

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Rekayasa nilai merupakan salah satu metode untuk mengendalikan biaya pada proyek konstruksi. Pengaplikasian rekayasa nilai sangat efektif untuk mengurangi biaya tanpa mengurangi kualitas konstruksi. Penerapan rekayasa nilai menjadi efektif jika diterapkan sejak awal proyek, karena memungkinkan pencapaian penghematan biaya yang besar. Metode ini membantu memisahkan antara fungsi yang perlu dilakukan dan yang tidak perlu dilakukan kemudian dikembangkan sebuah alternatif untuk menggantikan fungsi yang tidak diperlukan dengan biaya minimum.

Rekayasa Nilai dikembangkan oleh Lawrence Miles dan Harry Erlicher dari perusahaan *General Electric Co.* (GE) sejak era Perang Dunia II ketika terjadi krisis sumber daya. Saat itu perang mengakibatkan berkurangnya jumlah tenaga kerja hingga bahan, sehingga mereka harus melakukan perubahan metode kerja serta desain agar dapat menyiasatinya. Dengan adanya perubahan, terbukti menurunkan biaya dengan menghilangkan biaya tak perlu tanpa merubah kualitas. Rekayasa nilai sendiri baru masuk ke Indonesia sekitar tahun 1980-an dan mulai dipergunakan pada tahun 1990-an.

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

##### 2.2.1 Definisi Rekayasa

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, Rekayasa adalah penerapan kaidah-kaidah ilmu dalam pelaksanaan (seperti perancangan, pembuatan konstruksi, serta pengoperasian kerangka, peralatan, dan sistem yang ekonomis dan efisien).

Kata “rekayasa” dalam rekayasa biaya berarti untuk dapat memantau biaya dengan sebaik-baiknya dan meramalkan kecenderungan, harus dapat membaca rencana dan spesifikasi dengan cerdas, dan memiliki pengertian teknis yang tepat. (Barrie, 1990)

### 2.2.2 Nilai

Arti nilai (*value*) sulit dibedakan dengan biaya (*cost*) atau harga (*price*). Pengertian nilai dibedakan dengan biaya karena hal-hal sebagai berikut:

- Ukuran nilai ditentukan oleh fungsi atau kegunaannya sedangkan harga atau biaya ditentukan oleh substansi barangnya atau harga komponen-komponen yang membentuk barang tersebut.
- Ukuran nilai condong kearah subyektif sedangkan biaya tergantung kepada angka (*monetary value*) pengeluaran yang telah dilakukan untuk mewujudkan barang tersebut. (Labombang, 2007)

Menurut Alan Webb (1993), dalam pendefinisian “nilai” banyak yang akan mendefinisikan harga sebagai satu-satunya penentu, tapi sebenarnya itu merupakan cara pandangan yang salah. Nilai sendiri dibedakan menjadi 4 pengertian ekonomi yang berbeda, yaitu:

1. Nilai Kegunaan (*The use value*), yaitu biaya yang harus dikeluarkan pembeli terkait dengan sifat dan kualitas dari sebuah produk.
2. Nilai Biaya (*The cost value*), yaitu jumlah seluruh material, tenaga kerja, dan *overhead costs* (biaya tambahan) yang diperlukan untuk menghasilkan produk.
3. Nilai Kebanggaan (*The esteem value*), yaitu biaya ekstra yang harus dibayar oleh pembeli untuk mendapatkan kualitas dari suatu produk.
4. Nilai Tukar (*The exchange value*), yaitu sebuah benda yang memungkinkan untuk ditukar dengan sesuatu yang lain.

### 2.2.3 Definisi Rekayasa Nilai

Rekayasa nilai mempunyai beberapa definisi, antara lain:

1. Menurut *Society of American Value Engineers* dalam Soeharto (2001:249) menyatakan “Rekayasa nilai adalah usaha yang terorganisasi secara sistematis dan mengaplikasikan suatu teknik yang telah diakui, yaitu teknik mengidentifikasi fungsi produk atau jasa yang bertujuan memenuhi fungsi yang diperlukan dengan harga yang terendah (paling ekonomis)”.

2. Rekayasa Nilai adalah usaha yang terorganisir yang ditujukan untuk menganalisa fungsi dari barang dan jasa untuk tujuan mencapai fungsi dasar dengan biaya total yang paling rendah, konsisten dengan pencapaian karakteristik yang esensial. (Makarim, 2007)
3. *Value Engineering (referred to as VE), also known as value analysis, refers to the function analysis of product or job as the core, in order to increase the value of the product or operating. It is an organized creative activities striving to achieve necessary functions of products or operations required by using with the lowest life cycle cost.*

Dari definisi tersebut dijelaskan bahwa Rekayasa nilai (disebut sebagai VE), juga dikenal sebagai analisis nilai, mengacu kepada fungsi analisis dari suatu produk atau sebuah pekerjaan sebagai intinya, dalam rangka meningkatkan nilai dari produk atau pekerjaan tersebut. Rekayasa nilai merupakan kegiatan kreatif yang terorganisir untuk mencapai fungsi yang diperlukan dari produk atau operasi yang ditentukan dengan menggunakan *life cycle cost* terendah. (Yan, 2012)

4. Menurut L.D Mile dalam Barrie (1990:292) menyatakan “Analisis/Rekayasa Nilai adalah suatu pendekatan yang terorganisasi dan kreatif yang bertujuan untuk mengadakan pengidentifikasian yang tidak perlu. Biaya yang tidak perlu ini adalah biaya yang tidak memberikan kualitas, kegunaan, sesuatu yang menghidupkan, penampilan yang baik ataupun sifat yang diinginkan oleh konsumen”.
5. Rekayasa Nilai merupakan peninjauan ulang dalam penetapan biaya proyek, mencakup semua tahap proyek lebih lanjut sampai pemeliharaan dan operasi (Choudury dalam Ningrum, 2008)

Dengan demikian, rekayasa nilai dapat diartikan sebagai:

“Usaha yang terorganisasi secara sistematis dengan pengaplikasian teknik tertentu yang bertujuan menganalisa fungsi dari barang dan jasa untuk meningkatkan nilai produk atau jasa dengan *life cycle cost* yang rendah namun hasil optimal dengan cara peninjauan ulang seluruh tahapan proyek dan menghilangkan biaya tak perlu.” Rekayasa nilai mencakup 3 elemen utama, yaitu nilai, fungsi, dan *life cycle cost*.

## 2.2.4 Biaya

Biaya (cost) adalah jumlah semua usaha dan pengeluaran yang dilakukan dalam mengembangkan, memproduksi, dan mengaplikasikan produk. Produsen selalu memikirkan akibat dari adanya biaya terhadap kualitas, reliabilitas, dan juga ketahanannya karena akan berpengaruh terhadap biaya bagi pemakai.

Analisis biaya diperlukan sebagai tolok ukur guna mengukur fakta-fakta yang telah terkumpul pada tahap informasi. Analisis biaya menjadi penting karena rekayasa nilai bertujuan untuk mengetahui hubungan antar fungsi yang sesungguhnya terhadap biaya yang diperlukan dan apa saja usaha yang perlu dilakukan. (Soeharto, 2001)

## 2.2.5 Fungsi

Menurut Crum dalam Nugroho dan Sanjaya (2009:11), Fungsi adalah apa saja yang dapat diberikan atau dilakukan oleh suatu produk yang dapat digunakan untuk bekerja. Sedangkan fungsi tak perlu adalah apa saja yang diberikan dan tidak mempunyai nilai kegunaan, nilai tambah, nilai tukar, atau nilai estetika.

