

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Proyek Konstruksi

Sebuah proyek secara umum merupakan serangkaian aktifitas kerja yang mempunyai kegiatan permulaan dan kegiatan akhir yang unik dimana dalam proses kerjanya aktifitas tersebut berpedoman pada tujuan yang telah disepakati. Untuk penyelesaian kerja aktifitas yang ada, dibutuhkan beberapa sumber daya seperti : Biaya, Peralatan, Tenaga Kerja, Bahan Baku dan Ruang Gerak. Hal diatas selaras dengan definisi yang dikemukakan oleh Soehendrajati sebagai berikut: “ Proyek adalah suatu kegiatan terorganisasi, yang menggunakan beberapa sumber daya yang ada, yang dijalankan selama jangka waktu terbatas, yang mempunyai titik awal saat dimulainya proyek dan titik akhir saat selesainya proyek” menurut Sholeh, dkk (2014).

Tantangan utama sebuah proyek adalah mencapai sasaran-sasaran dan tujuan proyek dengan menyadari adanya batasan-batasan yang telah dipahami sebelumnya. Pada umumnya batasan-batasan itu adalah ruang lingkup pekerjaan, waktu pekerjaan dan anggaran pekerjaan. Dan hal ini biasanya disebut dengan "triple constrains" atau "tiga batasan". Dengan semakin meningkatnya kesadaran akan harkat dan martabat individu dalam menjalankan proyek, maka batasan ini kemudian berkembang dengan ditambahkan batasan keempat yaitu faktor keselamatan. Tantangan selanjutnya adalah bagaimana mengoptimasikan dan pengalokasian semua sumber daya dan mengintegrasikannya untuk mencapai tujuan proyek yang telah ditentukan.

1.2. Konsep Keterlambatan Material

2.2.1. Pengertian Material Dalam Proyek

Setiap proyek konstruksi berbeda satu sama lain, unik dan tidak berulang hal ini dikarenakan perbedaan geografis, kondisi tanah, gempa dan cuaca untuk itu tiap proyek membutuhkan manajemen yang baik untuk menjaga kualitasnya baik waktu, biaya dan mutu konstruksi. Material konstruksi merupakan komponen yang paling banyak memakan biaya dan waktu, karena itu manajemen material

merupakan unsur terpenting. Pengendalian material yang baik sesuai waktu dan biaya serta tenaga kerja yang tersedia dapat meningkatkan mutu proyek sekaligus dapat menekan biaya konstruksi.

Banyaknya jumlah dan jenis material yang diperlukan dalam suatu proyek mengakibatkan manajemen material menjadi salah satu elemen penting dalam mengelola dan memimpin suatu proyek konstruksi. Berdasarkan laporan manajemen material dapat didefinisikan sebagai suatu system yang merencanakan dan mengendalikan seluruh kegiatan untuk menjamin agar material konstruksi dapat diperoleh dalam jumlah yang tepat, sesuai dengan spesifikasi, dengan harga yang pantas dan dapat tersedia pada saat dibutuhkan. Dalam suatu proyek konstruksi setiap perencanaan dan pengendalian kegiatan – kegiatan dalam proyek tersebut akan selalulu berhubungan dengan jadwal. Dalam penjadwalan material, proses perencanaan dan pengiriman material berhubungan erat dengan waktu dimulainya aktifitas proyek yang membutuhkan material tersebut.

Adanya hubungan antara jadwal material dan jadwal aktifitas proyek akan membuat proses penjadwalan menjadi semakin kompleks. Kompleksitas ini muncul karena adanya kebutuhan untuk membandingkan antara pelaksanaan dengan standar perencanaan dan sekaligus melakukan analisis terhadap kemungkinan – kemungkinan penyimpangan untuk kemudian mengambil tindakan pembetulan yang diperlukan agar sumber daya yang umumnya digunakan oleh para kontraktor saat ini akan sulit untuk menyelesaikan masalah - masalah tersebut akan dapat diatasi dengan membuat suatu sistem informasi dan pengumpulan data yang mampu memberikan keterangan yang tepat, cepat dan akurat.

Secara umum dalam material konstruksi dalam sebuah proyek dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bahan yang kelak akan menjadi bagian tetap dari struktur (bahan permanen) dan bahan yang dibutuhkan kontraktor dalam membangun proyek tetapi tidak akan menjadi bagian tetap dari struktur (bahan sementara) Ervianto (2007).

1. Bahan Permanen Bahan permanen adalah bahan yang dibutuhkan oleh kontraktor untuk membentuk bangunan dan sifatnya melekat tetap sebagai

elemen bangunan. Jenis bahan ini tercantum dalam dokumen kontrak (gambar kerja dan spesifikasi).

2. Bahan Sementara adalah bahan yang dibutuhkan oleh kontraktor dalam membangun proyek, tetapi tidak akan menjadi bagian dari bangunan setelah digunakan. Jenis bahan ini tidak dicantumkan dalam dokumen kontrak, sehingga kontraktor bebas menentukan sendiri bahan yang dibutuhkan beserta pemasoknya. Untuk jenis bahan ini kontraktor tidak mendapat bayaran secara eksplisit. Sehingga, pelaksana memasukan biaya bahan ini ke dalam biaya pelaksanaan berbagai pekerjaan yang termasuk didalam kontrak.

