

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS PEMILIHAN SISTEM PERANCAH**  
**PADA STRUKTUR BETON BERTULANG**  
**DENGAN MEMPERHITUNGGAN FAKTOR RESIKO**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia**  
**untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh**  
**derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Disusun oleh :**

**Nama : Kismadi**  
**No. Mahasiswa : 92 310 027**  
**N.I.R.M : 92 0051013114120 027**  
**Nama : Heru Suseno**  
**No. Mahasiswa : 92 310 303**  
**N.I.R.M : 92 0051013114120 303**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**

**1997**

# LEMBAR PENGESAHAN

## TUGAS AKHIR ANALISIS PEMILIHAN SISTEM PERANCAH PADA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN MEMPERHITUNGAN FAKTOR RESIKO

Disusun oleh:

Nama : Kismadi

No.Mahasiswa : 92 310 027

N.I.R.M. : 92 0051013114120 027

Nama : Heru Suseno

No.Mahasiswa : 92 310 303

N.I.R.M. : 92 0051013114120 303

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Susastrawan, MS



Tanggal : 7-11-1997

Ir. Faisal AM, MS



Tanggal : 7-11-1997

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum wr. wb.*

Kami panjatkan puji dan syukur kehadirat Allah Swt. atas berkah dan rahmatNya yang telah dilimpahkan kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Adapun maksud dan tujuan disusunnya tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian sarjana pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia ,Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tersusunnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan semua pihak. Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia sekaligus Dosen Pembimbing I.
2. Ir. Bambang Sulistiyono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. Tadjuddin BMA, MS, selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Ir. Faisol AM, MS, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Ir. Imam Hartono, selaku Direktur CV. Cipta Adi Graha
6. Bapak Giatno, selaku Pengawas Lapangan CV. Cipta Adi Graha
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu terselesainya tugas akhir ini.

Kami menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini jauh dari sempurna. Maka dengan kerendahan hati kami mengharapkan kritik dan saran yang sekiranya dapat membantu guna penyempurnaan tugas akhir

ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya, Amiin.

*Wassalamu'alaikum wr.wb.*

Yogyakarta, Oktober 1997

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Permasalahan .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Batasan Masalah .....	4
1.6. Metodologi Penelitian .....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>9</b>
2.1. Material Sistem Perancah .....	10
2.2. Jenis Sistem Perancah .....	11
2.3. Analisis Sistem Perancah .....	16
2.4. Metode Statistik .....	22
2.4.1. Varians dan Deviasi Standar .....	22
2.4.2. Fungsi Distribusi Normal Dan Normal Logaritmis	24
2.4.3. Analisa Kovarians dan Korelasi .....	28
2.4.4. Teknik Evaluasi Probabilitas Network .....	30
2.4.5. Jaringan Kerja Proyek .....	35

2.4.6. Program Evaluation and Review Technique .....	31
<b>BAB III ANALISIS SISTEM PERANCAH .....</b>	<b>38</b>
3.1. Pendahuluan .....	38
3.1.1. Sistem Scaffolding .....	39
3.1.2. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Waktu pada Sistem Scaffolding.....	41
3.1.3. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Struktur pada Sistem Scaffolding .....	50
3.1.4. Analisis Biaya .....	69
3.1.5. Sistem Dolken .....	84
3.1.6. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Waktu pada Sistem Dolken .....	85
3.1.7. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Struktur pada Sistem Dolken .....	93
3.1.8. Analisis Biaya .....	111
3.2. Pembahasan .....	124
3.2.1. Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Waktu .....	124
3.2.2. Analisis Resiko Terhadap Struktur Perancah .....	125
3.2.3. Analisis Biaya .....	127
3.2.4. Analisa Keputusan .....	129
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>135</b>
4.1. Kesimpulan .....	135
4.2. Saran-Saran .....	136
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>137</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Gambar Balok Memanjang dan Melintang .....	10
Gambar 2.2.	Gambar Support .....	11
Gambar 2.3.	Gambar Sistem Perancah Dolken .....	13
Gambar 2.4.	Gambar Sistem Perancah Scaffolding .....	16
Gambar 2.5.	Gambar Pembebanan Support .....	19
Gambar 3.1.	Gambar Detail potongan pelat lantai .....	39
Gambar 3.2.	Gambar Network Planning Waktu Pesimis Sistem Scaffolding .....	45
Gambar 3.3.	Gambar Network Planning Waktu Rata-Rata Sistem Scaffolding .....	51
Gambar 3.4.	Gambar Network Planning Simpangan Kuadrat Sistem Scaffolding .....	52
Gambar 3.5.	Penampang Balok Melintang dan Memanjang Sistem Scaffolding .....	52
Gambar 3.6.	Gambar Pembebanan Alat Cetak Sistem Scaffolding	58
Gambar 3.7.	Gambar Pembebanan Balok Melintang Sistem Scaffolding .....	58
Gambar 3.8.	Gambar Pembebanan Balok Memanjang Sistem Scaffolding .....	59
Gambar 3.9.	Gambar Pembebanan Support Scaffolding .....	61
Gambar 3.10.	Gambar Network Planning Waktu Pesimis Sistem Dolken .....	93
Gambar 3.12.	Gambar Network Planning Waktu Rata-Rata Sistem Dolken .....	94

Gambar 3.4. Gambar Network Planning Simpangan Kuadrat Sistem Dolken .....	95
Gambar 3.13. Gambar Penampang Balok Melintang Dan Balok Memanjang Sistem Dolken .....	94
Gambar 3.14. Gambar Pembebanan Alat Cetak Sistem Dolken ...	100
Gambar 3.15. Gambar Pembebanan Balok Melintang Sistem Dolken .....	100
Gambar 3.16. Gambar Pembebanan Balok Memanjang Sistem Dolken .....	101
Gambar 3.17. Gambar Kayu Support .....	103



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Tabel Waktu Rata-Rata Dan Variansi Sistem Scaffolding .....	43
Tabel 3.2.	Tabel Data Inflasi .....	70
Tabel 3.3.	Nilai Alternatif Perancah Berhasil pada Sistem Scaffolding .....	78
Tabel 3.4.	Tabel Waktu Rata-Rata Dan Variansi Sistem Dolken .....	86
Tabel 3.5.	Tabel Nilai Alternatif Perancah Berhasil pada Sistem Dolken .....	118
Tabel 3.6.	Tabel Probabilitas Resiko Kegagalan Terhadap waktu .....	124
Tabel 3.7.	Tabel Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Struktur Perancah .....	126
Tabel 3.8.	Tabel Analisis Biaya .....	127
Tabel 3.9.	Tabel Nilai Ekspektasi .....	133

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1.	Grafik Fungsi Distribusi Normal Standar $N(0,1)$ .....	25
Grafik 2.2.	Grafik Fungsi Distribusi Normal $(\mu,\sigma)$ .....	26
Grafik 2.3.	Grafik Distribusi Probabilitas Waktu Pelaksanaan ..	34
Grafik 2.4.	Grafik Distribusi kemungkinan dengan penyebaran yang menyempit atau deviasi standar yang kecil jika dibandingkan dengan waktu tercepat yang diharapkan .....	35
Grafik 2.5.	Grafik Distribusi kemungkinan dengan penyebaran yang luas atau deviasi standar yang besar jika dibandingkan dengan waktu tercepat yang diharapkan ....	35
Grafik 3.1.	Grafik Distribusi Beban .....	51
Grafik 3.2.	Grafik Distribusi Tegangan .....	53
Grafik 3.3.	Grafik Distribusi Beban .....	57
Grafik 3.4.	Grafik Probabilitas Kegagalan Terhadap Waktu ....	125
Grafik 3.5.	Grafik Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Struktur Perancah .....	126
Grafik 3.6.	Grafik Analisis Biaya .....	128
Grafik 3.7.	Grafik Nilai Ekspektasi Tanpa Perhitungan Penggunaan Ulang .....	134
Grafik 3.8.	Grafik Nilai Ekspektasi Dengan Perhitungan Penggunaan Ulang .....	134

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Prosedur pembangunan pekerjaan struktur beton harus direncanakan dengan cermat sebelum dimulai pelaksanaannya guna tercapai keseimbangan antara tingkat kekuatan struktur dengan biaya yang harus dikeluarkan dalam rangka memenuhi persyaratan teknis pekerjaan (bestek) yang telah ditetapkan. Di samping ketertiban pengerjaan betonnya sendiri, untuk dapat menjamin keberhasilan pelaksanaan pekerjaan beton diperlukan dalam hal pembuatan perancah yang kokoh serta memenuhi kebutuhan dan persyaratan.

Pekerjaan perancah ini merupakan penunjang yang sangat penting bahkan sangat menentukan untuk dapat tercapainya hasil pelaksanaan pekerjaan beton yang baik walaupun pekerjaan tersebut hanya bersifat sementara dan nanti pada akhirnya akan dibongkar serta disingkirkan. Sehingga pada umumnya pekerjaan ini sering digolongkan sebagai pekerjaan pembantu atau prasarana pekerjaan beton.

Karena fungsi dan kedudukannya yang khusus tersebut, maka dituntut pertimbangan yang matang untuk pelaksanaannya terutama mengenai rancangan struktur dan konsekuensi pembiayaannya. Sehingga diperlukan suatu metode pemilihan sistem pembetonan yang memenuhi persyaratan keekonomisan biaya, waktu, juga terhadap keamanan konstruksi itu sendiri.

Dalam pelaksanaan pembangunan gedung konstruksi beton bertulang diharapkan mengeluarkan biaya seekonomis mungkin. Salah satu faktor yang ikut menentukan besar-kecilnya biaya pembangunan adalah pemilihan sistem perancah yang akan dipergunakan. Macam sistem perancah yang

dipergunakan dalam pembangunan gedung konstruksi beton bertulang ada dua jenis yaitu sistem dolken dan sistem scaffolding.

Sistem dolken merupakan metoda konvensional yang terdiri dari balok memanjang dan balok melintang terbuat dari balok dan papan kayu gergajian yang tersedia di pasaran begitu pula "support" juga terbuat dari kayu. Pada saat pemasangan atau pembuatannya, jika balok-balok yang digunakan lebih panjang dari kebutuhan maka dilakukan pemotongan. Penyambungan dilakukan dengan alat sambung paku. Oleh karena proses pembuatan dan pemasangan relatif rumit, maka waktu yang diperlukan untuk pembuatan sistem perancah cukup lama. Keuntungan dari sistem ini adalah harga bahan komponennya relatif murah. Bahan-bahan yang digunakan biasanya satu kali pakai. Tetapi dengan penanganan yang baik, alat ini bisa digunakan beberapa kali.

Sistem scaffolding merupakan metoda yang lebih maju karena semua komponennya telah ditentukan karakteristiknya oleh pabrik. Sistem perancah scaffolding pada pelat lantai terdiri dari balok melintang dan balok memanjang yang terbuat dari kayu olahan dan "support" terbuat dari baja. Pada alat "support" terdapat sistem untuk mengatur ketinggian sesuai dengan ketinggian yang digunakan. Mengingat cara kerja demikian maka pemasangan sistem ini lebih cepat dibandingkan dengan sistem dolken tetapi harga bahannya lebih mahal. Keuntungan lain dari sistem ini adalah dapat digunakan berulang kali sehingga harga alat secara keseluruhan menjadi lebih murah.

Dengan adanya dua sistem perancah tersebut maka diharapkan di dalam pemilihan sistem perancah yang digunakan pada struktur beton yang memperhitungkan faktor resiko terhadap kegagalan waktu dan kegagalan struktur perancah dapat secara tepat. Karena pengaruhnya cukup besar pada

biaya proyek maka pengambilan keputusan harus diperhitungkan yang cermat terhadap pemilihan sistem perancah ini.

## **1.2. Permasalahan**

Pada masa sekarang sistem perancah kebanyakan jarang diperhitungkan oleh perencana pada suatu proyek, padahal sistem perancah ini cukup besar pengaruhnya terhadap biaya proyek sehingga biaya proyek sangat tinggi karena di dalam pemilihan sistem perancah kurang diperhatikan dengan seksama.

Dari tinjauan di atas, maka dapat ditarik suatu permasalahan yang perlu dicari penyelesaiannya, adapun pokok permasalahan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Unsur-unsur apa saja yang akan mempengaruhi resiko kegagalan pada sistem perancah dolken dan pada sistem perancah scaffolding.
2. Membandingkan dari kedua sistem perancah pada konstruksi gedung yang memperhitungkan faktor resiko terhadap kegagalan waktu dan kegagalan struktur perancah yang ekonomis dan aman.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unsur-unsur apa saja yang akan mempengaruhi pada sistem perancah dolken dan pada sistem perancah scaffolding, serta untuk mengetahui model sistem perancah mana yang paling ekonomis terhadap waktu, biaya, dan keamanan struktur perancah dengan memperhitungkan faktor resiko kegagalan waktu dan kegagalan struktur perancah.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu teknologi pemilihan model sistem perancah yang paling optimum yaitu ekonomis waktu dan biaya serta keamanan konstruksi.
2. dengan pemilihan sistem perancah yang tepat diharapkan biaya proyek dapat ditekan seminimum mungkin namun tidak membahayakan struktur atau konstruksi gedung.
3. bagi peneliti, penelitian ini akan menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang perencanaan pembetonan pada konstruksi gedung khususnya di dalam pemilihan model sistem perancah yang paling optimum.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Di dalam analisa resiko maka ada 3 parameter yang utama yaitu : jenis distribusi, nilai rata-rata, dan standar deviasi. Di antara sistem perancah dengan scaffolding dan sistem perancah dengan dolken, masing-masing akan memiliki nilai resiko yang berbeda. Faktor resiko yang ditinjau disini adalah resiko kegagalan terhadap waktu dan kegagalan terhadap struktur perancah. Sehubungan dengan parameter utama tadi, maka akan dianalisa data-data unsur dari waktu dan kekuatan struktur perancah. Selanjutnya akan dibuat model probabilistik dari waktu dan kekuatan struktur perancah. Dalam analisa ini hal-hal yang memberikan pengaruh yang sama terhadap sistem scaffolding maupun sistem dolken seperti misalnya pajak, keuntungan pemborong tidak akan ditinjau sehingga perhitungan dapat menjadi lebih sederhana. Pada akhirnya kedua sistem perancah akan dipilih salah satu yang menjadi dasar dalam penentuan alternatif termurah berdasarkan analisa probabilistik tersebut.

Peninjauan akan dilakukan pada gedung-gedung struktur beton bertulang. Sebagai analisisnya akan dibuat sampel proyek gedung konstruksi beton di proyek perluasan ruang kuliah Universitas Muhammadiyah Surakarta. Untuk selanjutnya dari hasil yang didapat akan dihitung nilai ekspektasi.

### **1.6. Metodologi Penelitian**

Dalam suatu penelitian agar pelaksanaan penelitian dan tujuan yang diinginkan dapat berjalan dengan sistematis dan lancar, maka harus digunakan suatu metodologi penelitian. Metodologi penelitian yang digunakan disesuaikan dengan prosedur, alat serta jenis penelitian.

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### **1. Tahap perumusan masalah**

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, perumusan tujuan serta pembatasan permasalahan.

#### **2. Tahap perumusan teori**

Pada tahap ini dilakukan perumusan tinjauan pustaka dan landasan teori, terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan ukuran dalam penelitian. Dari tinjauan pustaka dan landasan teori tersebut, disusun hipotesis terhadap pokok penelitian.

#### **3. Tahap pelaksanaan penelitian**

Pelaksanaan penelitian disesuaikan dengan jenis penelitian dan hasil yang ingin didapat. Penelitian ini dilaksanakan di proyek-proyek konstruksi gedung bertingkat. Tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut.

- a. Penelitian terhadap sumber daya proyek antara lain : material perancah, bahan, peralatan, serta tenaga kerja.

- b. Penelitian waktu pembetonan.
  - c. Penelitian terhadap pengukuran dan pembebanan di lapangan.
4. Tahap analisis dan pembahasan
- a. Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Waktu  
Di dalam analisis kegagalan terhadap waktu menggunakan analisis distribusi normal sehubungan dengan nilai waktu yang selalu bernilai positif.
  - b. Analisis Perhitungan resiko Kegagalan Terhadap Struktur.  
Berhasil tidaknya pengecoran dapat ditinjau dari segi runtuh atau tidaknya sistem perancah. Daya dukung perancah ini merupakan fungsi dari jarak pemasangan komponen-komponennya. Sistem perancah disini terdiri atas balok memanjang, balok melintang, dan “support” . Apabila telah terjadi kegagalan pada pengecoran disebabkan sistem perancahnya gagal maka diadakan evaluasi sehingga dicegah terjadinya kegagalan berikutnya. Disini akan ditinjau dua jenis kegagalan yaitu kegagalan satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran.
- 1) Analisis Bahan.  
Analisis bahan menggunakan ilmu mekanika bahan untuk pengujian momen dan tegangan geser rata-rata yang terjadi pada bahan.
  - 2) Analisis Pengukuran dan Pembebanan di Lapangan.
    - a) Analisis Pengukuran.  
Yang dimaksud dengan pengukuran disini adalah menentukan ukuran yang sebenarnya di lapangan dari ukuran yang ada dalam gambar rencana.



b) Analisis Pembebanan.

Pembebanan di lapangan terdiri dari beban mati ( $Q_d$ ) dan beban hidup ( $Q_l$ ) yang dianalisis dengan ilmu mekanika untuk mengetahui momen dan tegangan geser rata-rata yang terjadi akibat pembebanan di lapangan.

3) Analisis Kegagalan Sub Struktur Perancah

Kegagalan sub struktur perancah ( balok memanjang, balok melintang ) adalah kegagalan berdasarkan tinjauan momen dan tegangan gesernya digunakan ilmu mekanika.

4) Analisis Resiko Kegagalan Struktur Perancah

Antara balok dan “support” diasumsikan “independent” (tidak saling berhubungan) sehingga resiko kegagalan perancah merupakan penjumlahan dari nilai kemungkinan kegagalan sub struktur perancah (balok memanjang dan melintang, support). Antara balok memanjang dan balok melintang akan diselidiki apakah saling berhubungan atau tidak.

c. Analisis Biaya

Di dalam analisis biaya antara sistem perancah scaffolding dan sistem perancah dolken akan dibandingkan yang paling ekonomis, maka diasumsikan bahwa perhitungan biaya pembebanan hanya faktor-faktor material perancah, upah pekerja, dan sewa peralatan saja yang akan diperhitungkan karena hanya keempat faktor tersebut yang kami anggap utama di dalam penentuan perbedaan antara sistem scaffolding dan sistem dolken.

1) Analisis Harga

Harga dari suatu bahan ditentukan berdasarkan harga satuan bahan, faktor inflasi, volume bahan, dan faktor kesalahan.

2) Analisis Biaya Pembetonan.

Analisis biaya pembetonan merupakan penjumlahan dari material perancah, material beton, upah pekerja dan sewa peralatan. Besarnya biaya-biaya tersebut akan bertambah apabila terjadi kegagalan struktur perancah didalam pelaksanaannya.

d. Analisa Keputusan

Hasil yang dicerminkan dalam suatu distribusi dinyatakan dalam harga rata-rata atau nilai ekspektasi.

5. Pengambilan kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di lapangan kemudian dilakukan perhitungan maka dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab pemecahan terhadap permasalahan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

Dalam pelaksanaan pembangunan gedung konstruksi beton kita diharapkan mengeluarkan biaya seekonomis mungkin. Salah satu faktor yang ikut menentukan besar kecilnya biaya pembangunan adalah pemilihan sistem perancah yang akan dipergunakan. Di dalam pemilihan sistem perancah ini akan dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. harga bahan,
2. upah untuk membuat, memasang, dan membongkar,
3. biaya alat-alat yang digunakan,
4. kemungkinan penggunaan ulang,
5. biaya perbaikan beton yang harus dilakukan karena penggunaan perancah tertentu.

Ada kemungkinan dengan digunakan bahan kuat dan cara tertentu yang lebih mahal biayanya berarti biaya tinggi, tapi diharapkan masih akan didapatkan keuntungan dengan kemungkinan peluang penggunaan ulang yang lebih banyak dan sebaliknya.

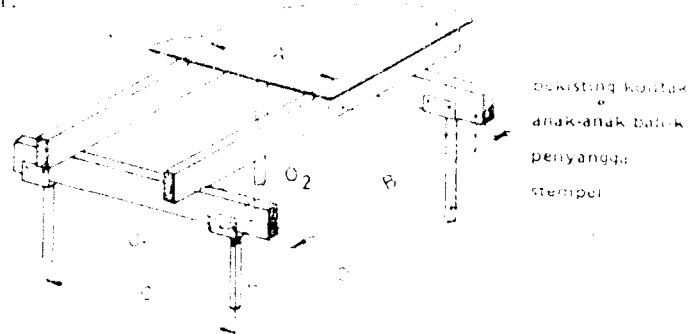
Untuk suatu proyek tertentu, jauh hari sebelum secara fisik dilaksanakan dapat dilakukan analisis berbagai alternatif macam sistem perancah untuk berbagai bagian struktur beton sehingga perencana pelaksanaan pekerjaan mempunyai kesempatan lebih banyak untuk memilih cara dan macam perancah yang paling ekonomis. Dalam hal tersebut, diinginkan agar dalam merancang dan membuat perancah dapat diperhitungkan tegangan ijin yang mendekati maximum.

## 2.1. Material Perancah

Material sistem perancah tersebut terdiri dari balok memanjang, balok melintang, dan support yang merupakan suatu kesatuan yang berfungsi untuk menahan acuan beton pada saat pengecoran.

### 1. Balok Kayu (Balok Memanjang dan Balok Melintang)

Balok kayu yang digunakan sebagai alat penopang alat cetak yaitu balok memanjang dan balok melintang harus mempunyai kualitas kayu standar. Untuk bentangan yang relatif pendek akan digunakan penampang-penampang balok, diserut keempat sisinya. Ini digunakan sebagai anak balok di atas gelagar utama atau dipasang sebagai gelagar-gelagar utama secara ganda dan bahkan dipasang ganda tiga dengan bentangan terbatas dan sebagai balok penyangga di atas kelebarannya apabila tersedia suatu ketinggian konstruksi yang terbatas. Balok memanjang dan balok melintang dapat dilihat pada gambar 2.1.

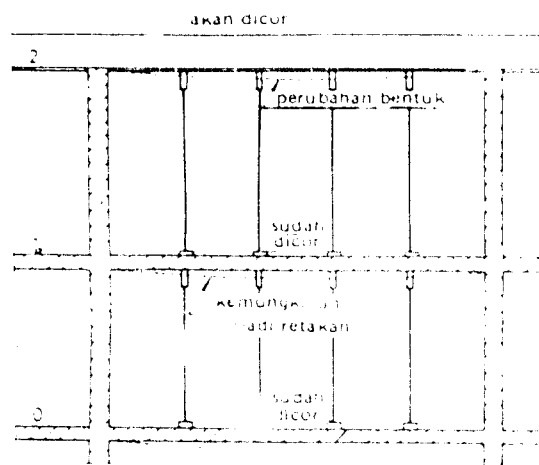


**Gambar 2.1. Balok memanjang dan balok melintang**

### 2. "Support"

Sebagai struktur vertikal berfungsi sebagai penyangga yang bertugas meneruskan seluruh gaya dan beban dari atas ke bawah. Diharapkan penerusan gaya-gaya dapat berlangsung merata sehingga diperlukan struktur yang kaku dan kekakuannya merata.

Dari berbagai jenis dan ukuran yang tersedia dapat dipilih yang sesuai dengan tujuan penggunaannya. Bila unsur vertikal tersebut diperhitungkan untuk secara optimal dapat mendukung seluruh beban yang bekerja padanya dengan mengingat kapasitas yang disediakan. Yang pertama ialah bahwa kedua ujungnya (atas dan bawah) harus dihubungkan dengan baik pada struktur acuan lain untuk mencegah terjadinya pergerakan dan pergeseran selama digunakan. Bagi struktur vertikal yang cukup panjang hendaknya dipilih satu atau lebih tempat yang disokong sedemikian terhindar dari efek tekuk. Support dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Support**

## 2.2. Jenis Sistem Perancah

Pada umumnya sistem perancah yang digunakan di dalam suatu pembangunan gedung konstruksi beton pada saat ini ada 2 jenis yaitu sistem dolken dan sistem scaffolding.

### 1. Sistem Dolken

Merupakan metoda konvensional yaitu bahan yang digunakan terbuat dari kayu yang tersedia dipasaran. Pada saat pemasangan atau pembuatannya,

jika balok-balok yang digunakan lebih panjang dari kebutuhan maka dilakukan pemotongan. Penyambungan dilakukan dengan alat sambung paku. Oleh karena proses pembuatan dan pemasangan relatif rumit, maka waktu yang diperlukan untuk pembuatannya cukup lama. Keuntungan dari sistem ini adalah harga bahan komponennya relatif murah. Bahan-bahan yang digunakan biasanya satu kali pakai. Tetapi dengan penanganan yang baik, alat ini bisa digunakan beberapa kali. Menurut pengalaman di lapangan dapat dibongkar pasang secara berturut-turut sebanyak 5 kali.

**a. Balok ( Balok Memanjang dan Balok melintang)**

Balok memanjang dan balok melintang sistem dolken yang berfungsi sebagai penopang acuan beton terbuat dari kayu yang ada di pasaran.

**b. “Support”**

Di Indonesia, bahan dari kayu masih banyak digunakan sebagai struktur perancah. Batang kayu lurus berpenampang bulat dengan garis tengah 6 cm - 8 cm yang dipasaran disebut dengan kayu dolken. Batang-batang perancah dipasang dengan jarak tertentu, membentuk struktur rangka dengan diberi perkuatan penyokong secukupnya agar berfungsi sebagai rangka kaku. Jarak antar batang harus diatur sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk dipakai sebagai jalan masuk pada waktu mengadakan pemeriksaan pekerjaan. Untuk mengatur ketinggiannya digunakan baji pada bagian bawah, dan pada landasan dudukannya diberi lapis alas lebar agar tidak terjadi pemusatan tegangan.

Dengan menggunakan bahan perancah kayu akan didapat keuntungan dan kerugian tersendiri antara lain :

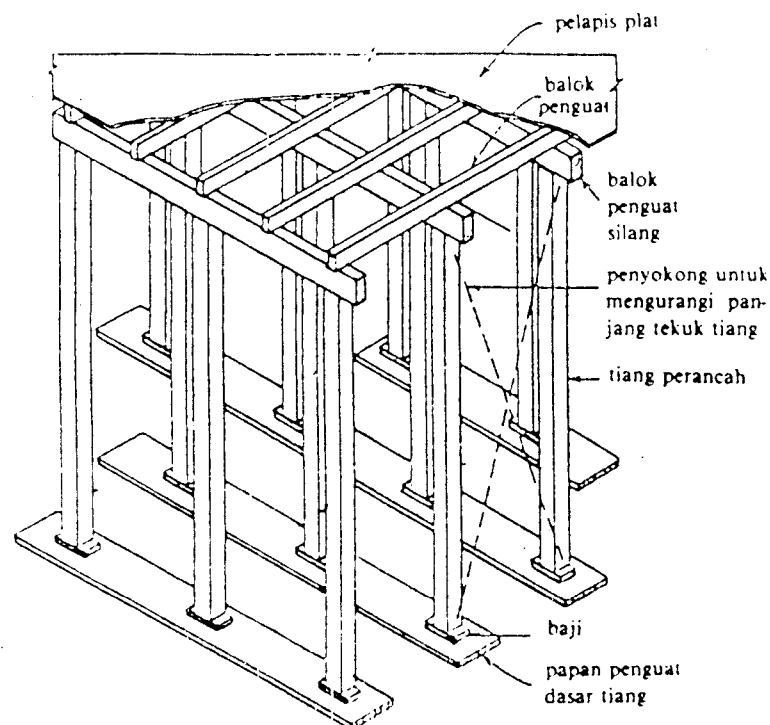
- 1) Kekuatan yang besar pada suatu masa volumik yang kecil.
- 2) Harga yang relatif rendah dan dapat diperoleh dengan mudah.
- 3) Mudah dikerjakan dan alat-alat sambung sederhana.

- 4) Isolasi termis yang baik
- 5) Dapat dengan baik menerima tumbukan-tumbukan dan getaran-getaran serta pergantian yang kasar di tempat berdirinya sebuah bangunan.

Kondisi kayu yang tidak menguntungkan adalah sebagai berikut.

- 1) Anisotrop (memiliki sifat yang tidak sama dalam semua arah).
- 2) Tidak homogen (serat-seratnya tidak terbagi rata dalam kayu).
- 3) Menyusut dan mengembangnya kayu. Perubahan ukuran di bawah pengaruh pergantian cuaca.
- 4) Kemampuan menahan terhadap retakan dan geseran kecil.
- 5) Keterbatasan dalam ukuran.
- 6) Kemungkinan penggunaan ulang yang terbatas.

Sistem perancah dolken yang terdiri dari balok memanjang, balok melintang dan support dapat dilihat pada gambar 2.3



**Gambar 2.3. Sistem Perancah Dolken**

## 2. Sistem Scaffolding

Sistem scaffolding merupakan metoda yang lebih maju yaitu semua bahan telah ditentukan karakteristiknya oleh pabrik. Sistem perancah scaffolding pada pelat lantai terdiri dari balok melintang dan balok memanjang yang terbuat dari kayu olahan dan "support" terbuat dari baja. Pada "support" terdapat sistem untuk mengatur ketinggian sesuai dengan ketinggian yang diperlukan. Mengingat cara kerja demikian maka pemasangan sistem ini lebih cepat dibandingkan dengan sistem dolken tetapi harga bahannya lebih mahal. Keuntungan lain dari sistem ini adalah dapat digunakan berulang kali sehingga harga alat secara keseluruhan menjadi lebih murah. Menurut pengalaman di lapangan dapat dibongkar pasang secara berturut-turut sebanyak 30 kali.

### a. Balok (Balok Memanjang dan Balok Melintang)

Balok memanjang dan balok melintang sistem dolken yang berfungsi sebagai penopang acuan beton terbuat dari kayu olahan yang telah mempunyai karakteristik tertentu (pabrikasi).

### b. "Support"

Selain support dari bahan kayu, saat sekarang juga telah dikembangkan support baja atau besi, yang berupa rangka batang pipa dengan modul ukuran tertentu yang dapat disusun menjadi satu kesatuan rangka kaku. Penyusunan dilakukan dengan cara disambungkan dan dihubungkan batang-batang pipa kemudian diikat dengan baut. Pada bagian kaki, dipasang suatu alas dudukan sekaligus alat pengatur ketinggian yang diperlukan. Sebaiknya material ini dalam bentuk profil, seperti profil pipa bulat (misalnya pipa pres) yang karakteristiknya telah ditentukan oleh pabrik.