Didalam suatu sistem terdapat bermacam-macam fungsi yang dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu:

1. Fungsi dasar, yaitu alasan pokok terwujudnya suatu sistem.
2. Fungsi kedua atau fungsi sekunder, yaitu kegunaan tidak langsung untuk memenuhi serta melengkapi fungsi dasar tetapi diperlukan untuk menunjangnya.

Rekayasa Nilai dapat dijabarkan didalam rumus sebagai berikut:

1. Bagi Produsen

$$\text{Value (Nilai)} = \text{Function (Fungsi)} / \text{Cost (Biaya)} \quad (2-1)$$

2. Bagi Konsumen

$$\text{Value (Nilai)} = \text{Benefit (Manfaat)} / \text{Cost (Biaya)} \quad (2-2)$$

Berdasarkan rumus diatas, nilai dapat ditingkatkan dengan cara berikut:

1. Meningkatkan fungsi atau manfaat tanpa menambah biaya.
2. Mengurangi biaya dengan mempertahankan fungsi atau manfaat.
3. Kombinasi dari keduanya. (Soeharto, 2001)

Nilai, manfaat atau fungsi, dan juga biaya memiliki hubungan yang sangat erat dalam pelaksanaan rekayasa nilai. Didalam pelaksanaannya, pengurangan dari biaya tidak boleh menyebabkan berkurangnya kualitas atau mutu dari produk. Sebaliknya, mutu produk yang terlalu baik sehingga melebihi kebutuhan pengguna jasa juga dianggap sebagai sebuah pemborosan.

### 2.2.6 Tahapan Rekayasa Nilai

Menurut Husen (2009:93), pelaksanaan rekayasa nilai dapat dilakukan dengan waktu tahapan sebagai berikut:

1. Pada tahapan selama atau segera setelah detail *design engineering* belum diserahkan kepada kontraktor, dimana pemilik proyek memiliki tanggung jawab. Pemilik proyek akan menunjuk konsultan rekayasa nilai untuk melakukan penyempurnaan desain dan mencari alternatif lain tanpa mengurangi fungsinya.
2. Pada tahapan selama atau sebelum pelaksanaan konstruksi, dimana kontraktor memiliki tanggung jawab. Setelah kontraktor menerima spesifikasi teknis dan gambar kerja, kontraktor harus mengevaluasi kembali berdasarkan pengalaman kerja kontraktor. Bila dari hasil evaluasi diperoleh penghematan biaya, maka kontraktor akan mendapatkan bonus dari pemilik proyek.

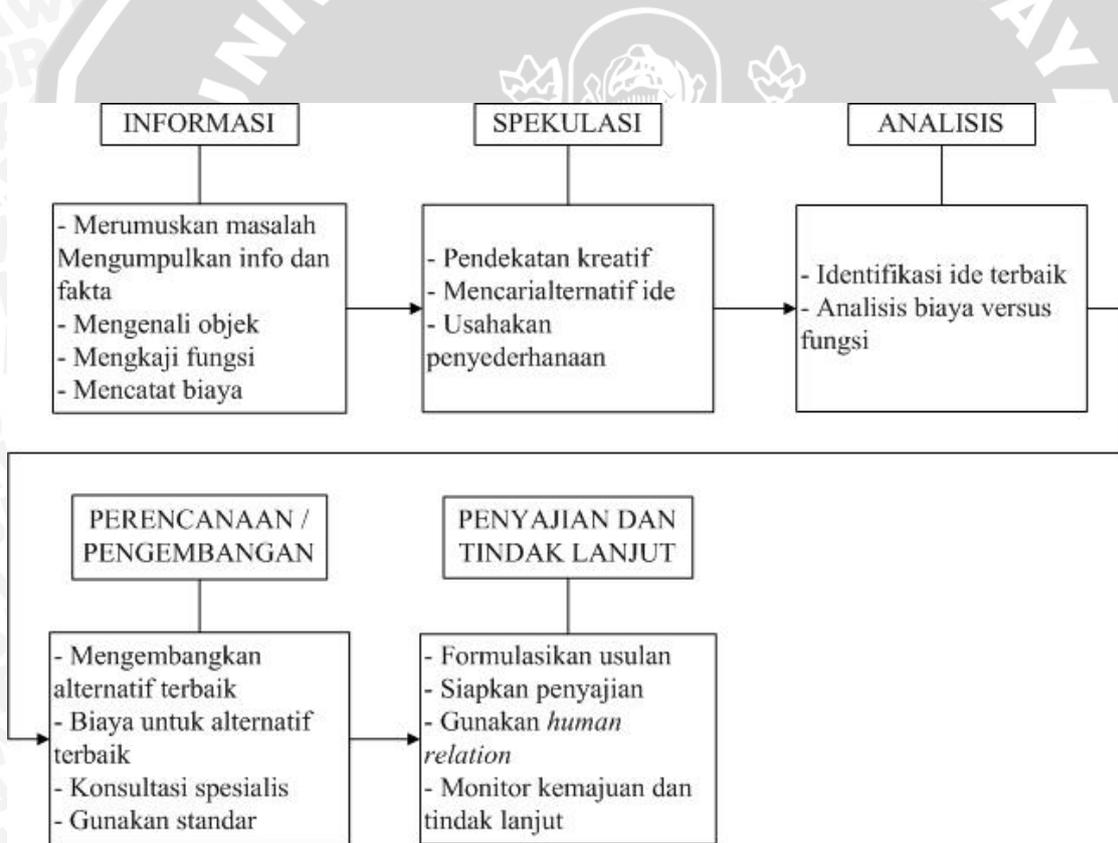
### 2.2.7 Langkah Pelaksanaan Dalam Proses Rekayasa Nilai

Menurut Soeharto (2001), proses pelaksanaan rekayasa nilai mengikuti suatu metodologi berupa langkah yang disusun secara sistematis yang dikenal dengan Rencana Kerja Rekayasa Nilai (RK-RN) (*value engineering job plan*) dengan urutan mendefinisikan masalah, merumuskan pendapat, kreativitas, analisis, dan penyajian. Ada beberapa istilah mengenai langkah RK-RN dengan sistematika dan pendekatan yang sama yang disusun oleh L. D. Miles dan DOS (*Department of Defense – Amerika Serikat*). Istilah-istilah tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.1** Proses Rencana Kerja Rekayasa Nilai (RK-RN)

No.	L. D. Miles	DOD ( <i>Department of Defense – USA</i> )
1.	Informasi	Informasi
2.	Spekulasi	Spekulasi
3.	Analisis	Analisis
4.	Perencanaan	Pengembangan
5.	Eksekusi	Penyajian dan Tindak Lanjut
6.	Penyajian	

Sumber: Soeharto (2001:254)

**Gambar 2.1** Langkah-langkah Pada Proses Rekayasa Nilai.

Sumber: Soeharto (2001:254).