2.2.2. Keterlambatan Penyediaan Material

Pembelian dan pengadaan bahan merupakan salah satu unsur dari sistem perencanaan dan pengendalian yang saling berhubungan pada suatu proyek, yang harus selalu sesuai antara yang satu dengan yang lainnya. Keterlambatan proyek akibat bahan yang terjadi pada proyek adalah akibat dari kesalahan dalam perencanaan dan penjadwalan pengadaan bahan konstruksi. Pengadaan bahan konstruksi mencakup kegiatan perencanaan jumlah dan jenis bahan yang digunakan. Pembelian, pengangkutan, dan pengiriman, penentuan rute untuk pengangkutan dan pengiriman, mengatur persediaan bahan serta penyimpanan bahan konstruksi yang tepat.

Sebelum melaksanakan proyek disarankan untuk mengadakan survei di lokasi proyek dan daerah sekitar proyek, sehingga perencana mengetahui keadaan lokasi untuk selanjutnya menjadi bahan pertimbangan dalam merencanakan bahan material yang akan digunakan pada proyek. Dengan mengadakan survei di lokasi, maka perencana dapat mengetahui kebijakan-kebijakan yang dapat menghindari keterlambatan proyek akibat bahan, sehingga masalah keterlambatan pengiriman bahan, ketidaktepatan waktu pemesanan, kekurangan bahan, kerusakan bahan ditempat penyimpanan, perubahan material, kelangkaan karena kekhususan, dan keterlambatan pabrikasi dapat di hindari sedikit mungkin Ervianto (2003).

Bahwa keterlambatan adalah sebagian waktu pelaksanaan yang tidak dimanfaatkan sesuai dengan rencana kegiatan sehingga menyebabkan satu atau beberapa kegiatan mengikuti menjadi tertunda atau tidak dapat diselesaikan tepat sesuai jadwal yang telah direncanakan. Jika suatu pekerjaan sudah ditargetkan harus selesai pada waktu yang telah ditetapkan namun karena suatu alasan tertentu tidak dapat dipenuhi maka dapat dikatakan pekerjaan itu mengalami keterlambatan. Hal ini akan berdampak pada perencanaan semula serta pada masalah keuangan. Keterlambatan yang terjadi dalam suatu proyek konstruksi akan memperpanjang durasi proyek atau meningkatnya biaya maupun keduanya. Dari pengertian keterlambatan diatas, maka keterlambatan penyediaan material adalah suatu keterlambatan yang disebabkan oleh waktu dan jumlah material yang tersedia di lokasi proyek sehingga menyebabkan pekerjaan – pekerjaan tidak diselesaikan sesuai dengan jadwal yang direncanakan Hidayat dan Suripto (2019).

Dalam penelitian ini akan membahas tentang keterlambatan proyek yang terjadi akibat keterlambatan penyediaan material yang disebabkan oleh waktu datangnya material yang terlambat dan jumlah material yang tersedia tidak memadai. Keterlambatan penyediaan material diartikan sebagai berkurangnya jam kerja efektif. Suatu proyek yang berjalan sesuai dengan jam kerja efektif maka dikatakan proyek itu tidak mengalami keterlambatan atau berjalan sesuai dengan rencana dan jadwal. Namun, apabila terjadi keterlambatan dalam penyediaan material maka jam kerja efektif yang semula harus 8 jam akan mengalami pengurangan karena terlambatnya penyediaan material. Jadi dalam penelitian ini disimpulkan bahwa keterlambatan penyediaan material adalah berkurangnya jam kerja efektif. Dengan berkurangnya jam kerja efektif ini, akan mempengaruhi produksi minimum dan waktu penyelesaian proyek. Sehingga dalam penelitian ini akan membahas pengaruh yang ditimbulkan akibat berkurangnya jam kerja efektif atau keterlambatan penyediaan material terhadap produksi minimum dan waktu penyelesaian proyek.

1.3. Volume pekerjaan

Volume suatu pekerjaan adalah menghitung jumlah atau banyaknya volum pekerjaan dalam satu satuan. Volume juga disebut kubikasi pekerjaan. Jadi volume (kubikasi) suatu pekerjaan, bukanlah merupakan volume (isi sesungguhnya), melainkan jumlah volume bagian pekerjaan dalam satu kesatuan Uraian volume pekerjaan yang dimaksud ialah menguraikan secara rinci besar volume pada masing-masing pekerjaan sesuai dengan gambar detail. Sebelum menghitung volume masing-masing pekerjaan, lebih dulu harus dikuasai membaca gambar detail atau penjelasannya Ibrahim dan Bachtiar (2012).

Biasanya di dalam menyelesaikan suatu pekerjaan, terdapat perbedaan antara volume yang ditawarkan dengan volume yang telah diselesaikan. Apabila terjadi seperti itu, maka selisih volume akan diperhitungkan dalam pekerjaan tambah kurang yang dimasukkan dalam berita acara.

1.4. Jumlah Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja adalah banyaknya tenaga kerja yang bekerja dalam suatu item pekerjaan, yang merupakan perbandingan angka koefisien masing- masing tenaga kerja. Jumlah tenaga kerja dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$J_{tk} = \frac{K_{tk}}{K} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

K_{tk} = Koefisien tenaga kerja (jam, hari)

J_{tk} = Jumlah tenaga kerja (orang)

K = koefisien mandor (jam, hari)

1.5. Produksi

Produksi adalah banyaknya pekerjaan yang dapat dilakukan dalam satu – satuan waktu tertentu, baik oleh kelompok tenaga kerja atau peralatan atau kedua- keduanya secara bersama- sama. Satuan waktu untuk menentukan produksi, umumnya adalah jam atau hari dengan menggunakan jam kerja efektif dalam satuan pekerjaan (Lulu, 2003) satuan waktu untuk menentukan produksi, umumnya adalah jam atau hari. Sumber daya

yang menghasilkan produksi adalah produksi tenaga kerja dan produksi peralatan. Tiap tiap kelompok kerja (baik tenaga kerja atau alat kedua-duanya) dan perusahaan mempunyai tingkat produksi yang berbeda- beda. Hal iniah yang membedakan harga penawaran pekerjaan antara satu kelompok kerja dengan kelompok lainnya atau satu perusahaan dengan perusahaan yang lain.

