

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Jenis Material Konstruksi

Material merupakan komponen yang penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek, pada tahap pelaksanaan konstruksi penggunaan material di lapangan sering terjadi sisa material yang cukup besar disebabkan karena kurangnya perencanaan dan pengendalian yang tepat, sehingga upaya untuk meminimalisasi sisa material sangat penting untuk diterapkan. Material yang digunakan dalam konstruksi dapat digolongkan dalam dua bagian besar (Gavilan, 1994), yaitu:

1. *Consumable Material*, merupakan material yang pada akhirnya akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, misalnya: semen, pasir, krikil, batu bata, besi tulangan, baja, dan lain-lain.
2. *Non-Consumable Material*, merupakan material penunjang dalam proses konstruksi, dan bukan merupakan bagian fisik dari bangunan setelah bangunan tersebut selesai, misalnya: perancah, bekisting, dan dinding penahan sementara.

Arus penggunaan material konstruksi mulai sejak pengiriman ke lokasi, proses konstruksi, sampai pada posisinya yang terakhir akan berakhir pada salah satu dari keempat posisi dibawah ini :

1. Struktur fisik bangunan
2. Kelebihan material (*left over*)
3. Digunakan kembali pada proyek yang sama (*reuse*)
4. Sisa material (*waste*)

Sisa material konstruksi ini akan terus bertambah sesuai dengan perkembangan pembangunan yang dilaksanakan, selain mempengaruhi biaya proyek juga akan menimbulkan permasalahan baru yang dapat mengganggu lingkungan proyek dan sekitarnya. Pengendalian besarnya kuantitas sisa material tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

1. Mencari jalan untuk memakai kembali sisa material tersebut.

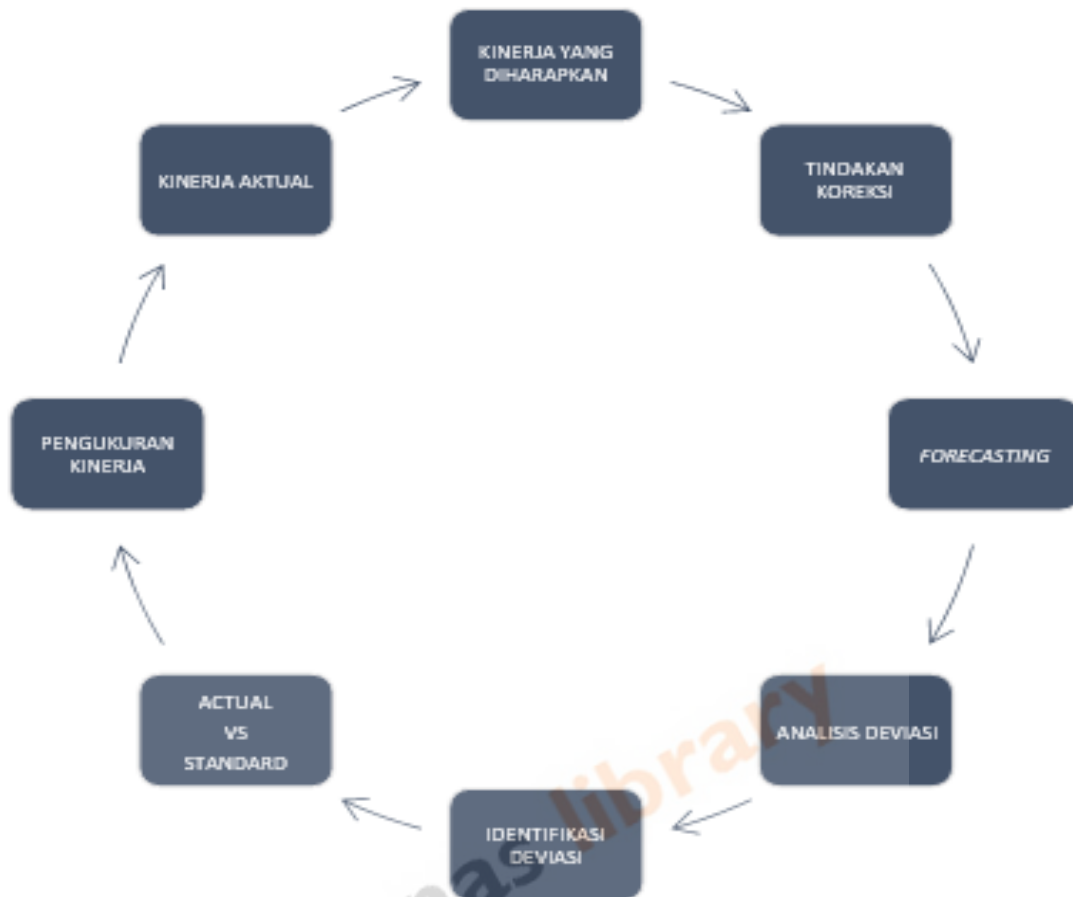
2. Mendaur ulang sisa material tersebut menjadi barang yang berguna.
3. Memusnahkan sisa material dengan cara pembakaran.
4. Mencari cara untuk mengurangi sisa material yang timbul.

