

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 PENDAHULUAN

Material merupakan komponen yang penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek, lebih dari separuh biaya proyek diserap oleh material yang digunakan (Nugraha, 1985). Pada tahap pelaksanaan konstruksi penggunaan material di lapangan sering terjadi sisa material yang cukup besar, sehingga upaya untuk meminimalisasi sisa material 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 (Gavilan, 1994), yaitu :

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 (Gavilan, 1994), 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 kesalahan-kesalahan pada proyek yang telah lampau yang dimasukkan dalam langkah-langkah perencanaan.

Menurut Oguri (1990)⁶ dari semua fungsi manajemen industri konstruksi, seperti perencanaan, pengorganisasian dan pengendalian, maka fungsi yang memegang peranan paling besar selama tahap pelaksanaan proyek adalah pengendalian proyek. Untuk itu, diperlukan perhatian yang lebih besar terhadap proses pengendalian proyek supaya proyek dapat berjalan dengan baik.

Bahwa definisi dari pengendalian menurut RJ. Mockler (1972)⁷ 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.

Rangkaian *input*, *transformation*, *feedback*, analisis dan tindakan koreksi adalah hal yang fundamental pada teori suatu sistem pengendalian, jelasnya bahwa sistem ini membutuhkan respon yang memadai terhadap perubahan kondisi lingkungan, memperoleh *feedback* dari *output* dan

⁶ Oguri, T. (1990). Project Planning and Control. Japan, JGC Corporation of Japan

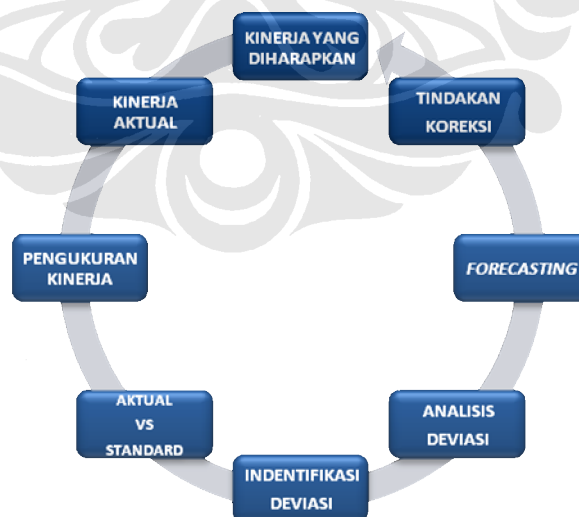
⁷ Mockler, J. R. (1989). Knowledge Based for Management Decisions. Singapore, Prentice Hall

membandingkan dengan *performance* pada tahap disain adalah suatu kegiatan yang amat penting pada proses pengendalian.

Input network plan proyek (sumber daya, waktu dan biaya) di transformasi ke *output (performance* proyek). Informasi tentang *progress* dan *cost performance (feedback)* diterima dari lapangan kerja dan ditabulasi dalam bentuk format yang diinginkan sebagai *progress cost report* (Ahuja, 1976). Kemudian membandingkan antara *actual performance* dengan *planned performance*.

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 diatas 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 aktual 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 sebagaiantisipasi, karena *cost overrun* dapat menambah biaya akhir proyek dan meminimalkan keuntungan (Halpin; 1998)⁸.

Menurut Roy (1976)⁹, pengendalian biaya adalah keseluruhan proses pengendalian dari pemakaian biaya dalam suatu proyek mulai dari pemikiran ide klien sampai tahap penyelesaian proyek serta pembayaran final hasil pekerjaan. Sedangkan menurut Humpreys (1991)¹⁰, pengendalian biaya berarti mengatur pemakaian biaya selama pelaksanaan proyek dengan tetap menjaga kualitas sesuai dengan rencana dan proyek selesai dengan waktu yang telah ditentukan.

⁸ Halpin, D.W. (1998). Loc Cit. Hal 251-283

⁹ Roy, P. (1997). Principles of Construction Management, Mc Graw Hill

¹⁰ Humpreys, K.K. Loc Cit

Terdapat 10 (sepuluh) prinsip untuk mendapatkan pengendalian biaya proyek yang efisien, yaitu : ¹¹

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) ¹² 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

Penyebab penyimpangan biaya material yang terjadi pada kedua faktor dapat dirinci sebagai berikut :

1. Faktor kuantitas

¹¹ Jim Zhan, A Project Cost Control Model, (ASCE – Journal of Cost Engineering. December 1998)

¹² Warszawski, A. (1982). Cost Control Under Inflation in Construction Company. Journal of the Construction Divisions 107 (No. C04 December)

- a. Kesalahan dalam penerimaan material (kuantitas dan mutu), bila mutu material tidak sesuai, berarti harus mendatangkan material lagi sebagai pengganti
 - b. Kerusakan material yang sudah diterima
 - c. Kehilangan material
 - d. Pemborosan penggunaan material
 - e. Penolakan (*reject*) dari konsultan terhadap material yang sudah diterima
 - f. Kesalahan pelaksanaan sehingga pekerjaan harus diulang (*rework*)
 - g. Dan lain-lain
2. Faktor harga satuan
 - a. Kelemahan negoisasi dengan *supplier*
 - b. Kelemahan pasal-pasal dalam surat perjanjian pembelian
 - c. Kekurangan alternatif sumber
 - d. *Over quality* dari persyaratan yang ada
 - e. Dan lain-lain

Proses pengendalian biaya material dapat diuraikan seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Proses pengendalian material

TAHAPAN PROSES	ACUAN PENGENDALIAN	PELAKU PENGENDALIAN
1. Penunjukan Supplier	1. Supplier bonafid dan telah terdaftar	1. Kepala wilayah / cabang / proyek
2. Negoisasi	2. Kekuatan, informasi dan waktu	2. Kepala wilayah / cabang / proyek
3. Surat Perjanjian (kontrak)	3. Harga, kualitas dan waktu penyerahan barang	3. Kepala wilayah / cabang / proyek / bagian logistik

Tabel 2.1 Proses Pengendalian Material (Sambungan)

TAHAPAN PROSES	ACUAN PENGENDALIAN	PELAKU PENGENDALIAN
4. Proses Pengadaan	4. Jadwal pengadaan barang	4. Bagian Logistik
5. Penerimaan Material	5. Metode pengukuran, cek kualitas, berita acara pembayaran	5. Bagian Logistik / gudang
6. Pembayaran Material	6. Syarat-syarat pembayaran	6. Bagian Keuangan
7. Penyimpanan Material	7. Keamanan dan terlindung dari kerusakan	7. Bagian gudang
8. Fabrikasi Material	8. Perencanaan fabrikasi	8. Pelaksana
9. Pemasangan / penggunaan langsung	9. Ketepatan dan kehematan	9. Pelaksana
10. Sisa Material	10. Pemanfaatan	10. Kepala proyek / bagian gudang / logistik

Sumber : Ir.Asiyanto, MBA, IPM. *Manajemen Produksi Untuk Jasa Konstruksi*. 2005.
Jakarta : PT. Kresna Prima Persada

Pengendalian biaya material untuk kebutuhan proyek dilakukan untuk menentukan kebutuhan riil material proyek guna mendukung pelaksanaan proyek di lapangan. Adapun kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam pengendalian biaya material adalah ¹³:

1. Menghitung volume keseluruhan material pokok atau utama berdasarkan gambar.

¹³ PT PP, Buku Referensi untuk Kontraktor Bangunan Gedung dan Sipil, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003

2. Mencocokkan dengan volume dalam RAP (Rencana Anggaran Pelaksanaan).
3. Membuat SPP (Surat Permintaan Pembelian) material sebesar max. 80 % dari total volume rencana, kecuali untuk material impor, agar dihitung secara tepat dan dipesan 100 %.
4. Untuk material yang perlu mendapatkan persetujuan pemilik proyek :
 - a. Mendapatkan contoh material yang harga satuannya lebih murah dari RAP, tetapi masih bisa diterima spesifikasinya.
 - b. Mengajukan contoh material tersebut untuk disetujui pemilik proyek.
 - c. Membuat persetujuan tertulis.
5. Melakukan negosiasi harga dengan *supplier* dan menyiapkan surat.
6. Membuat surat pemesanan material dengan volume maksimum sebesar surat permintaan pembelian dan harga satuan sesuai negosiasi.
7. Melampirkan jadwal pengiriman material dalam surat pemesanan material.
8. Membuat surat pemesanan material dengan kondisi *Lump Sum Fixed Price* dan pasal-pasal sesuai kontrak yang telah dibuat kontraktor dengan pemilik proyek.
9. Melakukan pengendalian periodik dilakukan atas realisasi penerimaan material dan dengan memperhitungkan sisa pekerjaan.