Dari pengertian diatas dapat diketahui bahwa tenaga kerja dan peralatan dapat bekerja bersama – sama dalam menyelesaikan suatu pekerjaan meskipun produksi yang dihasilkan berbeda beda. Karena adanya perbedaan hasil produksi ini, maka dalam perhitungan waktu penyelesaian digunakan produksi minimum (Q_{min}) dari kedua kelompok kerja tersebut.

2.5.1. Produksi Tenaga Kerja

Produksi tenaga kerja adalah banyaknya pekerjaan yang dapat diselesaikan oleh tenaga kerja dalam satu satuan waktu tertentu. Produksi dari tenaga kerja mempengaruhi besar kecilnya keofisien dalam analisis harga satuan item pekerjaan, standar produksi dari tenaga kerja suatu proyek yang tidak dapat ditetapkan dengan pasti karena tiap tiap proyek mempunyai situasi dan kondisi yang berbeda – beda. Penaksiran produksi tenaga kerja didasarkan pada pengalaman dan estimasi dari seorang estimator. Pertimbangan produksi tenaga kerja diestimasi berdasarkan banyaknya volume pekerjaan di lapangan. Maka estimasi produksi dapat didasarkan pada kuantitas/keofisien tenaga kerja yang ada dalam analisa harga satuan.

Untuk menghitung produksi tenaga kerja apabila keofisien telah diketahui. Besarnya produksi tenaga kerja dapat diperoleh dengan rumus:

$$Q = \frac{1}{K_{tk}} \times J_{tk} \dots\dots\dots(2.2)$$

Persamaan 2.2 diatas dalam satuan produksi tenaga kerja per- jam. Untuk mengetahui produksi tenaga kerja per – harinya maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{K_{tk}} \times J_{tk} \times J_{ef} \dots\dots\dots(2.3)$$

Jumlah tenaga kerja dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$J_{tk} = \frac{K_{tk}}{K_{mn}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan

Q = Produksi (m²/jam, m³/hari)

K_{tk} = Koefisien tenaga kerja (jam, hari)

J_{tk} = Jumlah tenaga kerja (orang)

K_{mn} = Koefisien mandor (jam, hari)

J_{ef} = Jam kerja efektif normal (jam)

Dari persamaan 2.2 dan 2.3 diatas dapat diketahui bahwa produksi tenaga kerja dapat bertambah apabila keofisien tenaga kerja rendah, jumlah tenaga kerja banyak, dan jam kerja efektif yang tetap. Sebaliknya, produksi tenaga kerja dapat berkurang apabila keofisien tenaga kerja tinggi, jam kerja efektif menurun, dan jumlah tenaga kerja sedikit. Adapun factor lain yang mempengaruhi produksi tenaga kerja yaitu cuaca, masalah keterlambatan material, mentalitas tenaga kerja, keterampilan tenaga kerja dan peralatan.

2.5.2. Produksi Peralatan

Produksi peralatan adalah banyaknya pekerjaan yang dapat diselesaikan alat dalam satu satuan waktu tertentu. Pada kontrak kontrak proyek yang mempunyai analisa harga satuan item pekerjaan, maka estimasi produksi peralatan dapat didasarkan pada kuantitas (koefisien) alat yang ada dalam analisa harga satuan untuk pekerjaan tersebut.

Persamaan untuk menghitung produksi tenaga kerja apabila fisiennya telah diketahui dari data Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{K_a} \dots\dots\dots(2.5)$$

Persamaan 2.5 diatas dalam satuan produksi alat per- jam. Untuk mengetahui produksi alat per – harinya maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{K_a} \times J_{ef} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan

Q = Produksi alat (m²/jam, m³/jam, m²/hari, m³/hari)

K_a = Koefisien alat (jam, hari)

J_{ef} = Jam kerja efektif (jam)

Persamaan untuk menghitung jumlah alat jika produksi minimum per-jamnya telah diketahui adalah sebagai berikut:

$$J_a = \frac{Q_p}{Q_{mj}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan

J_a = jumlah alat (unit)

Q_p = produksi peralatan (m^3 /jam)

Q_{mj} = produksi minimum jam (m^3 /jam)

Persamaan untuk menghitung produksi peralatan jika keofisiennya tidak diketahui adalah sebagai berikut:

$$Q = q \frac{1}{WS} \times E \times f \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan

Q_p = Produksi peralatan dalam satuan jam (m^2 /jam, m^3 /jam)

q = kapasitas alat (m^2 , m^3)

WS = waktu siklus (menit)

E = Efisiensi

F = factor konversi volume tanah yaitu tanah untuk tanah lepas

f = 1,0 dan untuk tanah asli $f= 0,8$.

Dari persamaan (2.5) diatas, dapat diketahui bahwa produksi peralatan bertambah apabila keofisien peralatan kecil. Sebaliknya, produksi peralatan berkurang apabila keofisien peralatan tinggi.

Dari persamaan (2.7) diatas, dapat diketahui bahwa produksi peralatan bertambah apabila waktu siklus kecil. Sebaliknya, produksi peralatan berkurang apabila waktu siklus tinggi. Waktu siklus dipengaruhi oleh waktu tetap dan waktu perjalanan.

