

TUGAS AKHIR

**TINJAUAN STRUKTUR BAWAH DAN MANAJEMEN
KONSTRUKSI PADA PROYEK PEMBANGUNAN
GEDUNG KANTOR SMA KEBERBAKATAN
OLAHRAGA DI MINAHASA**

Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Studi Pada
Program Studi Diploma IV Konstruksi Bangunan Gedung
Jurusan Teknik Sipil

Oleh :

Fritska Esterlita Kansil
NIM. 12 012 052



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK SIPIL

2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap tahunnya kegiatan konstruksi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan keinginan pemerintah untuk memajukan setiap daerah di Indonesia. Pembangunan tersebut antara lain perencanaan struktur dan pelaksanaan waktu kerja konstruksi. Pada tahap pekerjaan struktur, salah satu yang perlu diperhatikan adalah perencanaan pondasi. Sedangkan pada pelaksanaan konstruksi, tahapan pelaksanaan yang harus diperhatikan secara penuh oleh pihak pelaksana, sehingga menuntut pihak pelaksana untuk melakukan perencanaan baik itu dalam pekerjaan struktur maupun dalam perencanaan manajemen.

Dalam pekerjaan konstruksi diperlukan perencanaan pondasi yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi dan perlu adanya penjadwalan dan mengatur koordinasi kerja yang berorientasi pada waktu penjadwalan proyek agar tidak terjadi keterlambatan. Perencanaan struktur pondasi (dangkal) yang terjadi diapangan tidak sesuai dengan perencanaan dan perubahan waktu penjadwalan proyek terjadi pada pembangunan Gedung SMA Keberbakatan Olahraga di Minahasa, khususnya pada Gedung Kantor.

Menurut Nurhayati (2010), metode *Critical Path Method* (CPM) lebih terkenal dengan istilah lintasan kritis, tujuan lintasan kritis adalah untuk mengetahui dengan cepat kegiatan-kegiatan yang tingkat kepekaannya tinggi terhadap keterlambatan pelaksanaan sehingga setiap saat dapat ditentukan tingkat prioritas kebijaksanaan penyelenggara proyek apabila kegiatan tersebut terlambat. selain manajemen adanya juga tinjauan struktur bawah yang harus dilakukan sehingga diperlukan perhitungan kembali struktur bawah.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan gambaran tinjauan struktur bawah dan manajemen dengan meninjau waktu jaringan kerja pada pekerjaan pembangunan Gedung SMA Keberbakatan Olahraga di Minahasa terlebih khusus pada gedung kantor dengan metode CPM dan mendapatkan dimensi penampang, hasil penulangan pondasi telapak.

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir adalah :

1. Untuk mendapatkan dimensi penampang pondasi telapak dan hasil penulangan pondasi telapak.
2. Untuk menentukan waktu jaringan kerja penjadwalan proyek menggunakan metode CPM.

1.3 Pembatasan Masalah

Adapun masalah yang dibatasi dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang menjadi objek pengamatan adalah Gedung Kantor SMA Keberbakatan Olahraga di Minahasa.
2. Analisa daya dukung pondasi telapak menggunakan metode Terzaghi.
3. Waktu pelaksanaan berdasarkan realisasi pekerjaan yang ada.
4. Menentukan jaringan kerja penjadwalan proyek menggunakan metode CPM.
5. Perhitungan struktur menggunakan *software* SAP 2000 V. 14.

1.4 Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan tugas akhir yang digunakan adalah sebagai berikut :

a) Metode Observasi

Metode observasi dilakukan melalui proses Praktek Kerja Lapangan (PKL) selama 4 bulan dimana beberapa data hasil pengamatan di lapangan dan berdasarkan wawancara pada pihak kontraktor dan pihak konsultan pengawas.

b) Studi Pustaka

Data pendukung berasal dari artikel, dan referensi buku yang dapat menjelaskan serta memberikan pemecahan terhadap permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir.

1.5 Sistematika Penulisan

Agar memudahkan penulisan laporan tugas akhir ini maka dengan sistematika penulisan disusun sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menguraikan tentang tinjauan pustaka atau teori yang berhubungan dengan CPM dan analisa perhitungan pondasi dangkal.

BAB III PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang pembahasan dari judul yang diambil.

BAB IV PENUTUP

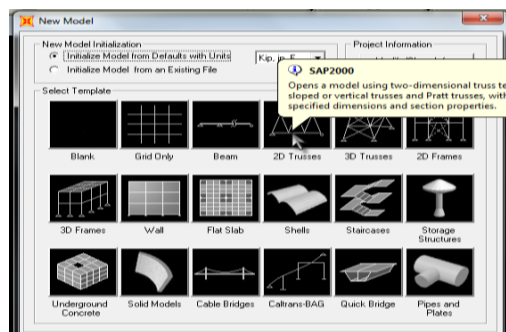
Merupakan bagian penutup yang berisi tentang kesimpulan dan rekomendasi yang dijawab dari Bab pembahasan.

BAB II

DASAR TEORI

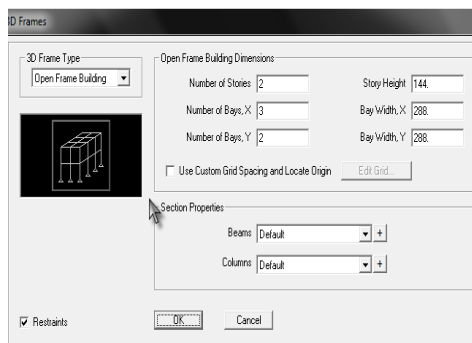
2.1 Program SAP 2000

1. Buka aplikasi SAP
2. Ubah satuan menjadi *kg, m, C*
3. Klik menu *File > New Model*, lihat Gambar 2.1



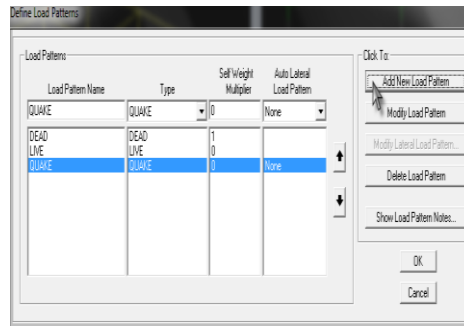
Gambar 2.1 New model struktur

4. Tentukan *number of story, number of bays, story of height*, dan *bay width* kemudian klik ok, lihat Gambar 2.2



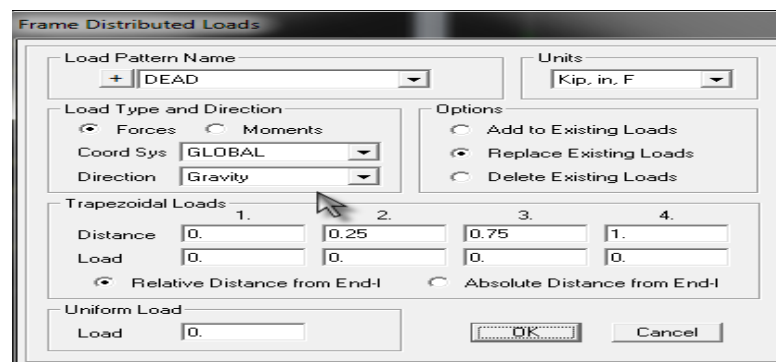
Gambar 2.2 Menentukan tinggi lantai, berapa lantai, dan berapa bentang