Untuk jenis-jenis proyek tertentu, seperti misalnya proyek gedung, peranan sumber daya material sangat dominan terhadap kelancaran pelaksanaan. Oleh karena itu, perhitungan jenis dan jumlah bahan yang diperlukan harus dihitung secara cermat.

Didalam proses menghitung kuantitas material yang dibutuhkan termasuk jadwalnya, sangat penting untuk menetapkan tingkat *waste* material yang akan terjadi. Karena jumlah pengadaan harus meliputi *quantity waste* yang ada.

Tingkat *waste material* dapat dikendalikan tergantung dari kemampuan dari personil atau organisasi suatu proyek dimana masing-masing organisasi tentunya memiliki tingkat *waste* yang berbeda-beda.

Bahkan dalam suatu organisasi, *waste* yang terjadi pada tiap sub organisasi dapat berbeda-beda.

Tingkat *waste* yang kecil menunjukkan bahwa organisasi yang bersangkutan efisien. Oleh karena itu, penting sekali diketahui tingkat *waste* yang ada, agar dapat membuat program peningkatan efisiensi.

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 :

a. 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.

b. 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.

c. 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.

d. 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.

e. 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.

f. Risiko Kerusakan (*Detorioration*)

Ada barang yang disimpan lama, kemudian dapat berubah secara kimiawi atau secara fisika. Jadi risiko kerusakan ini juga harus dipertimbangkan apabila barang yang disimpan mempunyai sifat peka terhadap waktu. Risiko kerusakan ini, misalnya berubah susunan kimiawi, susut dan sebagainya

g. Risiko Kadaluarsa (*Obsolescence*)

Barang yang disimpan akan mempunyai risiko untuk menjadi kadaluarsa atau *obsolete* karena kadang-kadang suatu barang mempunyai umur tertentu yang telah ditetapkan oleh supplier atau karena adanya perkembangan teknologi suatu barang yang lama disimpan akan turun nilainya atau tidak laku dijual lagi.

2. 2. 2 Fungsi Pengendalian Biaya Material

Pada proyek-proyek konstruksi, material dan peralatan merupakan bagian terbesar dari proyek, yang nilainya bisa mencapai 50% - 60% dari total biaya proyek (Soeharto 1995). Sedangkan pengadaan material pada proyek konstruksi merupakan fungsi utama dari kegiatan konstruksi yang nilainya antara 25% - 40% dari anggaran proyek, sehingga penambahan waktu dari pemesanan, pengiriman serta penanganan material konstruksi seringkali dapat berdampak kegiatan pengadaan material menjadi kegiatan kritis pada suatu proyek dalam menentukan keberhasilan proyek (Ritz 1994).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Leonard E. Bernold dan John F. Treseler pada tahun 1979, didapat bahwa biaya manajemen material secara luas dapat menghabiskan 60%

dari biaya proyek, sebagai bandingan bidang manufaktur biaya manajemen material pada saat itu dianggarkan 1% dari biaya proyek sedangkan pada bidang konstruksi hanya 0.15%. Sehingga dari beberapa kasus pembangunan gedung perkantoran, akibat tidak efektifnya manajemen material pada saat itu mengakibatkan peningkatan waktu atau keterlambatan pekerjaan sebesar 18% dari waktu yang ditentukan dan menyebabkan terjadinya *cost overrun*.

Berdasarkan uraian diatas bahwa pengendalian terhadap material merupakan faktor penting di dalam penendalian biaya proyek. Pengendalian material mempunyai peranan penting di dalam kemajuan dan produktivitas proyek. Pengendalian material itu sendiri terdiri dari hubungan antara jumlah dan mutu material, pengiriman, penjadwalan dan biaya (Kerridge 1987)

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 :

a. 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.

b. 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.

c. *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 :

1. Mengurangi kelebihan *bulk material* (material curah)

2. Menentukan tindakan yang perlu diambil untuk mengatasi kekurangan material

d. Penyimpanan dan Pengamanan Material

Pengendalian penyimpanan diperlukan untuk membuat suatu perkiraan kebutuhan yang akan datang, sehingga dapat dilakukan penambahan stok material. Informasi mengenai keadaan persediaan material di lapangan, dipercayakan kepada pengawas, sehingga dengan adanya informasi ini kebutuhan material pada saat dibutuhkan akan tersedia.

Sistem penanganan material memerlukan evaluasi secara periodik untuk efisiensi. Jika seluruh material disimpan di gudang, maka biaya penyimpanan akan tinggi. Untuk mengurangi biaya penyimpanan yang tinggi, maka material seperti kayu gelondongan, tulangan beton dan scaffolding disimpan di luar gudang. Namun kayu jadi, pipa, peralatan listrik harus disimpan di gudang dan pengiriman material ke lapangan hanya dilakukan pada saat akan digunakan.

Material yang digunakan adalah material yang pertama dipesan atau material yang pertama masuk ke gudang penyimpanan untuk menghindari terjadinya kerusakan material. Kehilangan material dapat diminimalkan dengan pengaturan material yang cukup dan pencahayaan lampu, keberadaan satpam, lokasi parkir yang cukup jauh dari penyimpanan. Kendaraan dan orang tidak boleh memiliki kemudahan akses masuk ke gudang penyimpanan.

e. Ekspedisi

Kegiatan ekspedisi memiliki peran untuk menjamin pemasok dalam mensuplai material/peralatan ke proyek dengan tepat waktu serta sesuai dengan pesanan pembelian (Stukhart 1955). Kegiatan ini hendaknya dilakukan sejak awal dengan memilih yang kritis atau dengan mengunjungi bengkel atau pabrik tempat pembuatan material.

Kunjungan ini dimaksudkan untuk mengetahui dari dekat apabila fasilitas dan pekerjaan di pabrik telah dilaksanakan dengan semestinya. Apabila terlihat potensi keterlambatan, masalah ini menjadi tugas dari bagian pengawasan untuk merundingkan jalan keluar dan cara-cara mengatasinya, seperti mengusulkan jalur pengiriman yang paling singkat (Soeharto 1995).

f. Quality Assurance / Quality Control (Stukhart 1995)

Penerima material harus bekerja sama dengan pegawai bagian QA/QC untuk menjamin material dan peralatan yang diterima dan yang diperiksa telah memenuhi spesifikasi dan order pemesanan.

Penerima di lapangan harus bertanggung jawab untuk mengumumkan dan bekerja sama dengan bagian QA/AC ketika pengiriman di terima. Material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dan pesanan pembelian ketika diterima harus segera diidentifikasi dan bekerja sama dengan *supplier* atau *fabricator* untuk pengembalian atau memperbaiki tersebut di lokasi konstruksi.