## **2.2 Pengendalian Biaya Material**

Untuk mencapai kinerja proyek konstruksi yang maksimal tidak hanya dibutuhkan perencanaan yang matang, namun pula harus didukung oleh suatu sistem pengendalian proyek. Perencanaan yang baik meliputi tindakan antisipasi ataupun berupa tindakan preventif yang bertujuan meminimalkan kerugian dan berupa tindakan korektif dari kesalahankesalahan pada proyek yang telah lampau yang dimasukkan dalam langkah-langkah perencanaan.

Definisi pengendalian menurut R.J. Mockler (1972) adalah suatu usaha yang sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran perencanaan, merancang sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisis kemungkinan adanya penyimpangan antara pelaksanaan dengan standar, kemudian mengambil tindakan perbaikan yang diperlukan agar sumber daya digunakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai sasaran.

Jika terjadi penyimpangan dilakukan analisis penyebab penyimpangan tersebut. Lalu membuat formulasi tindakan koreksi dan mengimplementasikan tindakan koreksi tersebut untuk memperbaiki penyimpangan yang terjadi. Proses pengendalian dilanjutkan kembali dengan mengukur *performance* yang telah direvisi dan membandingkan dengan standar baku. Proses ini dilakukan berulang-ulang sampai diperoleh solusi yang paling optimal. Secara ringkas, diagram alir dari proses pengendalian selama pelaksanaan proyek konstruksi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** Proses Pengendalian Proyek Sumber: Ritz, 1994

Dari gambar 2.1 di atas dapat diketahui bahwa pengendalian dilakukan dengan mengukur kinerja aktual yang dibandingkan dengan kinerja rencana, jika terjadi penyimpangan. Kemudian merumuskan tindakan koreksi dan diterapkan untuk memperbaiki penyimpangan yang terjadi. Pengendalian terus dilakukan dengan mengukur kinerja yang telah diperbaiki dan membandingkannya dengan kinerja standar. Proses ini akan terus berulang hingga penyimpangan diperbaiki.

Kegiatan utama dari pengendalian proyek adalah mengendalikan biaya dan jadwal proyek. Pengendalian biaya berfungsi untuk memonitor, menganalisa dan melaporkan anggaran biaya pelaksanaan proyek sehingga biaya actual penyelesaian proyek tidak menyimpang dari rencana. Langkah selanjutnya adalah mengembangkan tindakan koreksi untuk membatasi atau mengurangi dampak negatif penyimpangan dan memaksimalkan dampak positif penyimpangan.

Pengendalian biaya proyek bertujuan untuk mendeteksi sedini mungkin

kemungkinan terjadinya penyimpangan biaya yang tidak sesuai dengan perencanaan (*cost overrun*) sehingga dapat dilakukan langkah-langkah atau tindakan koreksi sebagai antisipasi, karena *cost overrun* dapat menambah biaya akhir proyek dan meminimalkan keuntungan (Halpin; 1998).

Terdapat 10 (sepuluh) prinsip untuk mendapatkan pengendalian biaya proyek yang efisien, yaitu :

1. Menumbuhkan kesadaran dalam tim manajemen proyek untuk mengendalikan biaya proyek.
2. Mengumpulkan data yang realistis dengan keterbatasan waktu.
3. Menyusun anggaran yang realistik.
4. Membandingkan dan mengevaluasi anggaran yang dapat dilaksanakan sebelum dilaksanakan.
5. Membandingkan anggaran dengan *actual cost*.
6. Mengenali penyebab dari gejala penyimpangan saat dilakukan analisis penyimpangan.
7. Mengalokasikan waktu dan biaya yang sesuai untuk setiap pekerjaan proyek.
8. Menggunakan data dari proyek-proyek terdahulu untuk meningkatkan *cost control cycle*.
9. Mempertimbangkan perubahan dari dampak biaya keseluruhan.
10. Secara berkelanjutan meningkatkan sistem yang telah ada.