5. Pilih menu *define > load pattern* isikan nama beban *DL, LL*, lihat Gambar 2.3



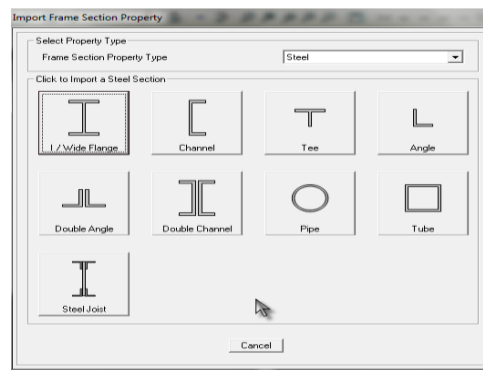
Gambar 2.3 Mengisi beban mati, hidup, dan gempa

6. Pemasangan beban pada struktur assign > frame loads > distributed, lihat Gambar 2.4



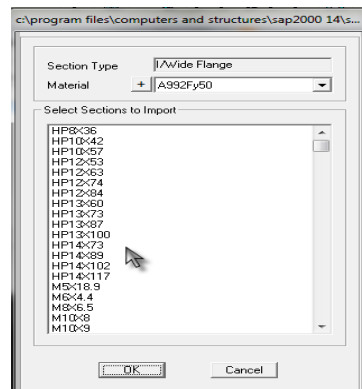
Gambar 2.4 Mengisi berat beban mati dan hidup

7. Pilih menu *define* > *section properties* > *frame sections* klik *import new property* pilih *steel*, lihat Gambar 2.5



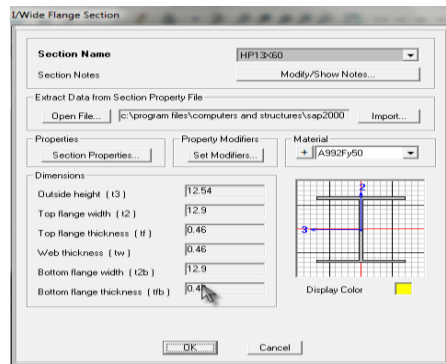
Gambar 2.5 Membuat profil

8. Pada kotak dialog *section property* pilih *file section pro* dan klik *open*, lihat Gambar 2.6



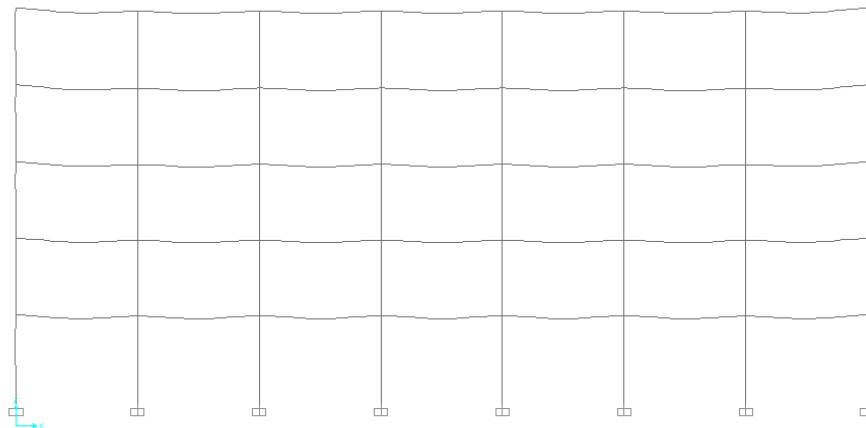
Gambar 2.6 Menentukan profil

9. Pilih profil balok dan kolom dan klik ok, lihat Gambar 2.7



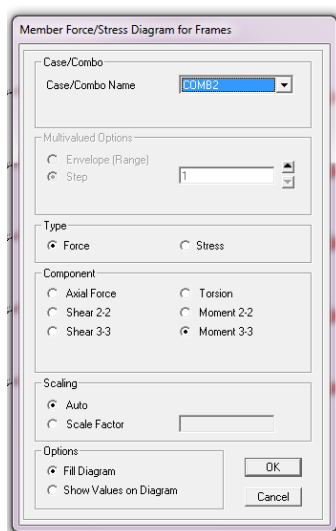
Gambar 2.7 Mengisi luas penampang kolom dan balok

10. Kemudian menghitung konstruksi portal tersebut, pilih menu *analysis > run analysis* SAP akan menghitung konstruksi balok tersebut dan akan muncul gambar deformasi struktur portal tersebut. Lihat Gambar 2.8



Gambar 2.8 Deformasi struktur

11. Menampilkan bidang momen struktur display > show forces/stresses > frame/cables untuk menampilkan bidang momen, bidang lintang, bidang normal, untuk beban mati, hidup, gempa, lihat Gambar 2.9



Gambar 2.9 Menampilkan bidang momen

2.2 Pengertian Pondasi

Menurut Bambang Surendro (2014) dalam ilmu teknik sipil, keamanan sebuah bangunan sangat ditentukan oleh kekuatan strukturnya, baik struktur atas (*upper structure*) dan struktur bawah (*base structure*). Yang dimaksud dengan struktur bawah adalah bagian bangunan yang berada dibawah permukaan tanah. Bangunan struktur bawah ini konstruksi perletakannya disebut dengan pondasi. Banyak jenis pondasi yang dapat digunakan, akan tetapi dalam penentuan jenis pondasi yang akan digunakan tergantung dari kebutuhan, yaitu berdasarkan besar beban yang akan diterima dan jenis lapisan tanah yang digunakan sebagai tempat perletakan pondasi.