2. 2. 3 Penyimpangan Biaya Material

Penyimpangan biaya proyek adalah penyimpangan biaya yang diakibatkan biaya pelaksanaan tidak sesuai dengan biaya rencana yang terjadi pada tahap konstruksi proyek.

Menurut penelitian yang dilakukan Jim Zhan penyimpangan biaya proyek terdiri dari beberapa variabel yaitu : *labor, materials, equipment, subcontracts, general condition, dan overhead*. Pada sub bab berikut akan dipaparkan mengenai beberapa penelitian dan pendapat pakar perihal penyimpangan biaya material

Menurut Johnston (1987), penyebab terjadinya penyimpangan yaitu :

- a. Kelebihan material di lokasi
- b. Kerusakan material di lokasi
- c. Kehilangan material di lokasi
- d. Menunggu material tiba di lokasi
- e. Sering adanya perpindahan material

Penyebab terjadinya penyimpangan biaya material menurut Hamzah (1994) antara lain :

- a. Inflasi
- b. Perubahan dalam situasi pembelian mulai dari estimasi yang telah disiapkan, *bulk material*, diskon, kekurangan dan perubahan jumlah permintaan dengan jumlah material yang ada.

Sedangkan penyebab terjadinya penyimpangan mutu jumlah material menurut (Hamzah 1994), antara lain :

- a. Pemborosan dan kerusakan
- b. Pencurian dan kehilangan
- c. Pengiriman material
- d. Perbaikan pekerjaan
- e. Keterlambatan dalam sistem penyimpanan
- f. Kurang akuratnya ukuran lokasi pekerjaan

Penyebab utama terjadinya kelebihan biaya material menurut Ahuja (1976), antara lain :

- a. Material *take off*
- b. Pemborosan
- c. Pencurian
- d. Kurang akuratnya perkiraan jumlah pengiriman
- e. Tidak ekonomisnya rencana jumlah pemesanan
- f. Rendahnya waktu pengiriman
- g. Tidak cukupnya perlengkapan
- h. Meningkatnya biaya transportasi
- i. Kelebihan penggunaan material di lokasi
- j. Kesalahan dalam pemilihan material

- k. Meningkatnya biaya penyimpanan
- l. Rendahnya kemampuan pembelian
- m. Kesalahan ekspedisi
- n. Keterlambatan dalam pembayaran material
- o. Rendahnya kebijaksanaan dalam pembelian

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 dapat juga didefinisikan sebagai suatu sistem yang mengkoordinasikan aktivitas-aktivitas untuk merencanakan dan mengawasi volume dan waktu terhadap pengadaan material melalui penerimaan/perolehan, perubahan bentuk dan perpindahan dari bahan mentah, bahan yang sedang dalam proses dan bahan jadi (Stonebraker 1994).

Sedangkan menurut Kini. U (1999), material manajemen adalah suatu sistem manajemen yang mengintegrasikan antara pembelian, pengiriman dan pengendalian material dari pemasok.

Berdasarkan beberapa pengertian diatas, 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 :

- a. Perencanaan dan penjadwalan material
- b. Pembelian dan pengiriman material
- c. Pemeriksaan dan *quality control* material
- d. Penyimpanan dan pengawasan material
- e. Penanganan dan distribusi material (Lim Lan Yuan and Pheng 1992)

Manajemen material dibagi ke dalam 3 kelompok, yaitu :

- a. Pengadaan
- b. Pengendalian
- c. Koordinasi material (Humphreys 1991)

Menurut ahuja (1980) ada 3 faktor penting dalam manajemen material, yaitu :

- a. Pembelian material
- b. Penggunaan material
- c. Pengendalian pemborosan dan penyimpanan

2. 3. 3 Fungsi dan Kegunaan Manajemen Material

Fungsi dari manajemen material adalah :

- a. Mengurangi risiko kekurangan bahan
- b. Mengantisipasi ketidakpastian dalam perencanaan material
- c. Mengurangi faktor ketergantungan kepada pemasok
- d. Meningkatkan keuntungan perusahaan (Lim Lan Yuan and Pheng 1992)

Keuntungan penggunaan manajemen material adalah sebagai berikut :

- a. Pengontrolan dan persediaan menjadi lebih mudah dan sederhana
- b. Pekerjaan di bidang administrasi berkurang banyak
- c. Berbagai permasalahan dari jadwal pengiriman, permintaan darurat dan penyimpanan dapat diminimalkan (Heinritz 1991)

Manajemen material ditujukan untuk mendukung agar dapat menjamin penyelesaian pelaksanaan proyek konstruksi secara efektif dan efisien. Adapun tujuan dari manajemen material tersebut meliputi (Handoko 1994):

- a. Pembelian dengan harga yang baik

Manajemen material bertujuan membeli material dengan harga yang baik. Dimana harga yang baik itu tidak selalu harga yang murah di pasaran. Harga tersebut adalah harga yang sudah termasuk diskon dan transport.

- b. Persediaan material

Material datang pada saat yang tepat dengan jumlah dan kualitas yang sesuai dengan rencana biaya yang sekecil-kecilnya.

- c. Kelancaran pengiriman

Menyangkut aktivitas pekerjaan yang berhubungan langsung dengan waktu dan biaya.

d. Hubungan dengan pemasok

Hubungan yang baik dengan pemasok akan memberikan peningkatan pelayanan pada kontraktor.

e. Penyimpanan material

Penyimpanan material merupakan suatu kegiatan untuk melakukan pengaturan persediaan material di tempat penyimpanan. Penerimaan material haruslah sesuai dengan spesifikasi pesanan yang telah ditentukan.

f. Pemakaian material

Pada dasarnya pemakaian material yang dibutuhkan dapat dipenuhi sesuai dengan waktu yang dibutuhkan.

g. Jenis dan kualitas material

Banyak hal yang bisa terjadi pada saat pengiriman material oleh pemasok, antara lain tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dan banyak terjadi kerusakan material. Maka tugas manajemen material adalah untuk dapat menentukan kualitas pemasok.

h. Sistem administrasi

Menyediakan pelayanan administrasi logistik yang efektif dan efisien.

Sedangkan tujuan pemakaian konsep manajemen material menurut Ansari and Mondares (1990), yaitu :

- a. Menurunkan biaya operasi
- b. Memusatkan pembelian di bawah tanggung jawab tunggal
- c. Mengurangi *inventory*
- d. Menaikkan daya beli (*purchasing power*)
- e. Memperbaiki efisiensi fungsional di semua daerah
- f. Mengurangi harga beli/pembelian (*purchase price*)

Banyak ahli dalam bidang pembelian (*purchasing*) membuktikan bahwa manajemen material seharusnya

mengendalikan penguasaan, perubahan dan penyaluran arus material dari pemasok kepada pembeli, termasuk bahan mentah, bahan setengah jadi (di proses di lapangan) dan barang jadi.

Pada tahun 1969 Ammer melawan pandangan luas tentang hal ini dan mengemukakan bahwa fungsi manajer material seharusnya dimulai dengan memilih pemasok dan mengakhirinya dengan kapan material diantar pada saat hamper digunakan.