Sifat dari baja yang dapat mengalami deformasi yang besar di bawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur atau putus disebut sifat duktilitas. Adanya sifat ini membuat struktur baja mampu mencegah terjadinya proses robohnya bangunan secara tiba-tiba. Sifat ini sangat



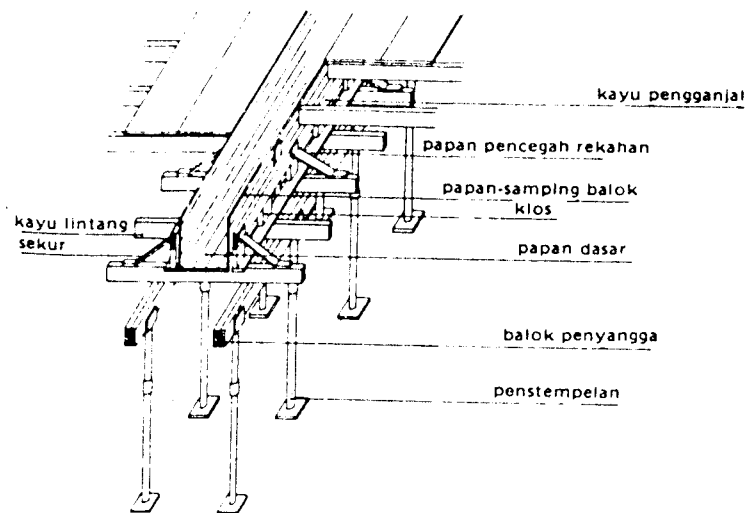
menguntungkan ditinjau dari sudut keamanan. Di samping itu masih ada keuntungan-keuntungan lain yang dapat kita peroleh dari struktur baja yaitu :

- 1) proses pemasangan di lapangan berlangsung cepat,
- 2) dapat dilas,
- 3) susunan bahan scaffolding homogen,
- 4) komponen-komponen struktur scaffolding dapat digunakan lagi untuk keperluan lain,
- 5) kekerasan tinggi dan tahan terhadap keausan,
- 6) dapat diperoleh dalam berbagai bentuk,
- 7) struktur bersifat permanen dengan pemeliharaan tidak terlalu sulit,
- 8) apabila tidak memenuhi tujuan yang diharapkan lagi, baja memiliki nilai sisa selaku besi tua.

Selain keuntungan-keuntungan tersebut bahan baja juga mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut :

- 1) biaya awal mahal,
- 2) diperlukan biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat,
- 3) walaupun dapat menahan gaya-gaya aksial sehingga mengakibatkan tekuk pada batang-batang langsing, tetapi tidak bisa dicegah terjadi suatu pergeseran horisontal,
- 4) hantaran termis besar.

Sistem perancah dolken terdiri dari balok memanjang, balok melintang dan support dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4. Sistem Perancah Scaffolding**

### 2.3. Analisis Sistem Perancah

#### 1. Analisis Resiko Terhadap Kegagalan Waktu

Perhitung kegagalan terhadap waktu harus mendefinisikan situasi / kondisi kegagalan. Apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka akan berakibat bertambahnya waktu penyelesaian proyek sebesar waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pengecoran.

Diasumsikan kegagalan struktur perancah ini dalam dua jenis kegagalan yaitu kegagalan untuk satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran. Kegagalan untuk tiga kali pengecoran diasumsikan sebagai kegagalan yang terjadi maksimum, karena apabila terjadi kegagalan dapat dianggap adanya usaha perbaikan / penyempurnaan pengaturan

pemasangan sistem perancah sehingga dapat dicegah berulangnya kegagalan pengecoran.

Penjumlahan dari distribusi-distribusi yang beraneka ragam akan cenderung terbentuk distribusi normal, maka distribusi waktu disini diasumsikan mengikuti distribusi normal logaritmis. Distribusi normal dipakai sehubungan dengan nilai waktu yang selalu bernilai positif.

## **2. Analisis Perhitungan resiko Kegagalan Terhadap Struktur**

Berhasil tidaknya pengecoran dapat ditinjau dari segi runtuh atau tidaknya sistem perancah. Daya dukung perancah ini merupakan fungsi dari jarak pemasangan komponen-komponennya. Sistem perancah disini terdiri atas balok memanjang, balok melintang dan "support". Apabila telah terjadi kegagalan pada pengecoran yang berarti sistem perancahnya gagal, maka diadakan evaluasi sehingga dicegah terjadinya kegagalan berikutnya. Disini akan ditinjau dua jenis kegagalan yaitu kegagalan satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran.

### **a) Analisis Bahan.**

#### **1) Balok Kayu**

Pada sistem scaffolding bahan-bahan yang digunakan disini merupakan bahan dari pabrik sehingga telah mempunyai ukuran karakteristik yang tertentu, sedangkan pada sistem dolken bahan kayu yang digunakan adalah kayu hasil gergajian bukan bahan kayu olahan pabrik. Dalam penentuan dimensi desain kita memakai data beban rencana dan data tegangan rencana. Untuk perhitungan nilai kemungkinan, maka digunakan data beban rata-rata

dan data tegangan rata-rata karena pada keadaan sebenarnya sulit diterapkan ukuran desain secara sempurna 100 %.

Diasumsikan untuk sistem scaffolding bahwa gaya-gaya ijin ditentukan dengan memasukkan faktor keamanan sebesar 1,5 dari gaya runtuh. Untuk mencari data rata-ratanya adalah sebagai berikut :

- untuk momen

$$M_{\text{bahan}} = M_{\text{rencana}} \times 1,5$$

$$\sigma_{\text{bahan}} = \frac{M_{\text{bahan}}}{W}$$

maka momen rata-rata bahan ( M ) =  $\sigma \times W$

- untuk tegangan

$$D_{\text{bahan}} = D_{\text{rencana}} \times 1,5$$

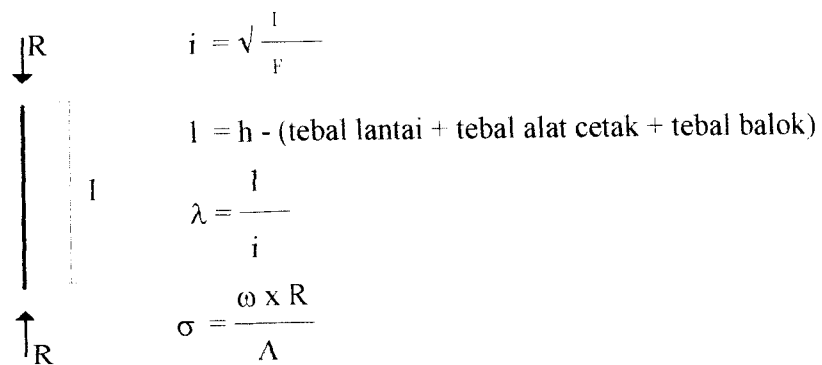
$$\tau_{\text{bahan}} = \frac{3}{2} \times \frac{D \times S}{b \times I}$$

maka gaya geser rata-rata bahan :

$$D = \frac{2}{3} \times \bar{\tau}_{\text{rata}} \times b \times \frac{I}{S}$$

## 2) Support

Untuk tegangan yang terjadi pada support pada daerah tumpuan harus dilipatkan tegangannya sebesar 1,5 atau 2,4 sebagai faktor keamanan (*Wighout Ing, F, Buku Pedoman Tentang Bekisting, Erlangga, Jakarta, 1992*). Pembebanan pada support dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5. Pembebanan Support**

dengan :

$i$  = jari-jari lembab minimum ( cm )

$l$  = panjang tekuk ( cm )

$I$  = momen lembab minimum (  $\text{cm}^4$  )

$F$  = luas tampang brutto (  $\text{cm}^2$  )

### 3. Analisis Pengukuran dan Pembebanan di Lapangan.

#### a. Analisis Pengukuran.

Yang dimaksud dengan pengukuran adalah penentuan ukuran yang sebenarnya di lapangan dari ukuran yang ada dalam gambar rencana. Ketetapan pengukuran di lapangan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor ketelitian pengukuran dan skala kecil dari alat ukur yang digunakan. Mengingat faktor-faktor di atas maka dalam setiap pengukuran diasumsikan koefisien variansi (COV) sebesar 5 % (Surjadi, P.A., *Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statika*, ITB, 1976).

### b. Analisis Pembebanan.

Pembebanan terdiri dari beban mati ( $Q_d$ ) dan beban hidup ( $Q_l$ ). Beban hidup akibat pekerja diasumsikan sebesar 20 % dari beban mati.

$$Q = Q_d + Q_l = 1,2 Q_d$$

$$Q_d = \gamma_{bt} \times t$$

$$Q = 1,2 \times \gamma_{bt} \times t$$

Keterangan :

$\gamma_{bt}$  = berat jenis beton

t = tebal beton

berdasarkan buku PBI 1971 N.I. - 2 hal. 102 pasal 10.3. ay.(4) disebutkan bahwa  $\gamma_{bt} = 2400 \text{ kg/m}^3$ . Anggapan diambil  $\gamma_{bt} = 2500 \text{ kg/m}^3$  karena diasumsikan bahwa tulangan untuk lantai dapat lebih rapat dari keadaan yang biasa sehingga berat jenis material beton menjadi lebih besar. Koefesien variansi (COV) diasumsikan sebesar 15 %. Untuk beban diasumsikan jenis distribusi beban adalah distribusi logaritmis dengan tingkat kemungkinan terjadinya beban lebih besar dari q rencana adalah 10 %. (Surjadi, P.A., *Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statika*, ITB, 1976).

### 4. Analisis Kegagalan Sub Struktur Perancah

Kegagalan sub struktur perancah (balok memanjang, balok melintang) adalah kegagalan berdasarkan peninjauan momen dan geser. Kegagalan terhadap momen terjadi apabila momen bahan rata-rata lebih kecil dari momen yang timbul akibat pembebanan. Kegagalan terhadap tegangan geser terjadi apabila tegangan geser rata-rata bahan lebih kecil dari tegangan geser akibat pembebanan. Sedangkan kegagalan “support” berdasarkan peninjauan gaya tekannya. Kegagalan gaya tekan terjadi apabila gaya tekan rata-rata bahan lebih kecil dari gaya akibat pembebanan.

## 5. Analisis Resiko Kegagalan Struktur Perancah

Antara balok dan “support” diasumsikan “independent” (tidak saling berhubungan) sehingga resiko kegagalan perancah merupakan penjumlahan dari nilai kemungkinan kegagalan sub struktur perancah ( balok, support ). Antara balok memanjang dan balok melintang akan diselidiki apakah saling berhubungan atau tidak.

## 6. Analisis Biaya

Di dalam analisis biaya antara sistem perancah scaffolding dan sistem perancah dolken akan dibandingkan yang paling ekonomis, maka diasumsikan bahwa perhitungan biaya pembetonan hanya faktor-faktor material perancah, upah pekerja dan sewa peralatan saja yang akan diperhitungkan karena hanya keempat faktor tersebut yang kami anggap utama di dalam penentuan perbedaan antara sistem scaffolding dan sistem dolken.

### a. Analisis Harga

Harga dari suatu bahan ditentukan berdasarkan rumus : (*Iman Soeharto, Manajemen Proyek, Erlangga, Jakarta, 1995*)

$$H = I \times V \times H_s \times f$$

keterangan :

H = harga satuan

I = faktor inflasi

V = volume bahan

$H_s$  = harga satuan

f = faktor kesalahan

Di dalam analisa harga diperlukan data mengenai nilai inflasi yang terjadi. Data inflasi diambil dari Biro Pusat Statistik Indonesia.

#### **b. Analisis Biaya Pembetonan.**

Analisis biaya pembetonan merupakan penjumlahan dari material perancah, material beton, upah pekerja dan sewa peralatan. Besarnya biaya-biaya tersebut akan bertambah apabila terjadi kegagalan struktur perancah didalam pelaksanaannya. Diasumsikan apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka material perancah dan material beton tidak dapat digunakan kembali. Selain itu akan berpengaruh pada upah pekerja dan sewa alat untuk biaya pembersihan dan biaya pembetonan baru.

### **7. Analisa Keputusan**

Hasil yang dicerminkan dalam suatu distribusi kemungkinan dapat dinyatakan dalam harga rata-rata atau nilai ekspektasi. Pemilihan alternatif terbaik didasarkan atas nilai ekspektasi tertinggi atau terendah (*Mangkusubroto, Kuntoro dan Trisnadi, Listiarini, Analisa Keputusan, Pendekatan Sistem Dalam Manajemen Usaha dan Proyek, ITB, 1986*).

$$\text{Nilai Ekspektasi (NE)} = \sum (P_i \times Nk_i)$$

Keterangan :

$P_i$  = angka probabilitas / kemungkinan

$Nk_i$  = nilai kriteria

## **2.4. Metode Statistika**

### **2.4.1. Varian dan Deviasi Standar**

Varian suatu variabel acak adalah ukuran dispersi atau variabilitasnya yakni besaran yang memberikan ukuran mengenai seberapa dekat nilai-nilai



varian mengelompok atau menyebar di sekitar nilai sentral. Jika deviasi diukur terhadap nilai purata, maka besaran pengukur rata-rata yang cocok untuk dispersi adalah varians. Varians untuk suatu variabel acak yang menerus (kontinu) adalah : ( *Sri Adiningsih, Statistik, BPF, Yogyakarta, 1993* )

$$\text{Var.}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 \cdot f_x(x) dx \dots\dots\dots ( 2.1 )$$

$$\mu_x \equiv E(x)$$

$$\text{Var.}(x) = E(x^2) - \mu_x^2$$

$E(x^2)$  adalah purata kuadrat dari  $x$

Secara dimensional suatu pengukuran dispersi yang lebih mudah adalah akar pangkat dua dari varians atau deviasi standar (simpangan baku) /  $\sigma$  ; yaitu :

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var.}(x)} \dots\dots\dots ( 2.2 )$$

Hanya berdasarkan varians dan deviasi standar saja akan sulit untuk menyatakan apakah penyebarannya besar atau kecil, maka untuk tujuan ini, suatu pengukuran dari dispersi relatif terhadap nilai sentral akan lebih bermanfaat. Untuk alasan ini koefisien varians (COV) yang diberikan antara lain :

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

merupakan pengukuran dispersi atau variabilitas tak berdimensi yang lebih disukai dan lebih mudah.

## 2.5.2. Fungsi Distribusi Normal dan Normal Logaritmis

### 1. Distribusi Normal

Bentuk distribusi ini, dalam penelitian pengukuran sering digunakan dalam pendekatan fungsi distribusi probabilitas. Bentuk ini biasa dikenal dengan Distribusi Gauss. ( *Alfredo H. S. Ang & Wilson H. Tang, Probability Concept in Engineering Planning and Design, Basic Principles, John Willey & Sons, 1975* )

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\} \quad -\infty < x < \infty \quad \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

$\sigma$  dan  $\mu$  adalah parameter distribusi

dengan :  $\mu$  = nilai rata-rata

$\sigma$  = standar deviasi

#### a. Distribusi Normal Standar

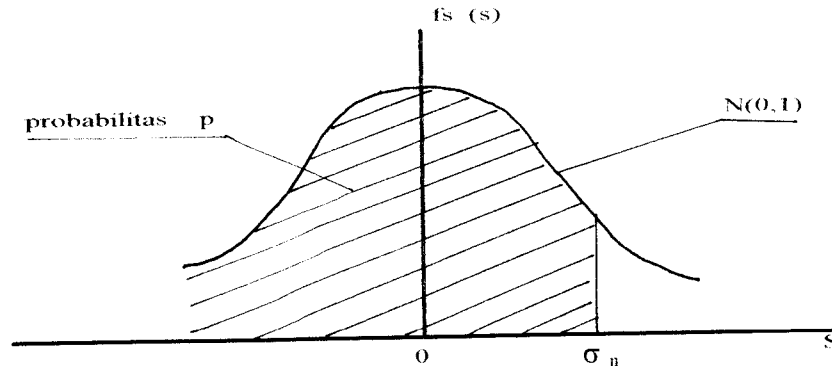
Distribusi Gauss dengan parameter  $\mu = 0$  dan  $\sigma = 1,0$  dikenal sebagai distribusi normal standar dan dinyatakan dengan  $N(0,1)$ . Dengan demikian kerapatannya adalah : ( *Alfredo H. S. Ang & Wilson H. Tang, Probability Concept in Engineering Planning and Design, Basic Principles, John Willey & Sons, 1975* )

$$f_s(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad -\infty < z < \infty \quad \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

Notasi yang biasa digunakan untuk dari distribusi normal standar  $z$  adalah  $\Phi(z)$  dengan harga  $\mu = 0$  dan  $\sigma = 1$

$$\Phi(z) = F_s(z)$$

Distribusi standar  $N(0,1)$  dapat dilihat pada grafik 2.1.



**Grafik 2.1. Fungsi Distribusi Normal Standar N(0,1)**

Untuk nilai varian yang negatif

$$\Phi(-z) = 1 - \Phi(z) \dots\dots\dots ( 2.6 )$$

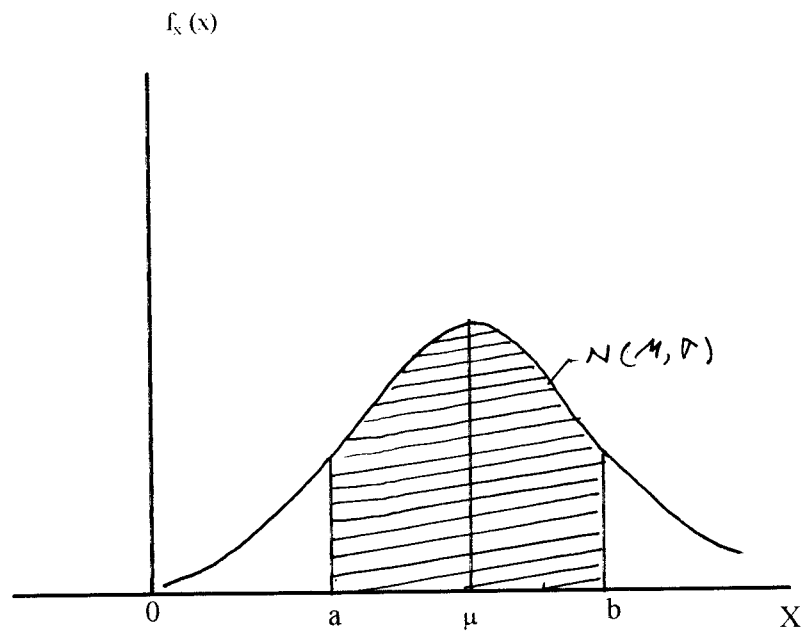
Besarnya angka probabilitas untuk setiap harga pada distribusi normal standar N(0,1) dapat dilihat dalam lampiran.

**b. Distribusi Normal N(0,1)**

Untuk variabel normal x pada distribusi normal ; N(0,1) probabilitasnya : ( *Alfredo H. S. Ang & Wilson H. Tang, Probability Concept in Engineering Planning and Design, Basic Principles, John Willey & Sons, 1975* )

$$P(a < x \leq b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b -\exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\} dx \dots\dots\dots ( 2.7 )$$

Distribusi Normal N(μ,σ) dapat dilihat pada grafik 2.2.



**Grafik 2.2. Fungsi Distribusi Normal  $N(\mu, \sigma)$**

$$\text{misal } z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$dz = \frac{dx}{\sigma}$$

$$dx = \sigma \cdot dz$$

$$\begin{aligned}
 P(a < x \leq b) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{(a-\mu)/\sigma}^{(b-\mu)/\sigma} e^{-\frac{1}{2}z^2} \sigma \, ds \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(a-\mu)/\sigma}^{(b-\mu)/\sigma} e^{-\frac{1}{2}z^2} \, ds
 \end{aligned}$$

yang dapat dikenal sebagai luas dari fungsi kerapatan normal standar diantara  $(a - \mu)/\sigma$  dan  $(b - \mu)/\sigma$ .

$$P(a < x \leq b) = \Phi \left[ \frac{b - \mu}{a - \mu} \right] - \Phi \left[ \frac{a - \sigma}{\sigma} \right]$$

## 2. Fungsi Distribusi Normal Logaritmis

Sebuah variabel acak  $x$  mempunyai distribusi probabilitas normal logaritmis jika distribusi  $\ln x$  adalah distribusi normal. Dalam hal ini fungsi kerapatan dari  $x$  ( *Alfredo H. S. Ang & Wilson H. Tang, Probability Concept in Engineering Planning and Design, Basic Principles, John Willey & Sons, 1975* ) adalah :

$$f_x(x) = \frac{1}{\xi \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln x - \lambda}{\xi} \right]^2 \right] \quad 0 \leq x \leq \infty \dots\dots\dots (2.8)$$

$\lambda$  dan  $\xi$  adalah parameter distribusi normal logaritmis dengan ;

$$\lambda = E(\ln x)$$

$$\xi = \sqrt{\text{Var.}(\ln x)}$$

Bentuk distribusi normal logaritmis analog dengan bentuk distribusi normal sehingga ;

$$P(a < x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\xi \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln x - \lambda}{\xi} \right]^2 \right] dx \dots\dots\dots (2.9)$$

misal :

$$z = \frac{\ln x - \lambda}{\xi}$$

$$dz = \frac{1}{x \cdot \xi}$$

$$dx = x \cdot \xi \cdot dz$$

maka :

$$P(a < x \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(a-\lambda)/\xi}^{(b-\lambda)/\xi} e^{-\frac{1}{2}z^2} ds$$

$$= \Phi \left[ \frac{\ln.b - \lambda}{\xi} \right] - \Phi \left[ \frac{\ln.a - \lambda}{\xi} \right] \dots\dots\dots ( 2.10 )$$

Probabilitas merupakan fungsi dari parameter  $\lambda$  dan  $\xi$ . Kedua parameter ini berhubungan dengan nilai purata  $\mu$  dan deviasi standar  $\sigma$ . Sehingga diperoleh:

$$\lambda = \ln.\mu - \frac{1}{2}\mu^2 \dots\dots\dots ( 2.11 )$$

$$\xi^2 = \ln.\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) \dots\dots\dots ( 2.12 )$$

untuk  $\frac{\sigma}{\mu} \leq 0.3$ , maka  $\ln.\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) \approx \frac{\sigma^2}{\mu^2}$

sehingga  $\xi \approx \frac{\sigma}{\mu} = \delta = \text{COV} \dots\dots\dots ( 2.13 )$

**2.5.3. Analisa Kovarians dan Korelasi**

Momen kedua gabungan dari x dan y adalah : ( *Sri Adiningsih, Statistik, BPFE, Yogyakarta, 1993* )

$$E(XY) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x.y f_x(x,y) dx.dy \dots\dots\dots ( 2.14 )$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} x.f_x(x) dx \int_{-\infty}^{\infty} y.f_y(y) dy$$

$$= E(x).E(y)$$

Momen kedua gabungan terhadap purata  $\mu_x$  dan  $\mu_y$  adalah kovarians dari x dan y yakni :

$$\begin{aligned} \text{COV}(x,y) &= E((x - \mu_x) \cdot (y - \mu_y)) \dots\dots\dots (2.15) \\ &= E(xy) - E(x) \cdot E(y) \end{aligned}$$

Cov (x,y) merupakan suatu pengukur derajat antar hubungan (yang linear) antara variabel x dan y. Namun untuk maksud ini lebih disukai dengan koefesien korelasi yang didefinisikan sebagai :

$$\rho = \frac{\text{COV}(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \dots\dots\dots (2.16)$$

Nilai  $\rho$  berkisar antara -1 dan +1

$$-1 \leq \rho \leq +1 \dots\dots\dots (2.17)$$

Bila  $\rho = \pm 1,0$  , maka x dan y berhubungan secara linear

$\rho = 0$ , maka x dan y tidak berhubungan

Dengan demikian, besaran dari koefesien korelasi  $\rho$  (antara 0 dan 1) merupakan suatu ukuran tingkat hubungan yang linear antara kedua variabel tersebut. Hubungan ini tidak dinyatakan sebagai hubungan sebab-akibat diantara variabel-variabelnya. Studi mengenai derajat dari interelasi linear antar variabel acak dinamakan analisis korelasi. Secara matematis, korelasi antara dua variabel acak x dan y diukur variabel koefesien korelasi :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{COV}(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \\ &= \frac{E((x - \mu_x) \cdot (y - \mu_y))}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \end{aligned}$$

Berdasarkan pada sehimpunan nilai pengamatan x dan y maka koefesien korelasi dapat ditaksir sebagai berikut ini :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{S_x \cdot S_y} \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $S_x$ , dan  $S_y$  masing-masing adalah purata sampel dan deviasi standar dari  $x$  dan  $y$ .

#### 2.4.4. Teknik Evaluasi Probabilitas Network (PNET)

PNET adalah suatu metoda pendekatan yang digunakan untuk menentukan probabilitas kegagalan waktu penyelesaian dari proyek berdasarkan network yang ada.

#### 2.4.5. Jaringan Kerja Proyek

Analisa jaringan kerja proyek bertujuan untuk mendapatkan satu model abstraksi dari kegiatan-kegiatan proyek yang berbentuk suatu grafik. Grafik ini berupa grafik berarah (“directed graph”) yang dapat digambarkan tiap aktivitas proyek dengan satu anak panah. Penggambaran ini sedemikian rupa sehingga aktivitas-aktivitas yang berurutan akan digambar berurutan pula.

Titik pertemuan antara akhir dari satu atau beberapa aktivitas dengan satu atau beberapa aktivitas pengikutnya disebut simpul.

Grafik jaringan kerja proyek dapat digambarkan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pengguraian proyek atas aktivitas-aktivitas yang diperlukan, agar proyek terealisasi secara lengkap
2. Penentuan saling ketergantungan antar aktivitas-aktivitas dalam proyek, dan penentuan lama pelaksanaan tiap aktivitas dan kebutuhan sumber dayanya.



3. Dilakukan perhitungan-perhitungan yang menyangkut waktu paling cepat satu aktivitas dimulai ataupun selesai. Perhitungan ini disebut perhitungan maju, dan waktu kejadian paling cepat tersebut dinyatakan sebagai “earliest event time” ( EET ).
4. Dilakukan perhitungan waktu paling lambat kejadian selesai satu aktivitas atau kejadian mulai satu aktivitas. Perhitungan ini disebut perhitungan mundur dan waktu kejadian paling lambat tersebut dinyatakan sebagai “latest event time” ( LET ).
5. Dilakukan perhitungan kelonggaran-kelonggaran yang dimiliki oleh aktivitas-aktivitas.
6. Dalam keadaan tertentu bisa dilakukan optimasi.

Proyek dalam pengertian analisa proyek mempunyai sifat-sifat :

1. Kegiatan total berlangsung sekali, dalam pengertian bahwa aktivitas proyek secara keseluruhan dengan spesifik.
2. Proyek dapat diuraikan atas sub-sub proyek, demikian juga sub proyek dapat diuraikan atas aktivitas-aktivitasnya.
3. Mempunyai saat mulai dan saat selesai tertentu.
4. Setiap aktivitas mempunyai waktu tertentu
5. Dalam satu saat dapat dilakukan beberapa aktivitas secara paralel.
6. Ruang lingkup proyek adalah tertentu dan pasti.

Berdasarkan sifat-sifat di atas, maka dalam analisa network, diasumsikan bahwa aktivitas yang telah dimulai harus dikerjakan sampai tuntas.

#### **2.5.6. Program Evaluation and Review Technique ( PERT )**

Metoda ini merupakan metoda penggambaran aktivitas dengan anak panah, sedangkan simpul digambarkan nomor dari simpul paling cepat (EET) dan paling lambat (LET). PERT berorientasi pada penonjolan simpul-simpul

saat selesai ataupun saat mulai suatu aktivitas. Ada dua konsep yang harus diperhatikan sehubungan dengan PERT :

- 1) Suatu “event” dalam PERT adalah : suatu keadaan yang terjadi seketika itu juga pada titik waktu tertentu, tetapi keadaan ini sendiri tidak membutuhkan waktu atau sumber daya.
- 2) Suatu aktivitas adalah : bagian tertentu dari suatu proyek kerja, yang membutuhkan waktu dan sumber daya untuk menyelesaikannya.

Setiap aktivitas dalam PERT mempunyai 3 macam waktu pelaksanaan yaitu:

- 1) Waktu yang paling optimis

Waktu yang paling optimis adalah perkiraan waktu yang mempunyai kemungkinan yang sangat kecil untuk dapat dicapai, yaitu kemungkinan terjadinya hanya sekali dalam 100. Perkiraan waktu ini merupakan penggambaran waktu untuk penyelesaian proyek, jika segala sesuatu berjalan dengan lancar, tanpa persoalan-persoalan maupun cuaca yang tidak cocok dan sebagainya. Harus ditahui bahwa hal ini sangat jarang terjadi, namun kemungkinan dapat juga terjadi.

- 2) Waktu yang paling pesimis

Waktu yang paling pesimis adalah perkiraan waktu yang mempunyai kemungkinan yang sangat kecil untuk dapat dilaksanakan, kemungkinan terjadi hanya satu dalam 100. Perkiraan ini merupakan penggambaran waktu yang akan kita butuhkan untuk penyelesaian aktivitas tertentu, jika terganggu oleh cuaca yang tidak cocok, kerusakan-kerusakan, nasib buruk dan sebagainya. Kejadian yang menghambat pelaksanaan proyek harus diketahui karena hal ini juga merupakan kejadian yang jarang, tetapi hal ini juga bisa terjadi. Jadi setidaknya harus diperhitungkan waktu ini dalam pertimbangan-pertimbangan dan perhitungan-perhitungan perencana.

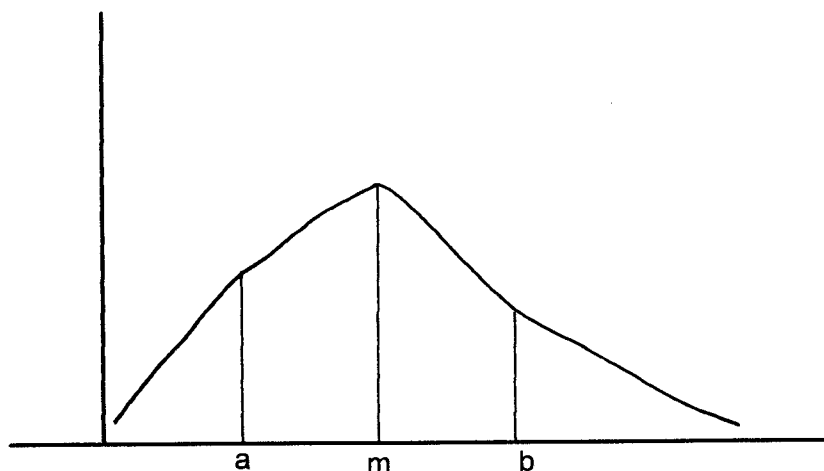
### 3) Waktu yang paling mungkin

Waktu yang paling mungkin adalah waktu yang berdasarkan pikiran estimator, penggambaran lamanya waktu yang paling sering akan dibutuhkan untuk penyelesaian aktivitas tertentu, jika pekerjaan ini diulang-ulang dalam kondisi yang sama.