2.2.1 Macam-macam Pondasi

Secara garis besar pondasi ada dua macam yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Penentuan macam pondasi dapat dilakukan berdasarkan keadaan perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dan lebar pondasi (B), sebagai berikut :

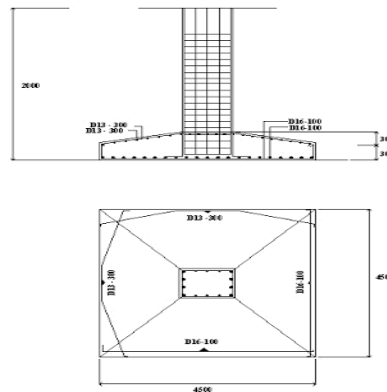
1. Dipilih pondasi dangkal jika $D/B < 1$
2. Dipilih pondasi dalam jika $D/B > 4-5$

Pada prinsipnya hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan pondasi adalah sebagai berikut :

1. Pondasi dangkal digunakan jika lapisan tanah yang baik, berada cukup dangkal, tidak melebihi 2 meter.
2. Pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah yang baik berada cukup dalam.

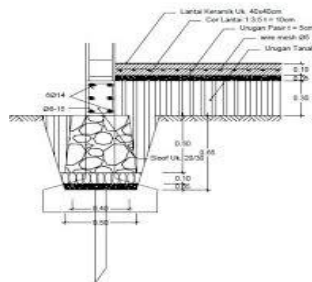
Secara umum yang termasuk jenis pondasi dangkal dan pondasi dalam adalah sebagai berikut :

1. Pondasi dangkal (*shallow footing*) adalah :
 - a. Pondasi telapak (*square footing*), lihat Gambar 2.9



Gambar 2.10 Pondasi Telapak
(Sumber : kampuzsipil.blogspot.com)

- b. Pondasi menerus (*continuous footing*), lihat Gambar 2.10



Gambar 2.11 Pondasi Menerus
(Sumber : ekasupriadi02.blogspot.com)

2. Termasuk jenis pondasi dalam (deep footing) adalah :

- a. Pondasi sumuran (bored pile). Dalam pembuatan pondasi sumuran dibedakan menjadi dua macam yaitu yang menggunakan casing dan yang tanpa menggunakan casing.
- b. Pondasi tiang pancang
- c. Pondasi caisson (merupakan pondasi dalam yang mempunyai ukuran besar dan berbentuk blok beton berongga yang didalamnya dapat diisi dengan pasir, pasir berbatu dan lain-lain).

Pondasi dangkal pada umumnya digunakan pada kondisi lapisan tanah keras terletak dengan permukaan tanah (dangkal), sedangkan pondasi dalam digunakan pada kondisi lapisan tanah keras terletak jauh dari permukaan tanah (dalam).

2.2.2 Perencanaan Pondasi Telapak

Adapun langkah-langkah perhitungan pondasi telapak beton bertulang sebagai berikut (Pamungkas dan Harianti, 2013):

1. Kontrol gaya geser 1 arah, dimana kuat geser beton harus lebih besar dibandingkan dengan gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang kritis.

- a. Gaya geser terfaktor

$$V_u = \sigma \times L \times G' \quad (1)$$

Dimana:

V_u : gaya geser

σ : tegangan tanah yang terjadi

G' : daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser satu arah

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{ak}{2} + d \right) \quad (2)$$

Dimana:

L : lebar pondasi telapak

ak : lebar kolom

d : tebal efektif pondasi yang didapat dari hasil pengurangan tebal pondasi dengan tebal selimut beton

Tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 9.7

b. Kuat geser beton

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \quad (3)$$

Dimana:

V_c : gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

ϕ : faktor koreksi untuk beton

f_c' : kuat tekan beton yang disyaratkan

b : panjang pondasi telapak

d : tebal efektif pondasi

2. Kontrol gaya geser 2 arah

Kontrol gaya geser 2 arah, dimana kuat geser beton harus lebih besar dibandingkan dengan gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang kritis.

$$V_u = \sigma \times (L^2 - B'^2) \quad (4)$$

Dimana:

V_u : gaya geser

σ : tegangan tanah yang terjadi

L : panjang pondasi telapak

B' : lebar penampang kritis pondasi

$$B' = ak - d$$

Dimana:

ak : lebar kolom

d : tebal efektif pondasi yang didapat dari hasil pengurangan tebal pondasi dengan tebal selimut beton.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2.1 dipilih nilai V_c adalah nilai terkecil dari:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6} \quad (5)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{\beta_c} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12} \quad (6)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad (7)$$

Dimana:

V_u : gaya geser 2 arah yang terjadi

b_k : panjang kolom

a_k : lebar kolom

d : tinggi efektif pondasi

h : tebal pondasi

b_o : keliling penampang kritis pondasi telapak

B_c : konstanta perbandingan antara a_k dan b_k

α_s : konstanta untuk perhitungan pondasi telapak

40 untuk kolom dalam

30 untuk kolom tepi

20 untuk kolom sudut

3. Menentukan penulangan pondasi telapak

$$\bullet M_u = \frac{1}{2} \times q \times L b^2 \quad (8)$$

$$\bullet K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (9)$$

$$\bullet K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f_c'}{(600 + f_y)^2} \quad (10)$$

$$\bullet a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \cdot d \quad (11)$$

$$\bullet A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (12)$$

$$\bullet A_s = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \quad (13)$$

$$\bullet s = \frac{1/4 \times \pi \times D^2}{A_s} \quad (14)$$

$$\bullet A_{s,u} = \frac{1/4 \times \pi \times D^2 \times s}{s} \quad (15)$$

Dimana:

M_u	: momen ultimat
q	: tegangan
L_b	: lebar daerah pembebanan
K	: faktor momen pikul
K_{maks}	: faktor momen pikul maksimal
b dan S	: konstanta pengali 1000
d	: tebal efektif pondasi telapak
s	: jarak tulangan pondasi
A_s	: luas tulangan tekan
$A_{s,u}$	: luas tulangan tekan yang diperlukan

4. Mengontrol kuat dukung pondasi

Pondasi harus mampu mendukung semua beban yang bekerja pada bangunan di atasnya. Oleh karena itu di syaratkan bahwa beban aksial terfaktor pada kolom (P_u) tidak boleh melampaui kuat dukung dari pondasi ($\bar{P}_u$) yang di rumuskan:

$$P_u \leq \bar{P}_u$$

$$\bar{P}_u = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \text{ dengan } \phi = 0,7 \text{ (Pasal 12.17.1)} \quad (16)$$

