#### 1. Kapasitas dukung tanah

Kapasitas atau daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang disalurkan melalui pondasi. Kapasitas atau daya dukung tanah batas ( $q_u = q_{ult} = \textit{ultimate bearing capacity}$ ) adalah tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah akibat beban yang bekerja tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan sekeliling pondasi.

Kapasitas dukung menggunakan data CPT/Sondir menurut *Bowless* (1968) dihitung dengan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut.

$$q_a = \frac{q_c}{33} \times \left[ \frac{B+0,3}{B} \right]^2 \times K_d \quad (3.2)$$

$$K_d = 1 + 0,33 \frac{D_f}{B} \quad (3.3)$$

dengan :

$q_c$  = tekanan konus rata-rata pada dasar pondasi ( $\text{kg/cm}^2$ ),

$B$  = lebar pondasi (m),

$K_d$  = faktor kedalaman, besarnya maksimum adalah 1,33,

$D_f$  = kedalaman pondasi (m).

## 2. Faktor keamanan

Besarnya kapasitas dukung ijin kotor ( $q_{ijin} = q_{all} = \text{gross allowable load-bearing capacity}$ ) ditunjukkan pada Persamaan 3.4 berikut.

$$q_{ijin} = \frac{q_u}{SF} \quad (3.4)$$

dengan:

$q_u$  = Kapasitas dukung batas kotor (*gross ultimate bearing capacity*), dan

$SF$  = faktor keamanan (*factor of safety*).

## 3. Kontrol tegangan tanah

Tahanan momen arah x dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.5 berikut.

$$W_x = 1/6 \times B_y \times B_x^2 \quad (3.5)$$

dengan:

$W_x$  = tahanan momen arah x ( $\text{m}^3$ ),

$B_y$  = lebar arah y (m), dan

$B_x$  = lebar arah x (m).

Tahanan momen arah y dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.6 berikut.

$$W_y = 1/6 \times B_x \times B_y^2 \quad (3.5)$$

dengan:

$W_y$  = tahanan momen arah x ( $\text{m}^3$ ),

$B_y$  = lebar arah y (m), dan

$B_x$  = lebar arah x (m).

Eksentrisitas pada pondasi dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.7 sampai Persamaan 3.10 berikut.

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} \quad (3.7)$$

Disyaratkan:

$$e_x < \frac{B_x}{6}$$

dengan:

$e_x$  = eksentrisitas arah x (m),

$B_x$  = lebar pondasi arah x (m),

$M_{ux}$  = momen *ultimate* arah x (kNm), dan

$P_u$  = gaya *ultimate* (kN).

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} \quad (3.8)$$

Disyaratkan:

$$e_y < \frac{B_y}{6}$$

dengan:

$e_y$  = eksentrisitas arah y (m),

$B_y$  = lebar pondasi arah y (m),

$M_{uy}$  = momen *ultimate* arah y (kNm), dan

$P_u$  = gaya *ultimate* (kN).

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut pada Persamaan 3.9.

$$q_{\max} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q \quad (3.9)$$

Disyaratkan bahwa  $q_{\max} < q_a$ ,

dengan:

- $P_u$  = gaya *ultimate* (kN),  
 $A$  = luas dasar pondasi ( $m^2$ ),  
 $M_{ux}$  = momen *ultimate* arah x (kNm),  
 $W_x$  = tahanan momen arah x ( $m^3$ ),  
 $M_{uy}$  = momen *ultimate* arah y (kNm),  
 $W_y$  = tahanan momen arah x ( $m^3$ ), dan  
 $q$  = tekanan akibat berat pondasi dan tanah ( $kN/m^2$ ).

Tegangan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung sebagai berikut pada Persamaan 3.10.

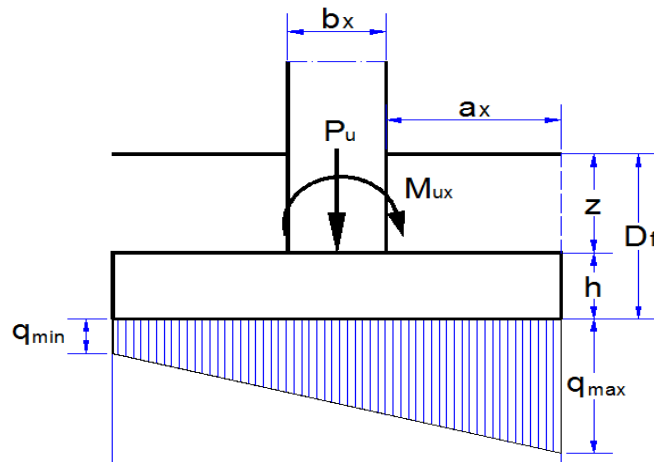
$$q_{\min} = \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q \quad (3.10)$$