Ammer melihat keuntungan dengan pandangan yang lebih terbatas :

- a. Pengontrolan kekuatan kerjasama antara pembelian dan produksi
- b. Pengontrolan *inventory* yang lebih sempit
- c. Mengkoordinasi efisiensi dalam tiap bagian (*department*)
- d. Mendapatkan komunikasi yang lebih baik antara manajemen operasi dan berbagai macam aktivitas manajemen material (Ammer 1986)

Tabel 2.2 Proses pengendalian material

AKTIVITAS	FUNGSI PRIMER	FUNGSI SEKUNDER
Pembelian	Negoisasi dan menyakinkan adanya material pada waktu yang tepat, kuantitas dan kualitas yang tepat, harga yang tepat dan pemasok yang tepat	Memilih pemasok, melancarkan, menciptakan hubungan pemasok yang baik dengan fungsi pekerjaan yang lain, seperti sebagai penerimaan dan engineering
Pengontrolan Inventory	Memastikan pemeliharaan dari Inventory yang cukup seimbang dari bagian-bagian dan material-material dengan minimum investment	Menyimpan laporan dari penggunaan bagian-bagian dan material dalam proses produksi dan pada pemesanan

Tabel 2.2 Proses pengendalian material (Sambungan)

AKTIVITAS	FUNGSI PRIMER	FUNGSI SEKUNDER
Pengontrolan produksi	Menentukan seluruh jadwal produksi untuk material pada facilitate production	Menghitung permintaan material menggunakan bill of material dan spesifikasi yang diberikan oleh
Lalu Lintas	Memilih pembawa, menentukan jumlah biaya transportasi dan mengurangi biaya transportasi keseluruhan	Memeriksa kedatangan muatan, muatan yang keluar dan transportasi daerah internal
Penanganan Material	Menerima, menangani dan memindahkan material fisik ke area produksi	Mengurangi biaya penanganan per uni material dari satu lokasi ke lokasi lainnya
Penerimaan dan penyimpanan	Mengidentifikasi, memeriksa kuantitas, mengawasi kualitas, menyiapkan laporan kedatangan material dan penyimpanan fisik seluruh material	Memberikan pelayanan pada fungsi lain, menjaga material terhadap pencurian dan menyalurkan semua item

Sumber : Ansari and Mondares, 1990

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 diperlukan. 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 (bonafid), setelah itu baru dipertimbangkan faktor harga (Nugraha, 1985)
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 berbeda-beda, 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 keluar 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 (Skoyles, 1976)
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* (Stuckhart, 1995)
3. Melakukan penumpukan material dengan benar, baik jumlah penumpukan yang diperbolehkan sesuai dengan rekomendasi pabrik maupun metode penumpukan.
4. Pindahan material dari tempat penyimpanan ke tempat kerja harus dilakukan dengan hati-hati.
5. Penataan *site* dibuat sebaik mungkin, sehingga arus material jalannya pendek dan aman (Thomas, 1989).

2. 3. 4. 4 Pemakaian material

Pada tahap ini sisa material dapat timbul karena :

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)
4. 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, barang yang tak berharga, bahan atap, bahan plumbing, bahan instalasi listrik¹⁴

Sisa material secara umum didefinisikan sebagai substansi atau suatu objek dimana pemilik punya keinginan untuk membuang¹⁵. Sedangkan sisa material konstruksi didefinisikan sebagai material yang sudah tidak digunakan yang dihasilkan dari proses konstruksi, perbaikan, atau perubahan¹⁶ atau barang apapun yang diproduksi dari suatu proses ataupun suatu ketidaksengajaan yang tidak dapat langsung dipergunakan pada tempat tersebut tanpa adanya suatu perlakuan lagi¹⁷

Dalam literatur lain sisa material didefinisikan sebagai limbah berupa sampah atau kotoran dari hasil penanganan limbah, fasilitas pengendalian polusi dan lain-lain yang mencemari lingkungan. Limbah merupakan juga material yang dibuang, yang termasuk padat, *liquid*, *semi-solid*, atau berisi material berupa gas, yang merupakan hasil industri, komersil, menambang, aktivitas agrikultur, dan aktivitas masyarakat.

Secara khusus sisa material pada sektor konstruksi juga biasa disebut sebagai *waste*¹⁸ 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

¹⁴ Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Eliassen, R (1977) solid waste : Engineering Principles and Management Issues Mc Graw-Hill Book Co., New York, N.Y.

¹⁵ Waste

¹⁶ Franklin Associates. Praire village. "Characterization of Bulding Related Construction on Demolition Debris in USA". Environmental Protections Agency (EPA).1998.

¹⁷ Diana Eichweld. " Construction Waste : Environmental Issues". The 20th IRMI Construction Risk Convrence. 2000

¹⁸ Ir.Asiyanto, MBA, IPM. Manajemen Produksi Untuk Jasa Konstruksi. 2005. Jakarta : PT. Kresna Prima Persada

material yang akan dibuang ke tempat pembuangan akhir (*landfill material*)¹⁹. Komposisi sisa material konstruksi dikategorikan dengan berbagai cara, tergantung bagaimana cara memandang sisa material tersebut. Ada 3 faktor utama untuk mengategorikan sisa material konstruksi²⁰, yaitu :

1. Tipe struktur (bangunan tempat tinggal, industri, dan komersil)
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 jenis²¹, 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 ceceran semen semakin lama akan menjadi banyak.

¹⁹ Hal Johnston, William R. Mincks. "Waste Management for Construction Manager", part of the American Association of Cost Engineering, Morgantown, 1992.

²⁰ ICF Incorporated. "Construction and Demolition Waste Landfill" prepared for EPA office of Solid Waste, 1995.

²¹ E.R Skoyles."Waste Prevention On Site". Great Britain : Butler & Tanner Ltd. 1987 : 18

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.
- 3. Sisa Material Tidak Langsung
- 4. Sisa Material Konsekuensi (*consequential waste*)

Menurut Tchobanoglous et al 1976²², sisa material yang timbul selama pelaksanaan konstruksi dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu:

1. *Demolition waste* adalah sisa material yang timbul dari hasil pembongkaran atau penghancuran bangunan lama.
2. *Construction waste* adalah sisa material konstruksi yang berasal dari pembangunan atau renovasi bangunan milik pribadi, komersil dan struktur lainnya. Sisa material tersebut berupa sampah yang terdiri dari beton, batu bata, plesteran, kayu, sirap, pipa dan komponen listrik.

Construction Waste menurut Skoyles 1976 dapat digolongkan kedalam dua kategori berdasarkan tipenya yaitu: *direct waste* dan *indirect waste*.

2. 4. 3. 1 Direct waste

Direct waste adalah sisa material yang timbul di proyek karena rusak dan tidak dapat digunakan lagi yang terdiri dari:

a. Transport & Delivery Waste

Semua sisa material yang terjadi pada saat melakukan transportasi material di dalam lokasi pekerjaan, termasuk pembongkaran dan penempatan pada tempat penyimpanan seperti membuang/melempar semen, keramik pada saat dipindahkan.

b. Site Storage Waste

²² Tchobanoglous, G...,Theisen, H., and Eliassen, R (1977) solid waste : Engineering Principles and Management Issues Mc Graw-Hill Book Co., New York, N.Y.

Sisa material yang terjadi karena penumpukan / penyimpanan material pada tempat yang tidak aman terutama untuk material pasir dan batu pecah, atau pada tempat dalam kondisi yang lembab terutama untuk material semen.

c. *Conversion Waste*

Sisa material yang terjadi karena pemotongan bahan dengan bentuk yang tidak ekonomis seperti material besi beton, keramik, dan sebagainya.

d. *Fixing Waste*

Material yang tercecer, rusak atau terbang selama pemakaian di lapangan seperti pasir, semen, batu bata, dan sebagainya.

e. *Cutting Waste*

Sisa material yang dihasilkan karena pemotongan bahan seperti, tiang pancang, besi beton, batu bata, keramik, besi beton, dan sebagainya.

f. *Application & Residu Waste*

Sisa material yang terjadi seperti mortar yang jatuh/tercecer pada saat pelaksanaan atau mortar yang tertinggal dan telah mengeras pada akhir pekerjaan.

g. *Criminal Waste*

Sisa material yang terjadi karena pencurian atau tindakan perusakan (*vandalism*) di lokasi proyek.

h. *Wrong Use Waste*

Pemakaian tipe atau kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak, maka pihak direksi akan memerintah kontraktor untuk menggantikan material tersebut yang sesuai dengan kontrak, sehingga menyebabkan terjadinya sisa material di lapangan.

i. *Management Waste*

Terjadinya sisa material disebabkan karena pengambilan keputusan yang salah atau keragu-raguan dalam mengambil keputusan, hal ini terjadi karena organisasi proyek yang lemah, atau kurangnya pengawasan.