Dengan :

P_u = gaya aksial terfaktor (pada kolom)

$\bar{P}_u$ = kuat dukung pondasi yang di bebani

f_c' = mutu beton yang di syaratkan

A_1 = luas daerah yang dibebani

2.3 Analisa Daya Dukung Pondasi

2.3.1 Analisa Daya Dukung Pondasi Telapak

Daya dukung pondasi telapak ditentukan oleh daya dukung tanah dasar dan oleh gesekan (f) atau lekatan (c). Jika daya dukung oleh tanah dasar diberi notasi σ_1 dan daya dukung oleh gesekan dan atau lekatan diberi notasi σ_2 , maka daya dukung ultimate pondasi telapak ($\sigma_{ultimate}$) adalah $\sigma_1 + \sigma_2$.

a. Daya dukung tanah dasar (σ_1)

Untuk menghitung daya dukung ultimate tanah dasar dapat digunakan persamaan klasik dari Terzaghi dan Peck sebagai berikut :

- Untuk pondasi bujur sangkar/segi empat

$$\sigma_{ult} = \alpha \cdot C \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_1 \cdot N_q + \beta \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma \quad (17)$$

- Untuk pondasi bentuk empat persegi panjang

$$\sigma_{ult} = 1,3 C \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_1 \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma \quad (18)$$

- Untuk pondasi bentuk lingkaran

$$\sigma_{ult} = ((1+0,3(B/L)) C \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_1 \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma \quad (19)$$

dengan :

σ_{ult} : Daya dukung ultimate pondasi

C : Cohesi tanah

γ_1 : Berat volume tanah disamping pondasi

γ_2 : Berat volume tanah dibawah pondasi

D_f : Kedalaman sampai dasar pondasi

B : Lebar atau diameter pondasi

N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung Terzaghi yang besarnya ditentukan pada nilai sudut geser dalam (ϕ) , lihat Tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Nilai-nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5.7	1.0	0.0	5.7	1	0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5.0	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35.0	23.7	11.7	9
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

(Sumber :Bambang Surendro, 2014)

Atau dapat digunakan rumus untuk penentuan faktor daya dukung tanah Terzaghi dengan rumus sebagai berikut:

$$N_c = \frac{228 + 4,3\phi}{40 - \phi} \quad (20)$$

$$N_q = \frac{40 + 5\phi}{40 - \phi} \quad (21)$$

$$N_\gamma = \frac{6\phi}{40 - \phi} \quad (22)$$

b. Faktor keamanan pondasi telapak

Pada dasarnya untuk menentukan kemandirian pondasi telapak terhadap tanah, pondasi telapak harus dihitung beberapa jenis faktor keamanan sebagai berikut

- Faktor Keamanan Daya Dukung (FK_{DD})

Faktor Keamanan daya dukung pondasi telapak diperhitungkan terhadap perbandingan antara daya dukung ultimate tanah dan beban yang bekerja pada pondasi telapak dibagi dengan luasan dari pondasi telapak yang dapat dilihat sebagai rumus berikut:

$$FK_{DD} = \frac{q_{ult}}{q_a} \quad (23)$$

Dimana:

FK_{DD} adalah faktor keamanan daya dukung dengan nilai 2,5– 3

q_{ult} adalah daya dukung ultimate tanah

q_a adalah tegangan pondasi

- Faktor Keamanan Gesekan (FK_{gesek})

Gesekan yang disebabkan oleh gaya geser atau gaya horizontal yang bekerja pada pondasi telapak harus diperhitungkan terhadap tahanan gesekan, dimana tahanan gesekan tergantung pada nilai N (beban maksimum yang bekerja pada pondasi telapak) dan koefisien gesekan tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Koefisien Gesekan Antara Dasar dari Telapak Beton dan Tanah

Uraian	Δ
Beton/batu karang	0,7 – 0,8
Beton/tanah berbatu	0,55
Beton/tanah berbatu dengan lumpur	0,45
Beton/lempung + lumpur	0,3 – 0,35

(Sumber : Bambang Surendro, 2014)

Dengan rumus sebagai berikut:

$$FK_{gesek} = \frac{\sum N \times \delta}{\sum H} \quad (24)$$

Dimana:

FK_{gesek} tidak boleh $< 1,5$

$\sum N$ adalah total beban vertikal terhadap dasar dari telapak

δ adalah koefisien dari gesekan antara beton dan dasar telapak

$\sum H$ adalah total gaya horizontal yang bekerja pada bangunan

- Faktor Keamanan Guling (FK_{guling})

Kelongsoran yang dapat terjadi akibat adanya momen yang bekerja pada bangunan dan gaya horizontal, sehingga perlu dilakukan kontrol terhadap faktor guling dari pondasi telapak dengan rumus sebagai berikut:

$$FK_{guling} = \frac{\sum Mr}{\sum Mt} \quad (25)$$

Dimana:

FK_{guling} tidak boleh $< 1,5$

$\sum Mr$ adalah momen yang menahan guling

$\sum Mt$ adalah momen guling

2.4 Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada pondasi antara lain :

1. Beban horizontal/geser, contohnya beban akibat gaya tekan tanah, transfer beban akibat gaya angin pada dinding.
2. Beban vertical/beban tekan dan tarik, contohnya beban mati, beban hidup, gaya gempa.
3. Momen

2.5 Proyek

2.5.1 Definisi Proyek

Menurut Nurhayati (2010) Sebuah proyek merupakan suatu upaya atau aktivitas yang diorganisasikan untuk mencapai tujuan, sasaran, dan harapan-harapan penting

dengan menggunakan anggaran dana serta sumber daya yang tersedia, yang harus diselesaikan dalam jangka waktu tertentu. Dari definisi proyek, terlihat bahwa ciri pokok proyek adalah :

- a. Memiliki tujuan yang khusus, produk akhir atau hasil kerja akhir.
- b. Jumlah biaya, sasaran jadwal serta kriteria mutu dalam proses mencapai tujuan telah ditentukan.
- c. Bersifat sementara, dalam arti umurnya dibatasi oleh selesainya tugas. Titik awal dan akhir ditentukan dengan jelas.
- d. Nonrutin, tidak berulang-ulang. Jenis dan intensitas kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung.