Perkiraan waktu yang paling optimis biasanya dinyatakan oleh huruf "a", waktu yang paling mungkin oleh huruf "m", dan waktu paling pesimis oleh huruf "b".

Dalam perhitungan waktu rata-rata tidak akan ada pertimbangan yang sama terhadap waktu yang paling pesimis seperti yang akan diberikan terhadap waktu paling mungkin. Kemungkinan suatu proyek akan dapat diselesaikan dekat pada waktu yang paling mungkin adalah jauh lebih besar daripada kemungkinan untuk dapat diselesaikan dekat pada waktu yang paling pesimis. Oleh sebab itu waktu yang paling mungkin ini harus ditimbang lebih berat daripada waktu yang paling pesimis (b). Berdasarkan alasan yang sama juga berlaku untuk waktu yang paling optimis (a).

Distribusi probabilitas waktu pelaksanaan dapat dilihat pada grafik 2.3.



**Grafik 2.3. Distribusi Probabilitas Waktu Pelaksanaan**

Waktu rata-rata dari pelaksanaan tiap aktivitas dar PERT adalah : (*Richard I. Levin dan Charles A. Kirkpatrick, Perentjanaan dan Pengawasan Dengan PERT dan CPM, Bhratara, 1972, Djakarta*)

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad \dots\dots\dots ( 2.19 )$$

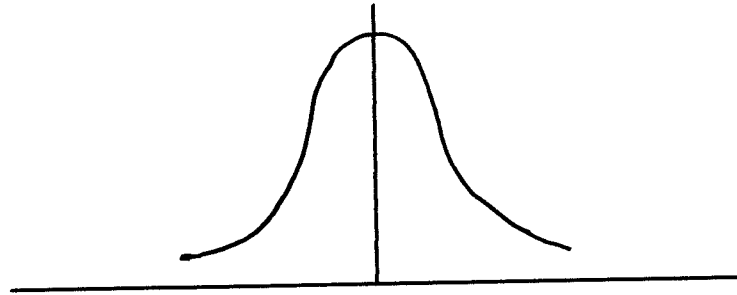
sedangkan variansi dari waktu pelaksanaan tiap aktivitas adalah :

$$\sigma^2(t_e) = \frac{(b - a)^2}{36} \quad \dots\dots\dots ( 2.20 )$$

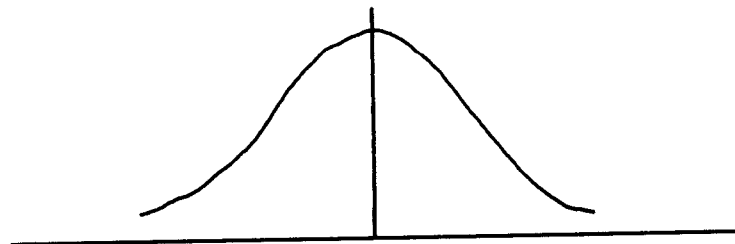
dengan :      a = waktu optimis  
                   b = waktu pesimis  
                   m = waktu yang paling mungkin

Suatu kurva kemungkinan terbentuk dari suatu “event” bersama-sama dengan deviasi standarnya. Jika nilai deviasi standarnya adalah besar dibandingkan dengan  $T_e$ -nya, maka ini berarti bahwa beda (“variance”) adalah besar. Para estimator yang perkiraan-perkiraannya termasuk dalam jalur ini semua tidak yakin sekali akan perkiraan yang mereka buat. Waktu

yang sesungguhnya dapat berbeda jauh dengan  $T_e$ -nya, maka ini berarti para estimator merasa cukup yakin bahwa waktu yang sesungguhnya tidak jauh berbeda dari  $T_e$ -nya. Untuk jelasnya bentuk dua kurva kemungkinan dapat dilihat pada grafik 2.4 dan grafik 2.5.



**Grafik 2.4. Distribusi kemungkinan dengan penyebaran yang menyempit, atau deviasi standar yang kecil jika dibandingkan dengan waktu tercepat yang diharapkan**



**Grafik 2.5. Distribusi kemungkinan dengan penyebaran yang luas, atau deviasi standar yang besar jika dibandingkan dengan waktu tercepat yang diharapkan**

yang luas deviasi standarnya besar jika dibandingkan dengan  $T_e$ -nya. Masing-masing kurva tersebut memberikan keterangan kepada para pembuat keputusan. Sekalipun terdapat perkembangan yang buruk dan rencana tidak dapat ditepati, tetapi jumlah waktu yang sebenarnya dipergunakan tidak akan meleset jauh lebih melampaui  $T_e$ -nya seperti ditunjukkan pada grafik 2.4. Tetapi sebaliknya, jika terjadi perkembangan yang buruk pada kasus yang digambar dalam gambar 2.5, maka jumlah yang sebenarnya dipergunakan dapat jauh melampaui  $T_e$ -nya, maka terletak jauh disebelah kanan  $T_e$ -nya. Dengan demikian durasi rata-rata untuk setiap lintasan (terdiri dari beberapa aktivitas ) adalah :

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^{n_i} t_{e_{ij}} \dots\dots\dots ( 2.21 )$$

Keterangan :  $n_i$  = jumlah aktivitas pada lintasan  $i$

$t_{e_{ij}}$  = durasi aktivitas  $j$  yang terletak pada lintasan  $i$

Jika diasumsikan bahwa aktivitas secara individu tidak berhubungan, maka variasi dari  $T_e$  adalah :

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^{n_i} \sigma^2 ( t_{e_{ij}} ) \dots\dots\dots ( 2.22 )$$

Dalam teori limit pusat jumlah semua unsur yang mempunyai bentuk distribusi yang sembarang, maka cenderung akan terbentuk distribusi normal. Dengan penggunaan metoda PNET untuk analisa network, maka diperlukan 2 parameter pada setiap aktivitas yakni :durasi rata-rata ( $t$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ). Besarnya  $t$  dan  $\sigma$  dapat dihitung berdasarkan analisa PERT. Untuk jaringan kerja proyek yang mempunyai banyak lintasan kritis maka perlu di cek koefisien korelasi antara masing-masing lintasan kritis tersebut. Koefisien korelasi ( $\rho$ ) antara lintasan  $T_i$  dan lintasan  $T_j$  adalah :

$$\rho_{ij} = \frac{\left( \sum_{k=1}^n \sigma^2(t_k) \right)}{(\sigma(T_i) \sigma(T_j))} \dots\dots\dots ( 2. 23 )$$

Semua aktivitas untuk network korelasi ( *Alfredo H. S. Ang & Wilson H. Tang, Probability Concept in Engineering Planning and Design, Basic Principles, John Willey & Sons, 1975* ) adalah :  $\rho_0 = 0,5$ .

Untuk penentuan besarnya probabilitas kegagalan atas waktu pelaksanaan, maka diasumsikan bentuk distribusi probabilitas waktu pelaksanaan adalah normal logaritmis.

$$P ( T \leq t ) = \Phi \left( \frac{\ln T - \lambda}{\xi} \right) \dots\dots\dots ( 2.24 )$$

$$\xi = \frac{\sigma(T)}{T}$$

$$\lambda = \ln T - \frac{1}{2} \xi^2$$

dengan :  $t$  = waktu yang harus dicapai ( waktu kontrak )

$T$  = waktu yang dibutuhkan berdasarkan network

$\sigma(T)$  = simpangan waktu yang harus dicapai

Dengan demikian probabilitas kegagalan waktu yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P ( T > t ) &= 1 - P ( T \leq t ) \dots\dots\dots ( 2.25 ) \\ &= 1 - \Phi \left( \frac{\ln T - \lambda}{\xi} \right) \end{aligned}$$

## **BAB III**

### **ANALISIS SISTEM PERANCAH**

#### **3.1. PENDAHULUAN**

Sebagai salah satu sampel untuk analisis sistem perancah diambil proyek perluasan gedung kuliah di Universitas Muhammadiyah Surakarta.

##### **1. Diskripsi Proyek**

Proyek Kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta ini sebagai sarana perluasan ruang kuliah untuk menampung jumlah mahasiswa UMS yang kian tahun semakin meningkat. Proyek ini direncanakan terdiri dari empat lantai. Berdasarkan pekerjaan pembangunan gedung proyek Kampus Universitas Muhammadiyah Surakarta dapat dibagi beberapa paket yaitu :

- paket I terdiri dari pekerjaan struktur bawah yaitu pekerjaan pondasi tiang pancang,
- paket II terdiri dari pekerjaan struktur atas,
- paket III terdiri dari pekerjaan electrical.

Pekerjaan struktur atas terdiri dari empat lantai yang meliputi pekerjaan pembetonan pada :

- pelat dan balok
- kolom
- tangga

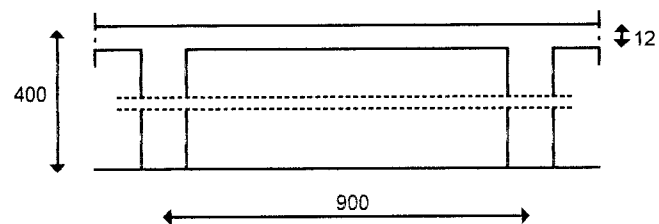
Waktu yang ditetapkan untuk penyelesaian paket II ini adalah 238 hari kalender.



## 2. Detail Bangunan

### a. Lantai

- Bentuk lantai bertipe sama untuk setiap tingkat. Dalam analisis pelaksanaan luas pelat untuk semua tingkat dianggap sama yaitu  $1836 \text{ m}^2$  / lantai.
- Tebal pelat dari lantai 2 sampai dengan lantai 4 sebesar 12 cm. Seperti terlihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1. Detail potongan pelat lantai**

### b. Kolom

- Jumlah kolom : 6 buah berukuran  $0,5 \times 0,65 \text{ m}^2$ , 40 buah berukuran  $0,2 \times 0,3 \text{ m}^2$  dan 30 berukuran  $0,4 \times 0,6 \text{ m}^2$ .

### c. Tangga

- Jumlah tangga = 3 buah / lantai
- Volume total tangga =  $52,92 \text{ m}^3$

### 3.1.1. Sistem Scaffolding

#### 1. Sumber Daya

Sumber daya yang disediakan untuk pembetonan adalah :

- Material Perancah :

# Lantai :  $1836 \text{ m}^2$

# kolom : 18 set untuk kolom besar dan 20 set untuk kolom kecil

# tangga : 1 set

- Peralatan

# Concrete mixer dari Readymix dengan kapasitas seluruhnya 125 m<sup>3</sup> / hari

# Vibrator : 2 buah

# Lift : 2 buah

# Generator set dengan daya 30 PK : 1 buah

# Beton mollen 2 buah

- Manusia

# Tenaga pemasang perancah : terdiri dari 3 kelompok kerja dengan jumlah anggota tiap kelompok kerja sebanyak 10 orang.

# Tenaga pembesian : terdiri dari 3 kelompok kerja dengan jumlah anggota tiap kelompok 10 orang.

# Tenaga pengecoran : 1 kelompok kerja dengan jumlah 12 orang

## 2. Perhitungan Waktu Pembetonan

Dengan melihat bentuk lantai dari struktur gedung tersebut adalah sama (tipikal) untuk tiap lantai dari lantai satu sampai lantai empat, maka dalam analisa waktu pembetonannya, maka dalam penghitungan waktu pelaksanaan pembetonan untuk satu lantai sebagai satu blok aktivitas. Dan untuk seterusnya perhitungan waktu penyelesaian struktur atas seluruhnya berdasarkan blok aktivitas tersebut.

Untuk proyek-proyek berjangka waktu yang relatif cukup lama perlu diperhitungkan juga mengenai hari-hari aktivitas proyek tidak dapat dilaksanakan. Hari-hari tersebut diantaranya hari-hari libur dan hari-hari cuaca tidak mengijinkan untuk melakukan aktivitas, seperti adanya hujan. Jumlah dimana aktivitas proyek tidak dapat dilaksanakan adalah

sebagai berikut :

- karena hari libur = 4 hari
- karena cuaca = 8 hari

Waktu untuk penyelesaian pembetonan tiap lantai adalah 28 hari kalender.

### **3.1.2. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Waktu pada Sistem Scaffolding**

Pada umumnya waktu pengerjaan adalah tidak pasti atau tidak sesuai seperti yang direncanakan. Penyelesaian suatu pekerjaan dapat lebih cepat atau lebih lambat dari yang direncanakan. Disini resiko kegagalan terhadap waktu diasumsikan kegagalan mencapai waktu yang ditetapkan dalam perjanjian untuk penyelesaian proyek tahap II ( struktur atas ) secara normal yaitu selama 238 hari kalender.

Secara normal disini maksudnya adalah tidak ada kejadian-kejadian luar biasa yang dapat dikategorikan “force majeure”. Kegagalan terhadap waktu ini bisa terjadi karena di dalam menentukan waktu rencana yang dibutuhkan pada setiap kejadian biasanya hanya berdasarkan pengalaman saja.

Tidak dapat dipastikan seratus persen bahwa suatu pekerjaan akan dapat terselesaikan selama waktu yang diperkirakan. Dalam prakteknya waktu pengerjaan mungkin lambat ataupun lebih cepat sehingga faktor resiko untuk tidak dapat terpenuhinya waktu sesuai dengan yang direncanakan perlu diperhitungkan.

Di dalam menentukan waktu untuk satu kejadian, maka waktu optimis perlu ditetapkan yaitu waktu paling cepat yang dibutuhkan untuk kejadian tersebut apabila segala sesuatunya berjalan dengan lancar, dan waktu pesimis yaitu waktu paling lambat untuk kejadian tersebut akibat timbulnya gangguan-gangguan.

Di dalam perencanaan waktu akan dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

1. Lokasi sumber daya terhadap proyek.
2. Ketersediaan tenaga kerja terampil.
3. Sarana transportasi yang tersedia.
4. Kondisi peralatan dan pemeliharaannya.
5. Kesehatan kerja.
6. Situasi musim selama berlangsungnya proyek.
7. Kelancaran pembayaran termijn.
8. Kelancaran ketersediaan bahan.

Oleh karena itu untuk perhitungan faktor resiko harus diketahui distribusi datanya, nilai rata-rata dan standar deviasinya, maka untuk mencari resiko terhadap waktu ini digunakan waktu rata-rata. Disini digunakan metoda PERT ( Program Evaluation and Review Technique) di dalam perhitungan waktu rata-rata ketiga perkiraan waktu yaitu waktu optimis, waktu pesimis dan waktu rencana yang terjadi.

### 1. Waktu Aktivitas Rata-Rata

Waktu rata-rata dan variansi dari masing-masing aktivitas menurut PERT yang didasarkan pada persamaan berikut :

$$\text{Waktu rata-rata ( t )} = \frac{a + 4 \times m + b}{6}$$

$$\text{Variansi ( } \sigma^2 \text{ )} = \frac{(b - a)^2}{36}$$

dengan : a = waktu optimis

b = waktu pesimis

m = waktu rencana ( sesuai yang diharapkan )

Keyakinan perencana diperlihatkan oleh besarnya waktu optimis dan waktu pesimis terhadap waktu yang direncanakan. Apabila simpangan yang terjadi besar, maka hal itu menunjukkan bahwa perencana tidak begitu yakin akan dapat menepati waktu yang telah direncanakan, demikian pula sebaliknya. Disini diambil waktu pesimis dan waktu optimis yang simpangannya relatif besar pada setiap kejadian karena berdasarkan pengetahuan dan pengalaman lapangan yang dikumpulkan kejadian yang akan dilaksanakan dapat mempunyai simpangan yang cukup besar. Selain itu, diasumsikan bahwa tiap-tiap kejadian yang terjadi pada lintasan aktivitas merupakan kejadian yang berdiri sendiri ( independent ) karena pengecoran sebelumnya ternyata berhasil.

Perhitungan waktu rata-rata dan variansi dari masing-masing aktivitas dilakukan secara tabelaris seperti terlihat dalam tabel 3.1. dibawah ini :

**Tabel 3.1. Waktu rata-rata dan variansi sistem scaffolding**

No	Aktivitas	a	m	b	t	$\sigma^2$
1	L <sub>1</sub> , Lantai 1	34	35	41	35,83	1,36
2	L <sub>2</sub> , Lantai 2	27	28	34	28,83	1,36
3	L <sub>3</sub> , Lantai 3	27	28	34	28,83	1,36
4	T, Tangga	80	84	92	84,67	4
5	Rk, Ring atas kusen	88	91	100	92	4
6	L <sub>4</sub> , Lantai 4	27	28	34	28,83	1,36
7	B <sub>A</sub> , Balok Atap	20	21	27	21,83	1,36
8	KI, Konsol lantai 4	27	28	34	28,83	1,36
9	Ls, Lisplank	20	21	28	22	1,78
10	Lb, Libur	3	4	15	5,67	4
11	H, Cuaca	6	8	20	9,67	5,44

## 2. Lintasan Aktivitas

Dalam menentukan lintasan aktivitas yang utama atau paling berpengaruh, maka akan digunakan metode PNET ( Probability Network Evaluation Technique ). Durasi dan variansi dari masing-masing lintasan aktivitas adalah sebagai berikut :

Durasi untuk lintasan ke-i (  $T_i$  ) :

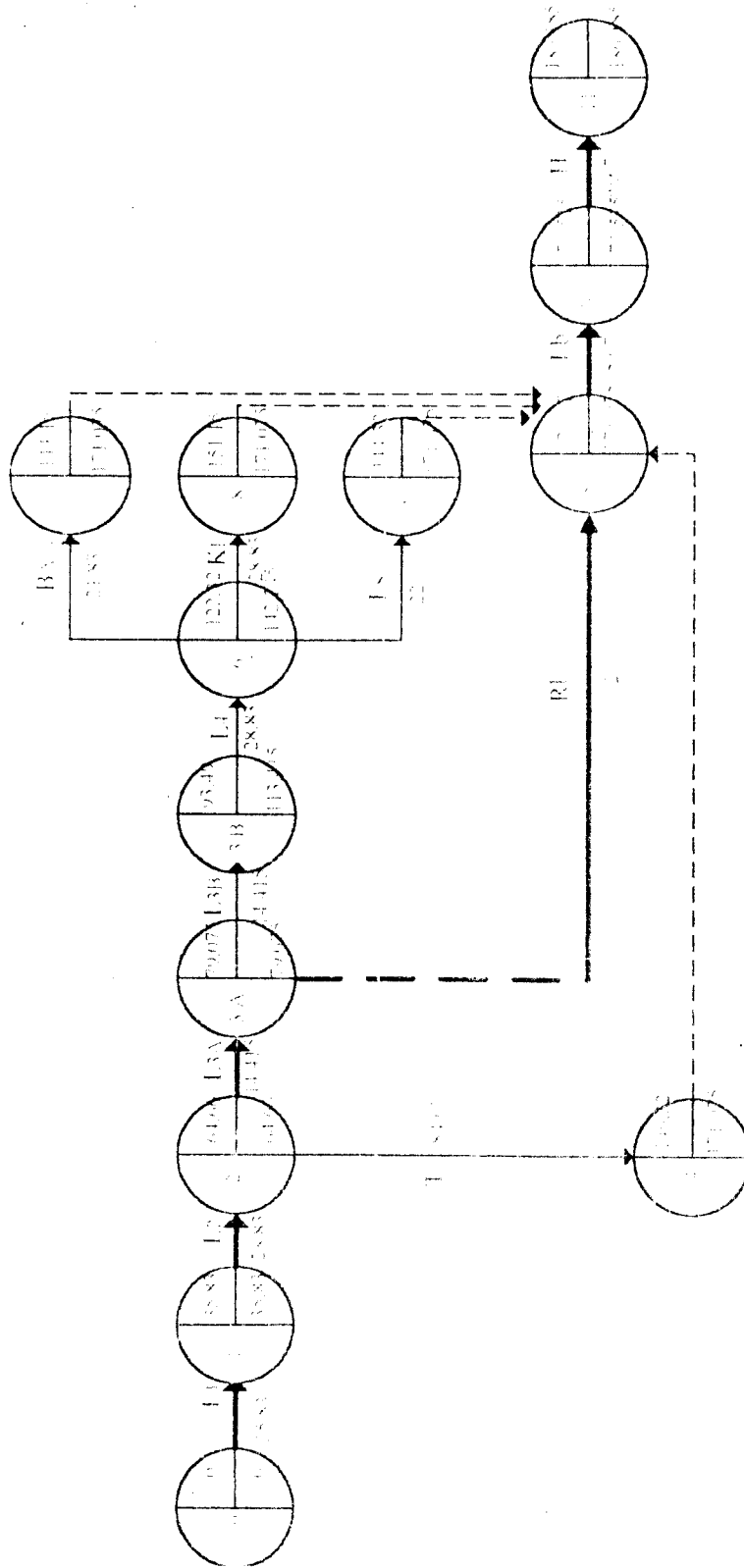
$$T_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

dengan:  $t_{ij}$  = waktu rata-rata aktivitas j yang ada pada lintasan i

Variansi dari  $T_i$  (  $\sigma(T_i)$  )

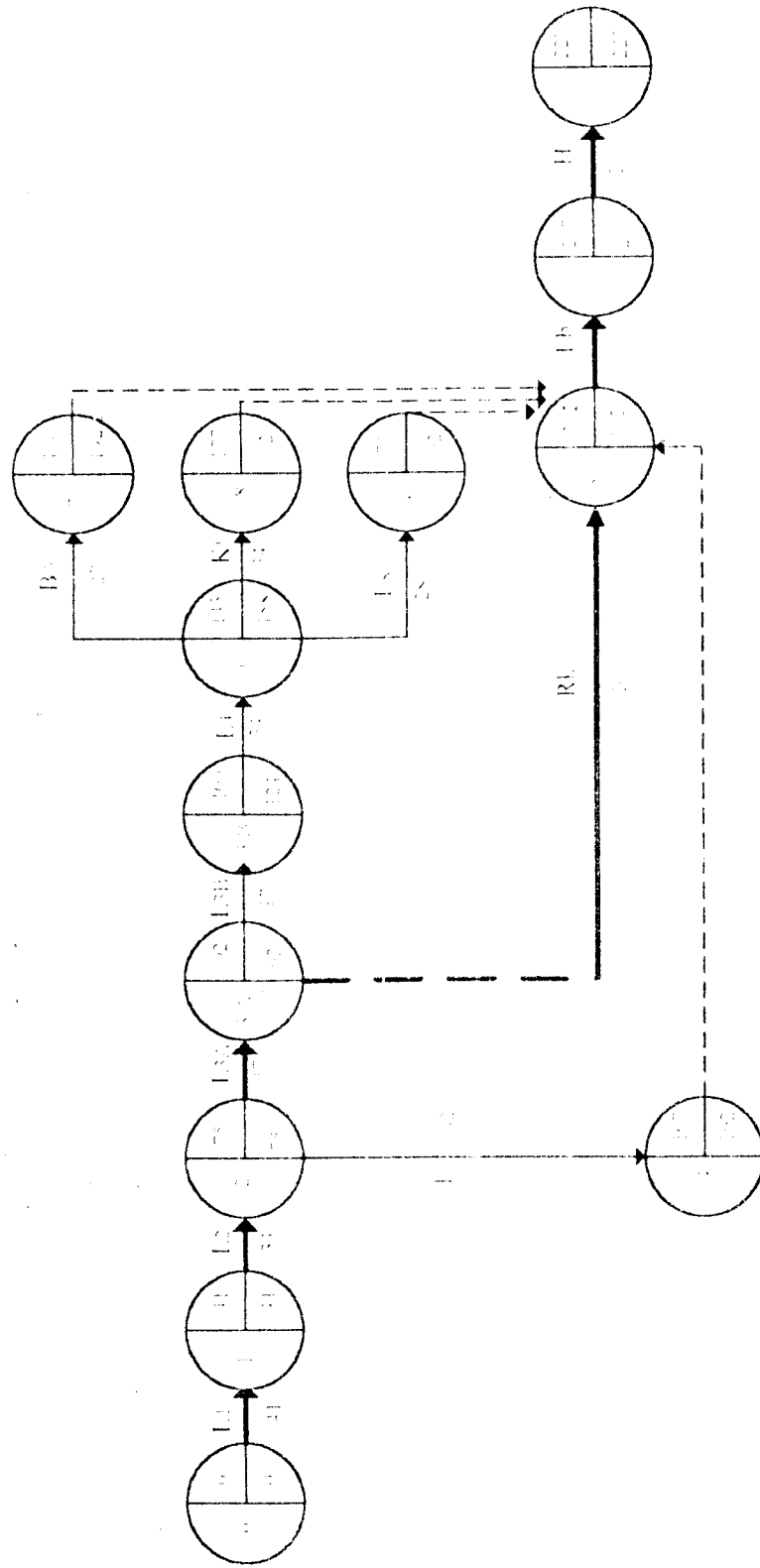
$$\sigma^2(T_i) = \sum_{j=1}^n \sigma^2(t_{ij})$$

Perhitungan durasi dan variansi dari lintasan yang menentukan waktu penyelesaian proyek struktur atas berdasarkan Network Planning yang terdiri dari waktu rata-rata, waktu pesimis dan variansi sistem scaffolding dapat dilihat pada gambar 3.2, gambar 3.3 dan gambar 3.4.



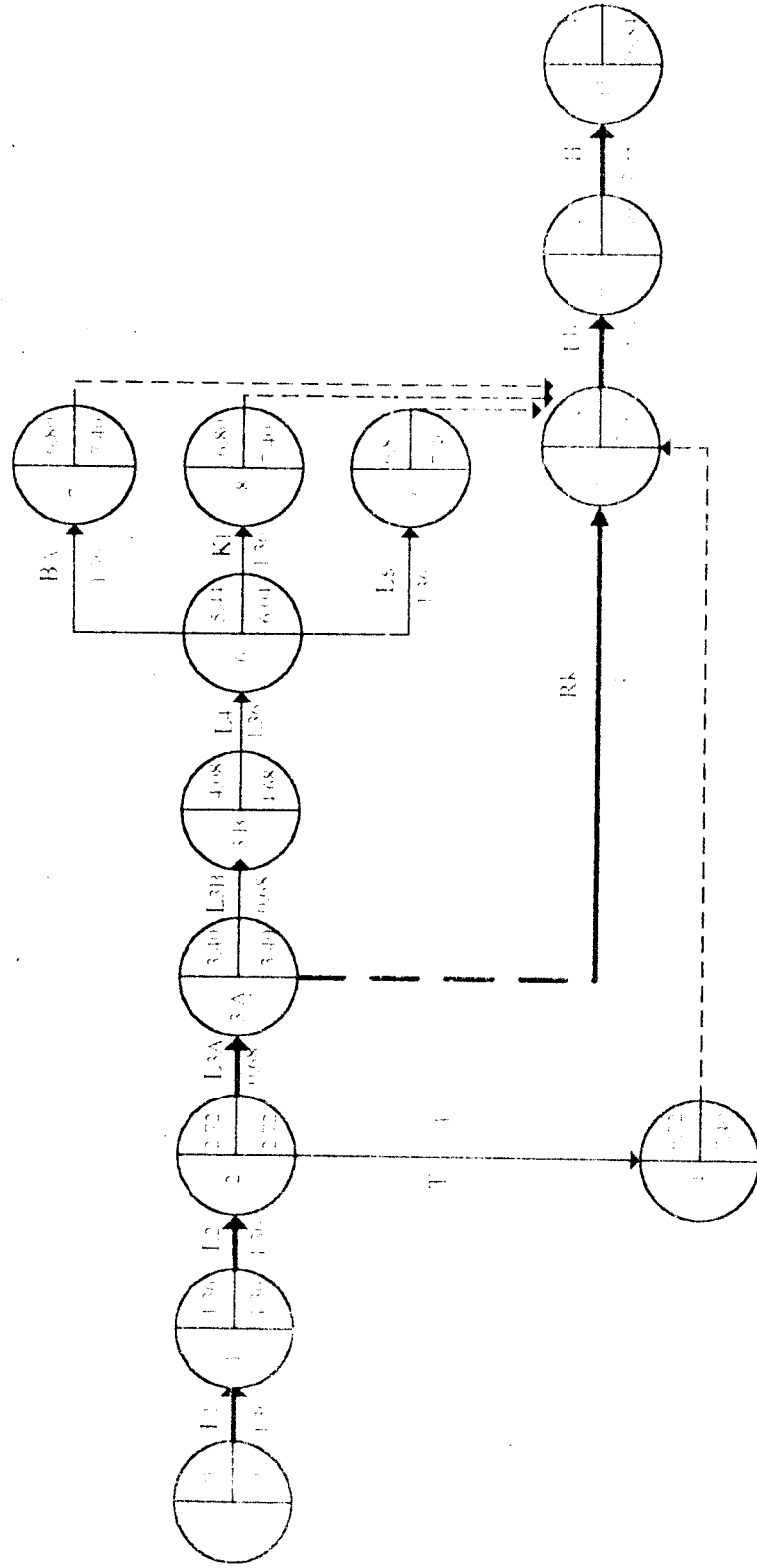
Gambar 3.2. Network Planning Waktu Rata-Rata Sistem Scaffolding





Gambar 3.3. Network Planning Waktu Pesimis Sistem Scaffolding





Gambar 3.4. Network Planning Variansi Sistem Scaffolding

Berdasarkan waktu rata-rata (tabel 3.1.) dan digambarkan network planning waktu rata-rata untuk pembetonan struktur atas maka diperoleh waktu rata-rata total yang dibutuhkan untuk pembetonan struktur atas adalah selama 186,185 hari. Sedangkan waktu untuk satu kali pengecoran lantai rata-ratanya adalah 28,83 hari kerja.

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa simpangan yang terjadi adalah selama 4,104 hari untuk proyek dengan durasi 186,185 hari.

Koefesien variasinya menjadi,  $\delta = \frac{4,104}{186,185} = 2,2 \%$ . Hasil tersebut adalah ha-

sil perhitungan berdasarkan pemodelan dari metoda PNET tentunya terdapat faktor kesalahan pada model itu sendiri sehingga hasil yang didapat perlu dikoreksi. Diasumsikan faktor kesalahan akibat pemodelan PNET ini dengan  $\delta = 10 \%$ , maka  $\delta' = \sqrt{(\delta^2 + \delta_1^2)}$  sehingga koefesien variasinya menjadi  $\delta' = \sqrt{(0,10^2 + 0,022^2)} = 10,24 \%$ , maka variasinya menjadi

$$\sigma = 0,1024 \times 186,415 = 19,09 \text{ hari}$$

### 3. Resiko Kegagalan Terhadap Waktu

Apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka akan berakibat bertambahnya waktu penyelesaian proyek sebesar waktu yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pekerjaan pengecoran lantai ke-2 sebagai analisis yaitu selama 28,83 hari dengan simpangan ( $\sigma$ ) selama 1,36 hari ( lihat tabel 3.1. ).