2.5.3. Produksi Minimum

Pada pelaksanaan konstruksi, baik tenaga kerja maupun alat, tidak bekerja secara individu, namun bekerja secara berkelompok untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut secara bersama- sama. Pada kenyataannya masing- masing tenaga kerja dan lata mempunyai produksi yang berbeda, sehingga untuk bekerja bersama – sama maka produksi yang di pilih adalah produksi yang paling kecil (minimum).

Produksi minimum adalah produksi yang paling kecil diantara tenaga kerja dan alat- alat yang bekerja bersama – sama dalam satu item pekerjaan. Jika produksi yang dihitung dalam satuan jam, maka untuk mengetahui produksi harian dapat dihitung dengan rumus:

$$Q_{MH} = Q_{MJ} \times J_{ef} \dots\dots\dots(2.9)$$

Apabila terjadi keterlambatan material maka rumus produksi yang digunakan adalah:

$$Q_{MH} = Q_{MJ'} \times J_{ef'} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

Q = Produksi minimum harian (m²/hari, m³/hari)

Q_{MH} = Produksi minimum jam (m²/jam, m³/jam)

Q_{MJ'} = Produksi minimum jam akibat keterlambatan penyediaan material (m²/jam, m³/jam)

J_{ef} = jam kerja efektif

J_{ef'} = jam kerja efektif akibat keterlambatan penyediaan material.

2.6. Waktu Penyelesaian Item Pekerjaan

2.6.1. Waktu Penyelesaian Pekerjaan

Dikutip dari buku ajar manajemen konstruksi Lulu (2004) waktu penyelesaian item pekerjaan adalah jumlah waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan satu satuan pekerjaan atau waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan volume satu item pekerjaan. Waktu penyelesaian item pekerjaan sangat diperlukan dalam penyusunan rencana kerja suatu proyek dari bagian bagian pekerjaan yang saling

berkait. Satuan waktu penyelesaian pekerjaan adalah hari, minggu bulan, tahun. Waktu penyelesaian pekerjaan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$WP = \frac{V}{QM} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan

- WP = Waktu Penyelesaian
- V = Volume Pekerjaan
- QM = Produksi Minimum (per-hari atau per-jam)

$$WP' = \frac{V}{QM'} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

- WP' = Perubahan Waktu Penyelesaian
- V = Volume Pekerjaan
- QM' = Produksi Minimum akibat keterlambatan penyediaan material (per-hari atau per-jam)

Dari persamaan 2.11 dan 2.12 diatas dapat diketahui bahwa waktu penyelesaian akan berkurang apabila volume pekerjaan tetap dan produksi meningkat. Begitu pun sebaliknya, waktu penyelesaian akan bertambah, apabila volume pekerjaan tetap dan produksi menurun.

2.6.2. Hari Kerja Efektif

Dikutip dari buku ajar manajemen konstruksi, Lulu (2004) hari kerja efektif adalah hari yang benar-benar digunakan untuk bekerja. Jika tidak ada hari libur, maka secara normal hari untuk bekerja dapat digunakan selama enam hari per minggu. Hari tidak bekerja antara lain, libur resmi, libur tidak resmi (untuk kepentingan pribadi), hujan dan hari minggu. Dengan demikian hari kerja sesungguhnya(efektif) dari sebuah proyek lebih kecil dari hari kerja yang tertuang dalam kontrak.

Sebagai contoh, sebuah proyek dikontrak dengan jangka waktu pelaksanaan 180 hari kalender, hari kerja efektif adalah:

Hari tidak bekerja :

- Hari minggu = 25 hari
 - Hari libur = 4 hari
 - Hari hujan = 6 hari
- Jumlah hari tidak bekerja = 35 hari
- Hari kerja efektif = 145 hari.

$$HKE=HP - \Sigma\text{Hari Tidak Bekerja} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.7. Jaringan Kerja (Network Diagram)

2.7.1. Jaringan Kerja

Diagram jaringan kerja diperlukan untuk pekerjaan-pekerjaan yang memudahkan penyelenggaraan proyek secara keseluruhan. Diagram jaringan kerja berupa jaringan kerja yang berisi lintasa-lintasan kegiatan dan urutan-urutan peristiwa yang ada dalam penyelenggaraan proyek. Manfaat dari diagram jaringan kerja yaitu :

1. Dapat diketahui kaitan suatu kegiatan dengan kegiatan-kegiatan lainnya, sehingga bila suatu kegiatan terlambat maka dengan segera akan dilihat kegiatan apa saja yang dipengaruhi oleh keterlambatan tersebut dan berapa besar pengaruhnya.
2. Dapat diketahui kegiatan-kegiatan yang kritis, sehingga dengan mengetahui tingkat kekritisannya dapat diterapkan skala prioritas dalam menangani masalah-masalah yang timbul dalam penyelenggaraan suatu proyek.

Data-data yang diperlukan untuk menyusun diagram jaringan kerja adalah:

1. Pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan untuk menyelesaikan proyek tersebut secara keseluruhan. Dalam hal ini perlu diadakan inventarisasi pekerjaan apa saja yang harus dilaksanakan untuk menyelesaikan proyek tersebut.