2. 4. 3. 2 *Indirect waste*

Indirect waste adalah sisa material yang terjadi dalam bentuk sebagai suatu kehilangan biaya (*moneter loss*), terjadi kelebihan pemakaian volume material dari yang direncanakan, dan tidak terjadi sisa material secara fisik di lapangan. *Indirect waste* ini dapat dibagi atas tiga jenis yaitu:

a. *Substitution Waste*

Sisa material yang terjadi karena penggunaannya menyimpang dari tujuan semula, sehingga menyebabkan terjadinya kehilangan biaya yang dapat disebabkan karena tiga alasan :

1. Terlalu banyak material yang dibeli
2. Material yang rusak
3. Makin bertambahnya kebutuhan material tertentu

b. *Production Waste*

Sisa material yang disebabkan karena pemakaian material yang berlebihan dan kontraktor tidak berhak mengklaim atas kelebihan volume tersebut karena dasar pembayaran berdasarkan volume kontrak, contoh pasangan dinding bata tidak rata menyebabkan pemakaian mortar berlebihan karena plesteran menjadi tebal.

c. *Negligence Waste*

Sisa material yang terjadi karena kesalahan di lokasi (*site error*), sehingga kontraktor menggunakan material lebih dari yang ditentukan, misalnya: penggalian pondasi yang terlalu lebar atau dalam yang disebabkan

kesalahan/kecerobohan pekerja, sehingga mengakibatkan kelebihan pemakaian volume beton pada waktu pengecoran pondasi.

2. 4. 4 Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Sisa Material Konstruksi

Banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya sisa material di lapangan. Terjadinya sisa material dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa penyebab. Gavilan dan Bernold (1994), membedakan sumber-sumber yang dapat menyebabkan terjadinya sisa Material konstruksi atas enam kategori:

1. Disain
2. Pengadaan Material
3. Penanganan Material
4. Pelaksanaan
5. Residual
6. Lain-Lain

Hasil penelitian Bossink dan Browers (1996) di Belanda, menyimpulkan sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi berdasarkan kategori yang telah dibuat oleh Gavilan dan Bernold (1994) tersebut diatas, tercantum pada Tabel 2. 3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi

SUMBER	PENYEBAB
Desain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kesalahan dalam dokumen kontrak 2. Tidak lengkap dokumen kontrak 3. Penambahan disain 4. Memilih spesifikasi produk 5. Memilih produk yang berkualitas rendah 6. Kurang memperhatikan ukiiran dari produk yang digunakan 7. Disainer tidak mengenal dengan baik jenis-jenis produk yang lain 8. Pendetailan gambar yang rumit 9. Informasi gambar yang kurang 10. Kurang berkoordinasi dengan kontraktor & kurang berpengetahuan tentang konstruksi
Pengadaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kesalahan pemesanan, kelebihan, kekurangan dan sebagainya 2. Pesanan tidak dapat dilakukan dalam jumlah kecil 3. Pembelian material yang tidak sesuai dengan spesifikasi 4. Pemasok mengirim barang tidak sesuai spesifikasi 5. Pengemasan kurang baik, menyebabkan terjadi kerusakan dalam perjalanan
Penanganan Material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kerusakan akibat transportasi ke/di lokasi proyek 2. Penyimpanan yang keliru menyebabkan kerusakan 3. Material yang tidak dikemas dengan baik 4. Membuang/melempar material 5. Material yang terkirim dalam keadaan tidak padat/kurang 6. Penanganan yang tidak hati-hati pada saat pembongkaran 7. Material untuk dimasukkan ke dalam gudang

Tabel 2.3 Sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi (Sambungan)

SUMBER	PENYEBAB
Pelaksanaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kesalahan yang diakibatkan oleh tenaga kerja 2. Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik 3. Cuaca yang buruk 4. Kecelakaan pekerja dilapangan 5. Penggunaan material yang salah sehingga perlu diganti 6. Metode untuk menempatkan pondasi
Residual (Sisa)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sisa pemotongan material tidak dapat dipakai lagi 2. Kesalahan pada saat memotong material 3. Kesalahan pesanan barang, karena tidak menguasai spesifikasi 4. Pengepakan 5. Sisa material karena proses pemakaian
Lain-Lain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kehilangan akibat pencurian 2. Buruknya pengontrolan material di proyek dan perencanaan 3. manajemen terhadap sisa material

Sumber : Bossink, 1996

Ekanayake & Ofori (2000), melakukan survey kuesioner pada semua kontraktor bangunan yang masuk tiga kategori finansial terbesar (G6, G7, dan G8) dari *the Building and Construction Authority* (BCA) di Singapura, menyimpulkan faktor faktor penyebab terjadinya sisa material konstruksi pada keempat sumber tersebut diatas, dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sumber dan penyebab terjadi sisa material konstruksi

SUMBER	PENYEBAB
Desain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kurang adanya koordinasi dengan bagian-bagian yang terkait 2. Perubahan disain pada saat konstruksi berlangsung 3. Disainer yang tidak berpengalaman dalam menentukan urutan dan metode konstruksi 4. Tidak memperhatikan ukuran standarisasi yang ada 5. Perencana tidak menguasai produk-produk alternative 6. Pendetailan gambar yang rumit 7. Informasi gambar yang kurang 8. Dokumen kontrak yang keliru 9. Dokumen kontrak yang tidak komplit 10. Memilih produk berkualitas rendah
Pengadaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kesalahan pemesanan 2. Membeli produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi 3. Kekurangan dari kemungkinan pesanan dalam jumlah kecil
Penanganan Material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kerusakan selama transportasi 2. Penyimpanan yang tidak benar sehingga terjadi kerusakan 3. Material yang terkirim dalam kondisi tidak padat 4. Menggunakan material apa saja untuk keperluan menutup tempat kerja 5. Sikap atau tindakan tim proyek dan pekerja yang tidak ramah / kasar 6. Pencurian
Pelaksanaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kesalahan yang dibuat oleh pekerja, atau karena kurang terampil 2. Kesalahan karena kelalaian 3. Kerusakan pekerjaan karena kurang terampil 4. Menggunakan material yang salah, sehingga perlu diganti 5. Jumlah yang dibutuhkan tidak jelas karena perencanaan tidak jelas 6. Peralatan tidak berfungs dengan baik 7. Cuaca yang buruk 8. Informasi yang terlambat sampai ke kontraktor mengenai tipe dan ukuran material yang akan dipasang

Sumber : Ekanayake, 2000

Carlos T. Formoso et al, di dalam tulisannya "*Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention*", memaparkan hasil studi lapangan mengenai sisa material didalam industri konstruksi. Studi ini di bagi atas 2 bagian.