Diasumsikan kegagalan struktur perancah ini dalam kondisi dua jenis kegagalan yaitu kegagalan untuk satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran. Kegagalan untuk tiga kali pengecoran diasumsikan sebagai kegagalan maksimum, karena setelah terjadi kegagalan dapat dianggap ada usaha perbaikan / penyempurnaan pengaturan pemasangan sistem perancah sehingga dapat dicegah berulangnya

kegagalan pengecoran. Kegagalan tiga kali merupakan kegiatan independent, karena kegagalan ke-2 dan kegagalan ke-3 secara pasti terjadinya tidak diketahui sehingga kegagalan tiga kali pengecoran pertambahan waktunya  $(28,83 + 28,83 + 28,83) = 86,49$  hari dengan simpangan  $\sigma = \sqrt{(1,36^2 + 1,36^2 + 1,36^2)} = 2,36$  hari. Perhitungan probabilitas terhadap waktu adalah :

$$P(a < x \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\ln a - \lambda}{\xi}}^{\frac{\ln b - \lambda}{\xi}} e^{-\frac{1}{2}s^2} ds$$

$$= \Phi \left[ \frac{\ln b - \lambda}{\xi} \right] - \Phi \left[ \frac{\ln a - \lambda}{\xi} \right]$$

Struktur perancah berhasil

$$\mu(T_2) = 186,185 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = 19,09 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{19,09}{186,185} = 0,1024 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 186,185 - \frac{1}{2} \times (0,1024)^2$$

$$\lambda = 5,2227$$

$$P(T > 238) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - \lambda}{\xi} \right]$$

$$P(T > 238) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,2227}{0,1024} \right]$$

$$= 1 - \Phi(2,44)$$

$$= 0,0073$$

Struktur perancah gagal satu kali

$$\mu(T_2) = 186,185 + 28,83 = 215,015 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = \sqrt{19,09^2 + 1,36^2} = 19,14 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{19,14}{215,015} = 0,0889 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 215,015 - \frac{1}{2} \times (0,0889)^2$$

$$\lambda = 5,3678$$

$$P(T > 238) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,3678}{0,0889} \right]$$

$$= 1 - \Phi(1,18)$$

$$= 0,1190$$

Struktur perancah gagal tiga kali

$$\mu(T_2) = 186,185 + 86,49 = 272,675 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = \sqrt{19,09^2 + 2,36^2} = 19,24 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{19,24}{272,675} = 0,0705 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 272,675 - \frac{1}{2} \times (0,0705)^2$$

$$\lambda = 5,6176$$

$$P(T > 238) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,6176}{0,0705} \right]$$

$$= 1 - \Phi(-2,06)$$

$$= 0,9803$$

### 3.1.3. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Struktur pada Sistem Scaffolding

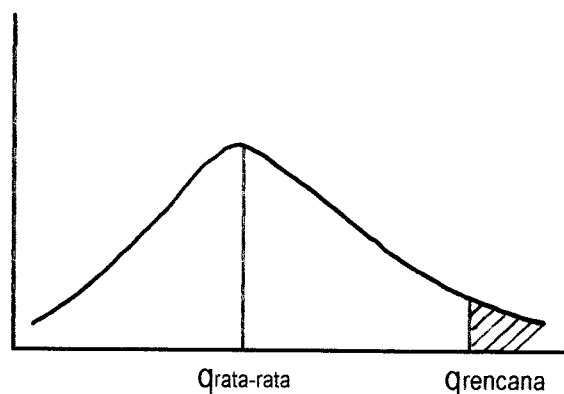
Keberhasilan dan kegagalan pengecoran dapat ditinjau dari runtuh atau berhasil sistem perancah. Daya dukung perancah ini merupakan fungsi

jarak pemasangan komponen-komponennya. Sistem perancah terdiri dari balok memanjang, balok melintang, dan support. Apabila terjadi kegagalan pada pengecoran yaitu sistem perancah gagal, maka akan diadakan evaluasi sehingga dapat dicegah terjadi kegagalan berikutnya. Analisis kegagalan sistem perancah ditinjau dua jenis kegagalan yaitu satu kali kegagalan pengecoran dan tiga kali kegagalan pengecoran.

### 1. Analisa Bahan

Bahan-bahan yang digunakan merupakan bahan dari pabrik sehingga mempunyai ukuran dan karakteristik tertentu.

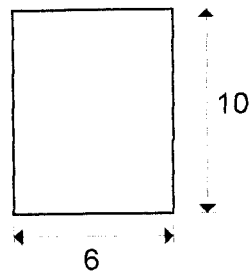
Penentuan dimensi sebagai desain dipakai data beban rencana dan data tegangan rencana. Perhitungan nilai kemungkinan digunakan data beban rata-rata karena pada keadaan sebenarnya sulit diterapkan ukuran desain secara 100 %. Hubungan antara data rencana dan data rata-rata dapat dilihat pada grafik 3.1.



**Grafik 3.1. Distribusi beban**

### a. Balok Kayu Scaffolding

Balok kayu ukuran 6 x 10 cm digunakan sebagai balok melintang dan balok memanjang. Penampang balok melintang dan balok memanjang sistem scaffolding dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5. Penampang Balok Melintang dan memanjang Sistem Scaffolding**

Data karakteristik bahan sebagai berikut ini :

$$Y = 0,5 \text{ h} = 0,5 \times 10 = 5 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 6 \times 10^3 = 500 \text{ cm}^4$$

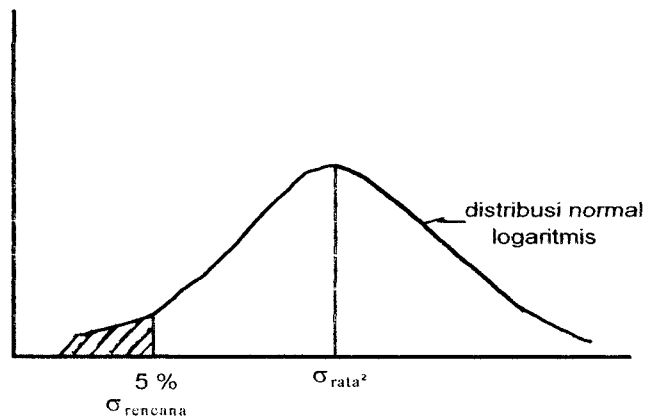
$$W = \frac{I}{Y} = \frac{500}{5} = 100 \text{ cm}^3$$

Karakteristik bahan yang dikeluarkan oleh pabrik didapat gaya-gaya yang diijinkan adalah sebagai berikut ini :

- momen : 10000 kg cm
- gaya geser : 380 kg

Diasumsikan bahwa gaya-gaya ijin tersebut di atas ditentukan dengan memasukkan faktor keamanan sebesar 1,5 dari gaya runtuh. Tegangan diasumsikan sebagai jenis distribusi normal logaritmis dan kemungkinan ada tegangan yang kurang dari kekuatan tegangan rencana terbatas sampai 5 %. Diasumsikan tegangan lentur dan geser mempunyai koefisien variansi

sebesar 20 % dan 30 % ( Surjadi,P.A.,Pendahuluan Teori kemungkinan dan statika, ITB ). Distribusi tegangan dapat dilihat pada grafik 3.2.



**Grafik 3.2. Distribusi tegangan**

Data yang didapat di atas masih merupakan data rencana sehingga perlu dicari data rata-rata bahan.

Perhitungan momen

$$M_{\text{bahan}} = 10000 \times 1,5 = 15000 \text{ kg cm}$$

$$\sigma_{\text{bahan}} = \frac{M_{\text{bahan}}}{W} = \frac{15000}{100} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$P(\sigma_{\text{rata}^2}) = \Phi \left[ \frac{\ln \sigma_{\text{rencana}} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \sigma_{\text{rata}^2} - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \sigma_{\text{rata}^2} - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln 150 - \ln \sigma_{\text{rata}^2} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln.150 - \ln \sigma_{rata}^2 + 0,02}{0,2} \right]$$

$$\ln \sigma_{rata}^2 = 5,3586$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rata}^2 &= e^{5,3586} \\ &= 212,43 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

tegangan lentur rata-rata bahan = 212,43 kg/cm<sup>2</sup>

maka momen rata-rata bahan  $M = \sigma_{rata}^2 \times W$

$$= 212,43 \times 100 = 21243 \text{ kg cm}$$

Perhitungan tegangan geser

Asumsi sama dengan momen maka :

$$D_{bahan} = 380 \times 1,5 = 570 \text{ kg}$$

$$\tau_{bahan} = \frac{3}{2} \times \frac{D \times S}{B \times l}$$

$$\tau_{bahan} = \frac{3}{2} \times \frac{570 \times 100}{6 \times 500}$$

$$= 18,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P(\tau_{rata}^2) = \Phi \left[ \frac{\ln. \tau_{rencana} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \tau_{rata}^2 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \tau_{rata}^2 - \frac{1}{2} \times (0,3)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln.18,5 - \ln \tau_{rata}^2 + 0,045}{0,3} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln.18,5 - \ln \tau_{rata}^2 + 0,045}{0,3} \right]$$

$$\ln \tau_{rata}^2 = 3,4274$$



$$\begin{aligned}\tau_{rata^2} &= e^{3,4274} \\ &= 30,7965 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

tegangan geser rata-rata bahan = 30,7965 kg/cm<sup>2</sup>

maka gaya geser rata-rata bahan

$$\begin{aligned}D &= \frac{2}{3} \times \frac{\tau_{rata^2} \times B \times l}{S} \\ D &= \frac{2}{3} \times \frac{30,7965 \times 6 \times 500}{100} \\ D &= 615,9294 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### b. Besi Support

Besi support terbuat dari pipa besi dengan diameter 5,08 cm dan tebal 3,91 mm. Karakteristik baja sebagai support dengan  $\sigma_{ijin} = 2000 \text{ kg/cm}^2$

Asumsi koefisien variansi (COV) dari baja struktur sebesar 20 %, maka asumsi serupa pada tegangan balok kayu diperoleh :

$$\sigma_{rencana} = 2000 \times 1,5 = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$P(\sigma_{rata^2}) = \Phi \left[ \frac{\ln \sigma_{rencana} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \sigma_{rata^2} - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \sigma_{rata^2} - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln 3000 - \ln \sigma_{rata^2} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln 3000 - \ln \sigma_{rata^2} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$\ln \sigma_{rata^2} = 8,3544$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rata}^2 &= e^{8,3544} \\ &= 4248,84 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

tegangan rata-rata besi  $\sigma_{rata}^2 = 4248,84 \text{ kg/cm}^2$

## 2. Analisa Pengukuran dan Pembebanan di Lapangan

### a. Analisa Pengukuran

Yang dimaksud dengan analisa pengukuran adalah menentukan ukuran yang sebenarnya di lapangan dari ukuran yang ada dalam gambar rencana. Ketetapan pengukuran di lapangan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor ketelitian pengukuran dan skala kecil dari alat ukur yang digunakan. Mengingat faktor-faktor di atas, maka dalam setiap pengukuran diasumsikan mempunyai koefesien variansi (COV) sebesar 5 %.

### b. Analisa Pembebanan

Pembebanan terdiri dari beban mati ( $Q_d$ ) dan beban hidup ( $Q_l$ ). Beban hidup akibat pekerja diasumsikan sebesar 20 % dari beban mati.

$$Q = Q_d + Q_l = 1,2 Q_d$$

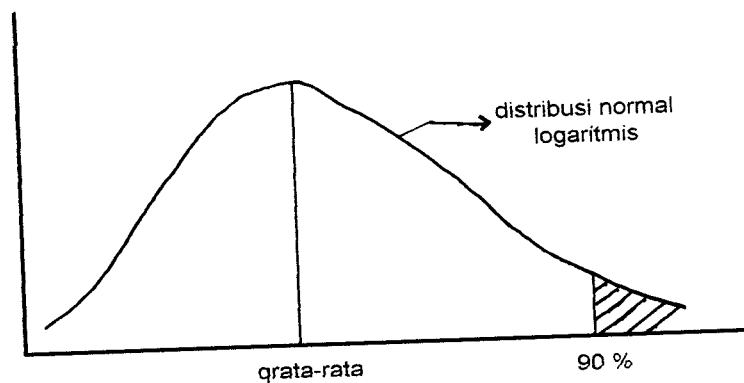
Berdasarkan buku Peraturan beton Bertulang Indonesia atau PBBI 1971 N.I -2 disebutkan bahwa  $\gamma_{bt} = 2400 \text{ kg/m}^3$ . Perhitungan beban perancah yang diakibatkan berat sendiri beton diambil tegangan beton  $\gamma_{bt} = 2500 \text{ kg/m}^3$ . Koefesien variansi (COV) diasumsikan sebesar 15 %. Berat bekisting harus dilipatkan (1/0,7) dari tegangan yang timbul dan beban bekisting berdasarkan jarak antar support. (*Wigbout Ing F, Buku Pedoman Tentang Bekisting, Erlangga, Jakarta, 1992*)

Perhitungan beban lantai dengan ketebalan 12 cm seluruhnya dapat diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri beton bertulang :} & \quad 12 \times 0,0025 = 0,03 \quad \text{kg/cm}^2 \\ \text{Berat bekisting :} & \quad 0,0045 \times (1/0,7) = 0,0064 \quad \text{kg/cm}^2 \\ & \quad \hline & \quad = 0,0364 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 1,2 \times 0,0364 \\ &= 1,2 \times 0,0364 \\ &= 0,0437 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Diasumsikan jenis distribusi beban adalah distribusi normal logaritmis dengan tingkat kemungkinan terjadi beban lebih besar dari  $q$  rencana adalah 10 %. Distribusi tegangan dapat dilihat pada grafik 3.3.



**Grafik 3.3. Distribusi Beban**

$$P(q_{rata}^2) = \Phi \left[ \frac{\ln q_{rencana} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln q_{rata}^2 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln q_{rata}^2 - \frac{1}{2} \times (0,15)^2$$

$$0,9 = \Phi \left[ \frac{\ln 0,0437 - \ln q_{rata^2} + 0,01125}{0,15} \right]$$

$$1,28 = \Phi \left[ \frac{\ln 0,0437 - \ln q_{rata^2} + 0,01125}{0,15} \right]$$

$$\ln q_{rata^2} = -3,311$$

$$q_{rata^2} = e^{-3,311}$$

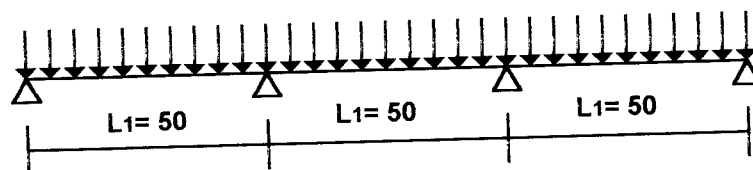
$$= 0,037 \text{ kg/cm}^2$$

maka beban rata-rata ( $q_{rata^2}$ ) =  $0,037 \text{ kg/cm}^2 = 0,37 \text{ t/m}^2$

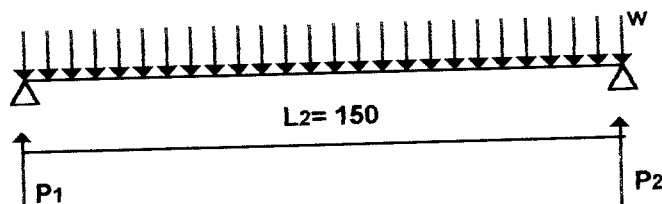
### 3. Periksa Tegangan yang Terjadi

#### a. Balok Melintang

Kondisi pembebanan alat cetak dan pembebanan balok melintang pada sistem scaffolding dapat dilihat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7.



Gambar 3.6 Pembebanan Alat Cetak pada Sistem Scaffolding



Gambar 3.7 Pembebanan Balok Melintang pada Sistem Scaffolding

$$\begin{aligned}
 w &= q L_1 \\
 M_{\text{maks}} &= 0,125 \times w \times L_2^2 \\
 &= 0,125 \times q \times L_1 L_2^2 \\
 &= 0,125 \times 0,037 \times 50 \times 150^2 \\
 &= 5203,125 \text{ kg cm} < 10.000 \text{ kg cm} \quad (\text{ok}) \\
 D_{\text{maks}} &= 0,5 \times w \times L_2 \\
 &= 0,5 \times 0,037 \times 50 \times 150 \\
 &= 138,75 \text{ kg} < 380 \text{ kg} \quad (\text{ok})
 \end{aligned}$$

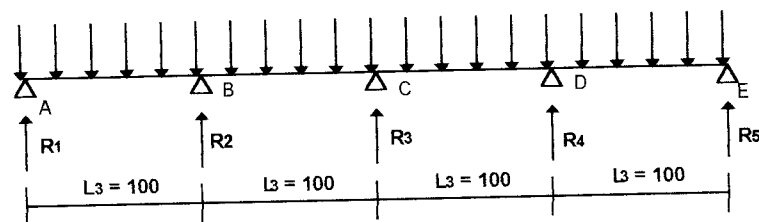
### b. Balok Memanjang

Perhitungan dapat dipermudah dengan anggapan pembebanan akibat balok melintang merupakan beban merata pada balok memanjang.

Besar beban pada balok memanjang adalah :

$$w = 150 \times 0,037 = 5,55 \text{ kg/cm}$$

Pembebanan balok melintang sistem scaffolding dapat dilihat pada gambar 3.8.



**Gambar 3.8. Pembebanan Balok Memanjang pada Sistem Scaffolding**

Analisa struktur diselesaikan dengan program komputer yaitu SAP 90 (Structural Analysis Program 90) seperti terlihat di bawah ini :

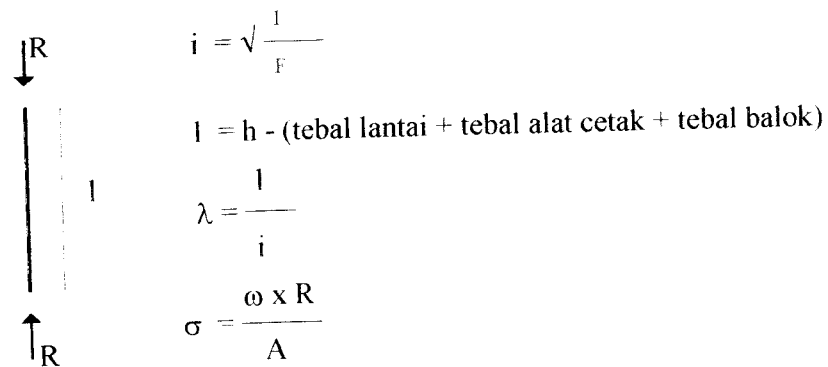
ANALISA STRUKTUR BALOK MEMANJANG (KG-CM) DENGAN SAP90 OLEH KISMADI

F R A M E   E L E M E N T   F O R C E S

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT
1 -----					
1	1	.00	.0	208.32	.00
			25.0	69.57	3473.61
			50.0	-69.18	3478.46
			75.0	-207.93	14.57
			100.0	-346.68	-6918.07
2 -----					
2	1	.00	.0	277.50	-4625.00
			25.0	138.75	578.12
			50.0	.00	2312.50
			75.0	-138.75	578.13
			100.0	-277.50	-4625.00
3 -----					
3	1	.00	.0	277.50	-4625.00
			25.0	138.75	578.12
			50.0	.00	2312.50
			75.0	-138.75	578.13
			100.0	-277.50	-4625.00
4 -----					
4	1	.00	.0	346.68	-6918.07
			25.0	207.93	14.57
			50.0	69.18	3478.46
			75.0	-69.57	3473.61
			100.0	-208.32	.00

c. Besi Support

Pembebanan besi support sistem perancah scaffolding dapat dilihat pada gambar 3.9.



**Gambar 3.9. Pembebanan Besi Support**

$$\begin{aligned}
 l &= 400 - (\text{tebal lantai} + \text{tebal alat cetak} + \text{tebal balok kayu}) \\
 &= 400 - (12 + 1,9 + 2 \times 10) \\
 &= 366,1 \text{ cm} \\
 i &= \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{27,7210}{6,9032}} = 2,004 \\
 \lambda &= \frac{l}{i} = \frac{366,1}{2,004} = 183 \text{ maka } \omega = 5,386 \\
 \sigma &= \frac{\omega \times 2,4 \times R}{A} = \frac{5,386 \times (2,4 \times 0,037 \times 100 \times 150)}{6,9032} \\
 &= 1039,250 \text{ kg/cm}^2 < 2000 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

#### 4. Resiko Kegagalan Sub Struktur Perancah

Kegagalan sub struktur perancah (balok melintang dan balok memanjang) ditinjau terhadap kegagalan momen dan geser. Kegagalan momen terjadi apabila momen rata-rata bahan lebih kecil dari momen akibat pembebanan. Kegagalan terhadap geser terjadi apabila tegangan geser rata-rata bahan lebih kecil dari gaya geser akibat pembebanan. Support ditinjau

terhadap gaya tekan. Kegagalan gaya tekan terjadi apabila gaya tekan rata-rata bahan lebih kecil dari gaya tekan akibat pembebanan.

#### a. Balok Melintang

Kapasitas bahan

$$\text{Momen, } M_k = 21243 \text{ kg cm}$$

$$\text{COV} = 20 \%$$

$$\text{Gaya geser, } D_k = 615,9294 \text{ kg}$$

$$\text{COV} = 30 \%$$

Beban kerja

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= 0,5 \times w \times L_2 \\ &= 0,5 \times q \times L_1 \times L_2 \end{aligned}$$

Momen

$$\begin{aligned} M_b &= 0,125 \times w \times L_2^2 \\ &= 0,125 \times q \times L_1 \times L_2^2 \\ &= 0,125 \times 0,037 \times 50 \times 150^2 \\ &= 5203,125 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Gaya geser

$$\begin{aligned} D_b &= 0,5 \times w \times L_2 \\ &= 0,5 \times 0,037 \times 50 \times 150 \\ &= 138,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Resiko Kegagalan

Akibat gaya geser

akan terjadi apabila  $Z = D_k - D_b < 0$

$$\lambda = \ln 615,9294 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \ln 615,9294 - \frac{1}{2} \times (0,30)^2 \\ &= 6,3781 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 P(Z < 0) &= \Phi \left[ \frac{\ln.138,75 - 6,3781}{0,3} \right] \\
 &= \Phi (-4,82) \\
 P_G &= 1 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Akibat momen

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \ln 21243 - \frac{1}{2} \xi^2 \\
 \lambda &= \ln 21243 - \frac{1}{2} \times (0,20)^2 \\
 &= 9,9438
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(Z < 0) &= \Phi \left[ \frac{\ln.5203,125 - 9,9438}{0,2} \right] \\
 &= \Phi (-6,93) \\
 P_M &\approx 1 \times 10^{-12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{bl} &= P_G + P_M - P_G \times P_M \\
 &= 1.10^{-6} + 1.10^{-12} - 1.10^{-6} \times 1.10^{-12} \\
 &= 1 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

## b. Balok Memanjang

Kapasitas bahan

$$\begin{aligned}
 \text{Momen, } M_k &= 21243 \text{ kg cm} \\
 \text{COV} &= 20 \% \\
 \text{Gaya geser, } D_k &= 615,9298 \text{ kg} \\
 \text{COV} &= 30 \%
 \end{aligned}$$

Beban kerja

$$\begin{aligned}
 \text{Momen, } M_b &= 6918,07 \text{ kg cm} \\
 \text{Gaya geser } D_b &= 346,68 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Resiko kegagalan :

Akibat gaya geser

terjadi kegagalan jika  $Z = D_k - D_b < 0$

$$\lambda = \ln 615,9294 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \ln 615,9294 - \frac{1}{2} \times (0,30)^2 \\ &= 6,3781 \end{aligned}$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 346,68 - 6,3781}{0,3} \right]$$

$$= \Phi(-1,77)$$

$$P_G = 0,0384$$

Akibat momen

terjadi kegagalan jika,  $Z = M_k - M_b < 0$

$$\lambda = \ln 21243 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \ln 21243 - \frac{1}{2} \times (0,20)^2 \\ &= 9,9438 \end{aligned}$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 6918,07 - 9,9438}{0,2} \right]$$

$$= \Phi(-5,51)$$

$$P_M = 1.10^{-7}$$

$$\begin{aligned} P_{bm} &= (P_M + P_G) - (P_M \times P_G) \\ &= 0,0384 + 1.10^{-7} - 0,0384 \times 1.10^{-7} \\ &= 0,0384 \end{aligned}$$

### c. Support

Kapasitas bahan :

$$G_k = \frac{A}{\omega} \times \sigma_{tk}$$

$$G_k = \frac{10,2183}{5,318} \times 4248,84$$

$$= 8163,9567 \text{ kg}$$

$$\text{COV} = 20 \%$$

Beban kerja

$$G_b = 2,4 \times q \times L_2 \times L_3$$

$$\mu(G_b) = 2,4 \times 0,037 \times 150 \times 100$$

$$= 1332 \text{ kg}$$

Resiko Kegagalan

terjadi kegagalan jika  $Z = G_k - G_b < 0$

$$\lambda = \ln 8163,9567 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 8163,9567 - \frac{1}{2} \times (0,20)^2$$

$$= 8,9875$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 1332 - 8,9875}{0,2} \right]$$

$$= \Phi(-8,97)$$

$$P_G \approx 1.10^{-14}$$

## 5. Resiko Kegagalan Struktur Perancah

Antara balok melintang, balok memanjang dan support diasumsikan tidak saling berhubungan (independent) sehingga resiko kegagalan struktur perancah merupakan penjumlahan dari nilai kemungkinan kegagalan-kegagalan sub struktur perancah (balok memanjang, balok melintang, dan support). Antara balok melintang dan balok memanjang akan diselidiki apakah saling berhubungan atau tidak. Koefesien korelasi antara balok memanjang dan balok melintang adalah sebagai berikut :

Persamaan momen balok memanjang

$$\begin{aligned} g_2 &= W \times \sigma_{bm} - M_{maks} \\ &= 100 \times 212,43 - 6918,07 \\ &= 14324,93 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Persamaan momen balok melintang

$$\begin{aligned} g_1 &= W \times \sigma_{bl} - 0,125 \times q \cdot L_1 \cdot L_2^2 \\ &= 100 \times 212,43 - 0,125 \times 0,037 \times 50 \times 150^2 \\ &= 16039,875 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Koefesien korelasinya :

$$COV (g_1 g_2) = E(g_1 g_2) - E(g_1) \times E(g_2)$$

$$\begin{aligned} E(g_1 g_2) &= E[ (M - M_{bl}) - (M - M_{bm}) ] \\ &= E(M^2) - E(M \times M_{bm}) - E(M \times M_{bl}) + E(M_{bl} \times M_{bm}) \\ &= E(M^2) - E(M) \times E(M_{bm}) - E(M) \times E(M_{bl}) + E(M_{bm}) \times E(M_{bl}) + \\ &\quad E(M_{bm}) \times E(M_{bl}) \end{aligned}$$

Menurut persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Var.} (M) &= E(M^2) - E^2(M) \\ E(M^2) &= \text{Var.} (M) + E^2(M) \\ &= \sigma^2(M) + E^2(M) \\ &= \xi E^2(M) + E^2(M) \\ &= (\xi^2 + 1) \times E^2(M) \\ &= (0,2^2 + 1) \times (21243)^2 \\ &= 469315651 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(M) \times E(M_{bm}) &= 21243 \times 6918,07 \\ &= 146960561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(M) \times E(M_{bl}) &= 21243 \times 5203,125 \\ &= 110529984,4 \end{aligned}$$

$$E ( M_{bm} ) \times E ( M_{bl} ) = 6918,07 \times 5203,125$$

$$= 35995582,97$$

$$E ( g_1 g_2 ) = 469315651 - 146960561 - 110529984,4 + 35995582,97$$

$$= 247820688,6$$

$$E ( g_1 ) = E ( M - M_{bl} )$$

$$= E ( M ) - E ( M_{bl} )$$

$$= 21243 - 5203,125$$

$$= 16039,875$$

$$E ( g_2 ) = E ( M - M_{bm} )$$

$$= E ( M ) - E ( M_{bm} )$$

$$= 21243 - 6918,07$$

$$= 14324,93$$

$$COV ( g_1 g_2 ) = 247820688,6 - 16039,875 \times 14324,93$$

$$= 18050602,02$$

Menurut persamaan :

$$\rho = \frac{COV ( g_1 g_2 )}{\sigma ( g_1 ) \times \sigma ( g_2 )}$$

Keterangan :  $\rho$  : koefisien korelasi

COV : koefisien variasi

$\sigma ( g_1 )$  : simpangan  $g_1$

$\sigma ( g_2 )$  : simpangan  $g_2$

misal  $g_1 = W \times \sigma - a \times q$

Menurut persamaan :

$$Var. ( g_1 ) = E ( g_1^2 ) - E^2 ( g_1 )$$

$$= ( (W \times \sigma - a \times q) \times (W \times \sigma - a \times q) ) - E^2 ( g_1 )$$

$$= E [ (W \times \sigma)^2 - 2 \times (W \times \sigma \times a \times q) + (a \times q)^2 ] - E^2 ( g_1 )$$

$$= E ( W \times \sigma )^2 - 2 \times E ( W \times \sigma ) \times a \times q + E ( a \times q )^2 - E^2 ( g_1 )$$

Asumsi harga  $W$  dan  $a$  adalah konstanta, maka :

$$\text{Var.}(g_1) = W^2 \times E(\sigma^2) - 2 \times W \times a \times E(\sigma) \times E(q) + a^2 \times E(q^2) - E^2(g_1)$$

Menurut persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Var.}(\sigma) &= E(\sigma^2) - E(\sigma)^2 \\ E(\sigma^2) &= \text{Var.}(\sigma) + E(\sigma)^2 \\ &= \sigma^2[(\sigma)] + E(\sigma)^2 \\ &= \xi^2 \times E^2(\sigma) + E(\sigma)^2 \\ &= [\xi^2 + 1] \times E(\sigma)^2 \\ &= [(0,2)^2 + 1] \times E(\sigma)^2 \\ &= 1,04 \times E^2(\sigma) \end{aligned}$$

dengan cara yang sama maka :

$$\begin{aligned} E(q^2) &= [(0,15)^2 + 1] \times E^2(q) \\ &= 1,0225 \times E^2(q) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Var.}(g_1) &= 100^2 \times (1,04 \times 212,43^2) - 2 \times 100 \times (0,125 \times 50 \times 150^2) \times 212,43 \times \\ &\quad 0,037 + (0,125 \times 50 \times 150^2)^2 \times (1,0225 \times 0,037^2) - 16039,875^2 \\ &= 18659733,43 \end{aligned}$$

$$\sigma(g_1) = \sqrt{18659733,43} = 4319,6914$$

dengan cara yang sama dengan di atas maka didapatkan :

$$\text{Var.}(g_2) = 19127445,04$$

$$\sigma(g_2) = \sqrt{19127445,04} = 4373,4935$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{18050602,02}{4319,6914 \times 4373,4935} \\ &= 0,96 \approx 1 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan koefisien korelasi antara balok memanjang dan balok melintang mempunyai hubungan yang erat. Terlihat harga  $\rho = 0,96$  mendekati nilai satu. Perhitungan probabilitas dari balok adalah :

$$P_b = P_{b_l} \cup P_{b_m}$$

$$\begin{aligned}
 &= P_{bl} + P_{bm} - P_{bl} \times P_{bm} \\
 &= 0,0384 + 1.10^{-6} - 0,0384 \times 1.10^{-6} \\
 &= 0,0384
 \end{aligned}$$

Kemungkinan kegagalan struktur menjadi :

$$\begin{aligned}
 P_{struktur} &= P_b \cup P_{sp} \\
 &= P_b + P_{sp} - P_b \times P_{sp} \\
 &= 0,0384 + 1.10^{-14} - 0,0384 \times 1.10^{-14} \\
 &= 0,0384
 \end{aligned}$$

### 3.1.4. Analisa Biaya

Dalam analisa perbandingan biaya antara sistem perancah scaffolding dengan sistem perancah dolken akan diketahui perancah yang paling ekonomis. Diasumsi perhitungan biaya pembetonan terdiri dari faktor-faktor material perancah, upah pekerja dan sewa peralatan, karena keempat faktor tersebut yang dianggap utama dalam penentuan perbedaan antara sistem scaffolding dan sistem dolken. Faktor lain seperti pajak, keuntungan pemborong yang berpengaruh sama terhadap kedua sistem perancah tersebut tidak kami perhitungkan.