Disyaratkan bahwa  $q_{\min} > 0$ ,

dengan:

- $P_u$  = gaya *ultimate* (kN),  
 $A$  = luas dasar pondasi ( $m^2$ ),  
 $M_{ux}$  = momen *ultimate* arah x (kNm),  
 $W_x$  = tahanan momen arah x ( $m^3$ ),  
 $M_{uy}$  = momen *ultimate* arah y (kNm),  
 $W_y$  = tahanan momen arah x ( $m^3$ ), dan  
 $q$  = tekanan akibat berat pondasi dan tanah ( $kN/m^2$ ).

Berikut ini adalah skema tegangan tanah yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut.



**Gambar 3.7 Skema Tegangan Tanah**

#### 4. Gaya geser pada pondasi

##### 1) Tinjauan geser arah x

Gaya geser arah x dihitung dengan Persamaan 3.11 berikut.

$$V_{ux} = \left( q_x + \frac{q_{max} - q_x}{2} \right) \times a_x \times B_y \quad (3.11)$$

dengan:

$V_{ux}$  = kuat geser arah x (kN),

$q_x$  = tegangan tanah pada bidang kritis geser arah x ( $\text{kN/m}^2$ ),

$q_{max}$  = tegangan maksimum ( $\text{kN/m}^2$ ),

$a_x$  = jarak bidang kritis terhadap sisi luar pondasi (m), dan

$B_y$  = lebar pondasi arah y (m).

Kuat geser pondasi arah x, diambil nilai terkecil dari  $V_c$  yang diperoleh dari Persamaan 3.12 sampai Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$V_{c1} = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'_c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \quad (3.12)$$

dengan:

$V_{c1}$  = kuat geser 1 (kN),

$\beta_c$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom,

- $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa),  
 $b$  = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m), dan  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m).

$$V_{c2} = \left( \alpha_s \times \frac{d}{b+2} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \quad (3.13)$$

dengan:

- $V_{c2}$  = kuat geser 2 (kN),  
 $\alpha_s$  = posisi kolom (40),  
 $b$  = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m),  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m), dan  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa).

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \quad (3.14)$$

dengan:

- $V_{c3}$  = kuat geser 3 (kN),  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa),  
 $b$  = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m), dan  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m).

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) adalah sebesar 0,75.

Kuat geser pondasi adalah sebagai berikut pada Persamaan 3.15.

$$\text{Kuat geser pondasi} = \phi \times V_c \quad (3.15)$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu  $\phi V_c \geq V_{ux}$ .

## 2) Tinjauan geser arah y

Gaya geser arah y dihitung dengan Persamaan 3.16 berikut.

$$V_{uy} = \left( q_y + \frac{q_{max} - q_y}{2 - q} \right) \times a_y \times B_x \quad (3.16)$$

dengan:

- $V_{uy}$  = kuat geser arah y (kN),  
 $q_y$  = tegangan tanah pada bidang jritis geser arah y ( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $q_{\max}$  = tegangan maksimum ( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $a_y$  = jarak bidang kritis terhadap sisi luar pondasi (m), dan  
 $B_x$  = lebar pondasi arah x (m).

Kuat geser pondasi arah y, diambil nilai terkecil dari  $V_c$  yang diperoleh dari Persamaan 3.17 sampai Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{6} \times 10^{-3} \quad (3.17)$$

dengan:

- $V_{c1}$  = kuat geser 1 (kN),  
 $\beta c$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom,  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa),  
 $b$  = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m), dan  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m).

$$V_{c2} = \left(\alpha_s \times \frac{d}{b+2}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times \frac{d}{12} \times 10^{-3} \quad (3.18)$$

dengan:

- $V_{c2}$  = kuat geser 2 (kN),  
 $\alpha_s$  = posisi kolom (40),  
 $b$  = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m),  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m), dan  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa).

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \times 10^{-3} \quad (3.19)$$

dengan:

- $V_{c3}$  = kuat geser 3 (kN),  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa),

- b = lebar bidang geser untuk tinjauan arah x (m), dan  
 d = tebal efektif pondasi (m).