2. Penentuan waktu yang diperlukan untuk pekerjaan. Oleh karena waktu - waktu tersebut tidak dapat ditentukan dengan mutlak maka harus ditaksir dengan sebaik-baiknya. Dalam hal ini sering pula dipergunakan waktu rata-rata yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan pada waktu-waktu yang lalu. Penelitian terhadap waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan akan semakin baik apabila didasarkan pada penelitian yang cermat, misalnya dengan penelitian atas waktu dan gerak, dan lain sebagainya
3. Urutan pekerjaan yang akan dilaksanakan. Urutan pekerjaan ini harus diketahui sebelum menyusun diagram jaringan kerja. Pekerjaan-pekerjaan apa saja yang harus diselesaikan sebelum suatu pekerjaan dimulai dan pekerjaan apa saja yang dapat dikerjakan setelah pekerjaan tersebut selesai.

2.7.2. Jalur Kritis (Critical Path Method)

Dalam pembagunan sebuah proyek agar jangka waktu penyelesaian bisa dicapai yaitu dengan cara mengoptimumkan biaya proyek total (*total project cost*) dan jangka waktu proyek diperpendek (dengan memperpendek salah satu atau beberapa kegiatan dari proyek itu). Cara tersebut merupakan fungsi dari metode *Critical Path Method* (CPM).




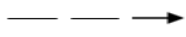
Metode jalur kritis dikembangkan pada tahun 1950- an untuk membantu para manajer melakukan penjadwalan, pemantauan serta pengendalian proyek-proyek besar dan kompleks. Pertama kali CPM muncul pada tahun 1957 sebagai perangkat yang dikembangkan oleh J.E.Kelly dari Remington Rand dan M.R. Walker dari Dupont untuk membantu pemeliharaan dan pembangunan sebuah pabrik kimia yang berlokasi di Dupont, Jay, dkk (2017)

Critical Path Method (CPM) merupakan sebuah metode yang pertama kali dibuat oleh *Du Pont Company* dimana metode ini tidak meniru PERT, akan tetapi kedua metode tersebut memiliki konsep hampir sama. Langkah-langkah penyusunan metode CPM Widyasanti, dkk (2013) sebagai berikut:

- a. Menentukan kegiatan-kegiatan. Pada langkah ini dilakukan pengkajian dan identifikasi lingkup proyek, membagi dan menguraikan menjadi kegiatan yang merupakan komponen proyek

- b. Menentukan durasi kegiatan. Durasi merupakan waktu yang diperkirakan untuk menyelesaikan sebuah kegiatan.
- c. Menyusun hubungan antar kegiatan. Pada langkah ini disusun kembali komponen-komponen pada butir pertama sesuai logikakebergantungan.
- d. Membuat *network diagram* proyek yang menunjukkan keterkaitan antar kegiatan sehingga jaringan kerja dapat terbentuk menggunakan simbol-simbol dalam perancangannya berdasarkan metode: *activity on arrow* (AOA)

Tabel 2. 1 Simbol yang Digunakan dalam *Network Planning Activity*

No.	Simbol	Arti
1.		Kegiatan, dalam AOA merupakan anak panah.
2.		<i>Node</i> , bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat peristiwa atau kejadian adalah permulaan atau akhir dari satu atau lebih kegiatan.
3.		<i>Double arrow</i> , Anak panah sejajar, merupakan kegiatan di lintasan kritis (<i>Critical Path</i>)
4.		<i>Dummy</i> , Bentuknya merupakan anak panah putus-putus yang artinya kegiatan semu, yaitu kegiatan yang tidak membutuhkan durasi tertentu.

Sumber: (Widiasanti & Lenggogeni, 2013)



Gambar 2.1 Network Diagram Activity

Sumber: (Widiasanti & Lenggogeni, 2013)

Keterangan:

- 1. Kegiatan merupakan rangkaian kegiatan dari awal proyek hingga akhir sebuah proyek yang dimana dituliskan dengan *activity X* dan seterusnya.

- 2 Node-i dibutuhkan sebagai awal, dan node-j dibutuhkan sebagaiakhir dalam setiap proyek.
 - 3 Durasi (L) merupakan rentang waktu yang diperlukan dalam setiap kegiatan.
 - 4 SPA i merupakan waktu tercapai kegiatan dapat dimulai.
 - 5 SPA j merupakan waktu tercapai kegiatan dapat diselesaikan.
 - 6 SPL i merupakan waktu terlama kegiatan dapat dimula
 - 7 SPL j merupakan waktu terlama kegiatan dapat diselesaikannya.
- e. Perhitungan waktu kegiatan menggunakan tahap sebelumnya dimana dilakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur dari penggambaran jaringan kerja, maka dilanjutkan
- f. Mengidentifikasi jalur kritis pada *network* diagram. Dilakukan perhitungan maju dan mundur. Dari kedua perhitungan tersebut maka dapat diidentifikasi jalur kritisnya.

Beberapa cara mengetahui lintasan atau item pekerjaan yang terdapat dalam lintasan kritis (*CPM*) adalah

1. Persamaan 1

Cara mengetahui item pekerjaan lintasan kritis ditentukan secara formulatif sebagai berikut:

$$SPA_{SPAj} - XL - SPA_i = 0 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

- X = Kegiatan
- j = Peristiwa akhir kegiatan X
- i = Peristiwa awal kegiatan X
- L = Lama kegiatan X yang diperkirakan
- SPAi = Saat paling awal peristiwa awal
- SPAj = Saat paling awal peristiwa akhir.