Menurut Warszawski (1982) tujuan dari sistem pengendalian biaya pada perusahaan konstruksi adalah :

1. Mengevaluasi keuntungan perusahaan proyek
2. Memperkirakan terjadinya penyimpangan antara anggaran dengan pelaksanaan
3. Efisiensi
4. Merekam informasi penggunaan sumber daya, biaya dan produktivitas.

### **2.2.1 Biaya Material**

Biaya-biaya pengadaan persediaan adalah biaya yang dikeluarkan untuk mempunyai suatu barang persediaan di gudang, meliputi biaya-biaya mulai pada saat

pemesanan sampai kepada biaya-biaya untuk menyimpan di gudang. Biaya yang dikeluarkan tersebut dapat dirinci sebagai berikut:

1. Biaya pembelian (*Purchase Cost*)

Biaya pembelian suatu material berdasarkan harga unit pembelian dari sumber luar dan termasuk didalamnya biaya transportasi dan pengangkutan. Harga unit material tergantung dari penawaran, kuantitas dan waktu pengiriman material. Pemesanan material dengan jumlah yang besar mungkin akan menghasilkan harga yang lebih murah, namun dapat meningkatkan biaya penyimpanan ( *Holding Cost*) dan membutuhkan likuiditas yang tinggi. Keinginan akan waktu pengiriman yang relatif pendek juga dapat mempengaruhi harga per material.

Karakteristik disain yang memerlukan ukuran dan bentuk material yang tidak ada di pasaran haruslah dihindari. Hal ini terjadi karena material yang tidak ada di pasaran akan menyebabkan harga material akan jauh lebih mahal. Biaya transportasi dipengaruhi oleh ukuran pengiriman dan faktor-faktor yang lain. Pengiriman dengan jumlah yang besar, serta material yang berasal dari sumber bahan baku material seringkali mengurangi harga material.

2. Biaya Pemesanan (*Order Cost*)

Biaya pemesanan berasal dari pengeluaran administratif saat melakukan pembelian pada supplier di luar. Biaya pemesanan terdiri dari pengeluaran terhadap pemesanan, analisa terhadap berbagai pemasok, pencatatan pemesanan pembelian, penerimaan material, pemeriksaan material, pemeriksaan pemesanan, pencatatan keseluruhan proses pengendalian pemeliharaan material. Biaya pemesanan biasanya merupakan bagian kecil dari keseluruhan biaya manajemen material pada proyek konstruksi.

3. Biaya Pengangkutan

Biaya yang dikeluarkan untuk mengangkut material dari tempat penjual ke gudang perusahaan. Biaya pengangkutan ini dapat disatukan dengan harga barang, tapi dapat juga terpisah, tergantung daripada perjanjian pada waktu pemesanan.

4. Biaya Penyimpanan ( *Holding Cost*)

Biaya yang berasal dari *capital cost*, penanganan, penyimpanan, keusangan, penyusutan dan kerusakan. *Capital cost* berasal dari pengeluaran financial dalam penanaman modal pada inventarisasi.

Biaya penanganan dan penyimpanan terdiri dari biaya pemindahan dan perlindungan pada saat pembongkaran material. Biaya keusangan adalah risiko pada material yang mengalami kehilangan nilai akibat dari perubahan spesifikasi. Biaya penyusutan adalah berkurangnya jumlah material akibat pencurian dan kehilangan. Biaya kerusakan berasal dari perubahan kualitas material akibat umur material dan kerusakan akibat kondisi lingkungan.

#### 5. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Biaya modal adalah sejumlah modal yang tertanam untuk pembelian barang-barang persediaan, sehingga modal yang terikat ini tidak dapat dipakai untuk keperluan produksi lainnya atau dengan menginvestasikan sejumlah uang untuk pembelian barang, maka berarti akan timbul kerugian karena tidak dapat memetik bunga dari modal tersebut. Harga bunga harus ikut diperhitungkan, apalagi bila sejumlah uang untuk membeli persediaan tersebut didapatkan dari kredit bank.