2.5.2 Jenis-Jenis Proyek

Terdapat berbagai jenis kegiatan proyek, yakni kegiatan-kegiatan yang terkait dengan pengkajian aspek ekonomi, masalah lingkungan, *desain engineering*, *marketing*, dan lain-lain (Nurhayati 2010). Secara realita, proyek dapat dibagi menjadi satu jenis tertentu, karena umumnya merupakan kombinasi dari beberapa jenis kegiatan sekaligus. Namun berdasarkan aktivitas yang paling dominan dilakukan pada sebuah proyek, maka jenis-jenis proyek dapat dikategorikan pada :

- a. Proyek *Engineering* Konstruksi
Aktivitas utama jenis proyek ini terdiri dari pengkajian kelayakan, desain *engineering*, pengadaan, dan konstruksi
- b. Proyek *Engineering* Manufaktur
Aktivitas proyek ini adalah untuk menghasilkan produk baru. Jadi proyek manufaktur merupakan proses untuk menghasilkan produk baru.
- c. Proyek Pelayanan Manajemen
Aktivitas utama proyek ini adalah merancang program efisiensi dan penghematan, diversifikasi, penggabungan dan pengambilalihan, memberikan bantuan emergency untuk daerah yang terkena musibah, serta merancang strategi untuk mengurangi kriminalitas dan penggunaan obat-obatan terlarang.
- d. Proyek Penelitian dan Pengembangan
Aktivitas utama proyek penelitian dan pengembangan adalah melakukan dan pengembangan suatu produk tertentu.

e. **Proyek Kapital**

Proyek kapital biasanya digunakan oleh sebuah badan usaha atau pemerintah meliputi pembebasan tanah, penyiapan lahan, pembelian material dan peralatan, manufaktur dan konstruksi pembangunan fasilitas produksi.

2.6 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan merupakan tahapan menerjemahkan suatu perencanaan ke dalam suatu diagram-diagram yang sesuai dengan skala waktu. Penjadwalan menentukan kapan kegiatan-kegiatan akan dimulai, ditunda, dan diselesaikan, sehingga pengendalian sumber-sumber daya akan disesuaikan waktunya menurut kebutuhan yang ditentukan. Dalam proyek, penjadwalan sangat penting dalam memproyeksikan keperluan tenaga kerja, material, dan peralatan.

Menjadwalkan adalah berpikir secara mendalam melalui berbagai persoalan-persoalan, menguji jalur-jalur yang logis, serta menyusun berbagai macam tugas, yang menghasilkan suatu kegiatan lengkap, dan menuliskan bermacam-macam kegiatan dalam kerangka yang logis dan rangkaian waktu yang tepat.

Adapun tujuan penjadwalan adalah sebagai berikut :

- a. Mempermudah perumusan masalah proyek.
- b. Menentukan metode atau cara yang sesuai.
- c. Kelancaran kegiatan lebih terorganisir.
- d. Mendapatkan hasil yang optimum.

Sedangkan fungsi penjadwalan dalam suatu proyek konstruksi antara lain :

Menentukan durasi total yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek.

- a. Menentukan waktu pelaksanaan dari masing-masing kegiatan.
- b. Menentukan kegiatan-kegiatan yang tidak boleh terlambat atau tertunda pelaksanaannya dan menentukan jalur kritis.
- c. Menentukan kemajuan pelaksanaan proyek.
- d. Sebagai dasar perhitungan *cashflow* proyek.
- e. Sebagai dasar bagi penjadwalan sumber daya proyek, seperti tenaga kerja, material, dan peralatan.

f. Sebagai alat pengendalian proyek.

Mengingat perubahan-perubahan yang selalu terjadi pada saat pelaksanaan, maka beberapa faktor harus diperhatikan untuk membuat jadwal proyek yang cukup efektif, yaitu :

- a. Secara teknis, jadwal tersebut bisa dipertanggungjawabkan (*technically feasible*).
- b. Disusun berdasarkan perkiraan/ramalan yang akurat (*reliable estimate*) dimana perkiraan waktu, sumber daya, serta biayanya berdasarkan kegiatan pada proyek sebelumnya.
- c. Sesuai sumber daya yang sesuai.
- d. Sesuai penjadwalan proyek lainnya yang menggunakan sumber daya yang sama.
- e. *Fleksible* terhadap perubahan-perubahan, misalnya perubahan pada spesifikasi proyek.
- f. Mendetail yang dipakai sebagai alat pengukur hasil yang dicapai dan pengendalian kemajuan proyek.
- g. Dapat menampilkan kegiatan pokok kritis.

2.6.1 *Construction Method*

Metode adalah suatu hal yang penting untuk diperhatikan dalam proses konstruksi bangunan. Dengan penentuan metode yang tepat, suatu proyek konstruksi dapat mengejar target keuntungan dari sisi biaya dan waktu dengan tanpa meninggalkan kualitas. Bila dikaitkan dengan *cost and time reduction*, metode pun bisa menjadi suatu stimulus atau bahkan dapat diibaratkan seperti katalisator dari beberapa komponen di dalam suatu proyek.

Menurut Nurhayati (2010), terdapat beberapa metode efektif untuk melakukan *time reduction* dengan biaya yang optimal serta kualitas yang tidak dikurangi pada kegiatan proyek tertentu apabila diasumsikan sumber daya yang dimiliki tidak terbatas. Metode-metode tersebut antara lain :

- a. Penambahan sumber daya

Merupakan metode yang paling umum untuk memperpendek waktu proyek, yaitu dengan melakukan penambahan staf dan peralatan untuk kegiatan. Tetapi perlu diperhatikan bahwa hubungan antara ukuran staf dan perkembangan proyek bukanlah hal yang bersifat linear. Oleh karena itu alternatif ini juga harus dipertimbangkan dengan baik sebelum menjadi keputusan yang akan diambil.

b. Melakukan *outsourcing* pekerjaan

Metode umum lainnya dalam memperpendek waktu proyek adalah dengan sebuah kegiatan. Subkontraktor yang memiliki akses terhadap teknologi yang lebih baik atau keahlian yang lebih baik akan dapat mempercepat penyelesaian kegiatan.

c. Melakukan lembur

Cara yang paling mudah untuk menambah tenaga kerja untuk sebuah proyek bukanlah hanya dengan menambah personil, tetapi dapat juga dengan menjadwalkan kegiatan lembur. Dalam melakukan lembur juga perlu dilakukan pertimbangan terhadap batasan kemampuan yang dapat dilakukan manusia, karena ketika tingkat kelelahan yang dirasakan karyawan sudah cukup tinggi, maka akan dapat mengurangi produktivitasnya.