2. Persamaan 2

Cara mengetahui item pekerjaan lintasan kritis ditentukan secara formulatif sebagai berikut:

$$SPL_j - X_L - SPL_i = 0 \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

- X = Kegiatan
- L = Lama Kegiatan x
- i = Peristiwa awal kegiatan x
- j = Peristiwa akhir kegiatan
- SPL_i = Saat Paling Lambat Peristiwa Awal
- SPL_j = Saat Paling Lambat Peristiwa Akhir

2.7.3. Waktu Kelonggaran (Float)

Setelah menentukan besaran-besaran waktu, maka perlu ditentukan *float* kegiatan atau tenggang waktu kegiatan. *Float* kegiatan adalah jangka waktu yang merupakan ukuran batas toleransi keterlambatan kegiatan. Dengan ukuran ini dapat diketahui karakteristik pengaruh keterlambatan terhadap penyelenggaraan proyek dan terhadap pola kebutuhan sumberdaya. *Float* kegiatan terdiri dari 3 (tiga) macam yaitu:

1. Total Float (TF)

Total float sebuah kegiatan adalah jangka waktu antara saat paling lambat peristiwa akhir (SPL_j) kegiatan yang bersangkutan dengan saat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulaipada saat paling awal peristiwa awalnya (SPA_i). *Total float* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$TF = SPL_j - L_{ij} - SPA_i \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

- SPL_j = waktu paling lambat peristiwa akhir.
- L_{ij} = lamanya kegiatan.
- SPA_i = waktu paling awal peristiwa awal

2. Free Float (FF)

Free float sebuah kegiatan adalah jangka waktu antara saat paling awal peristiwa akhir (SPA_j) kegiatan yang bersangkutan dengan saat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulaipada saat paling awal peristiwa awalnya (SPA_i). *Free float* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$FF = SPA_j - L_{ij} - SPA_i \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

SPA_j = waktu paling awal peristiwa akhir.

L_{ij} = lamanya kegiatan.

SPA_i = waktu paling awal peristiwa awal

3. Independent Float (IF)

Independent Float sebuah kegiatan adalah jangka waktu antara saat paling awal peristiwa akhir (SPA_j) kegiatan yang bersangkutan dengansaat selesainya kegiatan yang bersangkutan, bila kegiatan tersebut dimulai pada saat paling lambat peristiwa awalnya (SPL_i). *Independent float* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$IF = SPA_j - L_{ij} - SPL_i \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

SPA_j = waktu paling awal peristiwa akhir.

L_{ij} = lamanya kegiatan.

SPL_i = waktu paling lambat peristiwa awal

2.8. Evaluasi Waktu Penyelesaian

Setelah menentukan jalur kritis, selanjutnya akan dilakukan evaluasi waktu pelaksanaan proyek. Evaluasi ini dilakukan pada jalur kritis dengan durasi terpanjang untuk mengetahui evaluasi penyelesaian waktu proyek yang mengalami keterlambatan. Dimana jalur kritis yang terbentuk dengan syarat menyelesaikan proyek memiliki control yaitu umur proyek kurang dari sama dengan hari kerja efektif .Untuk

mengetahui evaluasi waktu penyelesaian proyek dapat dilihat pada persamaan 2.19.

$$ND \leq HKE \dots\dots\dots(2.19.)$$

2.9. Koefisien Material

Koefisien material adalah jumlah tiap-tiap unsur material yang digunakan untuk menyelesaikan satu satuan item pekerjaan. Pedoman umum dalam menentukan kuantitas material adalah kebutuhan riil (efektif) ditambah dengan faktor yang hilang dalam analisa dan jika dirumuskan maka :

$$K_m = K_r + f_a \dots\dots\dots(2.20.)$$

Keterangan :

- K_m = koefisien atau kuantitas material
- K_r = kebutuhan riil per satuan item pekerjaan
- F_a = faktor yang hilang dalam Analisa

2.10. Kebutuhan Material (KM), Perubahan Kebutuhan Material (KM') Dan Perubahan Produksi Minimum (QM')

Kebutuhan material berdasarkan produksi minimum pada jam kerja normal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_{MJ} = K_M \times Q_{MJ} \dots\dots\dots(2.21.)$$

$$K_{MH} = K_M \times Q_{MH} \dots\dots\dots(2.22.)$$

Persamaan untuk menghitung kebutuhan material akibat keterlambatan penyediaan adalah sebagai berikut:

$$K_{MH}' = K_{MJ} \times J_{ef} \dots\dots\dots(2.23.)$$

$$K_{MJ} = \frac{K_{MH}}{J_{ef}} \dots\dots\dots(2.24.)$$

Persamaan untuk menghitung perubahan produksi minimum akibat keterlambatan penyediaan material adalah sebagai berikut:

$$Q_{MH} = K_m \times K_{MH} \dots\dots\dots(2.25.)$$

$$Q_{MJ}' = \frac{K_{MH}'}{J_{ef}} \dots\dots\dots(2.26.)$$

Persamaan untuk menghitung perubahan produksi akibat keterlambatan penyediaan material adalah sebagai berikut:

$$K_M = V \times K_M \dots \dots \dots (2.27.)$$

Keterangan :

- K_{MJ} = Kebutuhan material normal per-jam
- K_{MH} = kebutuhan material normal per-hari
- K_{MT} = kebutuhan material total
- K_{MJ}' = perubahan kebutuhan material per-jam akibat keterlambatan penyediaan material
- K_{MH}' = perubahan kebutuhan material per-hari akibat keterlambatan penyediaan material
- K_m = koefisien material
- Q_{MH} = produksi minimum per-hari pada jam kerja normal ($m^2/hari$, $m^3/hari$)
- Q_{MH} = produksi minimum per-hari pada jam kerja normal ($m^2/hari$, $m^3/hari$)
- Q_{MJ}' = perubahan produksi minimum per-jam pada jam kerja normal (m^2/jam , m^3/jam)
- Q_{MH}' = produksi minimum jam akibat keterlambatan distribusi material (m^2/jam , m^3/jam)
- J_{ef} = jam kerja efektif
- J_{ef}' = penurunan jam kerja efektif akibat keterlambatan penyediaan material.