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) adalah sebesar 0,75.

Kuat geser pondasi adalah sebagai berikut pada Persamaan 3.20.

$$\text{Kuat geser pondasi} = \phi \times V_c \quad (3.20)$$

Syarat yang harus dipenuhi yaitu  $\phi V_c \geq V_{uy}$ .

### 3) Tinjauan geser dua arah

Gaya geser pondasi yang terjadi dihitung dengan Persamaan 3.21 berikut.

$$V_{up} = (B_x \times B_y - c_x \times c_y) \times \frac{q_{max} - q_{min}}{2 - q} \quad (3.21)$$

dengan:

- $V_{up}$  = gaya geser pondasi (kN),  
 $B_x$  = lebar pondasi arah x (m),  
 $B_y$  = lebar pondasi arah y (m),  
 $c_x$  = lebar bidang geser pondasi arah x (m),  
 $c_y$  = lebar bidang geser pondasi arah y (m),  
 $q_{max}$  = tegangan maksimum pada dasar pondasi ( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $q_{min}$  = tegangan minimum pada dasar pondasi ( $\text{kN/m}^2$ ), dan  
 $q$  = tekanan akibat berat pondasi dan tanah ( $\text{kN/m}^2$ ).

Tegangan geser pondasi ( $f_p$ ) diambil nilai terkecil yang diperoleh dari Persamaan 3.22 sampai Persamaan 3.24 berikut.

$$f_{p1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \quad (3.22)$$

dengan:

- $f_{p1}$  = tegangan geser pondasi 1 (Mpa),  
 $\beta_c$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom, dan  
 $f'_c$  = kuat tekan beton (Mpa)



$$f_{p2} = (\alpha_s \times \frac{d}{b_p} + 2) \times \frac{1}{12} \sqrt{f'c} \quad (3.23)$$

dengan:

- $f_{p2}$  = tegangan geser pondasi 2 (Mpa),  
 $\alpha_s$  = posisi kolom (dalam =40),  
 $d$  = tebal efektif pondasi (m),  
 $b_p$  = lebar bidang geser pondasi (m), dan  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa).

$$f_{p3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'c}$$

dengan:

- $f_{p3}$  = tegangan geser pondasi 3 (Mpa), dan  
 $f'c$  = kuat tekan beton (Mpa).

Faktor reduksi kekuatan geser pondasi ( $\phi$ ) adalah 0,75.

Kuat geser pondasi ditunjukkan pada Persamaan 3.24 berikut.

$$\phi V_{np} = \phi \times A_p \times f_p \times 10^3 \quad (3.24)$$

dengan:

- $\phi V_{np}$  = kuat geser pondasi (kN),  
 $\phi$  = faktor reduksi kekuatan geser pondasi,  
 $A_p$  = luas bidang geser pondasi (m<sup>2</sup>), dan  
 $f_p$  = tegangan geser pondasi (Mpa).

Disyaratkan bahwa  $\phi V_{np} \geq V_{up}$  dan  $\phi V_{np} \geq P_u$ .

## 5. Pembesian pondasi

### 1) Tulangan lentur arah x

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah dihitung dengan Persamaan 3.25 berikut.

$$M_{ux} = (1/2) \times a_x^2 \times [q_x + (2/3) \times (q_{max} - q_x) - q] \times B_y \quad (3.25)$$

dengan:

$M_{ux}$  = momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah (kNm),

$a_x$  = jarak tepi kolom terhadap sisi luar pondasi (m),

$q_x$  = tegangan tanah pada tepi kolom (kN/m<sup>2</sup>),

$q_{max}$  = tegangan maksimum pada dasar pondasi (kN/m<sup>2</sup>),

$q$  = tekanan akibat berat pondasi dan tanah (kN/m<sup>2</sup>), dan

$B_y$  = lebar pondasi arah y (m).

Rasio tulangan yang diperlukan dihitung dengan Persamaan 3.26 berikut.

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \quad (3.26)$$

dengan:

$\rho$  = rasio tulangan,

$f'c$  = kuat tekan beton (Mpa), dan

$f_y$  = kuat tarik baja (Mpa).

Luas tulangan yang diperlukan dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.27 berikut.