#### 1. Analisa Harga

Harga dari satuan bahan ditentukan berdasarkan rumus :

$$H = I \times V \times H_s \times f$$

Keterangan :

H = harga bahan

V = Volume bahan

$H_s$  = harga satuan

f = faktor kesalahan

Dalam analisa harga diperlukan data nilai inflasi yang terjadi. Data inflasi diambil dari data buku Biro Pusat Statistik Indonesia untuk tahun 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, dan 1996. Data inflasi dapat dilihat pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2. Data Inflasi**

<b>N0</b>	<b>Tahun</b>	<b>Inflasi (%)</b>
1	1990	9,53
2	1991	9,52
3	1992	4,94
4	1993	9,77
5	1994	9,24
6	1995	8,64
7	1996	6,47
		58,11

Nilai inflasi rata-ratanya adalah :

$$i = \frac{58,11}{7} = 8,301 \%$$

Besarnya faktor kesalahan (f) yang digunakan dalam perhitungan diasumsikan sebesar 1. Berdasarkan diagram waktu rata-rata ( Network Planning Diagram ), maka dibutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 187 hari kalender dan waktu pesimis adalah 227 hari kerja. Perhitungan hari tersebut digunakan untuk analisis harga sewa peralatan dan upah pekerja. Apabila terjadi kegagalan pengecoran berarti terjadi kegagalan struktur



perancah sehingga biaya tambahan untuk tenaga kerja dan sewa alat dalam analisa pembetonan perlu diperhitungkan.

#### a. Perancah

Harga sistem perancah scaffolding dihitung dari harga seluruh material struktur atas saja. Harga tersebut belum termasuk ongkos-ongkos yang lain seperti upah tenaga kerja dan lain sebagainya.

Perancah terdiri dari perancah lantai, perancah kolom dan perancah tangga.

##### 1) Perancah lantai

Dari denah lantai (lihat lampiran), maka luas satu lantai pengecoran adalah seluas  $(16 \times 8 \times 9) + (18 \times 15) + 2,1 \times (9 \times 2 + 18 \times 6 + 71) = 1835,7 \text{ m}^2 \approx 1836 \text{ m}^2$

jadi luas lantai pengecoran untuk struktur atas =  $3 \times 1836 = 5508 \text{ m}^2$

luas perancah yang tersedia =  $1836 \text{ m}^2$

penggantian perancah =  $5508 / (30 \times 1836) \approx 1$  kali

harga satuan perancah = Rp. 160.000,00/m<sup>2</sup>

harga perancah lantai (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\begin{aligned} \mu (\text{HFL}) &= 1,083 \times 1836 \times 160.000,00 \times 1 \\ &= \text{Rp. } 318.142.080,00 \end{aligned}$$

##### 2) Perancah kolom

Dari denah lantai, maka untuk satu lantai terdapat 36 buah kolom besar dan 40 kolom kecil.

sehingga jumlah kolom struktur atas

- untuk kolom besar =  $4 \times 36 = 144$  buah kolom

- untuk kolom kecil =  $4 \times 40 = 160$  buah kolom

Perancah yang tersedia

- untuk kolom besar = 18 set

- untuk kolom kecil = 20 set

kemampuan pasang

- untuk kolom besar =  $18 \times 30 = 540$

- untuk kolom kecil =  $20 \times 30 = 600$

penggantian perancah

- untuk kolom besar =  $144/540 \approx 1$

- untuk kolom kecil =  $160/600 \approx 1$

harga satuan perancah

- untuk kolom besar = 500.000/set

- untuk kolom kecil = 400.000/set

harga perancah kolom (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\begin{aligned} \mu (\text{HFL}) &= 1,083 \times (18 \times \text{Rp. } 500.000,00 + 20 \times \text{Rp. } 400.000,00) \times 1 \\ &= \text{Rp. } 18.411.000,00 \end{aligned}$$

### 3) Perancah tangga

Jumlah tangga = 9 buah

perancah yang tersedia 1 set

kemampuan pasang =  $1 \times 30 = 30$  kali

penggantian perancah =  $9/30 \approx 1$  kali

harga satuan perancah = Rp. 1.500.000,00 / set

harga perancah tangga (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\begin{aligned} \mu (\text{HFL}) &= 1,083 \times 1 \times \text{Rp. } 1.500.000,00 \times 1 \\ &= \text{Rp. } 1.624.500,00 \end{aligned}$$

Maka biaya yang harus dikeluarkan untuk perancah struktur atas adalah :

$$\begin{aligned}
 HF &= HFL + HFK + HFT \\
 \mu(HF) &= (\mu)HFL + (\mu) HFK + (\mu) HFT \\
 &= \text{Rp. } 318.142.080,00 + \text{Rp. } 9.357.120,00 + \text{Rp. } 1.624.500,00 \\
 &= \text{Rp. } 329.123.700,00
 \end{aligned}$$

#### a. Beton

Harga beton yang dihitung adalah harga material untuk struktur atas saja. Jadi harga tersebut belum termasuk harga pekerja dan lainnya. Dari data lapangan didapat harga material beton adalah Rp.250.000,00/ m<sup>3</sup> untuk beton K-225. Volume beton total terdiri dari volume lantai (termasuk balok), volume kolom, dan volume tangga.

##### 1) Volume lantai

Dari data proyek pembangunan gedung Universitas Muhammadiyah Surakarta volume lantai total yang terdiri dari sloof, kolom, balok dan pelat = 161,12 + 494,47 + 494,47 + 490,63 = 1640,69 m<sup>3</sup>.

##### 2) Volume Tangga

$$\text{Volume total tangga} = 52,92 \text{ m}^3$$

Jadi volume beton untuk struktur atas adalah

$$V_T = 1640,69 + 52,92 = 1693,61 \text{ m}^3$$

Biaya yang harus disediakan untuk beton (HB)

$$\begin{aligned}
 \mu(HB) &= I \times V \times H_s \times f \\
 &= 1,083 \times 1693,61 \times \text{Rp.}250.000,00 \times 1 \\
 &= \text{Rp. } 458.544.907,50
 \end{aligned}$$

Apabila terjadi kegagalan struktur perancah satu kali yang berarti terjadi keruntuhan dalam satu lantai ( lantai ke-2 sebagai contoh analisis) :

$$\begin{array}{r}
 \text{- lantai} = 494,47 \quad \approx 495 \text{ m}^3 \\
 \text{- Tangga} = 52,92/3 \quad \approx 18 \text{ m}^3 \\
 \hline
 513 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Apabila terjadi satu kali kegagalan struktur perancah penambahan volume beton adalah sebesar =  $513 \text{ m}^3$

Biaya tambahan material untuk satu kali kegagalan

$$\begin{aligned}
 \mu(\Delta\text{HB}) &= 1,083 \times 513 \times \text{Rp. } 250.000,00 \times 1 \\
 &= \text{Rp. } 138.894.750,00
 \end{aligned}$$

### c. Tenaga Kerja

Pada saat pekerjaan terdapat hari libur Nasional, maka pekerja mendapat libur. Jumlah hari libur ini diasumsikan selama 4 hari kerja sehingga pada perhitungan biaya tenaga kerja, maka hari libur ini harus diperhatikan sehingga jumlah hari kerja menjadi :  $187 - 4 = 183$  hari.

Berdasarkan informasi di lapangan didapatkan :

$$\begin{array}{r}
 \text{- upah kepala tukang} \quad = \text{Rp. } 10.000,00 / \text{hari} \\
 \text{- upah tukang} \quad = \text{Rp. } 8.000,00 / \text{hari} \\
 \text{- upah pekerja laki-laki} \quad = \text{Rp. } 5.500,00 / \text{hari} \\
 \text{- upah pekerja perempuan} \quad = \text{Rp. } 5.000,00 / \text{hari} \\
 \hline
 \text{Rp. } 28.500,00 / \text{hari}
 \end{array}$$

$$\text{Upah rata-rata tenaga kerja} = \text{Rp. } 28.500/4 = \text{Rp. } 7.125 / \text{hari}$$

$$\text{jumlah tenaga kerja} = 3 \times 15 = 45 \text{ orang}$$

Untuk pekerjaan ini dianggap bekerja 1 orang pelaksana sebagai pengawas lapangan dan satu pembantu pelaksana. Berdasarkan data lapangan maka upah mereka adalah :

- pengawas lapangan = Rp.500.000,00 / bulan
- pembantu pengawas lapangan = Rp.400.000,00 / bulan

$$\begin{aligned}\text{Upah rata-rata setiap hari} &= \text{Rp.}900.000,00/30 \\ &= \text{Rp.} 30.000,00 / \text{hari}\end{aligned}$$

Maka upah satuan tenaga kerja / orang setiap hari

$$= \text{Rp.} 7.125,00 \times 45 + \text{Rp.} 30.000,00 = \text{Rp.} 350.625,00 / \text{hari}$$

harga upah tenaga manusia setiap hari

$$(\text{HUH}) = I \times V \times f$$

$$\begin{aligned}\mu(\text{HUH}) &= 1,083 \times 350.625 \times 1 \\ &= \text{Rp.} 379.726,875\end{aligned}$$

Sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk tenaga kerja

$$\mu(\text{HU}) = 183 \times \text{Rp.} 379.726,875 = \text{Rp.} 69.490.018,13$$

#### d. Peralatan

Sewa alat tetap diperhitungkan pada hari libur, walaupun alat tidak digunakan tetap harus dibayar sehingga sewa alat sama dengan jumlah hari selesai proyek yaitu selama 187 hari.

Biaya per hari untuk sewa alat adalah sebagai berikut :

- Vibrator	2 bh x Rp.25.000	= Rp.50.000,00
- Lift	1 bh x Rp.50.000	= Rp.50.000,00
- Generator set 30 PK	1 bh x Rp.50.000	= Rp.50.000,00
- Beton mollen	2 bh x Rp.20.000	= Rp.40.000,00
- solar	100lt x Rp.400	= Rp.40.000,00
- operator	2 orang x Rp.10.000	= Rp.20.000,00
		= Rp.250.000,00 / hari

Harga satuan sewa alat (HAH) =  $I \times V \times f$

$$\mu(\text{HAH}) = 1,083 \times \text{Rp. } 250.000,00 \times 1 = \text{Rp. } 270.750,00$$

Biaya yang disediakan untuk peralatan (HA)

$$\begin{aligned} \mu(\text{HA}) &= 187 \times \text{Rp. } 270.750,00 \\ &= \text{Rp. } 50.630.250,00 \end{aligned}$$

## 2. Analisa Biaya Pembetonan

Telah diuraikan sebelumnya bahwa analisa biaya pembetonan merupakan penjumlahan dari material perancah, material beton, upah pekerja dan sewa peralatan saja tanpa unsur keuntungan pemborong dan pajak. Besarnya biaya-biaya tersebut bertambah apabila terjadi kegagalan struktur perancah dalam pelaksanaan. Diasumsikan apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka material beton tidak dapat digunakan kembali. Penambahan hari kerja juga berpengaruh terhadap upah pekerja dan sewa peralatan.

Dari tabel 3.1. ( tabel waktu rata-rata untuk pembetonan struktur atas ) didapat bahwa satu kali pembetonan dibutuhkan waktu tambahan 28,83 hari. Dengan asumsi kegagalan struktur perancah diketahui pada hari-hari awal selesainya pengecoran dikarenakan beton belum bekerja sesuai fungsinya (beton belum mengeras) dan diperlukan waktu untuk melakukan pembersihan, maka diambil jumlah hari tambahan selama 34 hari kerja untuk satu kali kegagalan pengecoran. Perlu diperhatikan apakah penambahan hari kerja akan menimbulkan biaya klaim atau tidak.

Besarnya biaya klaim menurut kontrak adalah 1% per hari dengan maksimum biaya klaim adalah 5 % dari nilai kontrak. Nilai kontrak Rp.2.400.000.000,00 sehingga klaim 1 hari keterlambatan = 1% x Rp.2.400.000.000,00 = Rp.2.400.000,00 dan besar klaim maksimum = 5% x Rp.2.400.000.000,00 = Rp. 120.000.000,00

Pada kegagalan struktur perancah dilakukan analisa untuk satu kali kegagalan dan terjadi kegagalan maksimum tiga kali. Perhitungan kegagalan struktur perancah perlu diperhatikan waktu maksimum yang masih diperbolehkan proyek tersebut. Hal ini dapat dilihat pada perhitungan waktu pesimis Network Planning didapatkan waktu maksimum 227 hari. Perlu diperhitungkan timbulnya klaim akibat kegagalan waktu.

Dari alternatif-alternatif tersebut dicari probabilitasnya. Analisis probabilitas setiap kejadian dapat dipermudah dengan lambang-lambang sebagai berikut :

A = Tidak terjadi kegagalan struktur perancah

B = Tidak terjadi kegagalan waktu pada struktur berhasil

C = Terjadi kegagalan waktu pada struktur berhasil

D = Terjadi kegagalan struktur

E = Tidak terjadi kegagalan waktu pada struktur gagal satu kali

F = Tidak terjadi kegagalan waktu pada struktur gagal tiga kali

G = Terjadi kegagalan waktu pada struktur gagal satu kali

H = Terjadi kegagalan waktu pada struktur gagal tiga kali

**a. Tidak Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_1$ )**

Probabilitas kejadian  $E_1$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P(E_1) &= P(A) \cup P(B) \\ &= 0,9616 + 0,9927 - 0,9616 \times 0,9927 \\ &= 0,9997 \end{aligned}$$

Nilai alternatif untuk perancah berhasil dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3. Nilai Alternatif Perancah Berhasil pada Sistem Scaffolding**

No	Uraian	$\mu$
1	Perancah	Rp. 329.123.700,00
2	Beton	Rp. 458.544.907,50
3	Upah tenaga kerja	Rp. 69.490.018,13
4	Sewa alat	Rp. 50.630.250,00
		Rp. 907.788.875,60

Nilai Alternatif ;  $\mu(\text{NA}) = \text{Rp. } 907.788.875,60$

**b. Tidak Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Terjadi Kegagalan Waktu (  $E_2$  )**

Probabilitas kejadian  $E_2$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P(E_1) &= P(A) \cup P(C) \\
 &= 0,9616 + 0,0073 - 0,9616 \times 0,0073 \\
 &= 0,9619
 \end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- Upah pekerja (BTU)

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{BTU}) &= [(227 - 15) - 183] \times \text{Rp. } 379.726,875 \\
 &= \text{Rp. } 11.012.079,38
 \end{aligned}$$

- Sewa alat (BTA)

$$\begin{aligned}
 \mu(\text{BTA}) &= (227 - 187) \times \text{Rp. } 270.750,00 \\
 &= \text{Rp. } 10.830.000,00
 \end{aligned}$$



- klaim

Karena waktu pesimis 227 hari < 238 hari sehingga tidak terjadi keterlambatan waktu, maka tidak ada tambahan untuk biaya klaim.

Besar biaya tambah (BT) = BTU + BTA

$$\begin{aligned}\mu(BT) &= \text{Rp. } 10.252.625,63 + \text{Rp. } 10.288.500,00 \\ &= \text{Rp. } 20.541.125,63\end{aligned}$$

Besar Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(NA) &= \text{Rp. } 907.788.875,60 + \text{Rp. } 20.541.125,63 \\ &= \text{Rp. } 928.330.001,23\end{aligned}$$

### **c. Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu**

#### **1) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah satu kali dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{3A}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{3A}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_1) &= P(D) \cup P(E) \\ &= 0,0384 + 0,8810 - 0,0384 \times 0,8810 \\ &= 0,8856\end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

Pembetonan

- perancah

$$\mu = \text{Rp. } 329.123.700,00$$

- material beton

$$\mu = \text{Rp. } 138.894.750,00$$

- upah tenaga kerja

karena terjadi keruntuhan satu kali, maka untuk perbaikannya dibutuhkan waktu tambahan 34 hari kerja (satu kali pengecoran), maka :

$$\begin{aligned}\mu &= 34 \times \text{Rp. } 379.726,875 \\ &= \text{Rp. } 12.910.713,75\end{aligned}$$

- sewa alat

karena pertambahan waktu 34 hari, maka terdapat tambahan biaya pada sewa alat

$$\begin{aligned}\mu &= 34 \times \text{Rp. } 270.750,00 \\ &= \text{Rp. } 9.205.500,00\end{aligned}$$

- klaim

Pertambahan waktu selama 34 hari, maka total selesai pekerjaan adalah  
 $= 187 + 34 = 221 \text{ hari} < 238 \text{ hari}$  maka tidak ada biaya klaim.

Besar biaya tambah (BT) = 1,083 x BTB

$$\begin{aligned}\mu(\text{BT}) &= 1,083 \times (\text{Rp. } 329.123.700,00 + \text{Rp. } 138.894.750,00 + \\ &\quad \text{Rp. } 12.910.713,75 + \text{Rp. } 9.205.500,00) \\ &= \text{Rp. } 530.815.840,80\end{aligned}$$

Besar Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 907.788.875,60 + \text{Rp. } 530.815.840,80 \\ &= \text{Rp. } 1.438.604.716,40\end{aligned}$$

## 2) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Tiga kali dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{3B}$ )

Probabilitas kejadian  $E_{3B}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_1) &= P(D) \cup P(F) \\ &= 0,0384 + 0,0197 - 0,0384 \times 0,0197 \\ &= 0,0573\end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

Pembetonan

- perancah

$$\mu = 3 \times \text{Rp. } 329.123.700,00$$

$$= \text{Rp. } 987.371.100,00$$

- material beton

$$\mu = 3 \times \text{Rp. } 138.894.750,00$$

$$= \text{Rp. } 416.684.250,00$$

- upah tenaga kerja

karena terjadi keruntuhan tiga kali, maka untuk perbaikannya dibutuhkan waktu tambahan 102 hari kerja ( tiga kali pengecoran ) sehingga :

$$\mu = 102 \times \text{Rp. } 379.726,875$$

$$= \text{Rp. } 38.732.141,25$$

- sewa alat

karena pertambahan waktu 102 hari, maka terdapat tambahan biaya pada sewa alat

$$\mu = 102 \times \text{Rp. } 270.750,00$$

$$= \text{Rp. } 27.616.500,00$$

- klaim

Dengan pertambahan waktu selama 102 hari, maka total selesainya pekerjaan adalah = 187 + 102 = 289 hari. Ternyata akibat kegagalan struktur satu kali menimbulkan klaim sebesar

$$= ( 289 - 238 ) \times \text{Rp. } 2.400.000,00$$

$$= \text{Rp. } 122.400.000,00 > \text{klaim maksimum} = \text{Rp. } 120.000.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT) = 1,083 x BTB + klaim

$$\begin{aligned}\mu(BT) &= 1,083 \times (\text{Rp. } 987.371.100,00 + \text{Rp. } 416.684.250,00 + \\ &\quad \text{Rp. } 38.732.141,25 + \text{Rp. } 27.616.500,00) + \\ &\quad \text{Rp. } 120.000.000,00 \\ &= \text{Rp. } 1.712.447.523,00\end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 907.788.875,60 + \text{Rp. } 1.712.447.523,00 \\ &= \text{Rp. } 2.620.236.398,60\end{aligned}$$

#### **d. Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Terjadi Kegagalan Waktu**

##### **1) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Satu kali dan Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{4A}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{4A}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_1) &= P(D) \cup P(G) \\ &= 0,0384 + 0,1190 - 0,0384 \times 0,1190 \\ &= 0,1528\end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- pembetonan

$$\mu = \text{Rp. } 530.815.840,80$$

- upah tenaga kerja

$$\mu = \text{Rp. } 11.012.079,38$$

- sewa alat

$$\mu = \text{Rp. } 10.830.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT)

$$\begin{aligned}\mu(BT) &= \text{Rp. } 530.815.840,80 + \text{Rp. } 11.012.079,38 \\ &\quad + \text{Rp. } 10.830.000,00\end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 552.657.920,20$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 907.788.875,60 + \text{Rp. } 552.657.920,20 \\ &= \text{Rp. } 1.460.446.795,60\end{aligned}$$

## 2) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Tiga kali dan Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{4B}$ )

Probabilitas kejadian  $E_{4B}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_1) &= P(D) \cup P(H) \\ &= 0,0384 + 0,9803 - 0,0384 \times 0,9803 \\ &= 0,9811\end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- pembetonan

$$\mu = \text{Rp. } 1.712.447.523,00$$

- upah tenaga kerja

$$\mu = \text{Rp. } 11.012.079,38$$

- sewa alat

$$\mu = \text{Rp. } 10.830.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT)

$$\begin{aligned}\mu(\text{BT}) &= \text{Rp. } 1.712.447.523,00 + \text{Rp. } 11.012.079,38 \\ &\quad + \text{Rp. } 10.830.000,00 \\ &= \text{Rp. } 1.734.289.602,38\end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 907.788.875,60 + \text{Rp. } 1.734.289.602,38 \\ &= \text{Rp. } 2.642.078.477,98\end{aligned}$$

### 3.1.5. Sistem Dolken

#### 1. Sumber Daya

Sumber daya yang disediakan untuk pembetonan adalah sebagai berikut :

- Material Perancah :

# Lantai : 1836 m<sup>2</sup>

# kolom : 18 set untuk kolom besar dan 20 set untuk kolom kecil

# tangga : 1 set

- Peralatan

# Concrete mixer dari Readymix dengan kapasitas seluruhnya 125 m<sup>3</sup> / hari

# Vibrator : 2 buah

# Lift : 2 buah

# Generator set dengan daya 30 PK : 1 buah

# Beton mollen 2 buah

- Manusia

# Tenaga pemasang perancah : terdiri dari 3 kelompok kerja dengan jumlah anggota tiap kelompok kerja sebanyak 10 orang.

# Tenaga pembesian : terdiri dari 3 kelompok kerja dengan jumlah anggota tiap kelompok 10 orang.

# Tenaga pengecoran : 1 kelompok kerja dengan jumlah 12 orang

#### 2. Perhitungan Waktu Pembetonan

Analisa waktu yang dibutuhkan sistem dolken ini sama dengan sistem scaffolding didalam penyelesaian pembetonan satu lantai dibutuhkan waktu selama 30 hari kalender.

### 3.1.6. Analisa Perhitungan Risiko Kegagalan Terhadap Waktu pada sistem Dolken

Seperti analisa perhitungan risiko kegagalan terhadap waktu pada pelaksanaan pekerjaan dengan sistem scaffolding, maka untuk sistem dolken ini diasumsikan bahwa kegagalan waktu adalah kegagalan terhadap waktu pelaksanaan seperti waktu yang telah ditetapkan dalam perjanjian yaitu selama 238 hari kalender tentunya tanpa memperhitungkan adanya kejadian-kejadian yang dikategorikan sebagai force majeure.

Sehubungan dengan perhitungan faktor resiko terhadap waktu, maka digunakan metoda PERT ( Program Evaluastion and Review Technicque ).

#### 1. Waktu Rata-Rata

Waktu rata-rata dan variansi dari masing-masing aktivitas yang didasarkan sebagai berikut :

$$\text{Waktu rata-rata ( t )} = \frac{a + 4 \times m + b}{6}$$

$$\text{Variansi ( } \sigma^2 \text{ )} = \frac{(b - a)^2}{36}$$

Keterangan :

a = waktu optimis

b = waktu pesimis

m = waktu rencana ( sesuai yang diharapkan )

Waktu rata-rata dan variansi sistem dolken dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Waktu rata-rata dan variansi sistem dolken

No	Aktivitas	a	m	b	t	$\sigma^2$
1	L <sub>1</sub> , Lantai 1	36	37	44	38	1,78
2	L <sub>2</sub> , Lantai 2	29	30	37	31	1,78
3	L <sub>3</sub> , Lantai 3	29	30	37	31	1,78
4	T, Tangga	82	86	96	87	5,44
5	Rk, Ring atas kusen	90	93	104	94,33	5,44
6	L <sub>4</sub> , Lantai 4	29	30	37	31	1,78
7	Ba, Balok Atap	22	23	30	24	1,78
8	Kl, Konsol lantai 4	29	30	37	31	1,78
9	Ls, Lisplank	22	23	30	24	1,78
10	Lb, Libur	3	4	15	5,67	4
11	H, Cuaca	6	8	20	9,67	5,44

## 2. Lintasan Aktivitas

Dalam penentuan lintasan aktivitas yang utama atau paling berpengaruh, maka digunakan metode PNET ( Probability Network Evaluation Technique ). Seperti pada sistem scaffolding perhitungan diatas dilakukan dengan asumsi yang didasarkan pada pengalaman di lapangan.

Durasi dan variansi dari masing-masing lintasan aktivitas adalah sebagai berikut :

Durasi untuk lintasan ke-i (  $T_i$  ) :

$$T_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

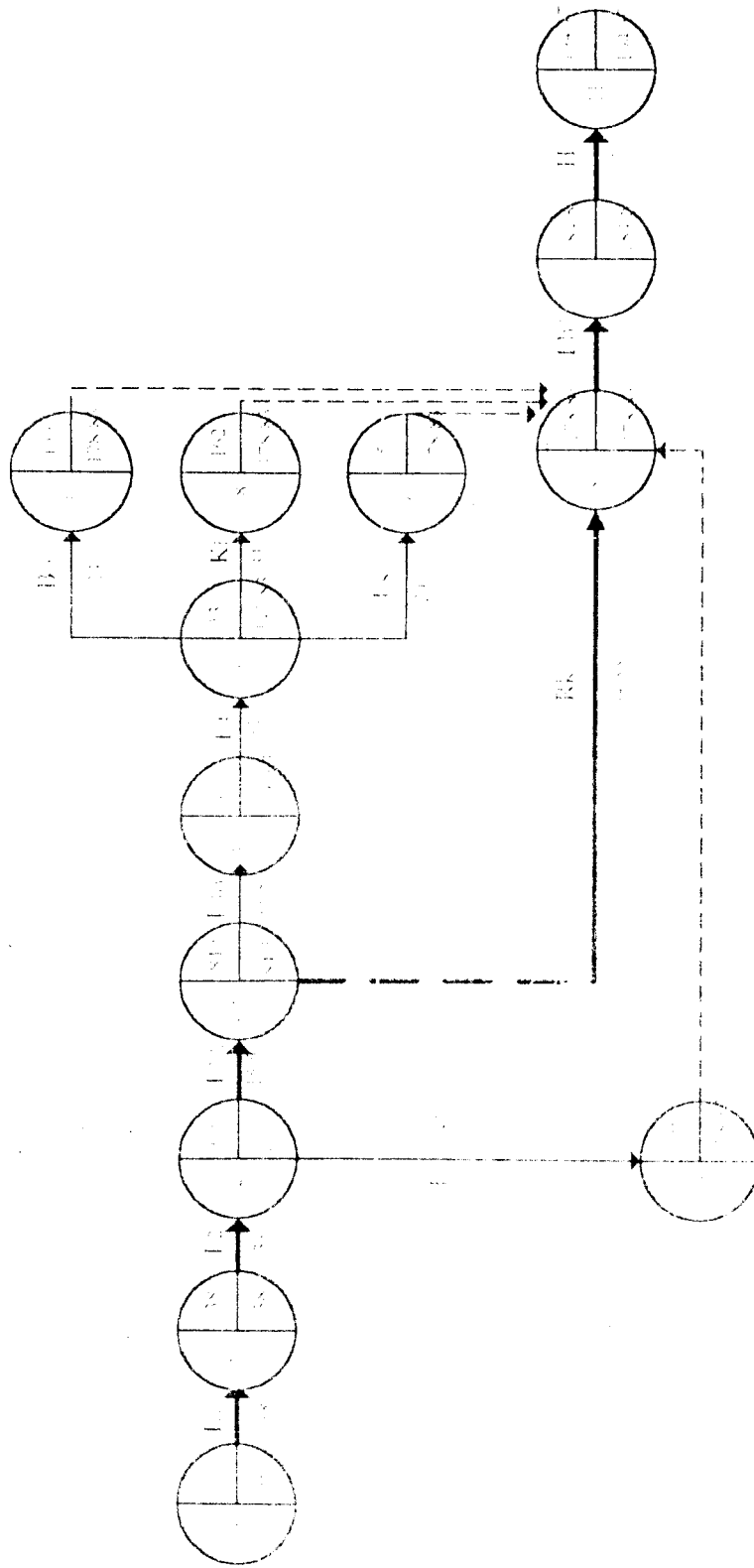
dimana  $t_{ij}$  = waktu rata-rata aktivitas j yang ada pada lintasan i