Selain itu, ada beberapa pendapat lain tentang tahapan pelaksanaan rekayasa nilai yang pada dasarnya sama tetapi saling melengkapi, diantaranya:

- a. Menurut Allan Webb (1993), ada beberapa tahapan yang perlu dilewati dalam teknik pelaksanaan rekayasa nilai, yaitu:
  1. Tahap 1: Orientasi atau Pengenalan (*Orientation*)
  2. Tahap 2: Informasi dan analisis (*Information and analysis*)
  3. Tahap 3: Spekulasi (*Speculation*)
  4. Tahap 4: Evaluasi (*Evaluation*)
  5. Tahap 5: Implementasi dan tindak lanjut (*Implementation and follow-up*)
- b. Menurut Arthur E. Mudge (dalam Ningrum, 2008:6), rencana kerja rekayasa nilai dibagi menjadi 7 tahapan, yaitu:
  1. Tahap 1: Umum (*General*)
  2. Tahap 2: Informasi (*Information*)
  3. Tahap 3: Fungsi (*Function*)
  4. Tahap 4: Kreasi (*Creation*)
  5. Tahap 5: Evaluasi (*Evaluation*)
  6. Tahap 6: Investigasi (*Investigation*)
  7. Tahap 7: Rekomendasi (*Recommendation*)

#### 2.2.7.1 Tahap Informasi

Tahap ini merupakan tahapan dasar dalam menyelidiki nilai. Tahapannya meliputi merumuskan masalah, mengumpulkan fakta, mengenal objek (produk) dengan mengkaji fungsi dan mencatat biaya.

- a. Merumuskan masalah. Sebelum mengumpulkan informasi, perlu ada kejelasan terlebih dahulu tentang masalah yang dihadapi. Langkah ini menentukan parameter-parameter yang diperlukan.
- b. Mengumpulkan informasi dan fakta. Informasi yang dikumpulkan berhubungan dengan kegunaan, biaya, harga, dan fungsi dari obyek dan mencakup latar belakang alasan pemilihan.
- c. Mengenal obyek: Mengkaji fungsi dan Mencatat biaya. Setelah melewati proses pengumpulan informasi, dilanjutkan dengan pengenalan aspek teknis, pengadaan, fabrikasi, fungsi, dan biaya.

Ada beberapa teknik yang dapat digunakan pada tahapan ini, yaitu *breakdown*, *cost model*, analisa fungsi, dan grafik hukum distribusi pareto. Teknik-teknik tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Breakdown Analysis

Labombang (2007:148) menyatakan *breakdown analysis* merupakan sistem dan subsistem dirangking menurut biaya persatuan dari yang tertinggi ke yang terendah, membaginya ke area fungsional dan menganalisisnya melalui hukum Pareto.

Sedangkan Dell'Isola (dalam Sesaria, 2013:8) mengemukakan bahwa *breakdown* adalah analisis yang menggambarkan distribusi pemakaian item biaya pekerjaan yang dibandingkan dengan total biaya proyek. Dari hasil perbandingan akan didapatkan bobot pekerjaan untuk kemudian dianalisa apakah perlu dilakukan rekayasa nilai atau tidak. Penjelasannya dapat dilihat pada table berikut:

**Tabel 2.2 Breakdown Analysis**

Item Pekerjaan	Biaya
1. Pekerjaan A	Rp .....
2. Pekerjaan B	Rp .....
3. Pekerjaan C	Rp .....
4. Pekerjaan D	Rp .....
5. Pekerjaan E	Rp .....
6. Pekerjaan F	Rp .....
Total	Rp M
Biaya total proyek keseluruhan	Rp N
Presentase	= Rp M / Rp N = ... %

Sumber: Dell'Isola (dalam Sesaria 2013:8)

Berdasarkan Tabel 2.2 di atas dapat dijelaskan bahwa pekerjaan A-F merupakan item pekerjaan yang dipilih karena memiliki biaya pekerjaan yang besar dan berpotensi dilakukan rekayasa nilai. Proses selanjutnya dilakukan perbandingan total biaya item pekerjaan tersebut dengan total biaya keseluruhan dari proyek. Kemudian diidentifikasi pekerjaan mana yang berpotensi dilakukan rekayasa nilai.

## 2. Cost Model

*Cost model* merupakan proses pengidentifikasian penghematan biaya melalui perbandingan *basic cost* dan *actual cost* (Labombang, 2007). *Basic cost* merupakan biaya perencanaan awal yang ditetapkan pada saat proses perencanaan, sedangkan *actual cost* adalah biaya setelah dilakukan rekayasa nilai.

Pendapat yang sama dikemukakan Dell'Isola (dalam Sesaria, 2013:8) bahwa *cost model* adalah suatu pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan distribusi biaya total suatu proyek. Pemodelan dapat digambarkan dalam bentuk bagan yang disusun dari atas ke bawah, dimana bagian atas merupakan biaya elemen bangunan dan bagian bawah merupakan biaya item pekerjaan dari elemen bangunan.

Dengan *cost model* dapat diketahui biaya total dan membantu pengidentifikasian perbedaan biaya tiap elemen sehingga dapat diputuskan item pekerjaan mana yang akan diberlakukan rekayasa nilai. Biaya total diperoleh dari penjumlahan elemen bangunan seperti arsitek, mekanikal, elektrikal, dan lain-lain. Sedangkan biaya elemen merupakan penjumlahan item-item pekerjaan yang terdapat dimasing-masing elemen.

## 3. Analisa fungsi

Menurut Labombang (2007:148), Analisa fungsi adalah proses identifikasi fungsi-fungsi yang tidak perlu, menganalisisnya kedalam perbandingan *cost/worth* yang menunjukkan tingkat keberadaan biaya yang tidak diperlukan.

Fungsi diidentifikasi dengan menggunakan deskripsi yang terdiri dari dua kata, yaitu kata kerja dan kata benda. Kata kerja yang digunakan adalah kata kerja aktif dan kata benda yang digunakan merupakan kata benda yang terukur. Fungsi juga dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu fungsi dasar dan fungsi sekunder. Fungsi dasar adalah pekerjaan utama atau yang harus dilaksanakan serta suatu identitas dari proyek tersebut. Sedangkan fungsi sekunder adalah fungsi yang mungkin diinginkan keberadaannya tetapi sebenarnya tidak diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan tertentu atau fungsi yang mungkin dibutuhkan untuk melengkapi fungsi dasar agar mempunyai nilai yang baik. Analisa fungsi dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.3** Analisa Fungsi

No.	Komponen	Fungsi			Worth (Rp)	Cost (Rp)
		Verb	Noun	Kind		
1.	A	Menahan	Beban	P	Rp ...	Rp ...
2.	B	Meneruskan	Beban	S	Rp ...	Rp ...
				Jumlah	Σ Rp W	Σ Rp C

Sumber: Donomartono (dalam Sesaria, 2013:11)

$$\text{Nilai } cost / worth = \Sigma \text{ Rp C} / \Sigma \text{ Rp W}$$

Dari tabel 2.3 dapat dijelaskan bahwa analisis fungsi hanya menerangkan item pekerjaan yang akan dianalisis dan definisi dari kata kerja dan kata benda. Selain dipergunakan pada tahap informasi, analisis fungsi juga dimunculkan pada tahap analisis. Kolom fungsi merupakan identifikasi dari komponen A dan B. *Verb* merupakan identifikasi kata kerja komponen, *noun* merupakan identifikasi kata benda komponen, dan pada fungsi *kind* diidentifikasi fungsi primer dan sekundernya. Kolom *worth* diisi biaya untuk pekerjaan yang bersifat primer, sedangkan kolom *cost* diisi biaya komponen pekerjaan keseluruhan sebelum dilakukan rekayasa nilai yang juga dapat dihilangkan berdasarkan modifikasi yang diusulkan. Nilai *cost/worth* menunjukkan besarnya penghematan item pekerjaan. Jika nilainya kurang dari 1 maka tidak ada penghematan, tetapi jika nilainya lebih dari 1 maka ada penghematan pada pekerjaan tersebut.