### 2.2.2 Fungsi Pengendalian Biaya Material

Pengendalian material mencakup faktor-faktor yang saling berhubungan, yaitu kualitas, kuantitas, akuisisi, jadwal dan biaya. Dalam pengendalian material ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu :

#### 1. Pembelian material (Ahuja 1980)

Pemesanan pembelian diawali oleh superintenden konstruksi dan mengajukan ke bagian pembelian untuk melakukan pengadaan material yang diperlukan. Pemesanan dilakukan melalui *cost engineer* yang bertanggung jawab untuk membandingkan pemesanan dengan *bill of materials* dan spesifikasinya yang kemudian di kirim ke departemen pembelian untuk di tinjau ulang.

Ketika barang yang dipesan tidak ada atau menyimpang dari *bill of materials* yang asli, maka *cost engineer* bertanggung jawab untuk memberitahu manajer terhadap situasi yang ada. Pemesanan harus akurat, lengkap dan jelas menyatakan apa yang dibutuhkan untuk menjamin pembelian dilakukan pada

material yang tepat. Pemesanan juga harus memasukkan seluruh informasi yang dibutuhkan oleh penawar seperti kebutuhan jadwal pengiriman, tipe pengepakan, lokasi tempat pengiriman, transportasi yang digunakan dan sebagainya agar dapat dihitung biaya materialnya.

*Purchasing personel* bekerja sama dengan *engineering personel* di kantor pusat untuk menentukan kontrak pembelian sehingga didapatkan jumlah dan kualitas yang dibutuhkan dengan harga terendah. Setelah penawaran diterima, dilanjutkan dengan penandatanganan kontrak dengan pemasok. Pemasok diberitahu tempat pengiriman yang paling baik, apakah langsung ke lokasi proyek ataukah langsung ke gudang.

## 2. Memeriksa kebenaran penerimaan material (Ahuja 1980)

Material yang dipesan kepada pemasok, baik menyangkut jumlah, jenis dan kualitas dari material tersebut apabila diterima harus diperiksa kebenarannya. Pemeriksaan ini dapat dilakukan oleh staf yang bertanggung jawab terhadap penerimaan material. Sebelum material yang datang dibongkar, maka harus diperiksa kebenarannya apakah sesuai dengan pesanan dan perincian tanda bukti pengiriman material dari pemasok. Apabila tidak sesuai ataupun kurang, maka pemesan dapat mengembalikan material tersebut dan kekurangannya dapat dipesan kembali.

## 3. *Stock Control*

Fungsi suatu pengendalian persediaan dari suatu perusahaan adalah menyediakan barang-barang yang dibutuhkan dalam jumlah dan kualitas sesuai dengan waktu yang ditentukan dengan biaya dan cara yang paling ekonomis dan menguntungkan (PPM 1998). Menurut Stukhart (1995), ada beberapa hal yang perlu dikendalikan dalam *stock control*, yaitu :

- a. Mengurangi kelebihan *bulk material* (material curah)
- b. Menentukan tindakan yang perlu diambil untuk mengatasi kekurangan material.

## **2.3 Manajemen Material**

### **2.3.1 Definisi Manajemen Material**

Penanggulangan sisa material agar dapat mencapai minimum, perlu dilakukan sistem manajemen material. Menurut Dobler (1990), manajemen material merupakan perpaduan dari berbagai aktifitas yang cara pelaksanaannya merupakan manajemen terpadu, dimana prosesnya dimulai sejak tahap pengadaan material sampai diolah menjadi suatu bahan yang siap pakai, dalam proyek konstruksi, manajemen material umumnya meliputi tahap pengadaan, penyimpanan, penanganan dan pemakaian material.

Manajemen material didefinisikan sebagai suatu sistem manajemen yang diperlukan untuk merencanakan dan mengendalikan mutu material, jumlah material and penempatan peralatan yang tepat waktu, harga yang baik dan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan (Bell and Stukhart 1986).

Manajemen material konstruksi merupakan suatu proses perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian sumber daya material yang tepat dengan kualitas yang sudah ditentukan pada waktu dan tempat yang sesuai dengan tingkat pembiayaan yang minimum dalam proses konstruksi.

### **2.3.2 Ruang Lingkup Manajemen Material**

Manajemen material tidak hanya mencakup pembelian material saja, tetapi meliputi segala aktivitas yang bertalian dengannya seperti pengangkutan dan pengiriman, penentuan rute dan jenis transportasi, penanganan material dan peralatan, pertanggungjawaban serta penyimpanan barang, dokumentasi penerimaan rampung dan pelepasan paling akhir dari barang surplus atau kelebihan pada akhir pekerjaan (Barrie 1993).