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3.27)$$

dengan:

$A_s$  = luas tulangan (mm<sup>2</sup>),

$\rho$  = rasio tulangan,

$b$  = lebar pondasi arah x (m), dan

$d$  = tebal efektif pelat (m).

Jarak tulangan yang diperlukan dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.28 berikut.

$$s = (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \quad (3.28)$$

dengan:

- s = jarak tulangan (mm),
- D = diameter tulangan (mm),
- b = lebar pondasi arah x (mm), dan
- A<sub>s</sub> = luas tulangan yang diperlukan (mm<sup>2</sup>).

## 2) Tulangan lentur arah y

Momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah dihitung dengan Persamaan 3.29 berikut.

$$M_{uy} = (1/2) \times a_y^2 \times [q_y + (2/3) \times (q_{\max} - q_y) - q] \times B_x \quad (3.29)$$

dengan:

- M<sub>uy</sub> = momen yang terjadi pada pelat pondasi akibat tegangan tanah (kNm),
- a<sub>y</sub> = jarak tepi kolom terhadap sisi luar pondasi (m),
- q<sub>y</sub> = tegangan tanah pada tepi kolom (kN/m<sup>2</sup>),
- q<sub>max</sub> = tegangan maksimum pada dasar pondasi (kN/m<sup>2</sup>),
- q = tekanan akibat berat pondasi dan tanah (kN/m<sup>2</sup>), dan
- B<sub>x</sub> = lebar pondasi arah x (m).

Rasio tulangan yang diperlukan dihitung dengan Persamaan 3.30 berikut.

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{Rn}{0,85 \times f'_c}}\right) \quad (3.30)$$

dengan:

- ρ = rasio tulangan,
- f'c = kuat tekan beton (Mpa), dan
- f<sub>y</sub> = kuat tarik baja (Mpa).

Luas tulangan yang diperlukan dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.31 berikut.

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3.31)$$

dengan:

- $A_s$  = luas tulangan ( $\text{mm}^2$ ),
- $\rho$  = rasio tulangan,
- $b$  = lebar pondasi arah y (m), dan
- $d$  = tebal efektif pelat (m).

Jarak tulangan yang diperlukan dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.32 berikut.

$$s = (\pi/4) \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \quad (3.32)$$

dengan:

- $s$  = jarak tulangan (mm),
- $D$  = diameter tulangan (mm),
- $b$  = lebar pondasi arah y (mm), dan
- $A_s$  = luas tulangan yang diperlukan ( $\text{mm}^2$ ).

### 3) Tulangan susut

Luas tulangan susut arah x dihitung dengan Persamaan 3.33 berikut.

$$A_{sx} = \rho_{smin} \times d \times B_x \quad (3.33)$$

dengan:

- $A_{sx}$  = luas tulangan susut arah x ( $\text{mm}^2$ ),
- $d$  = tebal efektif pelat (mm), dan
- $B_x$  = lebar pondasi arah x (mm).

Luas tulangan susut arah y dihitung dengan Persamaan 3.34 berikut.

$$A_{sy} = \rho_{smin} \times d \times B_y \quad (3.34)$$

dengan:

$A_{sy}$  = luas tulangan susut arah y ( $\text{mm}^2$ ),

$d$  = tebal efektif pelat (mm), dan

$B_y$  = lebar pondasi arah y (mm).

Jarak tulangan susut arah x dihitung dengan Persamaan 3.35 berikut.

$$s_x = (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_y}{A_{sx}} \quad (3.35)$$

dengan:

$s_x$  = jarak tulangan susut arah x (mm),

$D$  = diameter tulangan (mm),

$B_y$  = lebar pondasi arah y (mm), dan

$A_{sx}$  = luas tulangan susut arah x ( $\text{mm}^2$ ).

Jarak tulangan susut arah y dihitung dengan Persamaan 3.36 berikut.

$$s_y = (\pi/4) \times D^2 \times \frac{B_x}{A_{sy}}$$

dengan:

$s_y$  = jarak tulangan susut arah y (mm),

$D$  = diameter tulangan (mm),

$B_x$  = lebar pondasi arah x (mm), dan

$A_{sy}$  = luas tulangan susut arah y ( $\text{mm}^2$ ).

### 3.11.2 Parameter Desain Struktur

Beban pondasi yang bekerja menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 Departemen Pekerjaan Umum sebagai syarat dari kekuatan terhadap pembebanan, dibedakan dalam beberapa jenis beban, diantaranya sebagai berikut ini.