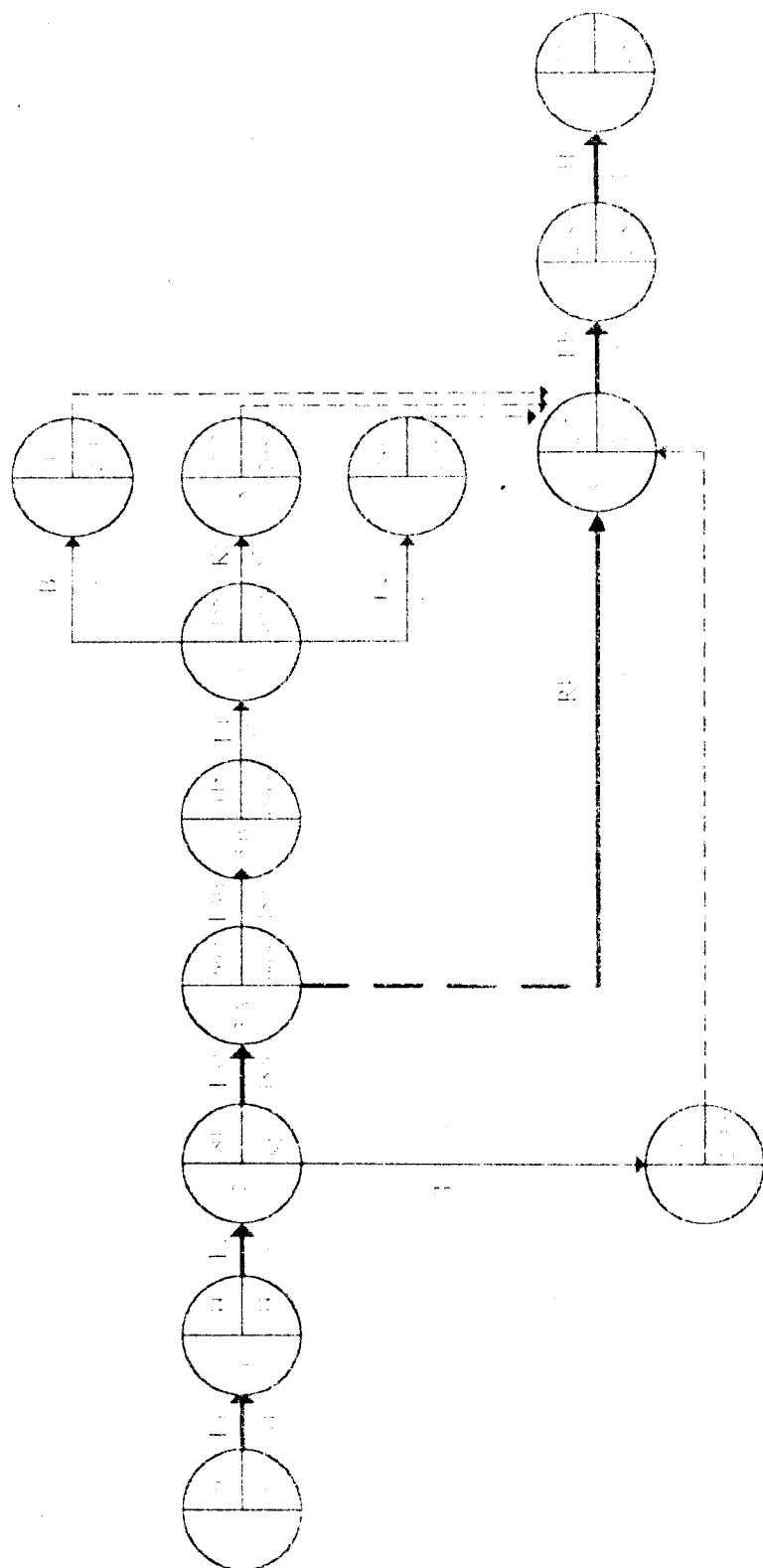
Variansi dari  $T_i$  ( $\sigma(T_i)$ )

$$\sigma^2(T_i) = \sum_{j=1}^n \sigma^2(t_{ij})$$

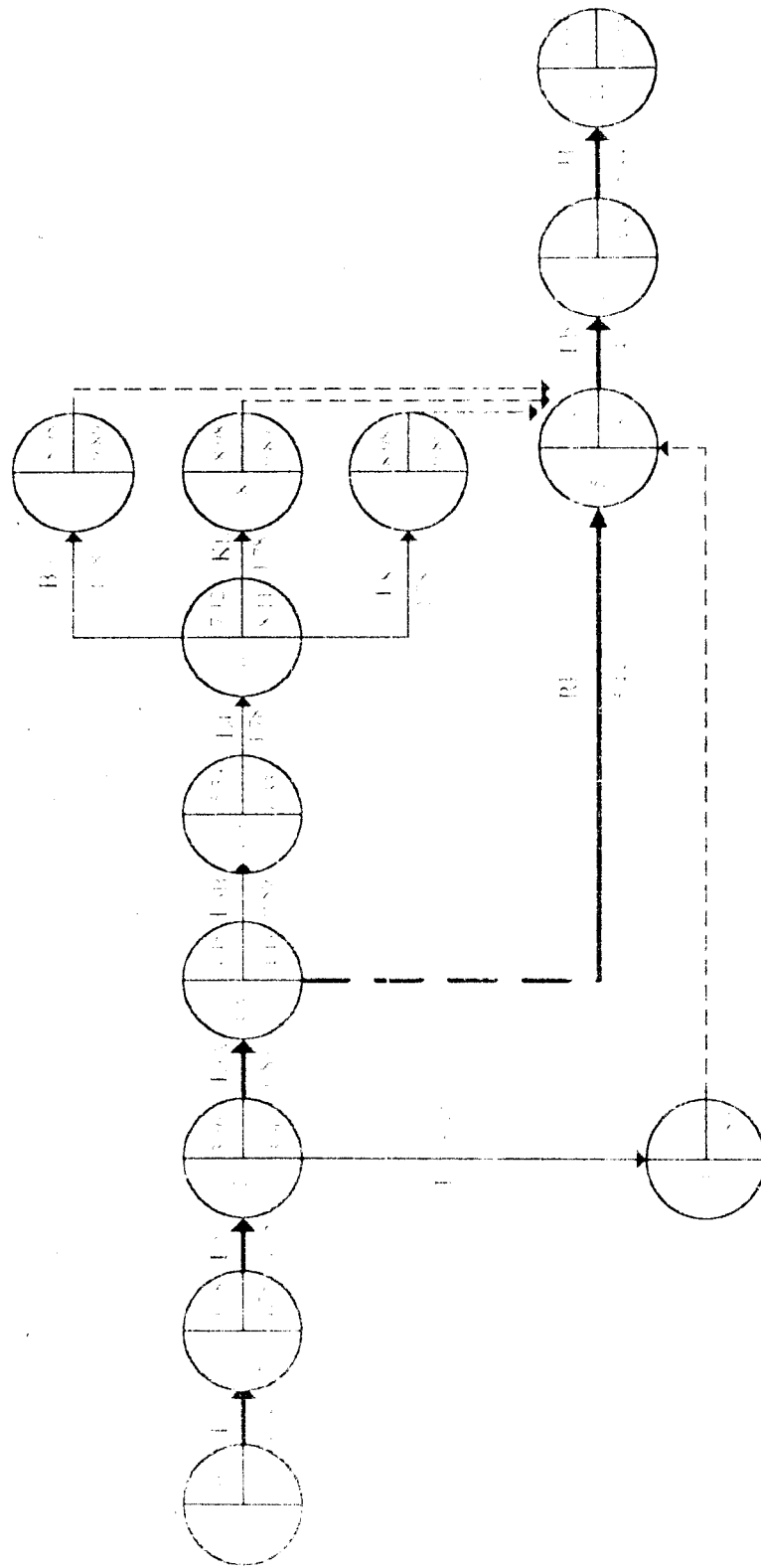
Perhitungan durasi dan variansi dari masing-masing lintasan yang terdiri dari waktu rata-rata, waktu pesimis dan variansi dapat dilihat pada gambar 3.10, gambar 3.11 dan gambar 3.12.



Gambar 3.10. Network Planning Waktu Rata-Rata Sistem Dolken



Gambar 3.11. Network Planning Waktu Pesimis Sistem Dolken



Gambar 3.12. Network Planning Variansi Sistem Dolken

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa simpangan yang terjadi adalah selama 4,40 hari untuk proyek dengan durasi 194,17 hari.

Koefesien variasinya menjadi,  $\delta' = \frac{4,40}{194,17} = 2,3 \%$ . Hasil tersebut adalah ha-

sil perhitungan berdasarkan pemodelan dari metoda PNET dimana tentunya terdapat faktor kesalahan pada model itu sendiri sehingga hasil yang didapat perlu dikoreksi. Asumsikan faktor kesalahan akibat pemodelan PNET ini dengan  $\delta = 10 \%$ , maka  $\delta' = \sqrt{(\delta^2 + \delta_1^2)}$  sehingga koefesien variasinya menjadi  $\delta' = \sqrt{(0,10^2 + 0,023^2)} = 10,26 \%$ , maka variasinya menjadi :

$$\sigma' = 0,1026 \times 194,17 = 19,92 \text{ hari}$$

### 3. Resiko Kegagalan Terhadap Waktu

Apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka akan berakibat bertambahnya waktu penyelesaian proyek sebesar waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pengecoran lantai ke-2 sebagai analisis yaitu selama 37 hari dengan simpangan ( $\sigma$ ) selama 1,78 hari ( lihat tabel 3.4. ).

Diasumsikan kegagalan struktur perancah ini dalam dua jenis kegagalan yaitu kegagalan untuk satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran. Kegagalan untuk tiga kali pengecoran diasumsikan sebagai kegagalan yang terjadi maksimum, karena apabila telah terjadi kegagalan dapat dianggap adanya usaha perbaikan / penyempurnaan pengaturan pemasangan sistem perancah sehingga dapat dicegah berulangnya kegagalan pengecoran. Kegagalan sebanyak tiga kali merupakan kegiatan yang independent karena kita mengetahui secara pasti kapan kegagalan ke-2 dan kegagalan ke-3 akan terjadi. Untuk kegagalan tiga kali pertambahan waktunya menjadi  $(31 + 31 + 31) = 93$  hari dengan simpangan  $\sigma = \sqrt{(1,78^2 + 1,78^2 + 1,78^2)} = 3,08$  hari.

Penjumlahan dari distribusi-distribusi yang beraneka ragam akan cenderung membentuk distribusi normal, maka distribusi waktu yang dipakai diasumsikan mengikuti distribusi normal logaritmis. Distribusi normal dipakai sehubungan dengan nilai waktu yang selalu bernilai positif. Selanjutnya dapat dihitung :

$$P(a < x \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(\ln a - \lambda)/\xi}^{(\ln b - \lambda)/\xi} \frac{e^{-\frac{1}{2}s^2}}{(\ln a - \lambda)/\xi} ds$$

$$= \Phi \left[ \frac{\ln b - \lambda}{\xi} \right] - \Phi \left[ \frac{\ln a - \lambda}{\xi} \right]$$

Untuk struktur perancah berhasil

$$\mu(T_2) = 194,17 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = 19,92 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{19,92}{194,17} = 0,1026 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 194,17 - \frac{1}{2} \times (0,1026)^2$$

$$\lambda = 5,2635$$

$$P(T > 238) = 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,2635}{0,1026} \right]$$

$$= 1 - \Phi(2,04)$$

$$= 0,0207$$

Struktur perancah gagal satu kali

$$\mu(T_2) = 194,17 + 31 = 225,17 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = \sqrt{19,92^2 + 1,78^2} = 19,99 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{19,99}{225,17} = 0,0888 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 225,17 - \frac{1}{2} \times (0,0888)^2$$

$$\lambda = 5,4129$$

$$\begin{aligned} P(T > 238) &= 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,4129}{0,0888} \right] \\ &= 1 - \Phi(0,67) \\ &= 0,3520 \end{aligned}$$

Apabila perancah gagal tiga kali

$$\mu(T_2) = 194,17 + 93 = 287,17 \text{ hari}$$

$$\sigma(T_2) = \sqrt{19,92^2 + 3,08^2} = 20,16 \text{ hari}$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{20,16}{287,17} = 0,0702 < 0,3 \text{ maka } \xi = \delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 287,17 - \frac{1}{2} \times (0,0702)^2$$

$$\lambda = 5,6576$$

$$\begin{aligned} P(T > 238) &= 1 - \Phi \left[ \frac{\ln 238 - 5,6576}{0,0702} \right] \\ &= 1 - \Phi(-2,64) \\ &= 0,9959 \end{aligned}$$

### 3.1.7. Analisa Perhitungan Resiko Kegagalan Terhadap Struktur pada Sistem Dolken

Berhasil tidaknya pengecoran dapat ditinjau dari segi runtuh atau tidaknya sistem perancah. Daya dukung perancah ini merupakan fungsi dari jarak pemasangan komponen-komponennya. Sistem perancah disini terdiri dari balok memanjang, balok melintang, dan support. Apabila telah terjadi kegagalan pada pengecoran yaitu sistem perancahnya gagal, maka akan diadakan evaluasi sehingga dapat dicegah terjadinya kegagalan berikutnya.

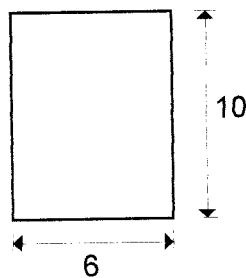
Analisa struktur akan ditinjau dua jenis kegagalan yaitu kegagalan untuk satu kali pengecoran dan kegagalan untuk tiga kali pengecoran.

### 1. Analisa Bahan

Bahan-bahan yang digunakan merupakan bahan papan kayu gergajian yang tersedia di pasaran. Penentuan dimensi dipakai data beban rencana dan data tegangan rencana. Untuk perhitungan nilai kemungkinan, maka digunakan data beban rata-rata karena pada keadaan sebenarnya sulit diterapkan ukuran desain secara 100%.

#### a. Balok Kayu Dolken

Balok kayu ukuran 6 x 10 cm digunakan sebagai balok melintang dan balok memanjang. Penampang balok melintang dan memanjang sistem dolken dapat dilihat pada gambar 3.13.



**Gambar 3.13. Penampang Balok Melintang dan memanjang Sistem Scaffolding**

Data karakteristik bahan sebagai berikut :

$$Y = 0,5 h = 0,5 \times 10 = 5 \text{ cm}$$

$$I = 1/12 bh^3$$

$$= 1/12 \times 6 \times 10^3 = 500 \text{ cm}^4$$



$$W = \frac{I}{Y} = \frac{500}{5} = 100 \text{ cm}^3$$

Jenis kayu Meranti Merah digunakan sebagai balok kayu dolken mempunyai  $B_j$  kayu = 0,55 dan termasuk kayu mutu A. Berdasarkan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 1961, maka kayu Meranti Merah mempunyai karakteristik sebagai berikut :

$$\text{Tegangan lentur ijin} = \sigma_{lt} = 170 \times 0,55 = 93,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan tekan ijin} = \sigma_{tk} = 150 \times 0,55 = 82,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan geser ijin} = \tau_{lt} = 20 \times 0,55 = 11 \text{ kg/cm}^2$$

Diasumsikan bahwa gaya-gaya ijin tersebut ditentukan dengan memasukkan faktor keamanan sebesar 1,5 dari gaya runtuh. Tegangan tersebut diasumsikan jenis distribusi tegangan adalah distribusi normal logaritmis. Kemungkinan ada tegangan kurang dari kekuatan tegangan rencana terbatas sampai 5 %. Dan diasumsikan tegangan lentur dan geser mempunyai koefisien variansi sebesar 20 % dan 30 % (*Surjadi, P.A., Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statika, ITB*). Data yang didapat di atas masih merupakan data rencana. Untuk mencari data rata-ratanya adalah sebagai berikut :

Untuk momen

$$M_{\text{bahan}} = 93,5 \times 100 \times 1,5 = 14025 \text{ kg cm}$$

$$\sigma_{\text{bahan}} = \frac{M_{\text{bahan}}}{W} = \frac{14025}{100} = 140,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$P(\sigma_{\text{rata}}) = \Phi \left[ \frac{\ln \sigma_{\text{rencana}} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \sigma_{\text{rata}}^2 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \sigma_{rata^2} - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln.140,25 - \ln \sigma_{rata^2} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln.140,25 - \ln \sigma_{rata^2} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$\ln \sigma_{rata^2} = 5,2914$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rata^2} &= e^{5,2914} \\ &= 198,62 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{tegangan lentur rata-rata bahan} = 198,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{maka momen rata-rata bahan } M = \sigma_{rata^2} \times W$$

$$= 198,62 \times 100 = 19862 \text{ kg cm}$$

Untuk tegangan geser

dengan asumsi yang sama pada momen maka :

$$\begin{aligned} \tau_{bahan} &= 11 \times 1,5 \\ &= 16,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$P(\tau_{rata^2}) = \Phi \left[ \frac{\ln. \tau_{rencana} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \tau_{rata^2} - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \tau_{rata^2} - \frac{1}{2} \times (0,3)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln.16,5 - \ln \tau_{rata^2} + 0,045}{0,3} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln.16,5 - \ln \tau_{rata^2} + 0,045}{0,3} \right]$$

$$\ln \tau_{rata^2} = 3,3404$$

$$\tau_{rata^2} = e^{3,3404}$$

$$= 28,23 \text{ kg/cm}^2$$

tegangan geser rata-rata bahan =  $28,23 \text{ kg/cm}^2$

maka gaya geser rata-rata bahan

$$D = \frac{2}{3} \times \frac{\tau_{\text{rata}} \times B \times I}{S}$$

$$D = \frac{2}{3} \times \frac{28,23 \times 6 \times 500}{100}$$

$$D = 564,61 \text{ kg}$$

### b. Kayu Support

Jenis kayu Bangkirai digunakan sebagai kayu support dolken dengan  $B_j$  kayu = 0,91 dan termasuk kayu mutu A. Berdasarkan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 1961, maka kayu Bangkirai mempunyai karakteristik sebagai berikut :

$$\text{Tegangan tekan ijin} = \sigma_{\text{ik}} = 150 \times 0,91 = 136,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan tekan rencana} = \sigma_{\text{rencana}} = 1,5 \times 136,5 = 204,75 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk mencari tegangan tekan rata-ratanya adalah sebagai berikut :

$$P(\sigma_{\text{rata}}) = \Phi \left[ \frac{\ln \sigma_{\text{rencana}} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln \sigma_{\text{rata}} - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln \sigma_{\text{rata}} - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$0,05 = \Phi \left[ \frac{\ln 204,75 - \ln \sigma_{\text{rata}} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$-1,64 = \Phi \left[ \frac{\ln 204,75 - \ln \sigma_{\text{rata}} + 0,02}{0,2} \right]$$

$$\ln \sigma_{rata}^2 = 5,6698$$

$$\sigma_{rata}^2 = e^{5,6698}$$

$$= 289,9765 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tegangan tekan rata-rata bahan} = 289,9765 \text{ kg/cm}^2$$

## 2. Analisa Pengukuran dan Pembebanan di Lapangan

### a. Analisa Pengukuran

Analisa pengukuran ditentukan oleh ukuran sebenarnya di lapangan dari ukuran yang ada dalam gambar rencana. Ketetapan pengukuran di lapangan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain faktor ketelitian pengukuran dan skala kecil dari alat ukur yang digunakan. Mengingat faktor-faktor tersebut maka setiap pengukuran diasumsikan mempunyai koefisien variansi (COV) sebesar 5 %.

### b. Analisa Pembebanan

Pembebanan terdiri dari beban mati ( $Q_d$ ) dan beban hidup ( $Q_l$ ). Beban hidup akibat pekerja diasumsikan sebesar 20 % dari beban mati.

$$Q = Q_d + Q_l = 1,2 Q_d$$

Berdasarkan buku PBBI 1971 N.I -2 disebutkan bahwa  $\gamma_{bt} = 2400 \text{ kg/m}^3$ , namun dengan adanya tulangan pada beton maka tegangan beton dinaikkan menjadi  $\gamma_{bt} = 2500 \text{ kg/m}^3$ . Koefisien variansi (COV) diasumsikan sebesar 15 %. Untuk beton dengan ketebalan 12 cm maka beban lantai seluruhnya menjadi :

$$\text{Berat sendiri beton bertulang : } 12 \times 0,0025 = 0,03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Berat bekisting : } 0,0045 \times (1/0,7) = 0,0064 \text{ kg/cm}^2$$

---


$$= 0,0364 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q &= 1,2 \times 0,0364 \\
 &= 1,2 \times 0,0364 \\
 &= 0,0437 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

Untuk beban diasumsikan jenis distribusi beban adalah distribusi normal logaritmis dengan tingkat kemungkinan terjadinya beban yang lebih besar dari q rencana adalah 10 %.

$$P(q_{rata^2}) = \Phi \left[ \frac{\ln q_{rencana} - \lambda}{\xi} \right]$$

$$\lambda = \ln q_{rata^2} - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln q_{rata^2} - \frac{1}{2} \times (0,15)^2$$

$$0,9 = \Phi \left[ \frac{\ln 0,0437 - \ln q_{rata^2} + 0,01125}{0,15} \right]$$

$$1,28 = \Phi \left[ \frac{\ln 0,0437 - \ln q_{rata^2} + 0,01125}{0,15} \right]$$

$$\ln q_{rata^2} = -3,311$$

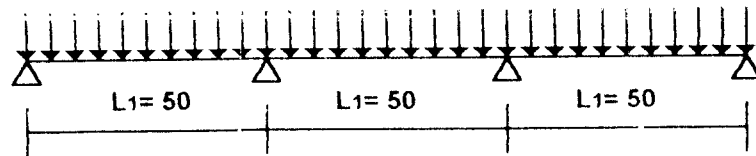
$$\begin{aligned}
 q_{rata^2} &= e^{-3,311} \\
 &= 0,037 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

maka beban rata-rata ( $q_{rata^2}$ ) = 0,037 kg/cm<sup>2</sup> = 0,37 t/m<sup>2</sup>

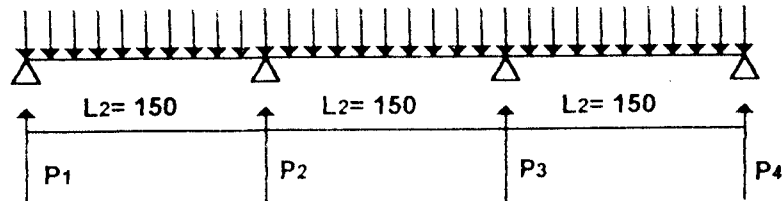
### 3. Periksa Tegangan yang Terjadi

#### a. Balok Melintang

Besarnya beban pada balok melintang  $w = 0,037 \times 50 = 1,85 \text{ kg/cm}$ . Kondisi pembebanan acuan dan pembebanan balok melintang pada sistem dolken dapat dilihat pada gambar 3.14 dan gambar 3.15.



Gambar 3.14. Pembebanan Acuan pada Sistem Dolken



Gambar 3.15. Pembebanan Balok Melintang pada Sistem Dolken

Analisa struktur diselesaikan dengan program komputer yaitu SAP 90 (Structural Analysis Program 90).

ANALISA STRUKTUR BALOK MELINTANG (KG-CM) DENGAN SAP90 OLEH KISMADI

F R A M E   E L E M E N T   F O R C E S

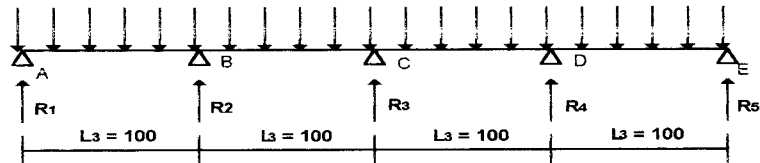
ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT
1 -----					
1	1	.00	.0	104.11	
			37.5	34.73	2603.18
			75.0	-34.64	2604.81
			112.5	-104.02	4.86
			150.0	-173.39	-5196.64
2 -----					
2	1	.00	.0	138.75	-3468.75
			37.5	69.38	433.59
			75.0	.00	1734.38
			112.5	-69.38	433.59
			150.0	-138.75	-3468.75
3 -----					
3	1	.00	.0	173.39	-5196.64
			37.5	104.02	4.86
			75.0	34.64	2604.81
			112.5	-34.73	2603.18
			150.0	-104.11	.00

$$\sigma = \frac{M_{\text{maks}}}{W} = \frac{5196,64}{100} = 51,9664 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ik}} = 93,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = \frac{3 \times D_{\text{maks}}}{2 \times A} = \frac{3 \times 173,39}{2 \times 6 \times 10} = 4,335 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{\text{ik}} = 11 \text{ kg/cm}^2$$

### b. Balok Memanjang

Untuk pembebanan akibat balok melintang dianggap beban merata pada balok memanjang dengan beban  $w = 150 \times 0,037 = 5,55 \text{ kg/cm}$ . Kondisi pembebanan balok memanjang pada sistem dolken dapat dilihat pada gambar 3.16.



**Gambar 3.16. Pembebanan Balok Memanjang**

Analisa struktur diselesaikan dengan program komputer yaitu SAP 90 (Structural Analysis Program 90).

ANALISA STRUKTUR BALOK MEMANJANG (KG-CM) DENGAN SAP90 OLEH KISMADI

F R A M E   E L E M E N T   F O R C E S

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT
1	1	.00	.0	208.32	.00
			25.0	69.57	3473.61
			50.0	-69.18	3478.46
			75.0	-207.93	14.57
			100.0	-346.68	-6918.07
2	1	.00	.0	277.50	-4625.00
			25.0	138.75	578.12
			50.0	.00	2312.50
			75.0	-138.75	578.13
			100.0	-277.50	-4625.00
3	1	.00	.0	277.50	-4625.00
			25.0	138.75	578.12
			50.0	.00	2312.50
			75.0	-138.75	578.13
			100.0	-277.50	-4625.00
4	1	.00	.0	346.68	-6918.07
			25.0	207.93	14.57
			50.0	69.18	3478.46
			75.0	-69.57	3473.61
			100.0	-208.32	.00

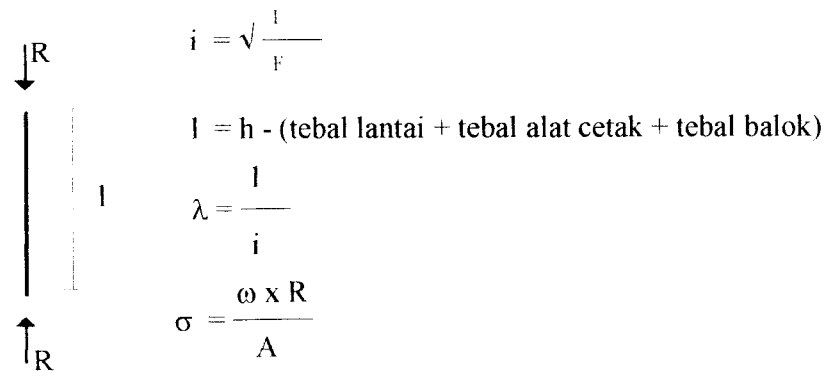
$$\sigma = \frac{M_{\text{maks}}}{W} = \frac{6918,07}{100} = 69,1807 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ik}} = 93,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = \frac{3 \times D_{\text{maks}}}{2 \times A} = \frac{3 \times 346,68}{2 \times 6 \times 10} = 8,667 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{\text{ik}} = 11 \text{ kg/cm}^2$$

c. Kayu Support

Kayu support terbuat dari kayu Bangkirai dengan  $\phi = 10$  cm. Kondisi pembebanan kayu support dapat dilihat pada gambar 3.17.





**Gambar 3.17 Kayu Support**

$$l = 400 - (12 + 1,9 + 2 \times 10)$$

$$= 366,1 \text{ cm}$$

$$\phi = 10 \text{ cm}$$

$$F = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4$$

$$= \frac{1}{64} \times \pi \times 10^4 = 490,625 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{490,625}{78,5}} = 2,251$$

$$\lambda = \frac{366,1}{2,251} = 146,44$$

Dari daftar III, faktor tekuk untuk kayu PKKI didapat untuk  $\lambda = 146,44$  maka

$$\omega = 7,3$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga ; } \sigma &= \frac{7,3 \times 2,4 \times 0,037 \times 150 \times 100}{78,5} \\ &= 123,87 \text{ kg/cm}^2 < 136,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### 4. Resiko Kegagalan Sub Struktur Perancah

Kegagalan sub struktur perancah ( balok melintang dan balok memanjang ) adalah kegagalan dengan peninjauan momen dan gesernya. Kegagalan momen terjadi apabila momen rata-rata bahan lebih kecil dari momen akibat pembebanan. Kegagalan terhadap geser terjadi apabila tegangan geser rata-rata bahan lebih kecil dari gaya geser akibat pembebanan. Sedangkan support dengan peninjauan gaya tekan. Kegagalan gaya tekan terjadi apabila gaya tekan rata-rata bahan lebih kecil dari gaya tekan akibat pembebanan.