Manajemen material dalam industri konstruksi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Perencanaan dan penjadwalan material
2. Pembelian dan pengiriman material
3. Pemeriksaan dan *quality control* material
4. Penyimpanan dan pengawasan material
5. Penanganan dan distribusi material



### 2.3.3 Fungsi Manajemen Material

Fungsi dari manajemen material yang baik menurut Bell dan Stuhart (1986) adalah:

1. Naiknya produktifitas, pekerja dapat merencanakan pekerjaan mereka, material dapat diperoleh saat dibutuhkan, dan pekerjaan ulang (*rework*) dapat diminimalkan.
2. Mengurangi pemesanan yang berlebihan.
3. Meningkatkan kinerja pemasok material saat pengiriman, kualitas dan penghematan biaya.
4. Meningkatkan kemampuan untuk memenuhi jadwal pelaksanaan.
5. Mengurangi kemungkinan material yang ditolak (kualitas tidak memenuhi syarat/spesifikasi atau salah memilih material).

### 2.3.4 Tahapan Manajemen Material

#### 2.3.4.1 Pengadaan Material

Pengadaan material merupakan antisipasi terhadap ketersediaan material di pasaran. Hal ini dilakukan agar material selalu siap di lokasi saat di perlukan.

Kegiatan ini meliputi :

1. Membuat estimasi kebutuhan volume dan jenis material yang akan dipakai, beserta spesifikasi yang jelas kalau perlu diberikan juga spesifikasi material alternatif untuk bahan yang sulit didapatkan. Membuat jadwal pengiriman material ke lokasi sesuai jadwal pelaksanaan di lapangan, menyampaikan kebutuhan kepada bagian pengadaan/logistik untuk dipesankan sesuai kebutuhan.
2. Memilih *supplier* diutamakan yang sudah berpengalaman dan setelah itu baru dipertimbangkan faktor harga.
3. Menyiapkan dan menerbitkan surat perintah pembelian
4. Melaksanakan pembelian dengan pemesanan yang terencana terlebih dahulu, sehingga pengiriman selalu sesuai dengan jadwal proyek. Perlu diatur agar material yang datang sesuai jadwal pemakaian material tersebut (Thomas, 1989). Komunikasi antara kontraktor dan *supplier* harus terjalin dengan baik, supaya tidak terjadi kesalahan dalam pengiriman.

#### 2.3.4.2 Penyimpanan Material

Setiap material mempunyai karakteristik yang berbedabeda, sehingga membutuhkan penanganan dalam hal penyimpanan yang berbeda pula, agar tidak menimbulkan sisa material yang tidak diinginkan. Misalnya untuk semen, kondisi penyimpanan tidak boleh lembab, karena semen akan rusak/mengeras, untuk itu perlu diberi landasan. Hal-hal lain yang perlu diperhatikan adalah:

1. Menyimpan material dengan rapi di gudang agar tidak bercampur dengan material lain sehingga tidak mudah rusak. Untuk material yang mudah rusak atau pecah perlu dipisahkan dengan material berat yang lain, seperti keramik dan batu bata jangan diletakkan terlalu dekat dengan besi beton atau yang lainnya.
2. Gudang penyimpanan harus bebas dari ancaman bahaya kebakaran, pencurian, perusakan dan bebas dari bahaya banjir.
3. Selain gudang, perlu diperhatikan juga tempat disekitar lokasi proyek yang dibutuhkan untuk tempat penyimpanan peralatan berat, material-material seperti besi beton, pasir, batu bata, batu pecah dan jalur arus material dari lokasi penyimpanan ke tempat kerja.
4. Arus masuk keluar barang harus diatur dengan baik, misalnya penyimpanan semen yang harus berdasarkan FIFO (*First in first out*) atau masuk pertama. Cara ini untuk mencegah material yang tidak tahan lama, agar tidak rusak sebelum dikeluarkan.
5. Semua barang yang disimpan dalam gudang, sedapat mungkin mudah untuk diambil/dicari ketika akan digunakan, untuk itu sedapat mungkin setiap material diberi tanda atau label (Nugraha, 1985).