d. Membangun tim proyek inti

Para profesional diizinkan untuk memusatkan perhatian mereka hanya pada suatu proyek tertentu, sehingga diharapkan dengan fokus yang tunggal ini akan dapat meningkatkan kekompakan timnya dan yang paling penting adalah mempercepat penyelesaian proyek.

e. Lakukan 2 kali, kerjakan dengan cepat, dan perbaiki

Ketika dihadapkan pada pekerjaan yang mendesak, mencoba mengerjakan dengan cepat walaupun kurang sempurna dapat menjadi solusi untuk jangka pendek, kemudian dilakukan peninjauan kembali dan pengerjaan kembali dengan lebih baik. Biaya tambahan yang dikeluarkan akibat pengerjaan dua kali ini biasanya akan digantikan dengan manfaat yang diperoleh akibat memenuhi *deadline* penyelesaian proyek.

f. *Fast tracking*

Terkadang dimungkinkan untuk melakukan penyusunan ulang logika jaringan kerja sehingga kegiatan-kegiatan kritis dilakukan secara paralel menggantikan cara

pengerjaan yang seri. Salah satu metode yang paling umum dalam melakukan penyusunan ulang hubungan kegiatan-kegiatan ini adalah dengan mengganti hubungan *finish-to-start* menjadi hubungan *start-to-start*.

g. Rantai kritis (*critical chain*)

Critical chain membutuhkan adanya pelatihan dan adanya perubahan kebiasaan dan sudut pandang sehingga membutuhkan waktu untuk diadopsi.

h. Melakukan *brainstorming*

Manajer proyek harus menggali pengetahuan dan pengalaman dari para karyawannya dengan mengadakan sesi *brainstorming* yakni saat semua anggota tim proyek akan memberikan usul yang akan dapat menghemat waktu penyelesaian.

i. Fase *delivery* proyek

Dalam situasi dimana keseluruhan proyek tidak dapat diselesaikan pada saat *deadline*, akan masih mungkin untuk melakukan pengiriman beberapa bagian yang bermanfaat dari proyek tersebut.

2.7 Kurva S

Kurva S pertama kali dikembangkan atas dasar pengamatan terhadap pelaksanaan sejumlah proyek dari awal hingga selesai. Kurva S secara grafis adalah penggambaran kemajuan kerja (bobot %) kumulatif pada sumbu vertikal terhadap waktu pada sumbu horizontal. Bobot kegiatan adalah nilai persentase proyek dimana penggunaannya dipakai untuk mengetahui kemajuan proyek tersebut. Kemajuan kegiatan biasanya diukur terhadap jumlah uang yang telah dikeluarkan oleh proyek. Pembandingan kurva S rencana dengan kurva pelaksanaan memungkinkan dapat diketahuinya kemajuan pelaksanaan proyek apakah sesuai, lambat, ataupun lebih dari yang direncanakan. Adapun fungsi kurva S adalah sebagai berikut :

- Menentukan waktu penyelesaian proyek.
- Menentukan waktu penyelesaian bagian proyek.
- Menentukan besarnya biaya pelaksanaan proyek.
- Menentukan waktu untuk mendatangkan material dan alat yang akan dipakai.

2.8 *Critical Path Methode (CPM)*

Pada tahun 1958, perusahaan bahan-bahan kimia Du Pont Company (USA) memecahkan kesulitan-kesulitan dalam proses fabrikasi dengan menemukan metode *Critical Path Methode (CPM)*. Dalam penentuan waktu, CPM dapat memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan setiap kegiatan dan dapat menentukan prioritas kegiatan yang harus mendapat perhatian pengawasan yang cermat agar kegiatan dapat selesai sesuai rencana. Metode CPM lebih terkenal dengan istilah lintasan kritis. Metode tersebut memungkinkan terbentuknya suatu jalur atau lintasan yang memerlukan perhatian khusus (kritis). Tujuan lintasan kritis adalah untuk mengetahui dengan cepat kegiatan-kegiatan yang tingkat kepekaannya tinggi terhadap keterlambatan pelaksanaan sehingga setiap saat dapat ditentukan tingkat prioritas kebijaksanaan penyelenggara proyek apabila kegiatan tersebut terlambat.

Metode ini sangat bermanfaat dalam perencanaan dan pelaksanaan pengawasan pembangunan suatu proyek. Banyak masalah yang dapat diatasi dengan penggunaan metode lintasan kritis, sehingga sistem ini merupakan metode yang paling banyak dipergunakan diantara semua sistem yang memakai prinsip pembentukan jaringan.

Dengan teknik CPM penyusunan jaringan kerja diidentifikasi ke arah kegiatan serta menggunakan “*simple time estimates*” sebagai waktu pelaksanaan. Para pemakai teknik CPM dianggap mempunyai dasar yang kuat sebagai landasan untuk melaksanakan setiap kegiatan. Di samping itu di dalam proses perencanaan dan pengawasan dengan sistem ini turut diperhitungkan dan dimasukkan konsep biaya yang lebih mendetail sehingga memungkinkan pelaksanaan pembangunan proyek lebih singkat dan ekonomis. (Nurhayati, 2010)

Manfaat dari penerapan CPM pada perencanaan adalah sebagai berikut :

- a. Dalam merencanakan dan menganalisa suatu kegiatan proyek dengan metode CPM, perencana proyek harus memiliki pengetahuan yang luas sehingga dapat mengantisipasi kesulitan dalam pelaksanaan kegiatan.
- b. Dalam penyelesaian jalur kritis dan yang bukan kritis ditunjukkan dengan jelas dengan diagram CPM, sehingga dapat mengatur pelaksanaan kegiatan.
- c. Adanya komunikasi antara pelaksana konstruksi dengan lebih jelas.

2.8.1 Penyusunan Jaringan Kerja CPM

Untuk membuat jaringan kerja, harus diketahui dahulu semua kegiatan yang terjadi pada suatu proyek, waktu (durasi) setiap kegiatan, dan ketergantungan antar kegiatan (kegiatan pendahulu/*predecessors* dan kegiatan pengikut/*successors*). Urutan-urutan logis seluruh proyek harus diketahui secara baik. Setiap kegiatan harus diketahui kegiatan pendahulu serta kegiatan pengikutnya. Dengan demikian, jaringan kerja dapat terbentuk sejak awal proyek sampai dengan akhir proyek. Untuk dapat menjadwalkan dengan metode CPM, ada beberapa hal yang perlu diketahui, yaitu elemen-elemen CPM.

a. Anak panah (*arrow*), kegiatan (*activity*), *job*

Anak panah menunjukkan hubungan antara kegiatan, dan juga dicantumkan durasi.