### 2.2.7.2 Tahap Spekulasi

Ditahap ini, dianalisis berbagai kemungkinan yaitu ada tidaknya alternatif yang dapat memenuhi fungsi dan kegunaan yang sama. Alternatif yang diusulkan mungkin dapat diperoleh dari usaha pengurangan komponen, penyederhanaan, atau modifikasi dengan tetap mempertahankan fungsi utama proyek. Dalam tahap ini diidentifikasi masalah-masalah seperti adanya biaya tak perlu. Sehingga dibutuhkan kreatifitas dan ide-ide baru untuk mengatasi masalah seperti ini. Setelah diidentifikasi adanya masalah, langkah berikutnya adalah dengan memulai spekulasi. Ide-ide baru yang diungkapkan biasanya diperoleh dari personil yang bekerja dilapangan, dari *vendor*, maupun dari bidang perencanaan di perusahaan, dengan kata lain mengumpulkan ide dari seluruh anggota tim Rekayasa Nilai. Tujuannya adalah mencatat ide sebanyak mungkin tanpa sanggahan dan

kemudian dianalisis. Diusahakan agar ide yang dikemukakan tidak terpaut hanya pada metode, tetapi murni hasil pemikiran kreatif dengan berpatokan pada fungsinya.

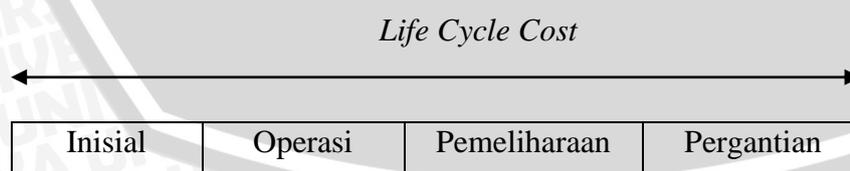
### 2.2.7.3 Tahap Analisis

Berbagai ide yang diajukan pada tahap sebelumnya dianalisis dan dikritik di tahap ini. Penyaringan dan kombinasi antara keperluan proses produksi, pemasaran, dan fungsi akan mengalami kristalisasi, artinya yang pada tahap sebelumnya masih berupa ide kini meningkat pada pemecahan secara konkrit. Proses ini beraitan dengan pemilihan dan pemberian keputusan yang akan membuka jalan bagi pengembangan pemecahan yang dapat diimplementasikan. Dengan proses ini, ide dan pemikiran diperhalus dan diperkuat sehingga dapat mendorong kinerja dari fungsi.

### 2.2.7.4 Tahap Perencanaan/Pengembangan

Menurut Donomartono (dalam Saqpan, 2013:11) di tahapan ini, semua ide dan pendapat disiapkan untuk diteliti kedalam desain preliminari, dibuatkan gambar solusi, diestimasi dalam rencana anggaran biaya serta *life cycle cost* dari desain awal dan dengan desain yang baru diusulkan. Dalam perencanaan biaya total perlu diperhatikan sistem yang disebut *life cycle cost* atau *cost of life cycle* agar total biaya pekerjaan mulai dari pekerjaan konstruksi, operasional, pemeliharaan, dan pergantian alat dapat diperhitungkan dengan baik. Dalam Labombang (2007) dijelaskan bahwa *Life cycle cost* adalah teknik untuk mengevaluasi secara ekonomis dengan menghitung seluruh biaya yang relevan selama jangka waktu investasi melalui penyelesaian pada *time value of money*.

Untuk memperoleh biaya total yang optimal diperlukan studi *Value Engineering*. Untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan oleh proyek dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.2** Distribusi Biaya Total.  
Sumber: Dell'Isola (dalam Ustoyo, 2007).

Gambar diatas merupakan penjelasan total biaya keseluruhan yang dikeluarkan untuk sebuah proyek. Penjelasan sebagai berikut:

1. Biaya Inisial, merupakan biaya untuk pembangunan proyek tersebut, misalnya biaya perencanaan, biaya pelaksanaan, biaya material.
2. Biaya Operasi, Biaya Pemeliharaan, dan Biaya Pergantian merupakan biaya yang dikeluarkan setelah proyek tersebut telah selesai dan hasil dari proyek telah dipergunakan. Perencanaan pembiayaannya berdasarkan umur rencana proyek yang ditentukan. (Dell'Isola dalam Ustoyo, 2007)

### 2.2.7.5 Tahap Penyajian dan Tindak Lanjut

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dalam rencana kerja Rekayasa Nilai yang tujuannya yaitu menawarkan atau memberikan laporan mengenai seluruh tahapan sebelumnya kepada pihak yang berkepentingan dalam bentuk presentasi secara tertulis ataupun lisan untuk kemudian diputuskan apakah desain yang dipilih dapat diterapkan atau dipergunakan.

## 2.3 Beton

Menurut SNI-03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, istilah beton dapat dideskripsikan sebagai berikut:

1. Beton adalah campuran antara semen Portland atau hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.
2. Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
3. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan  $2.200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2.500 \text{ kg/m}^3$  dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Untuk sifat-sifat beton menurut Nawy (2008: 40) dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Sifat jangka pendek atau sesaat, adalah kekuatan tekan, tarik, dan geser dan kekakuan yang diukur dengan modulus elastisitasnya.
2. Sifat jangka panjang, dapat diklasifikasikan dalam rangkai dan susut.

Selanjutnya sifat-sifat beton diatas dijelaskan secara rinci menurut SNI-03-2847-2002 sebagai berikut:

1. Kuat tarik leleh ( $f_y$ ) adalah kuat tarik leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh dari tulangan dalam MPa.
2. Kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f'_c$ ) adalah kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan MPa. Bila nilai  $f'_c$  didalam tanda akar, maka hanya nilai numerik dalam tanda akar saja yang dipakai, dan hasilnya tetap mempunyai satuan MPa.
3. Modulus elastisitas adalah rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut.

Sedangkan dalam Nawy (2008: 47, 49) dijelaskan bahwa:

4. Susut, adalah proses yang menunjukkan adanya perpindahan air keluar dan kedalam struktur gel pada beton akibat adanya perbedaan kelembaban atau perbedaan kejenuhan diantara elemen-elemen yang berdekatan bergantung pada beban luar.
5. Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja.

Beton yang baik memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Kepadatan, ruang yang ada pada beton sedapat mungkin terisi oleh agregat dan pasta semen.
2. Kekuatan, beton harus mempunyai kekuatan dan daya tahan internal terhadap berbagai jenis kegagalan.
3. Faktor air semen, harus terkontrol sehingga memenuhi persyaratan kekuatan beton yang direncanakan.
4. Tekstur, permukaan beton ekspos harus mempunyai kerapatan dan kekeranan tekstur yang tahan segala cuaca. (Nawy, 2008)

### 2.3.1 Baja Tulangan

Menurut Dipohusodo (1999:12) beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Agar dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan

mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem. Untuk keperluan penulangan tersebut, digunakan bahan yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran ataupun kawat rangkai las (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai (dianyam) dengan teknik pengelasan.

Untuk penulangan beton prategangan digunakan kawat, baik tunggal maupun kumpulan kawat membentuk *strand*. Agar dapat berlangsung lekatan erat antara baja tulangan dengan beton, selain batang polos berpenampang bulat (BJTP) juga digunakan batang deformasi (BJTD), yaitu batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip yang teratur dengan pola tertentu, atau batang tulangan yang dipilin pada proses produksinya. Baja tulangan (BJTP) hanya digunakan untuk tulangan pengikat sengkang atau spiral, umumnya diberi kait pada ujungnya.

Sifat fisik tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ). Tegangan luluh (titik luluh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar sesuai SII 0136-84 dengan ketentuan bahwa tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai dengan peningkatan regangannya.

Modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastik dimana antara mutu baja yang satu dengan yang lainnya tidak banyak bervariasi. Ketentuan SK SNI-03-2487-2002 menetapkan nilai modulus elastisitas beton, baja tulangan, dan tendon sebagai berikut :

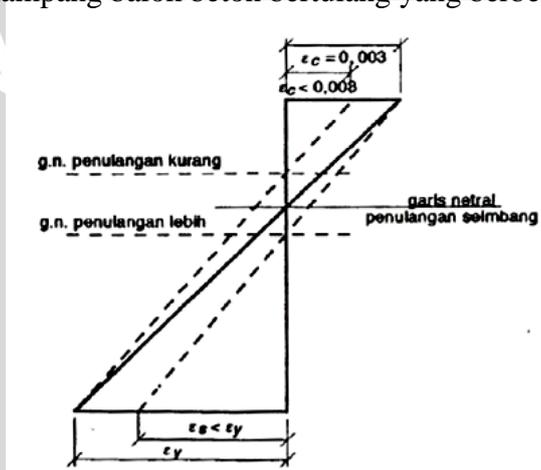
1. Untuk nilai  $w_c$  diantara  $1500 \text{ kg/m}^3$  dan  $2500 \text{ kg/m}^3$ , nilai modulus elastisitas beton  $E_c$  dapat diambil sebesar  $(w_c)^{1.5} 0,043\sqrt{f_c'}$  (dalam Mpa). Untuk beton normal  $E_c$  dapat diambil sebesar  $4700 \sqrt{f_c'}$ .
2. Modulus elastisitas untuk tulangan non-prategang  $E_s$  boleh diambil sebesar 200.000 MPa.
3. Modulus elastisitas untuk beton prategang  $E_s'$  ditentukan melalui pengujian atau dari data pabrik.

### 2.3.2 Kondisi Penulangan Seimbang

Pada letak garis netral tertentu, perbandingan antara regangan baja dengan regangan beton maksimum dapat ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linear. Letak

garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang dalam suatu penampang sedemikian sehingga blok tegangan tekan beton mempunyai kedalaman cukup agar dapat tercapai keseimbangan gaya-gaya, dimana resultan tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik yaitu  $\Sigma H = 0$ . (Dipohusodo, 1999)

Apabila pada penampang tersebut luas tulangan baja tariknya ditambah, keadaan blok tegangan beton akan bertambah pula, dan oleh karenanya letak garis netral akan bergeser ke bawah lagi. Apabila jumlah tulangan baja tarik sedemikian sehingga letak garis netral pada posisi dimana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh pada baja tarik dan regangan beton tekan maksimum 0,003 maka penampang disebut bertulangan seimbang. Kondisi keseimbangan regangan menempati posisi penting karena merupakan pembatas antara dua keadaan penampang balok beton bertulang yang berbeda cara hancurnya.



**Gambar 2.3** Variasi Letak Garis Netral.  
Sumber: Istimawan Dipohusodo (1999: 34).

Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok demikian disebut bertulangan lebih (*over reinforced*). Berlebihnya tulangan baja tarik mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah. Hal yang demikian pada gilirannya akan berakibat beton mendahului mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya luluh. Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi, yang berarti regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan berlangsung keruntuhan dengan beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu.

Apabila suatu penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang demikian disebut bertulangan kurang (*under reinforced*). Letak garis netral akan lebih naik

sedikit daripada keadaan seimbang, dan tulangan baja tarik akan mendahului mencapai regangan luluhnya (tegangan luluhnya) sebelum mencapai regangan maksimum 0,003. Pada tingkat keadaan ini, bertambahnya beban akan mengakibatkan tulangan baja mulur (memanjang) cukup banyak sesuai dengan perilaku bahan baja, dan berarti bahwa baik regangan beton maupun baja terus bertambah tetapi gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja tidak bertambah besar. Berdasarkan keseimbangan gaya-gaya horizontal  $\Sigma H = 0$ , gaya tekan beton tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus meningkat berusaha mengimbangi beban, sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang menyusut (berkurang) yang berarti posisi garis netral akan berubah bergerak naik. Proses tersebut diatas terus berlanjut sampai suatu saat daerah beton tekan yang terus berkurang tidak mampu lagi menahan gaya tekan dan hancur sebagai efek sekunder. Cara hancur demikian, yang sangat dipengaruhi oleh peristiwa meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung meningkat secara bertahap. Segera setelah baja mencapai titik luluh, lendutan balok meningkat tajam sehingga dapat merupakan tanda awal dari kehancuran, meskipun tulangan baja berperilaku daktail (liat), tidak akan tertarik lepas dari beton sekalipun pada waktu terjadi kehancuran. (Dipohusodo, 1999)

### 2.3.3 Persyaratan Kekuatan

Penerapan faktor keamanan dalam struktur bangunan di satu pihak bertujuan untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya runtuh yang membahayakan bagi penghuni, di lain pihak harus juga memperhitungkan faktor ekonomi bangunan. Untuk mendapatkan faktor keamanan yang sesuai, perlu ditetapkan kebutuhan relatif yang ingin dicapai untuk dipakai sebagai dasar konsep faktor keamanan tersebut. Struktur bangunan dan komponen-komponennya harus direncanakan untuk mampu memikul beban lebih di atas beban yang diharapkan bekerja. Kapasitas lebih tersebut disediakan untuk memperhitungkan dua keadaan, yaitu kemungkinan terdapatnya beban kerja yang lebih besar dari yang ditetapkan dan kemungkinan terjadinya penyimpangan kekuatan komponen struktur akibat bahan dasar ataupun pengerjaan yang tidak memenuhi syarat. Kriteria dasar kuat rencana (Dipohusodo, 1999) dapat diungkapkan sebagai berikut:

**Kekuatan yang tersedia  $\geq$  Kekuatan yang dibutuhkan**

### 2.3.4 Sistem-sistem Struktur Beton

Setiap struktur merupakan perpaduan antara arsitektur dan teknik (rekayasa) sehingga memenuhi fungsi tertentu. Bentuk dan fungsi sangat erat kaitannya dan sistem

struktur yang terbaik adalah salah satu yang yang paling dapat memenuhi kebutuhan calon pemakai disamping *serviceable*, menarik, dan menghemat biaya dari segi ekonomi. Walaupun hampir semua struktur dirancang untuk jangka waktu 50 tahun, struktur beton yang dibuat dari campuran beton yang terbaik tercatat mempunyai masa hidup yang lebih lama.