#### **2.3.4.3 Penanganan Material**

Setiap material yang tiba di lokasi perlu ditangani dengan baik, agar tidak menimbulkan sisa material. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Menurunkan muatan material dengan hati-hati, sehingga tidak terjadi banyak material yang rusak.
2. Menerima dan memeriksa material, hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya penerimaan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diminta, volume yang kurang dan material yang rusak dari *supplier*.
3. Melakukan penumpukan material dengan benar, baik jumlah penumpukan yang

diperbolehkan sesuai dengan rekomendasi pabrik maupun metode penumpukan.

4. Pемindahan material dari tempat penyimpanan ke tempat kerja harus dilakukan dengan hati-hati.

#### **2.3.4.4 Pemakaian Material**

1. Memakai peralatan kerja kurang memadai maupun budaya kerja yang kurang baik (Gavilan, 1994).
2. Perilaku para pekerja di lapangan (Loosemore, 2001).
3. Memakai teknologi yang masih baru, dimana tukang masih belum terbiasa dengan metode tersebut, sehingga menimbulkan kesalahan-kesalahan dalam pemakaian material, yang pada akhirnya material tersebut tidak dapat dipakai lagi (Skoyles, 1994).

Pemotongan material menjadi ukuran-ukuran tertentu tanpa perencanaan yang baik (Gavilan, 1994).

Pada tahap penanganan dan pemakaian material, perilaku para pekerja sangat berpengaruh terhadap timbulnya sisa material di lapangan, karena pada tahap ini dibutuhkan sikap yang hati-hati, dan tukang yang berpengalaman dalam bidang konstruksi. Bimbingan dan pelatihan diperlukan bagi para pekerja agar mereka menyadari dan mengetahui akibat terjadinya kesalahan pemakaian material di lapangan yang dapat menimbulkan banyak sisa material, sehingga dapat mengurangi profit kontraktor.

## **2.4 Sisa Material Konstruksi**

### **2.4.1 Pengertian Sisa Material Konstruksi**

Sisa material konstruksi dihasilkan dalam setiap proyek konstruksi, baik itu proyek pembangunan maupun proyek pembongkaran (*Construction and Demolition*). Sisa material yang berasal dari perobohan atau penghancuran bangunan digolongkan dalam *demolition waste*, sedangkan sisa material yang berasal dari pembangunan perubahan bentuk (*remodeling*), perbaikan baik itu rumah atau bangunan komersial, digolongkan ke dalam *construction waste*. Komposisi dari sisa material konstruksi berupa batu, beton, batu bata, plester, arang yang tak berharga, bahan atap, bahan plumbing, bahan instalasi listrik.

Sisa material secara umum didefinisikan sebagai substansi atau suatu objek dimana pemilik punya keinginan untuk membuang. Sedangkan sisa material konstruksi

didefinisikan sebagai material yang sudah tidak digunakan yang dihasilkan dari proses konstruksi, perbaikan, atau perubahan atau barang apapun yang diproduksi dari suatu proses ataupun suatu ketidaksengajaan yang tidak dapat langsung dipergunakan pada tempat tersebut tanpa adanya suatu perlakuan lagi.

Secara khusus sisa material pada sektor konstruksi juga biasa disebut sebagai *waste* yang merupakan kelebihan kuantitas material yang digunakan/didatangkan, yang tidak menambah nilai suatu pekerjaan.

#### **2.4.2 Jenis-Jenis Sisa Material Konstruksi**

Terdapat 3 jenis sisa material yang ditemukan dalam konstruksi yaitu sisa material yang dapat di daur ulang (*recycleable*), sisa material berbahaya (*hazardous*), dan sisa material yang akan dibuang ke tempat pembuangan akhir (*landfill material*). Komposisi sisa material konstruksi dikategorikan dengan berbagai cara, tergantung bagaimana cara memandang sisa material tersebut.

Ada 3 faktor utama untuk mengategorikan sisa material konstruksi, yaitu :

1. Tipe struktur (bangunan tempat tinggal, industri, dan komersial)
2. Ukuran struktur (*low rise, high rise*)
3. Aktivitas yang sedang dilakukan (konstruksi, renovasi, perbaikan, perubahan).

Faktor lain yang mempengaruhi banyaknya sisa material konstruksi adalah besarnya proyek yang dikerjakan keseluruhan, lokasi proyek (di laut, di darat, di gunung, di kota, pinggiran), material yang digunakan dalam konstruksi, metode yang digunakan, penjadwalan, dan metode penyimpanan material.