##### a. Balok Melintang

Kapasitas bahan

$$\begin{aligned} \text{Momen, } M_k &= W \times \sigma_{lk} \\ &= 100 \times 198,62 = 19862 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

$$\text{COV} = 20 \%$$

$$\text{Gaya geser, } D_k = 564,61 \text{ kg}$$

$$\text{COV} = 30 \%$$

Beban kerja

$$M_b = 5196,64 \text{ kg cm}$$

$$D_b = 173,39 \text{ kg}$$

Resiko Kegagalan

Akibat gaya geser

akan terjadi apabila  $Z = D_k - D_b < 0$

$$\lambda = \ln 564,61 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \ln 564,61 - \frac{1}{2} \times (0,3)^2 \\ &= 6,2911 \end{aligned}$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 173,39 - 6,2911}{0,3} \right]$$

$$= \Phi(-3,79)$$

$$P_G = 8 \cdot 10^{-4}$$

Akibat momen

$$\lambda = \ln 19862 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \ln 19862 - \frac{1}{2} \times (0,2)^2 \\ &= 9,8664 \end{aligned}$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 5196,64 - 9,8664}{0,2} \right]$$

$$= \Phi(-6,55)$$

$$P_M = 1 \cdot 10^{-12}$$

$$P_{bl} = P_G + P_M - P_G \times P_M$$

$$= 8 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-12} - 8 \cdot 10^{-4} \times 1 \cdot 10^{-12}$$

$$= 8 \times 10^{-4}$$

## b. Balok Memanjang

Kapasitas bahan

$$\text{Momen, } M_k = W \times \sigma_{lk}$$

$$= 100 \times 198,62 = 19862 \text{ kg cm}$$

$$\text{COV} = 20 \%$$

$$\text{Gaya geser, } D_k = 564,61 \text{ kg}$$

$$\text{COV} = 30 \%$$

Beban kerja

$$M_b = 6918,07 \text{ kg cm}$$

$$D_b = 346,68 \text{ kg}$$

Resiko Kegagalan

Akibat gaya geser

akan terjadi apabila  $Z = D_k - D_b < 0$

$$\lambda = \ln 564,61 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 564,61 - \frac{1}{2} \times (0,3)^2$$

$$= 6,2911$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 346,68 - 6,2911}{0,3} \right]$$

$$= \Phi(-1,48)$$

$$P_G = 0,0694$$

Akibat momen

$$\lambda = \ln 19862 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 19862 - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$= 9,8664$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 6918,07 - 9,8664}{0,2} \right]$$

$$= \Phi(-5,12)$$

$$P_M \approx 1.10^{-10}$$

$$P_{bm} = P_G + P_M - P_G \times P_M$$

$$= 0,0694 + 1.10^{-10} - 0,0694 \times 1.10^{-10}$$

$$= 0,0694$$

### c. Support

Kapasitas bahan :

$$G_k = \frac{A}{\omega} \times \sigma_{tk} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times \sigma_{tk}}{7,3}$$

$$= 0,1075 \times \phi^2 \times \sigma_{tk}$$

$$\mu(G_k) = 0,1075 \times \mu(\phi^2) \times \mu(\sigma_{tk})$$

$$= 0,1075 \times 10^2 \times 289,9765$$

$$= 3117,2474 \text{ kg}$$

$$\text{COV} = 20 \%$$

Beban yang bekerja

$$G_b = 2,4 \times q \times L_1 \times L_2$$

$$= 2,4 \times 0,037 \times 150 \times 100$$

$$= 1332 \text{ kg}$$

Resiko Kegagalan

akan terjadi kegagalan jika  $Z = G_k - G_b < 0$

$$\lambda = \ln 3117,2474 - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\lambda = \ln 3117,2474 - \frac{1}{2} \times (0,2)^2$$

$$= 8,0247$$

$$P(Z < 0) = \Phi \left[ \frac{\ln 1332 - 8,0247}{0,20} \right]$$

$$= \Phi(-4,15)$$

$$P_G = 1.10^{-5}$$

## 5. Resiko Kegagalan Struktur Perancah

Antara balok melintang, balok memanjang dan support diasumsikan tidak saling berhubungan (independent) sehingga resiko kegagalan struktur perancah merupakan penjumlahan dari nilai kemungkinan kegagalan-

kegagalan sub struktur perancah (balok memanjang, balok melintang, dan support). Antara balok melintang dan balok memanjang akan diselidiki apakah saling berhubungan atau tidak. Koefesien korelasi antara balok memanjang dan balok melintang dapat dicari sebagai berikut :

Persamaan momen balok Memanjang :

$$\begin{aligned} g_2 &= W \times \sigma - M_{maks} \\ &= 100 \times 198,62 - 6918,07 \\ &= 12943,93 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Persamaan momen balok Melintang :

$$\begin{aligned} g_1 &= W \times \sigma - M_{maks} \\ &= 100 \times 198,62 - 5196,64 \\ &= 14665,36 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Sehingga koefesien korelasinya adalah :

$$\text{COV} (g_1 g_2) = E(g_1 g_2) - E(g_1) \times E(g_2)$$

$$\begin{aligned} E(g_1 g_2) &= E[ (M - M_{bl}) - (M - M_{bm}) ] \\ &= E(M^2) - E(M \times M_{bm}) - E(M \times M_{bl}) + E(M_{bl} \times M_{bm}) \\ &= E(M^2) - E(M) \times E(M_{bm}) - E(M) \times E(M_{bl}) + E(M_{bm}) \times E(M_{bl}) + \\ &\quad E(M_{bm}) \times E(M_{bl}) \end{aligned}$$

Menurut persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Var.} (M) &= E(M^2) - E^2(M) \\ E(M^2) &= \text{Var.}(M) + E^2(M) \\ &= \sigma^2(M) + E^2(M) \\ &= \xi E^2(M) + E^2(M) \\ &= (\xi^2 + 1) \times E^2(M) \\ &= (0,2^2 + 1) \times (19862)^2 \\ &= 410279005,80 \end{aligned}$$

$$E(M) \times E(M_{bm}) = 19862 \times 6918,07$$

$$= 137406706,30$$

$$E ( M ) \times E ( M_{bl} ) = 19862 \times 5196,64$$

$$= 103215663,70$$

$$E ( M_{bm} ) \times E ( M_{bl} ) = 6918,07 \times 5196,64$$

$$= 35950719,28$$

$$E ( g_1 g_2 ) = 410279005,80 - 137406706,30 - 103215663,70 + 35950719,28$$

$$= 205607355,10$$

$$E ( g_1 ) = E ( M - M_{bl} )$$

$$= E ( M ) - E ( M_{bl} )$$

$$= 19862 - 5196,64$$

$$= 14665,36$$

$$E ( g_2 ) = E ( M - M_{bm} )$$

$$= E ( M ) - E ( M_{bm} )$$

$$= 19862 - 6918,07$$

$$= 12943,93$$

$$\text{maka } COV ( g_1 g_2 ) = 205607355,10 - 14665,36 \times 12943,93$$

$$= 15779961,84$$

$$\rho = \frac{COV ( g_1 g_2 )}{\sigma ( g_1 ) \times \sigma ( g_2 )}$$

Keterangan :

$\rho$  : koefisien korelasi

COV : koefisien variasi

$\sigma ( g_1 )$  : simpangan  $g_1$

$\sigma ( g_2 )$  : simpangan  $g_2$

misal  $g_1 = W \times \sigma - a \times q$

Menurut persamaan

$$\text{Var. } ( g_1 ) = E ( g_2^2 ) - E^2 ( g_1 )$$

$$\begin{aligned}
&= ( (W \times \sigma - a \times q) \times (W \times \sigma - a \times q) ) - E^2 ( g_1 ) \\
&= E [(W \times \sigma)^2 - 2 \times (W \times \sigma \times a \times q) + (a \times q)^2] - E^2(g_1) \\
&= E(W \times \sigma)^2 - 2 \times E(W \times \sigma) \times a \times q + E(a \times q)^2 - E^2(g_1)
\end{aligned}$$

dengan asumsi harga  $W$  dan  $a$  adalah konstanta, maka :

$$\text{Var.}(g_1) = W^2 \times E(\sigma^2) - 2 \times W \times a \times E(\sigma) \times E(q) + a^2 \times E(q^2) - E^2(g_1)$$

Menurut persamaan

$$\begin{aligned}
\text{Var.}(\sigma) &= E(\sigma^2) - E(\sigma)^2 \\
E(\sigma^2) &= \text{Var.}(\sigma) + E(\sigma)^2 \\
&= \sigma^2[(\sigma)] + E(\sigma)^2 \\
&= \xi^2 \times E^2(\sigma) + E(\sigma)^2 \\
&= [\xi^2 + 1] \times E(\sigma)^2 \\
&= [(0,2)^2 + 1] \times E(\sigma)^2 \\
&= 1,04 \times E^2(\sigma)
\end{aligned}$$

dengan cara yang sama maka :

$$\begin{aligned}
E(q^2) &= [(0,15)^2 + 1] \times E^2(q) \\
&= 1,0225 \times E^2(q)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Var.}(g_1) &= 100^2 \times 1,04 \times 198,62^2 - 2 \times 100 \times 5196,64 \times 198,62 + 5196,64^2 \times \\
&\quad 1,0225 - 14665,36^2 \\
&= 16387575,77
\end{aligned}$$

$$\sigma(g_1) = \sqrt{16387575,77} = 4048,1571$$

dengan cara yang sama dengan diatas maka didapatkan

$$\text{Var.}(g_2) = 16856804,84$$

$$\sigma(g_1) = \sqrt{16856804,84} = 4105,7039$$

$$\rho = \frac{15779961,84}{4048,1571 \times 4105,7039}$$

$$= 0,95$$

$$\approx 1$$



Hasil perhitungan koefesien korelasi, maka antara balok memanjang dan balok melintang mempunyai hubungan erat. Hal ini terlihat dari harga  $\rho = 0,95$  mendekati nilai satu sehingga untuk nilai kemungkinan kegagalan balok adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_b &= P_{bl} + P_{bm} - P_{bl} \times P_{bm} \\ &= 0,0694 + 8.10^{-4} - 0,0694 \times 1.10^{-5} \\ &= 0,0701 \end{aligned}$$

Maka kemungkinan kegagalan struktur menjadi :

$$\begin{aligned} P_{struktur} &= P_b + P_{sp} - P_{bm} \cap P_{sp} \\ &= 0,0701 + 1.10^{-5} \\ &= 0,0701 \end{aligned}$$

### 3.1.8. Analisa Biaya

#### 1. Analisa Harga

Berdasarkan diagram waktu rata-rata ( network Planning diagram ) maka waktu penyelesaian proyek dibutuhkan 194,17 hari kalender dan perhitungan waktu pesimis dibutuhkan 239 hari kerja. Perhitungan hari tersebut digunakan untuk analisis harga untuk sewa peralatan dan upah pekerja. Apabila terjadi kegagalan pengecoran berarti terjadi kegagalan struktur perancah sehingga harus diperhitungkan biaya tambahan tenaga kerja dan sewa alat dalam analisa pementan.

##### a. Perancah

Perhitungan perancah sistem dolken akan dihitung hanya harga material untuk keseluruhan struktur atas. Jadi perhitungan belum termasuk ongkos-ongkos lain seperti upah tenaga kerja dan lain sebagainya.

Perancah dalam proyek tersebut terdiri dari perancah lantai, perancah kolom, dan perancah tangga.

### 1) Perancah lantai

Dari denah lantai, maka luas satu lantai pengecoran adalah seluas (  $16 \times 8 \times 9$  ) + (  $18 \times 15$  ) +  $2,1 \times ( 9 \times 2 + 18 \times 6 + 71 ) = 1835,7 \text{ m}^2 \approx 1836 \text{ m}^2$

jadi luas lantai pengecoran untuk struktur atas =  $3 \times 1836 = 5508 \text{ m}^2$

luas perancah yang tersedia =  $1836 \text{ m}^2$

penggantian perancah =  $5508 / (5 \times 1836) \approx 1$  kali

harga satuan perancah = Rp. 80.000,00/m<sup>2</sup>

harga perancah lantai (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\mu (\text{HFL}) = 1,083 \times 1 \times 1836 \times 80.000,00 \times 1$$

$$= \text{Rp. } 159.071.040,00$$

### 2) Perancah kolom

Dari denah lantai maka satu lantai terdapat 36 buah kolom besar dan 40 kolom kecil.

sehingga jumlah kolom struktur atas

- untuk kolom besar =  $4 \times 36 = 144$  buah kolom.

- untuk kolom kecil =  $4 \times 40 = 160$  buah kolom

Perancah yang tersedia

- untuk kolom besar = 18 set

- untuk kolom kecil = 20 set

kemampuan pasang

- untuk kolom besar =  $18 \times 5 = 90$  kali

- untuk kolom kecil =  $20 \times 5 = 100$  kali

penggantian perancah

- untuk kolom besar =  $144/90 \approx 2$  kali
- untuk kolom kecil =  $160/100 \approx 2$  kali

harga satuan perancah

- untuk kolom besar = Rp. 370.000,00/ set
- untuk kolom kecil = Rp. 320.000,00/set

harga perancah kolom (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\begin{aligned}\mu(\text{HFL}) &= 1,083 \times (18 \times 2 \times \text{Rp. } 370.000,00 + 20 \times 2 \times \text{Rp. } 320.000,00) \times 1 \\ &= \text{Rp. } 28.287.960,00\end{aligned}$$

### 3) Perancah tangga

Jumlah tangga = 9 buah

perancah yang tersedia 1 set

kemampuan pasang =  $1 \times 5 = 5$  kali

penggantian perancah =  $9/5 \approx 2$  kali

harga satuan perancah = Rp. 900.000,00 / set

harga perancah tangga (HFL) =  $I \times V \times H_s \times f$

$$\begin{aligned}\mu(\text{HFL}) &= 1,083 \times 2 \times 900.000,00 \times 1 \\ &= \text{Rp. } 1.949.400,00\end{aligned}$$

Maka biaya yang harus dikeluarkan untuk perancah struktur atas adalah :  $\text{HF} = \text{HFL} + \text{HFK} + \text{HFT}$

$$\begin{aligned}\mu(\text{HF}) &= (\mu)\text{HFL} + (\mu)\text{HFK} + (\mu)\text{HFT} \\ &= \text{Rp. } 159.071.040,00 + \text{Rp. } 28.287.960,00 + \text{Rp. } 1.949.400,00 \\ &= \text{Rp. } 189.308.400,00\end{aligned}$$

#### b. Beton

Harga beton yang dihitung adalah harga material untuk struktur atasnya saja. Jadi harga beton belum termasuk harga pekerja dan lainnya. Dari

data lapangan didapat harga material beton adalah Rp.250.000,00/ m<sup>3</sup> untuk beton K-225. Volume beton total terdiri dari volume lantai (termasuk balok), volume kolom, dan volume tangga.

### 1) Volume lantai

Dari data proyek pembangunan gedung Universitas Muhammadiyah Surakarta volume lantai total yang terdiri dari sloof, kolom, balok dan pelat =  $161,12 + 494,47 + 494,47 + 490,63 = 1640,69 \text{ m}^3$ .

### 2) Volume Tangga

$$\text{Volume total tangga} = 52,92 \text{ m}^3$$

Jadi volume beton untuk struktur atas adalah

$$V_{\Gamma} = 1640,69 + 52,92 = 1693,61 \text{ m}^3$$

Biaya yang harus disediakan untuk beton (HB)

$$\begin{aligned} \mu(\text{HB}) &= l \times V \times H_s \times f \\ &= 1,083 \times 1693,61 \times \text{Rp.}250.000,00 \times 1 \\ &= \text{Rp.} 458.544.907,50 \end{aligned}$$

Apabila terjadi kegagalan struktur perancah satu kali yang berarti terjadi keruntuhan dalam satu lantai yang diambil sampel lantai 2 :

$$\begin{array}{r} \text{- lantai} = 494,47 \qquad \approx 495 \text{ m}^3 \\ \text{- Tangga} = 52,92/3 \qquad \approx 18 \text{ m}^3 \\ \hline \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 513 \text{ m}^3 \end{array}$$

Apabila terjadi satu kali kegagalan struktur perancah penambahan volume betonnya adalah sebesar =  $513 \text{ m}^3$

Biaya tambahan material untuk satu kali kegagalan

$$\begin{aligned} \mu(\Delta\text{HB}) &= 1,083 \times 513 \times \text{Rp.} 250.000,00 \times 1 \\ &= \text{Rp.} 138.894.750,00 \end{aligned}$$

### c. Tenaga Kerja

Apabila pada saat pekerjaan terdapat hari libur Nasional maka pekerja akan mendapat libur. Jumlah hari libur ini diasumsikan selama 4 hari kerja sehingga pada perhitungan biaya tenaga kerja, maka hari libur ini harus diperhatikan jadi jumlah hari kerja menjadi :

$$195 - 4 = 191 \text{ hari}$$

Berdasarkan informasi di lapangan didapatkan :

- upah kepala tukang	= Rp. 10.000,00 / hari
- upah tukang	= Rp. 8.000,00 / hari
- upah pekerja laki-laki	= Rp. 5.500,00 / hari
- upah pekerja perempuan	= Rp. 5.000,00 / hari
	<hr/>
	Rp. 28.500,00 / hari

$$\text{Upah rata-rata tenaga kerja} = \text{Rp.} 28.500 / 4 = \text{Rp.} 7.125 / \text{hari}$$

jumlah tenaga kerja :

$$= 3 \times 15 = 45 \text{ orang}$$

Untuk pekerjaan ini dianggap bekerja 1 orang pelaksana sebagai pengawas lapangan dan satu pembantu pelaksana. Berdasarkan data lapangan maka upah mereka adalah :

- pengawas lapangan	= Rp.500.000,00 / bulan
- pembantu pengawas lapangan	= Rp.400.000,00 / bulan

$$\begin{aligned} \text{Upah rata-rata setiap hari} &= \text{Rp.} 900.000,00 / 30 \\ &= \text{Rp.} 30.000,00 / \text{hari} \end{aligned}$$

Maka upah satuan tenaga kerja / orang setiap hari

$$= \text{Rp.} 7.125,00 \times 45 + \text{Rp.} 30.000,00 = \text{Rp.} 350.625,00 / \text{hari}$$

harga upah tenaga manusia setiap hari

$$(\text{HUH}) = I \times V \times f$$

$$\mu(\text{HUH}) = 1,083 \times \text{Rp.} 350.625,00 \times 1$$

$$= \text{Rp. } 379.726,875$$

Sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk tenaga kerja

$$\mu(\text{HU}) = 191 \times \text{Rp. } 379.726,875 = \text{Rp. } 72.527.833,13$$

#### 4. Peralatan

Pada perhitungan sewa alat maka hari libur diperhitungkan karena walaupun pada hari libur tidak menggunakan alat tetapi tetap harus membayar sewanya sehingga sewa alat sama dengan jumlah hari selesainya proyek yaitu selama 195 hari.

Biaya per hari untuk sewa alat adalah sebagai berikut :

- Vibrator	2 bh x Rp.25.000	= Rp.50.000,00
- Lift	1 bh x Rp.50.000	= Rp.50.000,00
- Generator set 30 PK	1 bh x Rp.50.000	= Rp.50.000,00
- Beton mollen	2 bh x Rp.20.000	= Rp.40.000,00
- solar	100lt x Rp.400	= Rp.40.000,00
- operator	2 orang x Rp.10.000	= Rp.20.000,00
		= Rp.250.000,00 / hari

Harga satuan sewa alat (HAH) =  $I \times V \times f$

$$\mu(\text{HAH}) = 1,083 \times \text{Rp. } 250.000,00 \times 1 = \text{Rp.}270.750,00$$

Biaya yang harus disediakan untuk peralatan (HA)

$$\begin{aligned} \mu(\text{HA}) &= 195 \times \text{Rp. } 270.750,00 \\ &= \text{Rp. } 52.796.250,00 \end{aligned}$$

#### 2. Analisa Biaya Pembetonan

Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa analisa biaya pembetonan merupakan penjumlahan dari material perancah, material beton, upah pekerja dan sewa peralatan saja tanpa unsur keuntungan pemborong dan pajak.

Besarnya biaya-biaya tersebut bertambah apabila terjadi kegagalan struktur perancah dalam pelaksanaan. Sebagai asumsi bahwa apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka material beton tidak dapat digunakan kembali. Selain itu akan terdapat penambahan hari kerja yang berpengaruh terhadap upah pekerja dan sewa peralatan.

Dari tabel 3.4. ( tabel waktu rata-rata untuk pembetonan struktur atas didapat bahwa satu kali pembetonan membutuhkan waktu tambahan 31 hari. Dengan asumsi bahwa kegagalan diketahui pada hari-hari awal selesainya pengecoran dikarenakan beton belum bekerja sesuai fungsinya (beton belum mengeras), juga diperlukan waktu untuk melakukan pembersihan maka diambil jumlah hari tambah adalah selama 37 hari kerja untuk satu kali kegagalan pengecoran.. Disini perlu diperhatikan apakah penambahan hari kerja akan menimbulkan biaya klaim atau tidak.

Besarnya biaya klaim menurut kontrak adalah 1% per hari dengan maksimum biaya klaim adalah 5 % dari nilai kontrak. Dengan nilai kontrak Rp.2.400.000.000,00 maka klaim 1 hari keterlambatan =  $1\% \times \text{Rp.2.400.000.000,00} = \text{Rp.2.400.000,00}$  dan besarnya klaim maksimum =  $5\% \times \text{Rp.2.400.000.000,00} = \text{Rp. 120.000.000,00}$

Pada kegagalan struktur perancah ini dilakukan analisa untuk satu kali dan kegagalan yang terjadi maksimum tiga kali. Pada perhitungan melihat waktu maksimum yang masih diperbolehkan pada proyek tersebut. Hal ini dapat dilihat pada perhitungan waktu pesimis Network Planning didapatkan waktu maksimumnya adalah 239 hari. Harus diperhitungkan juga timbulnya klaim akibat kegagalan waktu.

**a. Tidak Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_1$ )**

Probabilitas kejadian  $E_1$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P(E_1) &= P(A) \cup P(B) \\ &= 0,9299 + 0,9793 - 0,9306 \times 0,9793 \\ &= 0,9986 \end{aligned}$$

Nilai alternatif perancah berhasil pada sistem dolken dapat dilihat pada tabel 3.5.

**Tabel 3.5. Nilai Alternatif Perancah berhasil pada Sistem Dolken**

No	Uraian	$\mu$
1	Perancah	Rp. 189.308.400,00
2	Beton	Rp. 458.544.907,50
3	Upah tenaga kerja	Rp. 72.527.833,13
4	Sewa alat	Rp. 52.796.250,00
		Rp. 773.177.390,60

Nilai Alternatif ;  $\mu(NA) = \text{Rp. } 773.177.390,60$

**b. Tidak Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_2$ )**

Probabilitas kejadian  $E_2$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P(E_2) &= P(A) \cup P(C) \\ &= 0,9299 + 0,0207 - 0,9299 \times 0,0207 \\ &= 0,9314 \end{aligned}$$



Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- Upah pekerja (BTU)

$$\begin{aligned}\mu(\text{BTU}) &= [(239 - 15) - 191] \times \text{Rp. } 379.726,875 \\ &= \text{Rp. } 12.530.986,88\end{aligned}$$

- Sewa alat (BTA)

$$\begin{aligned}\mu(\text{BTA}) &= (239 - 195) \times \text{Rp. } 270.750,00 \\ &= \text{Rp. } 11.913.000,00\end{aligned}$$

- klaim

Tambahan biaya klaim akibat adanya keterlambatan waktu adalah sebagai berikut :

$$= (239 - 238) \times \text{Rp. } 2.400.000,00 = \text{Rp. } 2.400.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT) = BTU + BTA + Klaim

$$\begin{aligned}\mu(\text{BT}) &= \text{Rp. } 12.530.986,88 + \text{Rp. } 11.913.000,00 + \\ &\quad \text{Rp. } 2.400.000,00 \\ &= \text{Rp. } 26.843.986,88\end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 773.177.390,60 + \text{Rp. } 26.843.986,88 \\ &= \text{Rp. } 800.021.377,48\end{aligned}$$

### **c. Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu**

#### **1) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah satu kali dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{3A}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{3A}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_{3A}) &= P(D) \cup P(E) \\ &= 0,0701 + 0,6480 - 0,0701 \times 0,6480\end{aligned}$$

$$= 0,6727$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

Pembetonan

- perancah

$$\mu = \text{Rp. } 189.308.400,00$$

- material beton

$$\mu = \text{Rp. } 138.894.750,00$$

- upah tenaga kerja

karena terjadi keruntuhan satu kali, maka untuk perbaikannya dibutuhkan waktu tambahan 37 hari kerja (satu kali pengecoran), maka :

$$\mu = 37 \times \text{Rp. } 379.726,875$$

$$= \text{Rp. } 14.049.894,38$$

- sewa alat

karena pertambahan waktu 37 hari, maka terdapat tambahan biaya pada sewa alat

$$\mu = 37 \times \text{Rp. } 270.750,00$$

$$= \text{Rp. } 10.017.750,00$$

- klaim

Dengan pertambahan waktu selama 37 hari, maka total selesainya pekerjaan adalah  $= 195 + 37 = 232$  hari  $< 238$  hari, maka tidak terjadi klaim.

Besarnya biaya tambah (BT) =  $1,083 \times \text{BTB}$

$$\mu (\text{BT}) = 1,083 \times (\text{Rp. } 189.308.400,00 + \text{Rp. } 138.894.750,00 +$$

$$\text{Rp. } 14.049.894,38 + \text{Rp. } 10.017.750,00)$$

$$= \text{Rp. } 381.509.270,30$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\mu (\text{NA}) = \text{Rp. } 773.177.390,60 + \text{Rp. } 381.509.270,30$$

$$= \text{Rp. } 1.154.686.660,90$$

**2) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Tiga kali dan Tidak Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{3B}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{3B}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P(E_{3B}) &= P(D) \cup P(F) \\ &= 0,0701 + 0,0041 - 0,0701 \times 0,0041 \\ &= 0,0739 \end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

**Pembetonan**

- perancah

$$\begin{aligned} \mu &= 3 \times \text{Rp. } 189.308.400,00 \\ &= \text{Rp. } 567.925.200,00 \end{aligned}$$

- material beton

$$\begin{aligned} \mu &= 3 \times \text{Rp. } 138.894.750,00 \\ &= \text{Rp. } 416.684.250,00 \end{aligned}$$

- upah tenaga kerja

karena terjadi keruntuhan tiga kali, maka untuk perbaikannya dibutuhkan waktu tambahan 111 hari kerja (tiga kali pengecoran) sehingga :

$$\begin{aligned} \mu &= 111 \times \text{Rp. } 379.726,875 \\ &= \text{Rp. } 42.149.683,13 \end{aligned}$$

- sewa alat

karena pertambahan waktu 111 hari, maka terdapat tambahan biaya pada sewa alat

$$\begin{aligned} \mu &= 111 \times \text{Rp. } 270.750,00 \\ &= \text{Rp. } 30.053.250,00 \end{aligned}$$

- klaim

Dengan penambahan waktu selama 111 hari, maka total selesainya pekerjaan adalah = 195 + 111 = 306 hari. Ternyata akibat kegagalan struktur satu kali menimbulkan klaim sebesar

$$= (306 - 238) \times \text{Rp. } 2.400.000,00$$

= Rp. 163.200.000,00 > klaim maksimum maka diambil klaim maksimum = Rp. 120.000.000,00

Besarnya biaya tambah (BT) = 1,083 x BTB + klaim

$$\begin{aligned} \mu (\text{BT}) &= 1,083 \times (\text{Rp. } 567.925.200,00 + \text{Rp. } 416.684.250,00 \\ &\quad + \text{Rp. } 42.149.683,13 + \text{Rp. } 30.053.250,00) \\ &\quad + \text{Rp. } 120.000.000,00 \\ &= \text{Rp. } 1.264.527.811,00 \end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned} \mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 773.177.390,60 + \text{Rp. } 1.264.527.811,00 \\ &= \text{Rp. } 2.037.705.202,60 \end{aligned}$$

#### **d. Terjadi Kegagalan Struktur Perancah dan Terjadi Kegagalan Waktu**

##### **1) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Satu kali dan Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{4A}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{4A}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P(E_{4A}) &= P(D) \cup P(G) \\ &= 0,0701 + 0,3520 - 0,0701 \times 0,3520 \\ &= 0,3974 \end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- pembetonan

$$\mu = \text{Rp. } 381.509.270,30$$

- upah tenaga kerja

$$\mu = \text{Rp. } 12.530.986,88$$

- sewa alat

$$\mu = \text{Rp. } 11.913.000,00$$

- klaim

$$\mu = \text{Rp. } 2.400.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT)

$$\begin{aligned}\mu (\text{BT}) &= \text{Rp. } 381.509.270,30 + \text{Rp. } 12.530.986,88 \\ &+ \text{Rp. } 11.913.000,00 + \text{Rp. } 2.400.000,00 \\ &= \text{Rp. } 408.353.257,20\end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned}\mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 773.177.390,60 + \text{Rp. } 408.353.257,20 \\ &= \text{Rp. } 1.181.530.647,80\end{aligned}$$

## **2) Terjadi Kegagalan Struktur Perancah Tiga kali dan Terjadi Kegagalan Waktu ( $E_{4B}$ )**

Probabilitas kejadian  $E_{4B}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P(E_1) &= P(D) \cup P(I) \\ &= 0,0701 + 0,9959 - 0,0701 \times 0,9959 \\ &= 0,9962\end{aligned}$$

Tambahan biaya yang harus ditanggung :

- pembetonan

$$\mu = \text{Rp. } 1.264.527.811,00$$

- upah tenaga kerja

$$\mu = \text{Rp. } 12.530.986,88$$

- sewa alat

$$\mu = \text{Rp. } 16.786.500,00$$

- klaim

$$\mu = \text{Rp. } 2.400.000,00$$

Besarnya biaya tambah (BT)

$$\begin{aligned} \mu (\text{BT}) &= \text{Rp. } 1.264.527.811,00 + \text{Rp. } 12.530.986,88 \\ &+ \text{Rp. } 11.913.000,00 + \text{Rp. } 2.400.000,00 \\ &= \text{Rp. } 1.291.371.798,88 \end{aligned}$$

Besarnya Nilai Alternatif :

$$\begin{aligned} \mu(\text{NA}) &= \text{Rp. } 773.177.390,60 + \text{Rp. } 1.291.371.798,88 \\ &= \text{Rp. } 2.064.549.188,48 \end{aligned}$$

### 3.2. Pembahasan

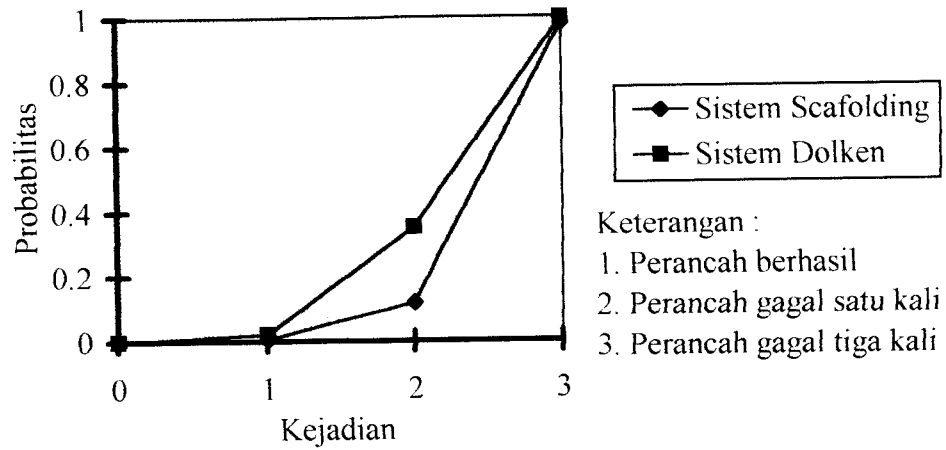
#### 3.2.1. Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Waktu

Apabila terjadi kegagalan struktur perancah, maka akan berakibat bertambahnya waktu penyelesaian proyek sebesar waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian pekerjaan pengecoran.

Berdasarkan hasil analisis resiko kegagalan terhadap waktu, maka dapat dilihat pada tabel 3.6 dan grafik 3.4.

**Tabel. 3.6. Probabilitas Resiko Kegagalan Terhadap Waktu**

<b>N0</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Sistem Scaffolding</b>	<b>Sistem Dolken</b>
1	Perancah berhasil	0,0073	0,0207
2	Terjadi kegagalan perancah satu kali	0,1190	0,3520
3	Terjadi kegagalan perancah tiga kali	0,9803	0,9959



**Grafik 3.4. Probabilitas Resiko Kegagalan Terhadap Waktu**

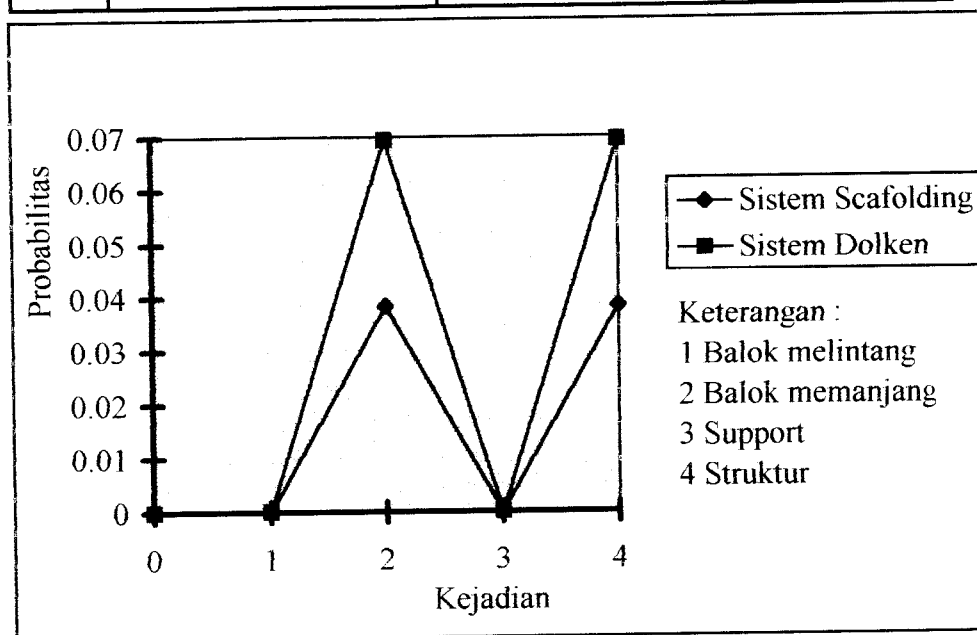
Dari grafik 3.4. terlihat bahwa probabilitas resiko kegagalan terhadap waktu pada sistem dolken lebih besar daripada probabilitas resiko kegagalan terhadap waktu sistem scaffolding. Hal ini dikarenakan pada sistem dolken pemasangannya cukup rumit sehingga perlu waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan sistem scaffolding. Sehingga akibat dari kegagalan struktur perancah menyebabkan peningkatan yang cukup besar pada nilai kegagalan terhadap waktu.