2.11. Simulasi Keterlambatan Pada Item Pekerjaan Yang Masuk Dalam Jalur Kritis

Simulasi dapat diartikan sebagai cara untuk mengantisipasi permasalahan dalam masalah efisiensi yang akan terjadi dalam fase pelaksanaan adalah dengan simulasi. Simulasi sudah dikenal sebagai teknik yang efektif untuk melakukan perencanaan dan analisis operasi konstruksi yang dilakukan. Dalam simulasi operasi konstruksi, urutan kegiatan dibuat dan dimodelkan dalam bentuk diagram sehingga dapat diketahui sumber daya yang memiliki idle time tinggi. Oleh karena itu, teknik simulasi bisa

digunakan untuk mengoptimalkan item pekerjaan yang terdapat pada lintasan kritis dan untuk mengevaluasi operasi konstruksi. Simulasi berhubungan dengan permodelan dari suatu proses atau system dalam suatu cara tertentu sehingga model tersebut menirukan respon dari system actual terhadap suatu kejadian yang terjadi seturut dengan waktu. (Schriber,1987). Pada penelitian ini terdapat dua simulasi keterlambatan yaitu:

1. Simulasi keterlambatan dari waktu datangnya material pada item pekerjaan yang masuk pada

Keterlambatan datangnya material disimulasikan 3jam/hari dengan interval waktu antara 1 jam, yang artinya keterlambatan datangnya material yang mengakibatkan terjadi berkurangnya jam kerja efektif sebanyak 3 jam dari jam kerja efektif awal dan dihitung dengan interval waktu antara 1 jam. Diketahui , jam kerja efektif pada proyek ini adalah 7 jam/hari. Jika keterlambatan datangnya material terjadi sebanyak 1 jam terjadi pengurangan jam kerja efektif menjadi 6 jam dan apabila terjadi keterlambatan datangnya material sebanyak 2 jam maka terjadi pengurangan waktu kerja efektif menjadi 5 jam. Perhitungan ini dilakukan berulang hingga terjadi keterlambatan datangnya material sebanyak 3 jam/hari.

Alasan dibuat simulasi keterlambatan distribusi material 3jam/hari karena disesuaikan dengan aturan waktu kerja lembur yang hanya dapat dilakukan paling banyak 3 jam/hari (pasal 3 ayat 1 peraturan menteri no.102/MEN/VI/2004) maka keterlambatan datangnya material yang akan menyebabkan berkurangnya jam kerja efektif ini disimulasikan 3 jam/hari.Pada simulasi keterlambatan datangnya material ini, akan dihitung perubahan produksi minimum, perubahan waktu penyelesaian dan perubahan pada network diagram..

2. Simulasi keterlambatan dari jumlah material yang tersedia pada item pekerjaan yang masuk pada lintasan kritis.

Keterlambatan ketersediaan material disimulasikan dalam bentuk probability persentase 30% dengan interval 10%, yang artinya keterlambatan dari segi jumlah material yang tersedia berkurang 30% dari jumlah yang tersedia secara normal dan dihitung dengan interval 10%. Diketahui, jumlah material yang tersedia secara normal adalah 100%. Jika terjadi kekurangan material sebanyak 10% maka jumlah

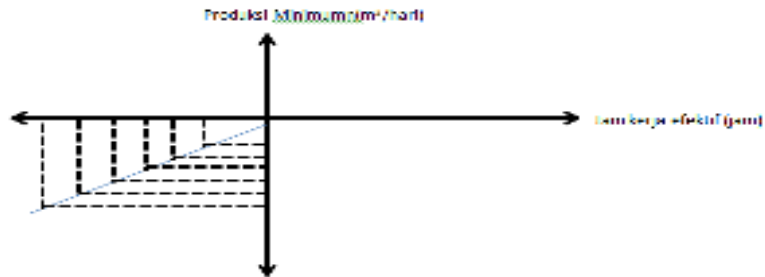
material yang tersedia menjadi 90% dan apabila terjadi pengurangan jumlah material sebesar 20% maka jumlah material yang tersedia sebesar 80%. Perhitungan ini dilakukan berulang hingga terjadi pengurangan material sebesar 30%. Alasan dibuat simulasi keterlambatan yang disebabkan oleh ketersediaan material berkurang sebesar 30% berdasarkan penelitian tugas akhir dengan judul “Identifikasi Dan Analisa Risiko Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Muhamadiyah Prof. Dr Hamka” oleh Annisa Saputri 2019 yang dipelajari oleh penulis menjelaskan bahwa dampak resiko terhadap waktu dengan menggunakan metode severity index variable ketersediaan material masuk dalam kategori sedang dengan angka probability persentase sebesar 43,75% dengan durasi keterlambatan 3-7 hari. Dengan demikian penulis, mengambil persentase probability yaitu 30 % agar keterlambatan tidak mencapai durasi 3- 7 hari. Jika diambil probability persentase sama dengan 43,75% atau diatas 43,75% maka suatu proyek dinyatakan mengalami keterlambatan yang signifikan.

Pada simulasi keterlambatan yang disebabkan oleh ketersediaan material yang berkurang, maka akan dihitung perubahan produksi minimum dan waktu penyelesaian.