Studi pertama dikembangkan di Federal University of Rio Grand do Sul (UFRGS) di Brazil, antara April 1992 sampai dengan Juni 1993 yang meneliti 7 jenis bahan bangunan di lima lokasi yang berbeda. Studi kedua meneliti 18 jenis bahan bangunan pada 69 Iokasi. Penelitian ini merupakan hasil kerjasama diantara 15 Universitas di Brazil, antara bulan Oktober 1996 sampai dengan Mei 1998. Faktor-faktor penyebab dan cara meminimalisasi sisa material hasil penelitian dari kedua studi tersebut, diringkas dalam Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Faktor penyebab dan cara meminimalisasi sisa material

NO	JENIS MATERIAL	FAKTOR PENYEBAB	CARA MEMINIMALISASI
1.	Beton Ready Mix	<ol style="list-style-type: none"> 1. Volume beton dari supplier kurang 2. Terjadi deviasi dimensi struktur saat pengecoran 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan perhitungan volume BRM setelah menempati bekisting 2. Melakukan constructability pada elemen-elemen struktur, dan disain sistem bekisting yang lebih sempurna 3. Menggunakan alat ukur yang lebih teliti
2.	Besi Beton	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disain yang kurang sempurna 2. Pemotongan bahan tidak optimal 3. Jumlah stok yang berlebihan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tingkatkan kapasitas disain 2. Tingkatkan sistem pengontrolan

Tabel 2.5 Faktor penyebab dan cara meminimalisasi sisa material
(Sambungan)

NO	JENIS MATERIAL	FAKTOR PENYEBAB	CARA MEMINIMALISASI
3.	Semen (Dalam Bentuk Mortar)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ukuran bata yang bervariasi 2. Terjadi deviasi dimensi struktur 3. Tercecer selama penanganan dan transportasi 4. Pemakaian mortar berlebihan pada joint-joint pasangan bata 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tingkatkan sistem pengontrolan 2. Melakukan constructability pada elemen-elemen struktur, dan disain sistem bekisting yang lebih sempurna 3. Menggunakan peralatan yang memadai 4. Menggunakan jalur jalan yang aman 5. Koordinasi modul tembok bata dengan pekerjaan struktur
4.	Batu Bata	<ol style="list-style-type: none"> 1. Volume bata kurang dan rusak pada saat terima barang 2. Sisa pemotongan di lapangan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tingkatkan sistem pengontrolan 2. Kurangi jumlah stok 3. Rencanakan operasi pemotongan bata 4. Koordinasi modul dalam disain

Sumber : Formoso et al, 2002

2. 4. 5 Penelitian-Penelitian Yang Dilakukan Negara Lain

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti mengenai kuantitas sisa material konstruksi yang terjadi di proyek pada enam negara dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. United Kingdom

Penelitian yang pertama mengenai sisa material konstruksi pada bangunan industri didalam literatur "*Building Research Establishment*" oleh Skoyles, 1976. Berdasarkan data yang diperoleh dari 114 bangunan gedung selama tahun 1960 s/d 1970, diperoleh persentase buangan material bangunan

berkisar antara 2 % sampai 15 % berat terhadap material disain.

Hasil studi ini, menyimpulkan bahwa kesalahan manajemen didalam mengatur penggunaan bahan bangunan di lokasi menyebabkan terjadinya sisa material yang cukup besar.

2. Hong Kong

Hong Kong Polytechnic dan *Hong Kong Association* (1993) mengadakan penelitian tentang sisa material konstruksi dengan tujuan untuk mengurangi terjadinya sisa material yang lebih besar di masa yang akan datang. Studi ini terutama mengkonsentrasikan kepada pengaruh langsung pada lingkungan konstruksi dan penghancuran sisa - sisa buangan material.

Penelitian dilakukan pada 32 lokasi konstruksi sejak bulan Juni 1992 sampai dengan Februari 1993 yang berfokus kepada jenis material seperti : beton, besi beton, batu bata, batako, mortar , keramik lantai dan kayu. Hasil penelitian pada 14 lokasi menunjukkan sisa material beton yang diperoleh berkisar antara 2,4 % s/d 26.5% atau rata-rata 11% terhadap volume material yang dibeli.

3. United States

Gavilan dan Bernold (1994) menyajikan suatu studi empiris dengan meneliti 5 rumah di empat lokasi yang berbeda pada bulan Juni sampai Agustus 1992. Tiga jenis material bangunan yang diteliti adalah batu bata, kayu dan *sheet rock*. Data yang diperoleh menunjukkan sisa material yang terjadi pada proyek bangunan rumah, disebabkan oleh sisa-sisa pemotongan material. Hal ini diduga ada hubungan yang kuat antara produktifitas yang rendah dengan besarnya sisa material yang terjadi.

4. Netherlands

Bossink dan Browsers (1996) di Belanda mengadakan penelitian yang menitikberatkan pada pengukuran dan pencegahan sisa material. Penelitian dilakukan pada 7 jenis material bangunan pada 5 bangunan rumah sejak April 1993 sampai Juni 1994, diperoleh jumlah berat sisa material antara 1 % sampai 10 % terhadap berat material konstruksi.

Sumbang saran para wakil kontraktor menyimpulkan bahwa penyebab utama terjadinya sisa material, berhubungan dengan tahap disain, suplai material, penanganan dan penyimpanan yang kurang baik.

5. Australia

Forsythe dan Marsden (1999), mengajukan suatu model analisis pengaruh sisa material terhadap biaya proyek, termasuk pemindahan dan pembuangan. Penelitian ini menganalisis 6 jenis bahan bangunan pada 15 rumah. Sisa material yang terjadi antara 2,5 % sampai 22 % dalam berat.

Penelitian ini meliputi sejumlah bahan yang dikirim ke lokasi sesuai dengan dokumen/surat jalan yang ada, dan juga berdasarkan *interview* beberapa *supplier* yang berbeda.

6. Brazil

Penelitian sisa material yang dilakukan oleh Pinto (1989), merupakan studi kasus pada proyek apartemen. Dari 10 jenis material bangun yang diteliti diperoleh total sisa material yang terjadi sebesar 18 % berat terhadap jumlah seluruh material.

Picchi (1993), dari hasil penelitian antara tahun 1986 sampai 1987 pada 3 bangunan rumah tinggal, mencatat sisa material yang terjadi relatif kecil, yaitu antara 11 % sampai 17% dari berat gedung atau sebesar $0,095 \text{ t/m}^2$ sampai $0,145 \text{ t/m}^2$.

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 kumparan/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 Tulangan²³

Jumlah material yang hilang/sisa/*waste* bisa mencapai 3-10 % 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

²³ Sun Kuk Kim, Won Kee-Hong and Jin Kyu Joo, Algorithms for Reducing The Waste Rate of Reinforcement Bars, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, May 2004, page 18

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 1 m. (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/*bending* tulangan.
7. Kualitas pekerja yang diperkerjakan oleh subkontraktor.

2. 5. 3 Pola Pemotongan Besi Tulangan²⁴

Pola adalah bentuk atau model (atau, lebih abstrak, suatu *set* peraturan) yang bisa dipakai untuk membuat atau untuk menghasilkan suatu atau bagian dari sesuatu, khususnya jika sesuatu yang ditimbulkan cukup mempunyai suatu yang sejenis untuk pola dasar yang dapat ditunjukkan atau terlihat, yang mana sesuatu itu tidak akan memamerkan pola.

Secara umum, pola dapat dikatakan sebagai cara untuk mengelola suatu objek. Terdapat bermacam-macam penggunaan pola, misalnya pola penyerangan dan pola bertahan dalam sepakbola, pola pikir, dan pola pemotongan (pola yang akan dibahas lebih lanjut dalam tugas akhir ini). Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 adalah contoh pola pemotongan satu dimensi, dalam hal ini adalah besi tulangan.