Sistem-sistem beton dibentuk dari berbagai elemen struktur beton yang bila dipadukan menghasilkan suatu sistem secara menyeluruh. Secara garis besar, komponen-komponennya dapat diklasifikasikan atas:

1. **Slab** adalah elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Elemen tersebut dapat berupa *slab* diatas balok, *waffle slab*, *flat slab*, (slab tanpa balok yang bertumpu langsung pada kolom), atau *slab* komposit diatas *joist*. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah (*slab* satu arah) atau bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus (*slab* dua arah dan *flat plate*).
2. **Balok** adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban *tributary* dari *slab* lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan *slab*, dan secara struktural ditulangi dibagian bawah, atau dibagian atas dan bawah. Karena balok dicor secara monolit dengan *slab*, maka elemen tersebut membentuk penampang balok T untuk tumpuan dalam dan balok L untuk tumpuan tepi. Ukuran-ukuran denah suatu bidang *slab* menjelaskan perilaku *slab* tersebut apakah satu arah atau dua arah.
3. **Kolom** adalah elemen vertikal yang memikul sistem lantai struktural. Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekanan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur.
4. **Dinding** adalah penutup vertikal rangka bangunan. Biasanya tidak harus terbuat dari beton, tetapi terbuat dari suatu material yang secara estetis memenuhi kebutuhan fungsional dan bentuk suatu sistem struktur.
5. **Fundasi** adalah elemen beton struktural yang meneruskan beban dari struktur di atasnya ke tanah yang memikulnya. Fundasi ini dapat mempunyai berbagai bentuk dan yang paling sederhana adalah fundasi setempat. Bentuk fundasi lainnya adalah tiang-tiang yang dipancangkan ke tanah, fundasi gabungan yang

memikul lebih dari satu kolom, fundasi telapak, dan fundasi rakit yang pada dasarnya adalah konstruksi *slab* dan balok terbalik. (Nawy, 2008)

### 2.3.5 Pekerjaan Struktur Balok

#### 2.3.5.1 Umum

Desain struktur atas khususnya balok biasanya terbuat dari bahan beton, baja, dan kayu. Untuk beton sendiri ada yang menggunakan beton konvensional maupun beton *precast/pracetak*. Pada perencanaan balok terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi terutama masalah bentang teoritis dan dimensi balok itu sendiri. Peraturan untuk balok adalah sama dengan untuk plat, bentang teoritisnya dianggap sama dengan bentang bersih L antara bidang muka tumpuan ditambah setengah dari panjang perletakan yang diperlukan pada tiap tepi. (Vis & Kusuma, 1997)

#### 2.3.5.2 Analisa Balok Terlentu Bertulangan Rangkap

Di lapangan, dapat dilihat bahwa suatu balok yang bertulangan tunggal jarang dijumpai. Hal ini disebabkan karena pada perencanaan suatu bangunan, gaya gempa yang arahnya bolak-balik juga diperhitungkan, sehingga bidang momen pada suatu bentang kadang bisa bernilai positif maupun negatif. Balok tersebut memerlukan baik tulangan atas maupun tulangan bawah dan dikenal sebagai balok bertulangan rangkap.

Penulangan rangkap juga dapat memperbesar momen tahanan pada balok. Apabila suatu penampang dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan di lain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tertentu dimensinya tersebut.

Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan tulangan tarik hingga melebihi batas nilai  $\rho$  maksimum bersamaan dengan penambahan bahan baja didaerah tekan penampang balok. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik di daerah tarik dan tulangan tekan di daerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok. (Dipohusodo, 1999)

Berdasarkan berbagai penggunaan tulangan tekan dengan tujuan untuk peningkatan kuat lentur suatu penampang terbukti merupakan cara yang kurang efisien terutama dari segi ekonomi baja tulangan dan pelaksanaannya dibandingkan dengan manfaat yang dapat tercapai. Usaha mempertahankan dimensi balok tetap kecil pada umumnya akan mengundang masalah lendutan dan perlunya menambah jumlah tulangan geser pada daerah

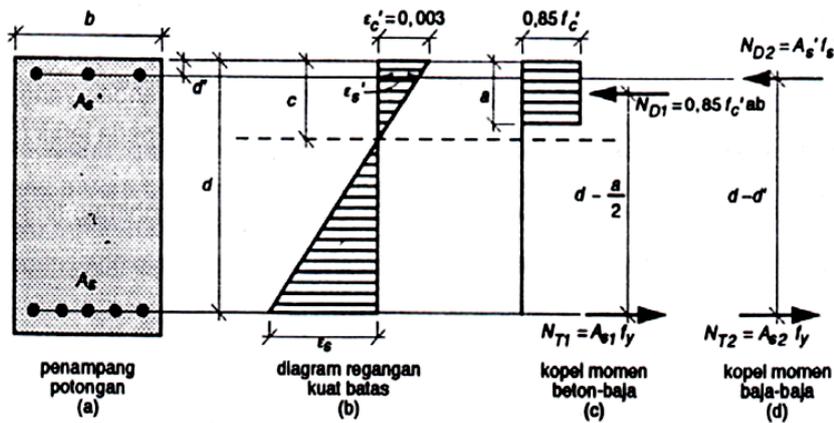
dekat tumpuan, sehingga akan memperumit pelaksanaan pemasangannya. Penambahan penulangan tekan dengan tujuan utama untuk memperbesar kuat lentur penampang umumnya jarang dilakukan, kecuali apabila sangat terpaksa.

Dalam analisis balok bertulangan rangkap pada Istimawan Dipohusodo tahun 1999, akan dijumpai dua jenis kondisi yang umum. Pertama adalah tulangan tekan telah luluh bersamaan dengan luluhnya tulangan tarik saat beton mencapai regangan maksimum 0,003. Sedangkan kondisi yang kedua yaitu dimana tulangan tekan masih belum luluh saat tulangan tarik telah luluh bersama dengan tercapainya regangan 0,003 oleh beton.

Jika regangan tekan baja tekan ( $\epsilon's$ ) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya ( $\epsilon_y$ ), maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja tekan diambil sama dengan tegangan luluhnya ( $f_y$ ). Apabila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya, maka tegangan tekan baja adalah  $f's = \epsilon's \cdot E_s$ . Dimana  $E_s$  adalah modulus elastisitas baja. Tercapainya masing-masing keadaan (kondisi) tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang.

Apabila suatu penampang dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan di lain pihak seringkali sebagai pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tertentu dimensinya. Salah satu alternatifnya yaitu dengan melakukan penambahan tulangan baja tarik lebih dari batas nilai bersamaan dengan penambahan tulangan baja di daerah tekan penampang balok. Hal ini dapat meningkatkan kapasitas momen yang dapat ditahan oleh balok dengan tetap menjaga sifat daktilitasnya.  $\rho_{maks}$ .

Pada analisis balok persegi bertulangan rangkap, sering akan dijumpai dua kondisi kehancuran pada balok. Pertama adalah dimana tulangan tarik dan tekan sama-sama telah luluh dan kedua adalah dimana tulangan tarik telah luluh, namun tulangan tekan belum luluh. Dengan mengacu pada Gambar 2.4, akan diturunkan persamaan-persamaan dan langkah-langkah yang akan digunakan untuk menganalisis suatu balok bertulangan rangkap untuk kedua kondisi yang mungkin terjadi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. (Dipohusodo, 1999)



**Gambar 2. 4** Analisis Balok Bertulangan Rangkap.  
Sumber: Istimawan Dipohusodo (1999: 87).

Ingat bahwa  $As_2 = As'$  dan  $As_1 = As - As_2$ .