2.12. Pengaruh keterlambatan penyediaan material dari waktu datangnya material terhadap produksi minimum, waktu penyelesaian

2.12.1. Pengaruh Keterlambatan Terhadap Produksi

Produksi minimum adalah banyaknya pekerjaan yang dapat dilakukan dalam satu satuan waktu tertentu, secara bersamaan oleh tenaga kerja dan peralatan. Pada kenyataannya, masing masing tenaga kerja dan alat mempunyai produksi yang berbeda, sehingga untuk bekerja bersama- sama maka produksi yang dipilih adalah produksi terkecil (minimum).



Grafik 2.1 Hubungan Jam Kerja Efektif Dan Produksi Minimum

Dari grafik 2.1 tersebut keterlambatan penyediaan material diartikan sebagai berkurangnya jam kerja efektif. Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa jika jam kerja efektif berkurang maka produksi minimum/hari semakin menurun. Hal ini dikarenakan produksi (hari) merupakan perkalian dari produksi (jam) dan jam kerja efektif. Variable yang berubah disini adalah jam kerja efektif namun produksi jam tetap sama. Material yang datang terlambat menyebabkan tenaga kerja yang bekerja sesuai dengan jam kerja efektif yang telah berkurang karena terlambat datangnya material, sehingga produksi yang harus diperoleh satu harinya sesuai dengan jam kerja efektif, harus berkurang karena jumlah waktu dalam jam kerja efektif juga berkurang.

2.12.2. Pengaruh Keterlambatan Terhadap Waktu Penyelesaian

Waktu penyelesaian adalah waktu yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dan alat untuk menyelesaikan seluruh volume item pekerjaan dari suatu proyek. Pengaruh keterlambatan terhadap waktu penyelesaian proyek dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$WP' = \frac{V}{Q_{MH'}} \dots \dots \dots (2.28.)$$

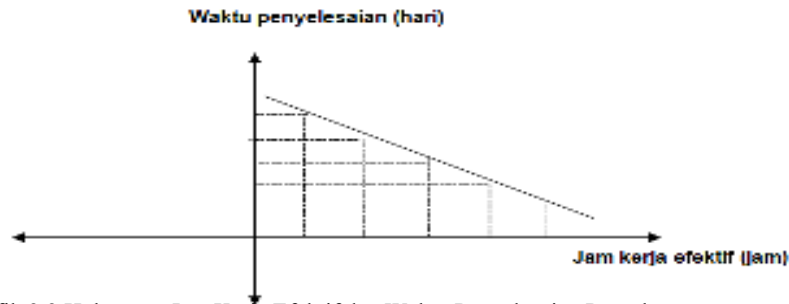
Keterangan :

WP' : waktu penyelesaian akibat terjadi keterlambatan (hari)

Q_{MH'} : produksi minimum akibat terjadi keterlambatan (m²/hari, m³/hari)V

: volume pekerjaan (m^3 , m^2 , m)

Pengaruh keterlambatan dan waktu penyelesaian dapat dilihat pada gambar berikut.



Grafik 2.2 Hubungan Jam Kerja Efektif dan Waktu Penyelesaian Proyek

Dari grafik 2.1 tersebut keterlambatan diartikan sebagai berkurangnya jam kerja efektif. Dari Gambar 2.1 disimpulkan bahwa jika jam kerja efektif berkurang maka waktu penyelesaian proyek akan semakin bertambah. Waktu penyelesaian proyek ini bertambah karena produksi minimum yang berkurang.

2.13. Pengaruh keterlambatan penyediaan material dari jumlah material yang tersedia terhadap produksi minimum, waktu penyelesaian

2.13.1. Pengaruh Simulasi Keterlambatan Terhadap Produksi

Ada beberapa faktor dalam manajemen material yang mempengaruhi produksi suatu proyek, salah satunya adalah masalah pengadaan material. Pengadaan material pada proyek konstruksi sangat berpengaruh terhadap tingkat produksi. Hal ini diperkuat oleh pernyataan John D Borchoring, dkk yang menyatakan bahwa hasil penelitian menunjukkan enam factor yang paling banyak mempengaruhi produktifitas tenaga kerja pada proyek konstruksi dan factor tersebut salah satunya adalah faktor ketersediaan material yang dimana ketersediaan material tersebut dipengaruhi oleh pengadaan material itu sendiri.

Jumlah kebutuhan material diperoleh dari hasil perkalian dari produksi minimum dengan kuantitas item pekerjaan. Apabila produksi minimum menurun maka kebutuhan material berkurang sebaliknya jika produksi meningkat maka kebutuhan material juga semakin meningkat.

2.13.2. Pengaruh Keterlambatan Terhadap Waktu Penyelesaian

Perubahan waktu penyelesaian yang disebabkan oleh ketersediaan material dapat mengakibatkan keterlambatan dalam sebuah proyek. Waktu penyelesaian dipengaruhi oleh volume dan produksi minimum. Apabila produksi minimum mengalami perubahan akibat jumlah material hal tersebut dapat mengakibatkan perubahan terhadap waktu penyelesaian. Waktu penyelesaian di peroleh dari persamaan

$$WP' = \frac{V}{Q_{MH'}} \dots \dots \dots (2.29.)$$

Keterangan

WP = Waktu Penyelesaian (hari)

WP' = Waktu Penyelesaian akibat terjadi keterlambatan penyediaan material (hari)

V = Volume Pekerjaan (m², m³, m)

Q_{MH'} = Produksi Minimum akibat keterlambatan penyediaan material (m²/hari, m³/hari)