- Sebuah anak panah mewakili satu kegiatan.
- Awal busur panah dinyatakan sebagai permulaan kegiatan dan mata panah sebagai akhir kegiatan.
- Terdapat tiga jenis anak panah :



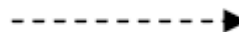
Gambar 2.12 Anak Panah Biasa
(Sumber :Nurhayati 2010)

Anak panah biasa menunjukkan suatu kegiatan yang dapat dikerjakan secara normal.



Gambar 2.13 Anak Panah Tebal
(Sumber :Nurhayati 2010)

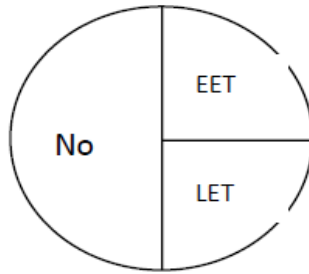
Anak panah tebal menunjukkan suatu kegiatan yang harus menjadi perhatian (kritis)



Gambar 2.14 Anak panah Putus-putus
(Sumber :Nurhayati 2010)

Anak panah putus-putus menunjukkan kegiatan *dummy*

a. Lingkaran kecil (*node*), kegiatan/peristiwa, *event*



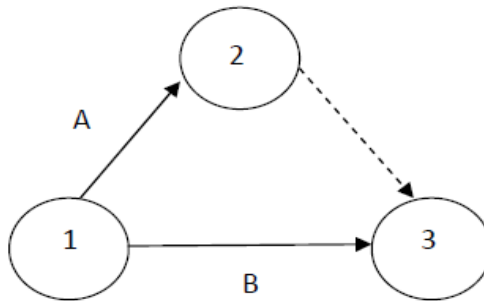
Gambar 2.15 Lingkaran kecil (*node*)

(Sumber :Nurhayati 2010)

Node pada CPM terbagi menjadi tiga bagian yang terdiri dari nomor *node*, EET (*Earliest Event Time*), dan LET (*Latest Event Time*)

2.8.2 Kegiatan Semu (*dummy*)

Kegiatan semu berfungsi sebagai penghubung, tidak membutuhkan sumber daya maupun waktu penyelesaian. Aktivitas semu diperlukan karena tidak boleh ada dua aktivitas mulai dari simpul yang sama dan berakhir pada simpul lain yang sama juga. Aktivitas semu digambarkan sebagai anak panah putus-putus. (Santosa, 2009)



Gambar 2.16 Aktivitas semu dalam Jaringan Kerja

(Sumber :Nurhayati 2010)

2.8.3 Prosedur Perhitungan

2.8.3.1 Hitungan Maju

Dalam mengidentifikasi jalur kritis dipakai suatu cara yang disebut hitungan maju. Perhitungan maju digunakan untuk menghitung EET (*Earliest Even Time*). EET adalah peristiwa paling awal atau waktu yang cepat dari *event*. (Soeharto, 1995)

$$EET_j = (EET_i + D_{ij}) \max$$

(26)

Dimana :

EET_i = waktu mulai paling cepat dari *event* i

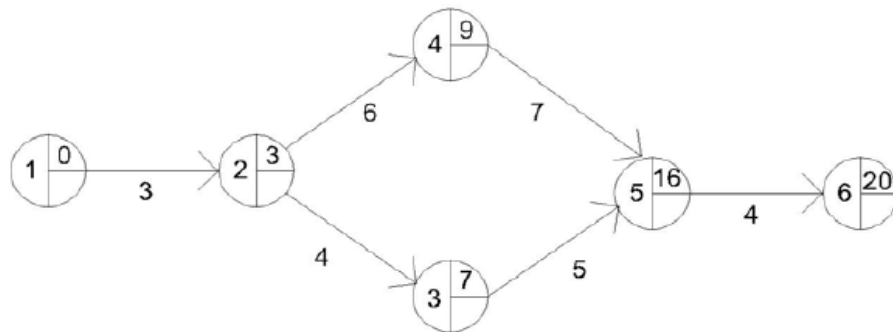
EET_j = waktu mulai paling cepat dari *event* j

D_{ij} = durasi untuk melaksanakan kegiatan antara *event* i dan *event* j

Prosedur menghitung EET :

- Tentukan nomor dari peristiwa dari kiri ke kanan, mulai dari peristiwa nomor 1 berturut-turut sampai nomor maksimal.
- Tentukan nilai EET_i untuk peristiwa nomor 1 (paling kiri) sama dengan nol.
- Dapat dihitung nilai EET_j peristiwa berikutnya dengan rumus di atas. Apabila terdapat beberapa kegiatan (termasuk *dummy*) menuju atau dibatasi oleh peristiwa yang sama, maka diambil nilai EET_j yang maksimum.

Contoh :



Gambar 2.17 Perhitungan EET

(Sumber : Nurhayati 2010)

Peristiwa 1 menandai dimulainya proyek, berarti waktu paling awal peristiwa terjadi adalah 0 atau $EET_1 = 0$, selanjutnya untuk hitungan maju adalah seperti berikut ini. Waktu selesai paling awal suatu kegiatan adalah sama dengan waktu mulai paling awal, ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan.

Untuk kegiatan 1-2 :

$$EET\ 2 = EET\ 1 + D = 0 + 3 = 3$$

Untuk kegiatan 2-3 :

$$EET\ 3 = EET\ 2 + D = 3 + 4 = 7$$

Untuk kegiatan 2-4 :

$$EET\ 4 = EET\ 2 + D = 3 + 6 = 9$$

Untuk kegiatan 3-5 :

$$EET\ 5 = EET\ 3 + D = 7 + 5 = 12$$

Untuk kegiatan 4-5 :

$$EET\ 5 = EET\ 4 + D = 9 + 7 = 16$$

Kemudian pada kegiatan 5-6 dimana sebelumnya didahului oleh 2 kegiatan, yaitu kegiatan 3-5 dan kegiatan 4-5, dimana dasar jaringan kerja menyatakan bahwa suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatan yang mendahuluinya telah selesai. Maka untuk waktu mulai paling awal kegiatan 5-6 adalah sama dengan waktu selesai paling awal yang terbesar dari kegiatan sebelumnya, yaitu 16.