### 3.2.2 Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Struktur Perancah

Berdasarkan hasil analisis resiko kegagalan terhadap struktur perancah dapat dilihat pada tabel 3.7 dan grafik 3.5.

Tabel.3.7. Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Struktur Perancah

No	Bahan	Sistem Scaffolding	Sistem Dolken
1	Balok melintang	$1 \times 10^{-6}$	$8 \times 10^{-4}$
2	Balok Memanjang	0,0384	0,0701
3	Support	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-5}$
4	Struktur	0,0384	0,0701



Grafik 3.5. Analisis Resiko Kegagalan Terhadap Struktur Perancah

Dengan melihat grafik 3.5. bahwa pada sistem perancah scaffolding dan sistem perancah dolken kegagalan struktur balok dapat diwakili oleh balok memanjang karena nilai probabilitasnya lebih besar jika dibandingkan dengan balok melintang dan support. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa resiko kegagalan terhadap struktur perancah pada sistem dolken lebih besar dibandingkan dengan sistem scaffolding. Hal ini dikarenakan bahan yang



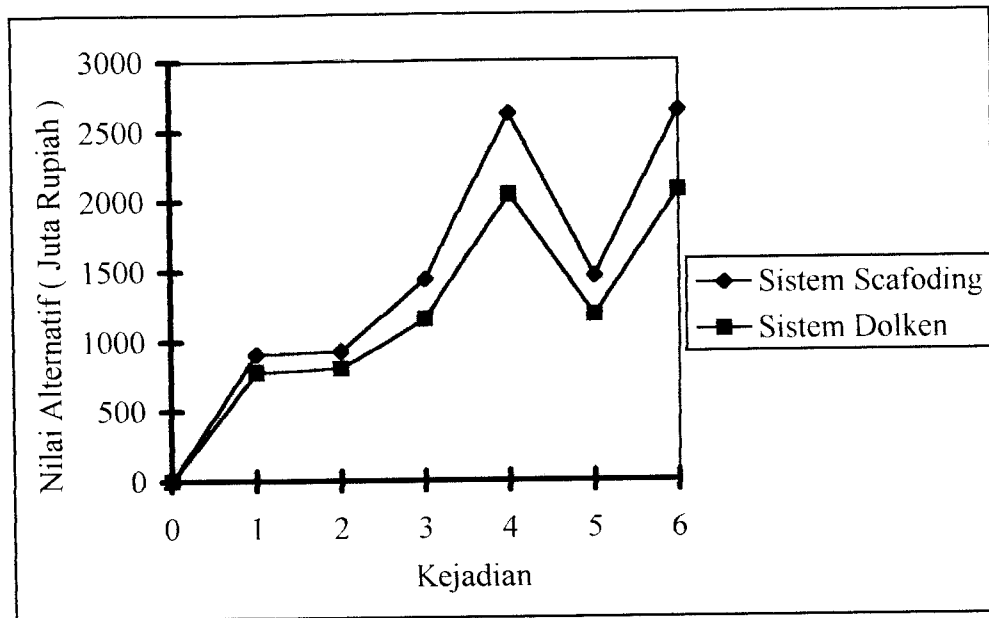
digunakan pada sitem scaffolding lebih baik mutunya dibandingkan dengan bahan yang digunakan pada sistem dolken.

### 3.2.3. Analisis Biaya

Analisis biaya dapat dilihat pada tabel 3.8. dan grafik 3.6.

**Tabel. 3.8. Analisis Biaya**

No	Kejadian	Sistem Scaffolding	Sistem Dolken
1	Tidak terjadi kegagalan struktur dan tidak terjadi kegagalan waktu	Rp. 907.788.875,60	Rp. 773.177.390,60
2	Tidak terjadi kegagalan struktur dan terjadi kegagalan waktu	Rp. 928.330.001,23	Rp. 800.021.377,48
3	Terjadi kegagalan struktur satu kali dan tidak terjadi kegagalan waktu	Rp. 1.438.604.716,40	Rp. 1.154.686.660,90
4	Terjadi kegagalan struktur tiga kali dan tidak terjadi kegagalan waktu	Rp. 2.620.236.398,60	Rp. 2.037.750.202,60
5	Terjadi kegagalan struktur satu kali dan terjadi kegagalan waktu	Rp. 1.460.446.795,60	Rp. 1.181.530.647,80
6	Terjadi kegagalan struktur tiga kali dan terjadi kegagalan waktu	Rp. 2.642.078.477,98	Rp. 2.064.549.188,48



**Grafik 3.6. Analisis Biaya**

Dari grafik 3.6. terlihat bahwa analisis biaya dari sistem scaffolding lebih besar dibandingkan dengan analisis biaya sistem dolken. Kondisi tersebut karena harga perancah scaffolding yang terbuat dari baja jauh lebih mahal dibandingkan dengan sistem dolken yang terbuat dari kayu. Dari grafik 3.6. terlihat bahwa jika terjadi kegagalan struktur perancah berulang kali maka biaya yang dikeluarkan untuk sistem scaffolding akan semakin bertambah besar dibandingkan sistem dolken.

Apabila tidak terjadi kegagalan struktur perancah namun terjadi kegagalan waktu maka biaya perancah sistem dolken akan semakin mendekati biaya sistem scaffolding. Sehingga dengan adanya pernyataan tersebut maka sistem scaffolding akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem dolken apabila tidak terjadi kegagalan struktur perancah dan digunakan dalam luas lantai besar karena dengan adanya luas lantai yang besar maka penggunaan ulang dari kedua perancah tersebut semakin banyak

sehingga penambahan bahan perancah dari sistem dolken akan lebih besar dibandingkan dengan sistem scaffolding.

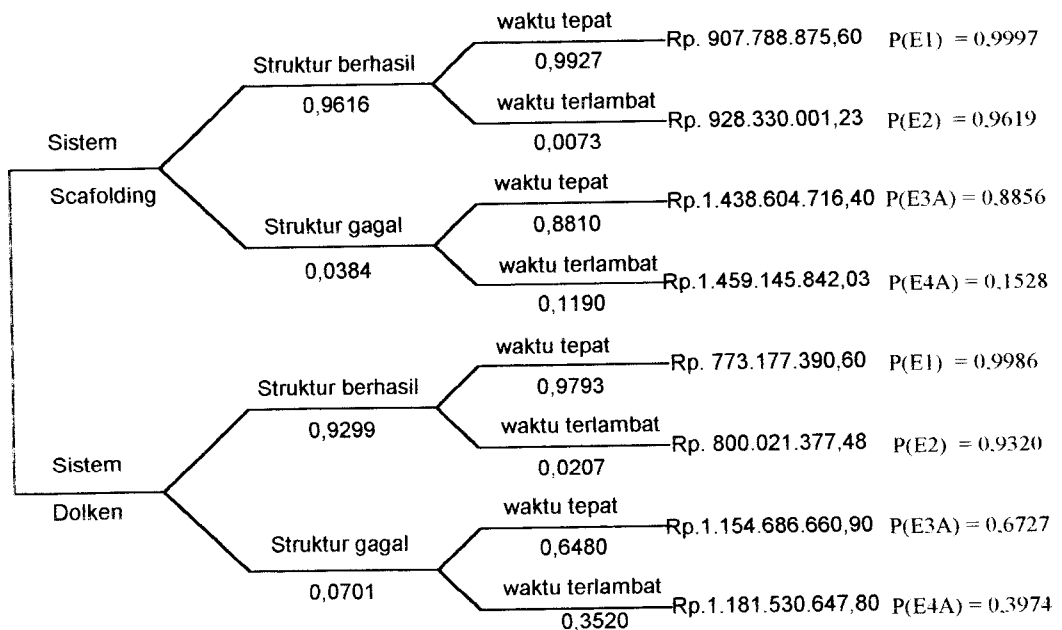
**3.2.4. Analisa Keputusan**

Dari analisa resiko dan analisa biaya yang sudah dihitung selanjutnya dapat dibuat gambar pohon keputusan. Dengan menggunakan Nilai Ekspektasi minimum maka dapat ditentukan sistem perancah mana yang terekonomis.

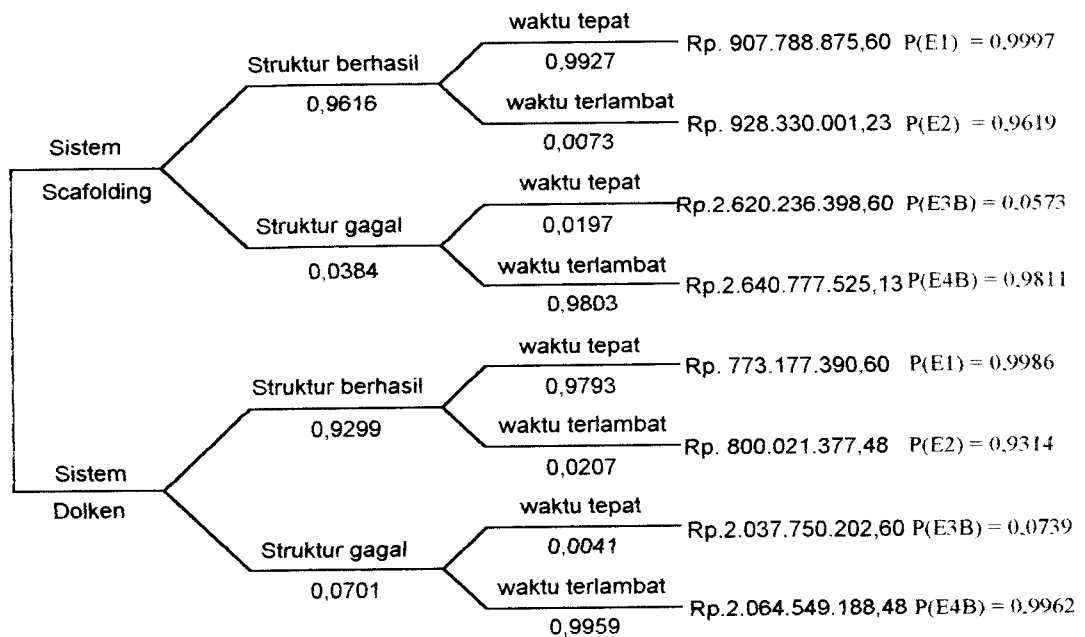
**1. Diagram Keputusan**

Ada dua jenis diagram keputusan yang digambarkan yaitu diagram keputusan untuk keruntuhan struktur perancah satu kali dan diagram keputusan untuk keruntuhan struktur tiga kali.

**a. Diagram Keputusan Untuk Keruntuhan Struktur Satu Kali**



### b. Diagram Keputusan Untuk Keruntuhan Struktur Tiga Kali



## 2. Pemilihan Alternatif

Dengan memperhitungkan faktor resiko dan nilai kriteria biaya, penentuan alternatif dilakukan berdasarkan Nilai Ekspektasi (NE) minimum.

### a. Tanpa Perhitungan Penggunaan Ulang dari Sistem Perancah

#### 1) Untuk kegagalan Struktur Perancah Satu Kali

##### a) Sistem Scaffolding

$$NE = \sum (P_i \times NK_i)$$

$$NE = 0,9616 \times ( 0,9927 \times \text{Rp.}907.788.875,60 + 0,0073 \times \text{Rp.} 928.330.001,23 ) + 0,0384 \times ( 0,8810 \times \text{Rp.}1.438.604.716,40 + 0,1190 \times \text{Rp.} 1.460.446.795,60 )$$

$$= \text{Rp. } 928.416.205,60$$

**b) Sistem Dolken**

$$NE = \Sigma ( P_i \times NK_i )$$

$$\begin{aligned} NE &= 0,9299 \times ( 0,9793 \times \text{Rp. } 773.177.390,60 + 0,0207 \times \text{Rp.} \\ &\quad 800.021.377,48 ) + 0,0701 \times ( 0,6480 \times \text{Rp.}1.154.686.660,80 + \\ &\quad 0,3520 \times \text{Rp. } 1.181.530.647,80 ) \\ &= \text{Rp. } 800.285.394,10 \end{aligned}$$

**1) Untuk Tiga Kali Keruntuhan Perancah**

**a) Sistem Scaffolding**

$$NE = \Sigma ( P_i \times NK_i )$$

$$\begin{aligned} NE &= 0,9616 \times ( 0,9927 \times \text{Rp.}907.788.875,60 + 0,0073 \times \text{Rp.} \\ &\quad 928.330.001,23 ) + 0,0384 \times ( 0,0197 \times \text{Rp.}2.620.236.398,60 + \\ &\quad 0,9803 \times \text{Rp. } 2.642.078.477,98 ) \\ &= \text{Rp. } 974.513.265,30 \end{aligned}$$

**b) Sistem Dolken**

$$NE = \Sigma ( P_i \times NK_i )$$

$$\begin{aligned} NE &= 0,9299 \times ( 0,9793 \times \text{Rp. } 773.177.390,60 + 0,0207 \times \text{Rp.} \\ &\quad 800.021.377,48 ) + 0,0701 \times ( 0,0041 \times \text{Rp.}2.037.750.202,60 + \\ &\quad 0,9959 \times \text{Rp. } 2.064.549.188,48 ) \\ &= \text{Rp. } 864.211.569,30 \end{aligned}$$

Dengan melihat Nilai Ekspektasi minimum, apabila terjadi kegagalan struktur satu kali maupun tiga kali ternyata sistem dolken lebih ekonomis dibandingkan sistem scaffolding pada bangunan dengan luas lantai 5508 m<sup>2</sup>.

### **b. Perhitungan Penggunaan Ulang dari Sistem Perancah**

Perlu diketahui bahwa penggunaan ulang dari sistem perancah dolken sampai 5 kali pakai dan sistem scaffolding sampai 30 kali pakai, sehingga perbandingan penggunaan ulang dari kedua sistem perancah adalah 1 : 6. Untuk perhitungan selanjutnya sistem perancah scaffolding biaya pemeliharaan perancah diambil sebesar 15 % dari nilai ekspektasi minimum dan biaya tenaga kerja diambil sebesar 20 % dari nilai ekspektasi minimum, sedangkan untuk perancah dolken biaya pemeliharaan diambil 20 % dari nilai ekspektasi minimum dan biaya tenaga kerja diambil 25 % dari nilai ekspektasi minimum.

Dengan berpedoman pada nilai ekspektasi minimum dan penggunaan ulang dari kedua sistem perancah tersebut maka dapat dihitung sebagai berikut :

#### **1) Untuk Keruntuhan Struktur Satu Kali**

##### **a) Sistem Scaffolding**

$$\begin{aligned} NE &= \text{Rp. } 928.416.205,60 + 29 \times ( 15 \% \times \text{Rp. } 928.416.205,60 + 20 \% \\ &\quad \times \text{Rp. } 928.416.205,60 ) \\ &= \text{Rp. } 10.351.840.690,00 \end{aligned}$$

##### **b) Sistem Dolken**

$$\begin{aligned} NE &= 6 \times \text{Rp. } 800.285.394,10 + 6 \times 4 \times ( 20 \% \times \text{Rp. } 800.285.394,10 + \\ &\quad 25 \% \times \text{Rp. } 800.285.394,10 ) \\ &= \text{Rp. } 13.444.800.620,00 \end{aligned}$$

### 1) Untuk Keruntuhan Struktur Tiga Kali

#### a) Sistem Scaffolding

$$\begin{aligned} NE &= \text{Rp. } 974.513.265,30 + 29 \times ( 15 \% \times \text{Rp. } 974.513.265,30 + 20 \% \\ &\quad \times \text{Rp. } 974.513.265,30 ) \\ &= \text{Rp. } 10.865.822.910,00 \end{aligned}$$

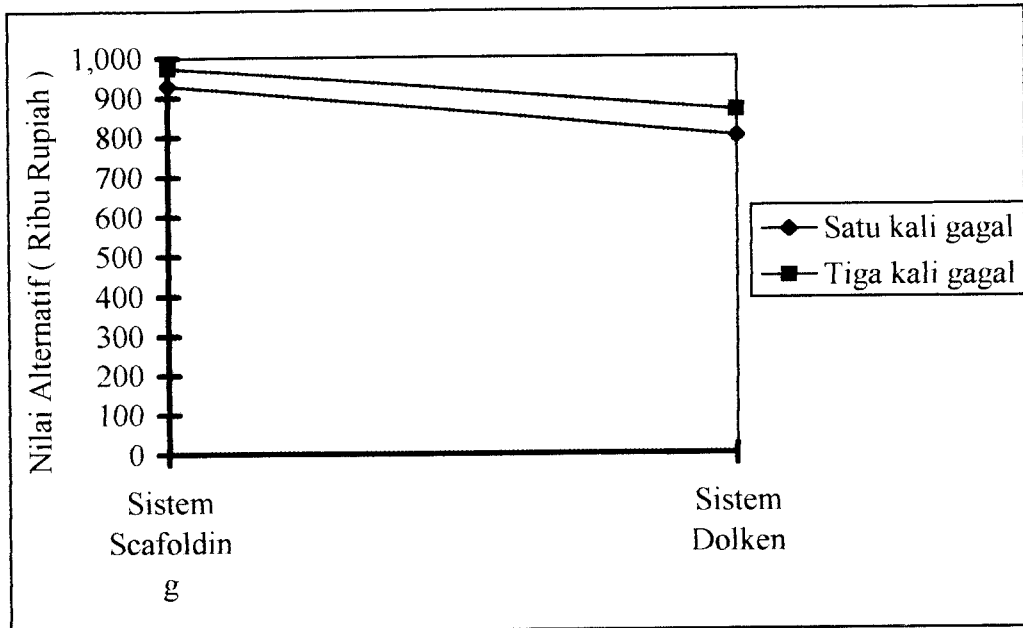
#### b) Sistem Dolken

$$\begin{aligned} NE &= 6 \times \text{Rp. } 864.211.569,30 + 6 \times 4 \times ( 20 \% \times \text{Rp. } 864.211.569,30 + \\ &\quad 25 \% \times \text{Rp. } 864.211.569,30 ) \\ &= \text{Rp. } 14.518.754.360,00 \end{aligned}$$

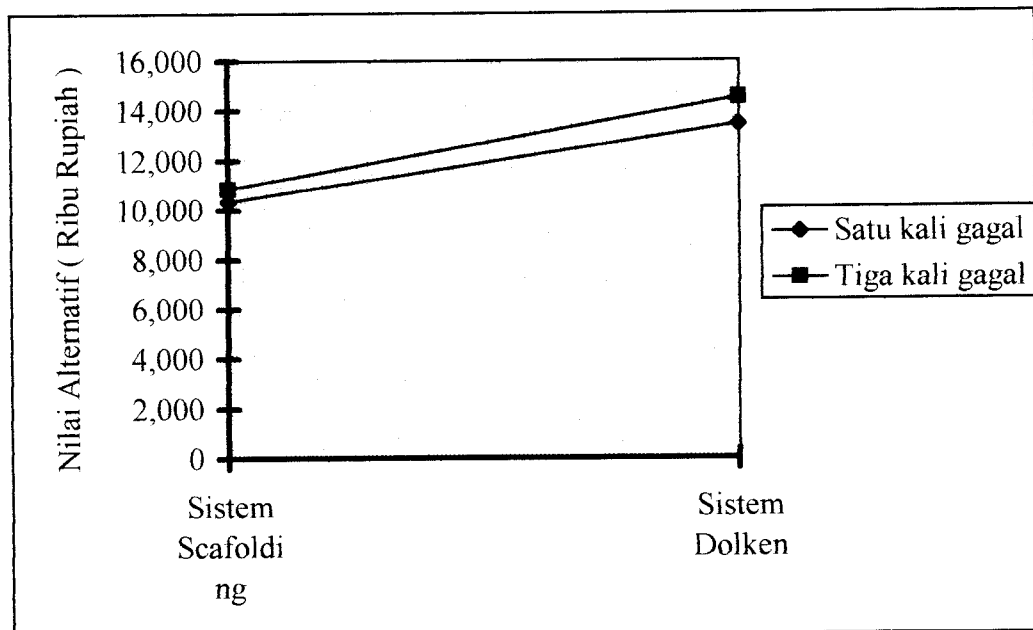
Dengan melihat hasil (a) dan (b) untuk kegagalan struktur satu kali maupun tiga kali dengan memperhitungkan besarnya penggunaan ulang dari kedua sistem perancah maka didapat bahwa sistem scaffolding akan lebih ekonomis dibandingkan sistem dolken. Untuk lebih jelasnya perbandingan nilai ekspektasi dari kedua sistem perancah dapat dilihat pada tabel 3.9 dan grafik 3.7 dan grafik 3.8.

**Tabel 3.9. Nilai Ekspektasi**

No	Kejadian	Sistem Scaffolding	Sistem Dolken
1	Tanpa perhitungan penggunaan ulang		
	- Satu kali gagal	Rp. 928.416.205,60	Rp. 800.285.394,10
	- Tiga kali gagal	Rp. 974.513.265,30	Rp. 864.211.569,30
2	Dengan perhitungan penggunaan ulang		
	- Satu kali gagal	Rp.10.351.840.690,00	Rp. 13.444.800.620,00
	- Tiga kali gagal	Rp.10.865.822.910,00	Rp. 14.518.754.360,00



**Grafik 3.7. Nilai Ekspektasi Tanpa Perhitungan Penggunaan Ulang**



**Grafik 3.8. Nilai Ekspektasi Dengan Perhitungan Penggunaan Ulang**



## BAB IV

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 4.1. Kesimpulan

Pada hasil penelitian dan pembahasan tentang analisa sistem perancah scaffolding dan sistem perancah dolken dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Apabila terjadi kegagalan struktur perancah maka akan menyebabkan peningkatan yang cukup besar pada nilai kegagalan terhadap waktu.
2. Probabilitas kegagalan terhadap waktu pada sistem dolken akan lebih besar jika dibandingkan dengan probabilitas kegagalan terhadap waktu pada sistem scaffolding. Hal ini disebabkan di dalam pemasangan perancah sistem dolken lebih rumit sehingga membutuhkan waktu yang lama jika dibandingkan dengan sistem scaffolding.
3. Nilai kegagalan terhadap waktu mempunyai nilai kemungkinan gagal yang cukup besar dibandingkan kegagalan terhadap struktur.
4. Adanya pengaruh kegagalan struktur terhadap kegagalan waktu, makin besar kegagalan struktur makin besar pula kegagalan terhadap waktu.
5. Nilai probabilitas terhadap kegagalan struktur sangat dipengaruhi oleh mutu bahan, dimensi bahan dan jarak pemasangan perancah yang akan menimbulkan momen dan gaya geser.
6. Sistem dolken akan lebih ekonomis dibandingkan sistem scaffolding apabila hanya digunakan sekali pakai (tanpa penggunaan ulang) dan luas lantai yang kecil, sedangkan sistem scaffolding akan lebih ekonomis dibandingkan sistem dolken apabila akan digunakan berkelanjutan (bukan sekali pakai) dan pada luas lantai yang besar.

#### **4.2. Saran-Saran**

1. Perlu diadakan penelitian lebih dari satu proyek sebagai bahan perbandingan sehingga hasil analisis dari kedua sistem perancah tersebut dapat dibuat analisa regresinya. Dari analisa regresi tersebut dapat diketahui batasan luas lantai yang paling ekonomis dari kedua sistem perancah tersebut.
2. Perlu diadakan penelitian untuk sistem scaffolding maupun sistem dolken diterapkan pada proyek yang berlainan yang mempunyai luas lantai sama.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ang, Alfredo H.S & Tang, Wilson H., 1975, PROBABILITY CONCEPT IN ENGINEERING PLANNING AND DESIGN, BASIC PRINCIPLES, John Wiley & Sons.
2. Iman Soeharto, 1995, MANAJEMEN PROYEK, Erlangga, Jakarta.
3. Istimawan D., 1992, MENGENAL ACUAN BETON-BERTULANG, Liberty, Yogyakarta.
4. Levin Richard I dan Kirkpatrick Charles A, 1972, PERENTJANAAN DAN PENGAWASAN DENGAN PERT DAN CPM, Bhratara, Djakarta.
5. Mangkusubroto, Kuntoro dan Trisnadi, Listiarini, 1986, ANALISA KEPUTUSAN PENDEKATAN SISTEM DALAM MANAJEMEN USAHA DAN PROYEK, ITB.
6. PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 NI-2 cetakan ke-7, 1984, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
7. PERATURAN KONTRUKSI KAYU INDONESIA NI-5 PKKI, 1961, Dept. P.U. Dirjen Cipta Karya, Bandung.
8. PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA INDONESIA (PPBBI), 1983, Bandung.
9. Sri Adiningsih, STATIKA, 1993, BPFE, Yogyakarta.
10. Surjadi, P. A., 1976, PENDAHULUAN TEORI KEMUNGKINAN DAN STATIKA, ITB.
11. Wigbout Ing, F, 1992, BUKU PEDOMAN TENTANG BEKISTING (KOTAK CETAK), Erlangga, Jakarta.

## PERHITUNGAN HARGA SISTEM PERANCAH

### 1. Sistem Scaffolding

#### - Perancah Lantai ( per m<sup>2</sup> )

- Support besi 2 x Rp. 70.000,00	= Rp. 140.000,00
- Balok kayu memanjang dan melintang	= Rp. 20.000,00
	<hr/>
	= Rp. 160.000,00

#### - Perancah Kolom ( 1 set )

##### Kolom Besar ( 50 x 65 cm<sup>2</sup> )

- Support besi 4 x Rp.70.000,00	= Rp. 280.000,00
- Besi sekur 8 x Rp. 25.000,00	= Rp. 200.000,00
- Baut sekur	= Rp. 20.000,00
	<hr/>
	= Rp. 500.000,00

##### Kolom Kecil ( 20 x 30 cm<sup>2</sup> )

- Support besi 4 x Rp.70.000,00	= Rp. 280.000,00
- Besi sekur 8 x Rp. 12.500,00	= Rp. 100.000,00
- Baut sekur	= Rp. 20.000,00
	<hr/>
	= Rp. 400.000,00

#### - Perancah Tangga ( 1 set )

- Support besi 15 x Rp.70.000,00	= Rp. 1.050.000,00
- Balok kayu melintang dan memanjang	= Rp. 300.000,00
- Balok kayu penjepit	= Rp. 100.000,00
- Pasak	= Rp. 50.000,00
	<hr/>
	= Rp. 1.500.000,00

## 2. Sistem Dolken

### - Perancah Lantai ( per m<sup>2</sup> )

- Support kayu 2 x Rp. 30.000,00	= Rp. 60.000,00
- Balok kayu memanjang dan melintang	= Rp. 20.000,00
	<hr/>
	= Rp. 80.000,00

### - Perancah Kolom ( 1 set )

#### Kolom Besar ( 50 x 65 cm<sup>2</sup> )

- Support kayu 8 x Rp.30.000,00	= Rp. 240.000,00
- Balok kayu 8 x Rp. 15.000,00	= Rp. 120.000,00
- Kayu dasar support	= Rp. 10.000,00
	<hr/>
	= Rp. 370.000,00

#### Kolom Kecil ( 20 x 30 cm<sup>2</sup> )

- Support kayu 8 x Rp.30.000,00	= Rp. 240.000,00
- Kayu sekur 8 x Rp. 8.750,00	= Rp. 70.000,00
- Kayu dasar support	= Rp. 10.000,00
	<hr/>
	= Rp. 320.000,00

### - Perancah Tangga ( 1 set )

- Support kayu 15 x Rp.30.000,00	= Rp. 450.000,00
- Balok kayu melintang dan memanjang	= Rp. 300.000,00
- Balok kayu penjepit	= Rp. 100.000,00
- Pasak	= Rp. 50.000,00
	<hr/>
	= Rp. 900.000,00

ANALISA STRUKTUR BALOK MEMANJANG (KG-CM) DENGAN SAP90 OLEH KISMADI  
SYSTEM

L=1 : 1= BEBAN TETAP

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0
2	X=100	Y=0	Z=0
3	X=200	Y=0	Z=0
4	X=300	Y=0	Z=0
5	X=400	Y=0	Z=0

RESTRAINTS

1	R=1,1,1,0,0,0
2	R=1,1,1,1,1,1
3	R=1,1,1,1,1,1
4	R=1,1,1,1,1,1
5	R=1,1,1,0,0,0

FRAME

NM=1 NL=1 NSEC=5

C \*\*\*\*\* KETERANGAN BAHAN \*\*\*\*\*

1 SH=R T=6,10

C \*\*\*\*\* KETERANGAN BEBAN \*\*\*\*\*

1 WG=0,-5.55,0

C \*\*\*\*\* KETERANGAN HUBUNGAN ELEMEN \*\*\*\*\*

1 1 2 M=1 LP=1,0 NSL=1

2 2 3 M=1 LP=1,0 NSL=1

3 3 4 M=1 LP=1,0 NSL=1

4 4 5 M=1 LP=1,0 NSL=1

ANALISA STRUKTUR BALOK MELINTANG (KG-CM) DENGAN SAP90 OLEH KISMADI  
SYSTEM

L=1 : 1= BEBAN TETAP

JOINTS

1 X=0 Y=0 Z=0  
2 X=150 Y=0 Z=0  
3 X=300 Y=0 Z=0  
4 X=450 Y=0 Z=0

RESTRAINTS

1 R=1,1,1,0,0,0  
2 R=1,1,1,1,1,1  
3 R=1,1,1,1,1,1  
4 R=1,1,1,0,0,0

FRAME

NM=1 NL=1 NSEC=5

C \*\*\*\*\* KETERANGAN BAHAN \*\*\*\*\*

1 SH=R T=6,10

C \*\*\*\*\* KETERANGAN BEBAN \*\*\*\*\*

1 WG=0,-1.85,0

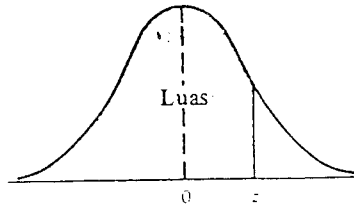
C \*\*\*\*\* KETERANGAN HUBUNGAN ELEMEN \*\*\*\*\*

1 1 2 M=1 LP=1,0 NSL=1

2 2 3 M=1 LP=1,0 NSL=1

3 3 4 M=1 LP=1,0 NSL=1

Tabel 4 Luas di bawah kurva normal



z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0437	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0665	0,0653	0,0641	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
-0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998