#### **2.4.3 Klasifikasi Sisa Material Konstruksi**

Secara umum sisa material konstruksi dapat dikategorikan dalam 4 jenis, yaitu :

1. Sisa Material Alami (*Natural Waste*)

Sisa material alami adalah sisa material yang dalam pembentukannya tidak dapat dihindarkan, misalnya pemotongan kayu atau penyambungan atau cat yang menempel pada kalengnya saat pengecatan. Sisa material ini terbentuk secara alami dalam batas toleransi. Namun ada kalanya sisa material alami ini menimbulkan sisa material langsung yang cukup besar jika tidak dilakukan pengontrolan yang baik, misalnya pada waktu pembuatan spesi,

penuangan semen kadang tercecer ke tanah, jika tidak dilakukan pengontrolan maka cecceran semen semakin lama akan menjadi banyak.

## 2. Sisa Material Langsung

Sisa material langsung adalah sisa material yang terjadi pada setiap pembangunan. Biasanya sisa material ini terbentuk pada saat penyimpanan, pada saat material dipindahkan ke tempat kerja, atau pada saat proses pengerjaan tahapan pembangunan itu sendiri. Bila tidak dilakukan kontrol yang baik, sisa material ini akan menyebabkan kerugian yang cukup besar terutama dari segi biaya. Beberapa kategori sisa material langsung adalah akibat kegiatan sebagai berikut :

- a. Sisa material akibat adanya kegiatan pengiriman, yaitu kehilangan pada saat pengiriman ke lokasi, penurunan barang dan saat penempatan ke gudang. Atau pada waktu pengangkutan yang tidak efektif sehingga kualitas barang menurun, dan barang tidak terpakai akhirnya menjadi sisa material.
- b. Penyimpanan di gudang dan penyimpanan sementara di sekitar bangunan adalah sisa material yang disebabkan oleh penyimpanan yang buruk.
- c. Sisa material akibat proses perubahan bentuk material, adalah sisa material yang disebabkan oleh proses perubahan bentuk material dari aslinya.
- d. Sisa material selama proses perbaikan, adalah sisa material yang dihasilkan selama proses perbaikan.
- e. Sisa material sisa, adalah sisa material yang dihasilkan dari material kalengan, seperti cat dan bahan plester yang tersisa pada tempatnya dan tidak digunakan.
- f. Penggunaan lahan yang tidak efektif, adalah lahan yang tidak digunakan secara optimal, sehingga menyebabkan tidak efisien. Manajemen yang kurang baik.
- g. Sisa material akibat penggunaan yang salah.
- h. Sisa material akibat spesifikasi material yang salah.
- i. Sisa material yang ditimbulkan akibat kurang terampilnya pekerja.

## 2.5 Metode Optimasi Sisa Material Besi Tulangan

### 2.5.1 Sisa Material Besi Tulangan

Besi tulangan merupakan salah satu bahan dasar bangunan yang memiliki peranan

penting dalam satu kesatuan bangunan. Besi tulangan menjadi pondasi dari berdirinya bangunan karena dipakai hampir diseluruh bagian bangunan. Pada tahap awal konstruksi, bentuk bangunan dibuat dari bermacam-macam besi tulangan, sesuai dengan kebutuhan bangunan. Besi tulangan dibuat oleh pabrik dengan panjang standar sebesar 12 m. Satu batang besi tulangan yang dihasilkan oleh pabrik dengan panjang standar tersebut biasanya dihitung sebagai satu *rol bar steel*. Oleh karena itu, besi tulangan dipotong-potong sesuai dengan kebutuhan bentuk bangunan. Saat perancangan, arsitek yang merancang bangunan telah memiliki perhitungan mengenai panjang-panjang besi tulangan yang digunakan, sehingga dapat ditentukan kebutuhan panjang besi tulangan untuk konstruksi

Adanya keterbatasan mesin penghasil besi tulangan dan bermacam- macamnya ukuran besi tulangan yang diinginkan oleh konsumen menimbulkan beberapa permasalahan dalam menangani keterbatasan mesin produksi besi tulangan pada pabrik produsen besi tulangan. Masalah pertama adalah *assortment problem*, yaitu permasalahan untuk menentukan ukuran- ukuran *rol* besi tulangan yang harus diproduksi yang paling mendekati pemenuhan terhadap kebutuhan konsumen sehingga stok yang terpakai minimal. Masalah yang kedua adalah permasalahan untuk menemukan pola terhadap *rol* besi tulangan yang dihasilkan pabrik menjadi potongan-potongan yang lebih kecil untuk memenuhi kebutuhan konsumen.