Langkah - langkah analisis balok persegi bertulangan rangkap (Dipohusodo, 1999):

- Anggap bahwa tulangan tarik dan tulangan tekan telah luluh sehingga :

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-3)$$

- Dengan menggunakan persamaan pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik dan tekan, tinggi balok tekan  $a$  dihitung dengan :

$$T = Cc + Cs \quad (2-4)$$

$$As fy = (0,85f'c)ab + As'fy \quad (2-5)$$

$$a = \frac{(As - As')fy}{(0,85.f'c)b} = \frac{As_1fy}{(0,85.f'c)b} \quad (2-6)$$

- Tentukan letak garis netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2-7)$$

- Periksa regangan yang terjadi pada tulangan baja tekan dan baja tarik dengan menggunakan diagram regangan.

$$\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} 0,003 \quad (2-8)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} 0,003 \quad (2-9)$$

Dengan menganggap  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ , yang berarti tulangan baja tarik telah meluluh, akan timbul salah satu dari kedua kondisi berikut ini:

- Kondisi I :  $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$ , menunjukkan bahwa tulangan baja tekan meluluh.
- Kondisi II :  $\epsilon'_s \leq \epsilon_y$ , menunjukkan bahwa tulangan baja tekan belum meluluh

Untuk Kondisi I:

- Hitung kapasitas momen teoritis  $M_{n1}$  dan  $M_{n2}$

Untuk pasangan kopel gaya tulangan tekan dan tarik:

$$M_{n2} = A_s' f_y (d-d') \quad (2-10)$$

Untuk pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan tarik:

$$M_{n2} = A_{s1} f_y (d-1/2a) \quad (2-11)$$

$$\text{Dengan demikian, } M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2-12)$$

- $M_R = \phi M_n$  (2-13)
- Pemeriksaan syarat daktilitas dengan membuktikan bahwa rasio penulangan ( $\rho$ ) pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik tidak melampaui  $0,75 \rho_b$ , atau membuktikan bahwa luas penampang tulangan baja tarik tidak lebih dari  $A_s(\text{maks})$ .

$$\text{Paktual} = \frac{A_{s1}}{b d} \quad (2-14)$$

Untuk Kondisi II:

- Untuk mendapatkan nilai  $c$  digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0 \quad (2-15)$$

Dapatkan nilai  $c$  dari persamaan kuadrat baik dengan cara biasa maupun pendekatan.

- Menghitung tegangan pada tulangan baja tekan,

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} (600) \quad (2-16)$$

- Dapatkan  $a$  dengan menggunakan persamaan  $a = \beta_1 c$  (2-17)

- Menghitung gaya-gaya tekan,

$$N_{D1} = (0,85 f_c') b a \quad (2-18)$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' \quad (2-19)$$

Kemudian diperiksa dengan menghitung gaya tarik,

$$N_T = A_s f_y \quad (2-20)$$

Dimana  $N_T$  harus sama dengan  $N_{D1} + N_{D2}$

- Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel,

$$M_{n1} = N_{d1} (d-1/2a) \quad (2-21)$$

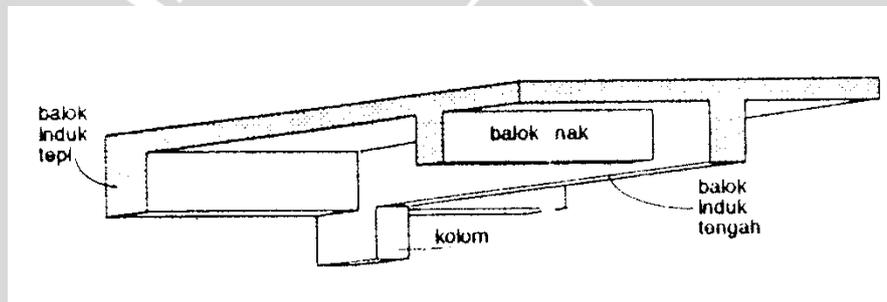
$$M_{n2} = N_{D2} (d-d') \quad (2-22)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2-23)$$

- $M_R = \phi M_n$  (2-24)

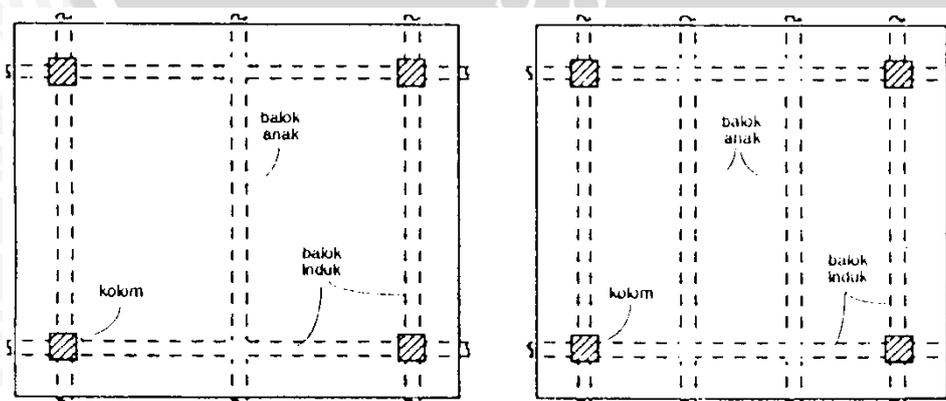
### 2.3.6 Konstruksi Balok T

Komponen lantai atau atap bangunan gedung dapat berupa plat dengan seluruh beban yang didukung langsung dilimpahkan ke kolom dan selanjutnya ke fondasi bangunan. Bentang struktur plat demikian tidak dapat panjang karena pada ketebalan tertentu (berarti juga berat sendiri) menghasilkan struktur yang tidak hemat dan praktis. Oleh karena itu telah banyak dikembangkan jenis sistem struktur plat yang bertujuan untuk memperoleh bentang sepanjang mungkin dengan masalah beban mati sekecil mungkin. Salah satu diantaranya dinamakan sistem balok anak dan induk, terdiri dari plat yang bertumpu pada balok anak yang membentuk rangka dengan balok induk serta kolom sebagai penopang struktur keseluruhan. Pada sistem seperti ini umumnya balok anak dan induk dicetak menjadi satu kesatuan monolit, baik dengan cara pracetak maupun cetak ditempat. Gambar 2.5 menunjukkan sistem monolitik tipikal.



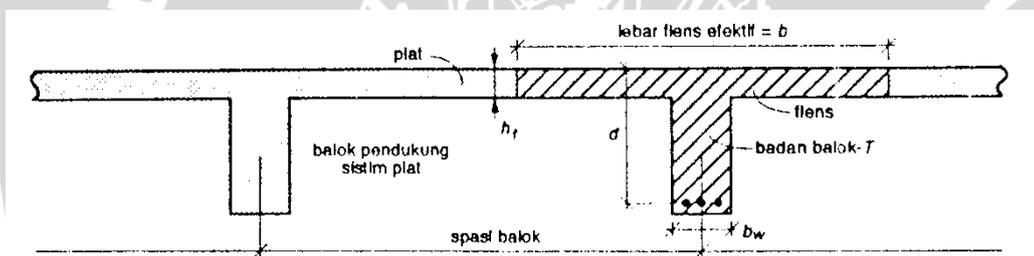
**Gambar 2.5** Sistem Balok dan Balok Induk Lantai.  
Sumber: Istimawan Dipohusodo (1999: 67).

Pada umumnya balok anak membagi balok induk menjadi setengah, sepertigaan, seperempat, seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Tata Letak Balok Anak dan Balok Induk.  
Sumber: Istimawan Dipohusodo (1999: 67).

Analisis dan perencanaan balok yang dicetak menjadi suatu kesatuan monolit dengan plat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa antara plat dengan balok-balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara plat dan balok-balok yang menjadi satu kesatuan pada penampangnya membentuk huruf T tipikal, dan oleh karena itulah balok-balok dinamakan sebagai balok T. seperti tampak pada Gambar 2.7, plat akan berlaku pada lapis sayap (*flens*) tekan dan balok-balok sebagai badan. Dalam hal ini, plat yang berfungsi sebagai *flens* dari balok T juga harus direncana dan diperhitungkan tersendiri terhadap lenturan pada arah melintang terhadap balok-balok pendukungnya. Dengan demikian plat yang berfungsi sebagai *flens* tersebut akan berperilaku sebagai komponen struktur yang bekerja pada dua arah lenturan yang saling tegak lurus. Pada perpotongan antar-balok T, struktur akan mendukung momen lentur negatif dimana tepi atas plat berada dalam keadaan tertarik sedangkan badan balok dibagian bawah dalam keadaan terdesak. Hal demikian akan tampak lebih jelas pada tumpuan bentangan sebelah dalam (*interior*) struktur balok bentangan menerus.