1. Beban mati

Beban mati yang meliputi diantaranya berat konstruksi dan semua bahan konstruksi yang membebani secara permanen. Contohnya adalah berat struktur sendiri, berat keramik dan berat tembok.

2. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang tidak membebani secara permanen. Beban hidup ini tergantung pada fungsional gedung sendiri.

3. Beban angin

Beban angin yang bekerja pada bagian konstruksi yang terbuka.

4. Beban gempa

Beban gempa yang berupa beban lateral yang bekerja pada konstruksi gedung.

5. Beban khusus

Beban khusus adalah semua beban pada konstruksi yang bekerja akibat pengaruh-pengaruh khusus, contohnya beban akibat pengangkutan dan pemasangan, penurunan pondasi, akibat perubahan suhu, atau gaya dinamis akibat kerja mesin yang bekerja pada konstruksi ini.

Beton merupakan salah satu material dasar konstruksi yang dapat dijumpai pada semua struktur.

1. Faktor beban

Mengacu pada SNI, kapasitas daya dukung ultimit dari struktur ditunjukkan pada Persamaan 3.37 berikut.

$$U = 1,2 D + 1,6 L \quad (3.37)$$

dengan:

U = Kapasitas daya dukung ultimit,

D = Beban mati, dan

L = Beban hidup.

2. Faktor pengurangan kekuatan

Desain kekuatan struktur adalah sama dengan kekuatan secara teori dikalikan dengan faktor pengurangan kekuatan ( $\phi$ ) yang diambil pada ketidakakuratan

hitungan pada anggapan desain, sifat kekuatan dari bahan konstruksi, dan sebagainya.

### 3.12 Analisis Struktur

Dalam melakukan perhitungan struktur, penulis menggunakan program ETABS v.13 untuk analisis struktur. Program ETABS (*Extended Three Analysis Building System*) merupakan perangkat lunak versi komersial yang dikeluarkan oleh perusahaan *Computer and Structure Inc. (CSI)*. Program tersebut digunakan secara spesialis untuk analisis *high rise building* seperti bangunan, perkantoran, rumah sakit, dan lainnya.

*Output* yang dihasilkan dapat ditampilkan sesuai dengan kebutuhan baik berupa model struktur, grafik, maupun spreadsheet. Semuanya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk penyusunan laporan analisis dan desain.

Langkah-langkah pemodelan dan analisis struktur menggunakan program ETABS v.13 adalah sebagai berikut.

1. Pendefinisian geometri struktur dan jenis tumpuan

Gambar model struktur yang dikehendaki dengan sistem *template* atau *grid system* dalam proses ini ditentukan oleh kondisi batas (*boundary condition*) dari struktur, yaitu kondisi tumpuan (melalui menu *restraints*).

2. Penentuan material

Jika struktur telah tergambar dilakukan pendefinisian material dengan membuat nama-nama material yang dikehendaki. Penamaan material hendaknya mencantumkan keterangan tentang karakteristik material, misalnya kuat tekan beton, mutu baja, dan karakteristik lain yang dapat membedakan dengan material lain yang didefinisikan.

3. Penentuan tampang

Pada tahap penentuan tampang, dilakukan pendefinisian bentuk tampang. Apakah tampang dari *frame* menggunakan baja, beton, pipa, dan lain-lain. Dalam tahap ini tampang yang telah terdefinisi harus ditetapkan untuk tiap batang yang sudah digambar.

4. Pemberian nama beban dan kombinasi beban

Beban-beban yang diterima struktur dapat dibagi menjadi berbagai macam yang bekerja, misalnya beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban yang bekerja dalam struktur dapat bekerja bersamaan dengan proporsi tertentu menurut faktor beban yang ada. Sehingga kombinasi beban yang terjadi juga harus diperhitungkan. Kombinasi yang terjadi nantinya dipilih sesuai dengan kriteria.

5. Kombinasi geometri struktur dan tumpuan

Pada tahap ini dilakukan penggambaran *frame* yang menghubungkan antar *modal* yang membentuk portal struktur yang direncanakan.

6. Pemberian beban terhadap struktur

Pemberian beban dilakukan setelah pemberian nama beban. Beban dapat berupa beban titik (terpusat) atau beban terbagi merata.

7. Analisis struktur

Proses *running* (melalui menu *run analysis*) dilakukan setelah model struktur telah siap untuk diketahui gaya-gaya dalamnya.