Jenis stok material, terutama besi tulangan, dalam bentuk *rol* yang dihasilkan dari bahan bangunan umumnya mempunyai ukuran panjang terbatas karena adanya keterbatasan kemampuan mesin yang digunakan. Ukuran *rol* besi tulangan yang dihasilkan ini jarang sesuai dengan ukuran yang diinginkan oleh konsumen yang membutuhkan ukuran yang beraneka ragam.

Negara dengan jumlah konstruksi "*capital-intensive*" cukup tinggi menggunakan mesin CNC (*Computerized Numerically Controlled Machine*) untuk memproduksi besi tulangan sampai dengan ukuran 16 mm dalam bentuk umparan/gulungan. Mesin ini termasuk kategori (A) berdasarkan Navon, Rubinovitz dan Coffler (1996). Dengan metode ini, jumlah material yang hilang hampir 0%. Akan tetapi, pada negara yang belum membuat besi tulangan dalam bentuk kumparan, jumlah sisa/*waste* dari material tidak dapat dihindari. Contohnya adalah di Korea. Di Korea, baja tulangan masih dijual dalam bentuk *straight bar*, sehingga pasti masih ada buangan ketika ada proses pemotongan sama halnya dengan di Indonesia kita juga masih menggunakan besi tulangan dengan jenis *straight bar*.

Jumlah sisa/buangan akan meningkat jika pemesanan material tidak direncanakan dengan baik. Jumlah itu akan meningkat sesuai dengan penggunaan ukuran tulangan (Kim 2002). Jumlah itu bisa dikurangi jika pemesanan dilakukan dengan seksama sesuai dengan rancangan. Dalam kondisi tertentu, pemesanan tulangan dengan panjang tertentu dari pabrik baja juga bisa mengurangi sisa besi tulangan.

### **2.5.2 Penyebab Terjadinya Sisa Material Besi Tulangan**

Jumlah material yang tersisa bisa mencapai 5-10% dari jumlah material pada tahap *bidding*, pada negara yang belum menggunakan tulangan dalam bentuk kumparan. Kim (1987) menunjukkan bahwa tingkat kehilangan besi tulangan dari suatu proyek konstruksi lebih banyak dibandingkan pada bangunan yang cenderung menggunakan panjang dan ukuran tulangan yang sama berulang-ulang. Penyebab utama yang mempengaruhi banyaknya material sisa adalah sebagai berikut :

1. Yang banyak menghasilkan sisa adalah pemesanan tulangan pada pabrik baja yang tidak akurat dan sesuai dengan konstruksi dan “*bar schedule*” serta tidak memperhatikan tulangan surplus dari proses konstruksi.
2. Material juga terbuang percuma ketika tulangan dengan panjang 2-3 meter tidak digunakan lagi setelah dipotong. Yang paling efektif adalah jika panjang pemotongan minimal 1 meter, karena biaya pemotongan untuk tulangan dengan ukuran dibawah 1 meter akan lebih mahal. Penghematan sampai sebesar 1 % dapat dicapai jika dilakukan perancangan tulangan dengan mempertimbangkan gambar struktur, dan pemilihan dan pengkombinasian ukuran tulangan yang tepat dapat dilakukan sehingga tidak menghasilkan sisa lebih dari 1m. (Kim 1997).
3. Penelitian juga menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya 1 % *loss rate* jika dilakukan pemotongan tulangan tanpa mempertimbangkan *bending margin*.
4. Salah satu yang paling sering terjadi adalah kegagalan dari manajemen inventaris dari pemotongan dan pembengkokan tulangan.
5. Kualitas pekerjaan tulangan yang tidak terkontrol.
6. Kesalahan manajemen pada fabrikasi besi tulangan dan *lay out* dari mesin potong dan mesin pembengkok tulangan.
7. Kualitas pekerja yang diperkerjakan oleh subkontrakt

## **2.6 Sistem Software *Cutting Optimization Pro***

Perangkat lunak yang dibangun merupakan perangkat lunak yang berbasis *desktop*. Secara umum perangkat lunak ini dibuat untuk mempermudah pekerjaan perusahaan konstruksi dalam melakukan pemotongan terhadap besi tulangan yang merupakan salah satu bahan baku dalam usaha konstruksi. Perangkat ini dapat melakukan proses pola potongan yang optimal.