**Gambar 2. 7** Balok T Sebagai Bagian Sistem Lantai.

Sumber: Istimawan Dipohusodo (1999: 87).

Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10 memberikan pembatasan lebar *flens* efektif balok T sebagai berikut:

1. Lebar *flens efektif* yang dihitung tidak lebih dari seperempat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian plat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal plat, dan juga tidak lebih besar dari separuh jarak bersih dengan balok disebelahnya. Atau dengan kata lain, lebar *flens efektif* yang diperhitungkan tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari nilai-nilai berikut:
  - a. Seperempat panjang bentang balok,
  - b.  $b_w + 16h_f$ ,
  - c. jarak dari pusat ke pusat antar balok.

2. Untuk balok yang hanya mempunyai *flens* pada satu sisi, lebar efektif pada plat yang menonjol yang diperhitungkan tidak lebih besar dari seperduabelas panjang bentangan balok, atau enam kali tebal plat, atau  $\frac{1}{2}$  jarak bersih dengan balok disebelahnya.
3. Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luas daerah tekan, ketebalan *flens* tidak boleh lebih besar dari separuh lebar balok, dan lebar *flens* total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebar balok. (Dipohusodo, 1999)

### 2.3.7 Analisis Balok T Terlentur

Persyaratan daktilitas (liat) balok T sama dengan yang disyaratkan bagi balok persegi dimana rasio penulangan maksimum tidak boleh lebih besar dari 0,75  $\rho_b$ . Tetapi nilai tersebut tidaklah sama dengan nilai yang tercantum dalam tabel untuk balok persegi, karena bentuk balok T memberikan daerah tekan khusus yang cenderung lebih luas. Untuk digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan dan analisis diberikan variasi pendekatan nilai 0,75  $\rho_b$  sebagaimana balok persegi. Sedangkan nilai rasio penulangan minimum ditetapkan seperti yang sudah dikenal dalam pembahasan terdahulu:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2-25)$$

Sesuai dengan ketentuan SK SNI T 15-1991-03 pasal 3.3.5 ayat 1, rasio penulangan actual ditentukan dengan menggunakan lebar badan balok ( $b_w$ ) dan bukannya lebar *flens efektif* ( $b$ ). ketentuan tersebut berlaku apabila badan balok dalam keadaan tertarik. Karena *flens* balok T menyediakan daerah tekan yang relatif luas, pada umumnya kapasitas momen tahanan ditentukan oleh luluhnya baja tulangan tarik. Maka dari itu, cukup aman bila dilakukan anggapan bahwa baja tulangan tarik akan meluluh sebelum beton mencapai regangan tekan batas dan kemudian hancur. Gaya tarik total  $N_T$  pada keadaan batas (ultimit) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N_T = A_s f_y \quad (2-26)$$

Untuk proses analisis harus diketahui terlebih dahulu bentuk blok tegangan tekan. Seperti halnya pada analisis balok persegi, gaya tekan total  $N_D$  harus seimbang dan sama dengan gaya tarik total  $N_T$ . bentuk blok tegangan tekan harus sesuai dengan luasan daerah beton tekan. Dengan demikian terdapat dua kemungkinan keadaan yang akan terjadi, blok

tegangan tekan seluruhnya masuk didalam daerah *flens*, atau meliputi seluruh daerah *flens* ditambah sebagian lagi masuk di badan balok. Berdasarkan dua kemungkinan tersebut ditetapkan dua terminologi analisis, ialah bentuk *balok T persegi* dan *balok T murni*. Perbedaan antara keduanya disamping perbedaan bentuk blok tegangannya adalah bahwa pada balok T persegi dengan lebar *flens efektif*  $b$  dilakukan analisis dengan cara yang sama seperti balok persegi dengan lebar  $b$  (lebar *flens*), dengan mengabaikan daerah beton tarik. Sementara untuk balok T murni dilaksanakan dengan memperhitungkan blok tegangan tekan mencakup daerah kerja berbentuk huruf T. (Dipohusodo, 1999)

### 2.3.8 Perencanaan Balok T

Dalam merencanakan balok T, pada langkah awal disarankan untuk menentukan apakah balok tersebut berperilaku sebagai balok T persegi atau balok T murni. Apabila ditentukan sebagai balok T persegi, maka prosedur perencanaan sama dengan yang dilakukan pada perencanaan balok persegi bertulangan tarik dengan ukuran-ukuran penampang yang telah diketahui. Sedangkan apabila sebagai balok T murni perencanaan dilakukan dengan cara perkiraan yang kemudian diikuti dengan analisis. Berdasarkan pada bentuknya, umumnya *flens* menyediakan daerah tekan lebih dari cukup sehingga blok tegangan tekan seluruhnya terletak didalam daerah *flens*. Sehingga hampir selalu dijumpai bahwa balok T umumnya dianalisa atau direncanakan sebagai balok T persegi.

Perencanaan balok T adalah proses menentukan dimensi tebal dan lebar *flens*, lebar dan tinggi efektif badan balok, dan luas tulangan baja tarik. Dalam perencanaan balok T yang mendukung momen lentur positif umumnya sebagian dari kelima bilangan sudah diketahui terlebih dahulu. Penentuan tebal *flens* biasanya tidak lepas dari perencanaan struktur plat, sedangkan dimensi balok terkait dengan kebutuhan menahan gaya geser dan momen lentur yang timbul pada dukungan dan di tengah bentang struktur balok menerus. Sedangkan untuk lebar *flens efektif* ( $b$ ) telah dijelaskan sebelumnya. Keharusan untuk mempertimbangkan segi-segi pelaksanaan ataupun hubungan dengan komponen struktur lainnya mungkin juga mempengaruhi penentuan lebar balok, misalnya ukuran kolom ataupun sistem pelaksanaan pembuatan acuan (cetakan). (Dipohusodo, 1999)

### 2.3.9 Perbedaan Balok Persegi dan Balok T

Perbedaan terletak pada daerah yang mengalami tegangan tekan. Pada balok persegi, bagian yang memikul tegangan hanya sebesar lebar balok. Namun pada balok T,

bagian yang memikul tegangan cenderung lebih luas dikarenakan pengecoran yang monolit (bersamaan atau menyatu).

Selain itu, perbedaan berikutnya dipengaruhi oleh tinggi blok tekan  $\alpha$ , dimana:

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{(0,85 f'_c) b} \quad (2-27)$$

Rumus diatas merupakan penurunan dari persamaan kesetimbangan antara gaya tarik dari tulangan yang baja tulangannya dianggap meluluh dengan resultan gaya tekan dari segiempat ekuivalen blok tekan beton. kondisi ini disebut kondisi *balance* atau *under-reinforced*. Jika  $\alpha \leq t_p$  (tebal plat), maka penyelesaiannya sama dengan balok persegi dimana tulangan dianggap sudah luluh. Jika sebaliknya  $\alpha \geq t_p$  maka luas tulangan selebihnya digunakan untuk menahan gaya pada bagian badan (*web*) yang tinggi blok tekannya ( $\alpha$ ) lebih besar dari tebal pelat  $t_p$ . ([www.duniatekniksipil.web.id](http://www.duniatekniksipil.web.id))