Gambar 2.2 Pola pemotongan menjadi 3 bagian



Gambar 2.3 Pola pemotongan menjadi 2 bagian

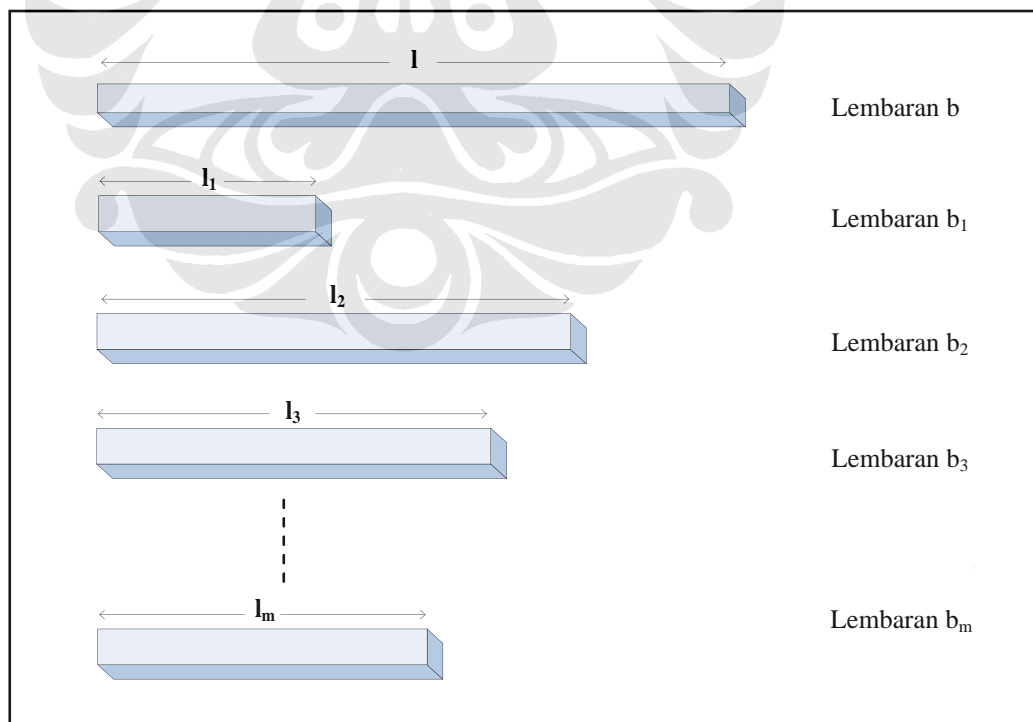
Dalam pola pemotongan, yang dimaksud pengelolaan objek adalah bagaimana cara memotong-motong sebuah objek yang besar menjadi sebuah objek yang lebih kecil. Objek yang besar tersebut dikelola dengan dipotong-potong menjadi potongan yang lebih kecil dengan tujuan agar objek tersebut menjadi lebih berguna. Biasanya pemotongan terhadap suatu objek dilakukan karena adanya kebutuhan terhadap objek yang lebih kecil, sedangkan yang objek yang tersedia tidak bisa memenuhi kebutuhan tersebut. Perbedaan cara yang ditempuh dalam melakukan pemotongan terhadap suatu

²⁴ Ekwardo, Odit, 2008, *Studi dan Implementasi Algoritma Optimasi Pemotongan Bar Steel*

objek dapat menghasilkan sesuatu yang jauh berbeda satu sama lain. Untuk lebih jelasnya, definisi pola pemotongan dapat diperjelas melalui ilustrasi berikut ini :

Seorang pengusaha lembaran baja memproduksi *rol b* dengan panjang standar l . Order besar sedang dikerjakan sehubungan dengan permintaan pelanggan yang memerlukan lembaran dengan panjang yang bermacam-macam. Secara khusus, lembaran b_i dengan panjang l_i untuk $i = 1, 2, \dots, m$ akan diorder (lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4).

Pengusaha berkeinginan untuk memotong *rol* standar sedemikian sehingga memenuhi order dan meminimalkan sisanya. Karena potongan sisa tidak berguna bagi pengusaha, tujuannya adalah untuk meminimalkan jumlah *rol* yang diperlukan untuk memenuhi order. Diketahui lembaran standar dengan panjang l , ada banyak cara memotongnya. Cara yang demikian disebut dengan pola pemotongan.



Gambar 2.4 Deskripsi pola pemotongan

2. 5. 4 Metode Optimasi Algoritma²⁵

Jika diberikan suatu permasalahan yang solusinya dapat diselesaikan dengan menggunakan fungsi f dan solusi optimal yang diinginkan adalah $f(x)$, maka algoritma optimasi adalah metode yang digunakan untuk menemukan nilai x , misalnya menemukan kemungkinan yang terbesar (atau terkecil) dari suatu fungsi f dengan *constraint* yang diberikan oleh variabel x . Dalam hal ini, x dapat berupa nilai skalar atau vector dari nilai yang kontinu atau nilai diskrit.

2. 5. 4. 1 Algoritma *Brute Force*

Brute force adalah sebuah pendekatan yang cepat (*straightforward*) untuk memecahkan masalah, biasanya didasarkan pula pada pernyataan masalah (*problem statement*) dan definisi konsep yang dilibatkan. Algoritma *brute force* memecahkan masalah dengan sangat sederhana, langsung dan dengan cara yang jelas (*obvious way*).

Sebetulnya *brute force* tidak dapat dikatakan sebagai sebuah algoritma karena *brute force* tidak menggunakan suatu cara yang khusus dalam memecahkan masalah. *Brute force* hanya memeriksa semua kemungkinan yang ada. Metode ini tidak pintar dan tidak memiliki efisiensi sama sekali. Suatu metode dapat dikatakan algoritma jika memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding metode lain.

Algoritma *brute force* pada umumnya tidak “cerdas”, karena ia membutuhkan jumlah langkah yang besar dalam penyelesaiannya, terutama bila masalah yang akan dipecahkan berukuran besar (dalam hal ini ukuran masukannya). Walaupun algoritma *brute force* tidak mangkus, namun algoritma ini dapat dijadikan perbandingan solusi dengan algoritma lain yang lebih mangkus karena algoritma *brute*

²⁵ Munir, Rinaldi, Strategi Algoritmik, Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, 2006.

force pasti menghasilkan solusi yang paling optimal. Algoritma *brute force* membandingkan semua kemungkinan solusi sehingga solusi yang dihasilkan pasti paling optimal.

2. 5. 4. 2 Algoritma Greedy

Algoritma *greedy* membentuk solusi langkah per langkah (*step by step*). Terdapat banyak pilihan yang perlu dieksplorasi pada setiap langkah solusi. Oleh karena itu, pada setiap langkah harus dibuat keputusan yang terbaik dalam menentukan pilihan. Keputusan yang telah diambil pada suatu langkah tidak bisa diubah lagi pada langkah selanjutnya. Sebagai contoh, jika menggunakan algoritma *greedy* untuk menempatkan komponen diatas sirkuit, sekali sebuah komponen telah ditetapkan posisinya, komponen tersebut tidak dapat dipindahkan lagi.

Pendekatan yang digunakan di dalam algoritma *greedy* adalah membuat pilihan yang “tampaknya” memberikan perolehan terbaik, yaitu dengan membuat pilihan optimum lokal (*local optimum*) pada setiap langkah dengan harapan bahwa sisanya mengarah ke solusi optimum global (*global optimum*).

Metode pencarian menggunakan *greedy* dapat dikatakan sebuah algoritma pencarian karena metode ini dapat mengurangi sampel yang digunakan selama proses pencarian. Dengan begitu *greedy* dapat meningkatkan efisiensi pencarian dengan mengurangi sampel yang diperbandingkan. Namun, pada sebagian masalah algoritma *greedy* tidak selalu berhasil memberikan solusi yang benar-benar optimum.