$$\text{Jadi untuk kegiatan 5-6 : } EET\ 6 = EET\ 5 + D = 16 + 4 = 20$$

Tabel 2.3 Hasil perhitungan EET

Kegiatan		Durasi	Paling Awal	
i	j		Mulai	Selesai
1	2	3	0	3
2	3	4	3	7
2	4	6	3	9
3	5	5	7	12
4	5	7	9	16
5	6	4	16	20

(Sumber :Nurhayati 2010)

2.8.3.2 Hitungan Mundur

Perhitungan mundur dimaksudkan untuk mengetahui waktu atau tanggal paling akhir dapat memulai dan mengakhiri masing-masing kegiatan, tanpa menunda kurun waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan, yang telah dihasilkan dari hitungan maju. Hitungan mundur dimulai dari ujung kanan (hari terakhir penyelesaian proyek) suatu jaringan kerja. Perhitungan mundur ini digunakan untuk menghitung LET (*Latest Event Time*). LET adalah peristiwa paling akhir atau waktu paling lambat dari *event*. (Soeharto, 1995)

$$LET_i = (LET_j - D_{ij}) \min \quad (27)$$

Dimana :

LET i = waktu mulai paling lambat dari *event* i

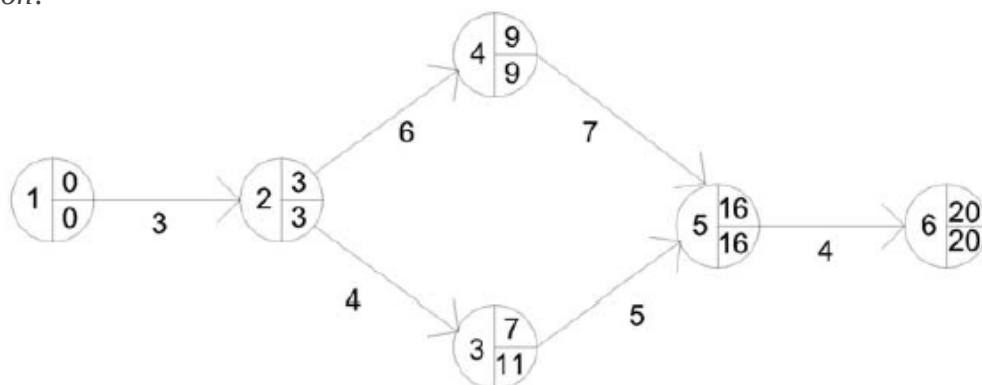
LET j = waktu mulai paling lambat dari *event* j

D_{ij} = durasi untuk melaksanakan kegiatan antara *event* i dan *event* j

Prosedur perhitungan LET :

- Tentukan nilai LET peristiwa terakhir (paling kanan) sesuai dengan nilai EET kegiatan terakhir.
- Dapat dihitung nilai LET dari kanan ke kiri dengan rumus di atas.
- Bila terdapat lebih dari satu kegiatan (termasuk *dummy*) maka dipilih LET yang minimum

Contoh:



Gambar 2.18 Perhitungan LET

(Sumber :Nurhayati 2010)

Pada perhitungan maju didapat waktu penyelesaian proyek adalah 20 hari (LET 6 = 20), maka hari ke-20 harus merupakan waktu paling akhir dari kegiatan proyek.

Untuk kegiatan 5-6 :

$$\text{LET } 5 = \text{LET } 6 - D = 20 - 4 = 16$$

Untuk kegiatan 4-5 :

$$\text{LET } 4 = \text{LET } 5 - D = 16 - 7 = 9$$

Untuk kegiatan 3-5 :

$$\text{LET } 3 = \text{LET } 5 - D = 16 - 5 = 11$$

Untuk kegiatan 2-4 :

$$\text{LET } 2 = \text{LET } 4 - D = 9 - 6 = 3$$

Untuk kegiatan 2-3 :

$$\text{LET } 2 = \text{LET } 3 - D = 11 - 4 = 7$$

Pada peristiwa 2 terdapat kegiatan yang memecah menjadi dua maka waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut adalah sama dengan waktu mulai paling akhir kegiatan berikutnya yang terkecil. Jadi untuk kegiatan 1-2 :

$$\text{LET } 1 = \text{LET } 2 - D = 3 - 3 = 0$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan LET

Kegiatan		Durasi	Paling Awal		Paling Akhir	
i	j		Mulai	Selesai	Mulai	Selesai
1	2	3	0	3	0	3
2	3	4	3	7	7	11
2	4	6	3	9	3	9
3	5	5	7	12	11	16
4	5	7	9	16	9	16
5	6	4	16	20	16	20

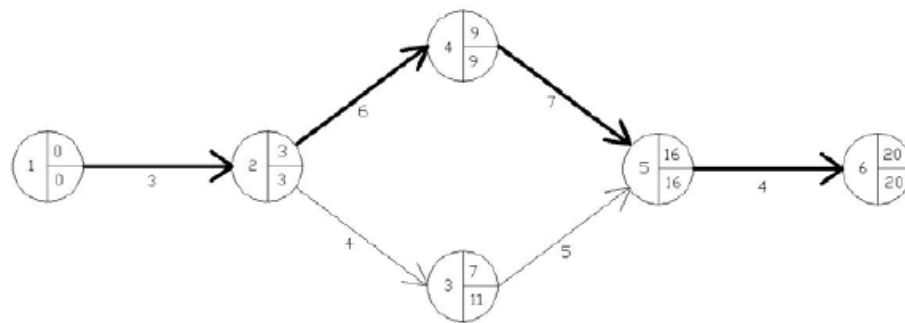
(Sumber :Nurhayati 2010)

2.7.4 Lintasan Kritis dan *Float*

Lintasan kritis adalah lintasan sepanjang diagram jaring yang mempunyai waktu terpanjang (durasi proyek). Lintasan kritis merupakan lintasan yang melalui kegiatan-kegiatan yang tidak mempunyai *float* (waktu jeda).

Untuk menentukan lintasan kritis dari jaringan kerja dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

- Lintasan kritis adalah lintasan yang melalui kegiatan-kegiatan yang mempunyai jumlah durasi terbesar.
- Dengan menghitung kegiatan-kegiatan yang mempunyai nilai *Total Float* = 0. Pada contoh di atas, setelah didapat waktu penyelesaian proyek paling cepat (EF) adalah 20 hari. Maka dapat diketahui jalur kritis yang menghubungkan kegiatan-kegiatan kritis, dimana terdiri dari urutan kegiatan yang mengikuti jalur 1-2-4-5-6.



Gambar 2.19 Jalur Kritis

(Sumber :Nurhayati 2010)