2. 5. 4. 3 Algoritma Program Dinamis

Program dinamis adalah metode pemecahan masalah dengan cara menguraikan solusi menjadi sekumpulan langkah (*step*) atau tahapan (*stage*) sedemikian sehingga solusi dari persoalan dapat dipandang dari serangkaian keputusan yang saling berkaitan. Pada

penyelesaian persoalan metode ini terdapat sejumlah berhingga pilihan yang mungkin, solusi pada setiap tahap dibangun dari hasil solusi tahap sebelumnya, dan kita menggunakan persyaratan optimasi dan kendala untuk membatasi sejumlah pilihan yang harus dipertimbangkan pada suatu tahap.

Pada algoritma program dinamis setiap tahap pencarian memperhitungkan tahap-tahap sebelum dan sesudahnya sehingga keputusan yang diambil pada setiap tahap dapat memberikan efek yang baik terhadap tahap selanjutnya.

Secara umum, ada empat langkah yang dilakukan dalam mengembangkan algoritma program dinamis, yaitu :

1. Karakteristikan struktur solusi optimal.
2. Definisikan secara rekursif nilai solusi optimal.
3. Hitung nilai solusi optimal secara maju atau mundur.
4. Konstruksi solusi optimal.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan oleh Odit Ekwardo, 2008, terdapat beberapa kesimpulan dari ketiga metode optimasi algoritma di atas , antara lain :

1. Perangkat lunak dapat menyelesaikan persoalan pemotongan besi tulangan menggunakan tiga pilihan algoritma, yaitu *brute force*, *greedy* dan program dinamis dan menampilkan solusi persoalan pemotongan besi tulangan tersebut dalam bentuk tabel yang mudah dimengerti pengguna.
2. Algoritma *brute force* selalu menghasilkan solusi paling optimal (sisa besi tulangan yang tidak terpakai paling minimal) untuk permasalahan pemotongan besi tulangan. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian menggunakan beberapa tipe persoalan, dimana algoritma *brute force* selalu menghasilkan solusi paling optimal. Namun jika dilihat dari hasil data pengujian, algoritma *brute force* sangat lambat dalam menyelesaikan persoalan dengan data yang sangat kompleks.

3. Algoritma *greedy* adalah algoritma paling efisien dalam menyelesaikan persoalan pemotongan besi tulangan jika dibandingkan dengan algoritma *brute force* dan program dinamis.
4. Algoritma program dinamis merupakan algoritma yang terbaik untuk menyelesaikan tipe persoalan pemotongan besi tulangan yang biasa dihadapi pengusaha konstruksi di kehidupan nyata.

2. 5. 5 *Automatic Rebar Detailing Concept (ARDA)*²⁶

Penentuan kombinasi tulangan yang dipesan pada suatu proyek agar efektif tidak mudah, karena adanya variasi diameter, panjang, dan lokasi tulangan pada gambar teknik yang ada. Masalah itu menjadi lebih rumit lagi pada fabrikasi besi tulangan, karena adanya beberapa proyek yang terlibat.

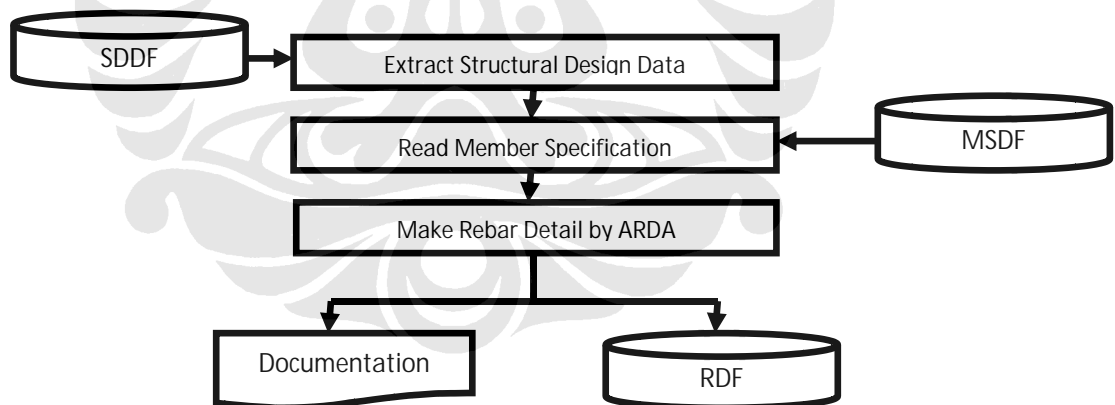
Penelitian oleh Bernold and Salim (1993) melakukan optimasi melalui “*placement-oriented design and delivery of reinforcement based on both computer integration and feature based design concept*” dan “*concept of rebar delivery and staging based on a placement plan to improve productivity on site*”. Dunston and Bernold (1994) mengajukan suatu strategi optimasi dengan menggunakan “*robotic rebar bending*” berdasarkan eksperimen. Dunston and Bernold pada tahun 2000 mengembangkan suatu model untuk proses “*rebar bending*” berdasarkan CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Navon et al (1995, 1996) menunjukkan keuntungan dari penggunaan sistem “*computer aided design*” dan “*computer aided manufacturing*” (CAD dan CAM) untuk tulangan dan mengembangkan suatu model untuk diagnosa dan koreksi konstrutabilitas tulangan (Navon et al.2000)

²⁶ Sun Kuk Kim, Won Kee-Hong and Jin Kyu Joo, Algorithms for Reducing The Waste Rate of Reinforcement Bars, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, May 2004, Page 18

Tetapi pendekatan langsung penggunaan algoritma untuk optimasi dan mengurangi sisa tulangan tidak terdapat pada penelitian diatas. Pekerjaan yang dilakukan oleh Navon et al (1995) adalah studi dari sekian banyak studi yang dilakukan untuk mengurangi jumlah sisa tuangan dengan menggunakan alogaritma optimasi. Namun, Navon tidak menunjukkan alogaritma secara mendetail, walaupun suatu modul optimasi berdasarkan *linear programming* disebutkan.

Berikut ini akan dijelaskan konsep operasi algoritma yang dapat digunakan dalam mengoptimasi penggunaan tulangan dan minimalisasi sisa tulangan dari proses *cutting* dan *bending* dalam bentuk *Automatic Rebar Detailing Concept (ARDA)*.

Proses desain kombinasi dimulai dengan penyusunan Rebar Data Files (RDF) berdasarkan kalkulasi struktur. Proses penyusunannya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.5 *Automatic Rebar Detailing Concept (ARDA)*

Semua data struktural seperti diameter, jumlah tulangan, dan lain-lain didapat dari SDDF (*Structural Design Data File*). MSDF memberikan data selimut beton, panjang tulangan yang akan dipasang. Dan selanjutnya data itu digunakan oleh *Automatic Rebar Detailing algorithms (ARDA)*.

ARDA terdiri dari dua tugas, yang pertama adalah untuk menentukan detail tulangan dari semua desain struktural dan yang kedua adalah untuk memperkirakan detail potongan dan jumlah tulangan berdasarkan tugas pertama. Setiap bagian struktur memerlukan beberapa ARDA tergantung pada kondisinya. Kim and Kim (1994) memberikan konsep mengenai *Automatic Rebar Detailing*, dan Kim (2002) mengajukan beberapa permodelan algoritma untuk setiap bagian struktur.

2.6 KESIMPULAN

Suatu nilai sisa material (*waste*) yang patut dipertimbangkan akan muncul apabila tidak dilakukan perhatian yang cukup baik terhadap manajemen pekerjaan besi tulangan dari suatu proyek konstruksi. Dengan produktifitas yang tinggi ketika pembelian barang, manufaktur, dan fabrikasi yang dilakukan sesuai dengan jadwal konstruksi maka akan mengurangi jumlah sisa material (*waste*) besi tulangan yang cukup signifikan. Akan tetapi hal itu dapat terjadi apabila perencanaan detail dan jumlah penggunaan besi tulangan dilakukan dengan baik.