



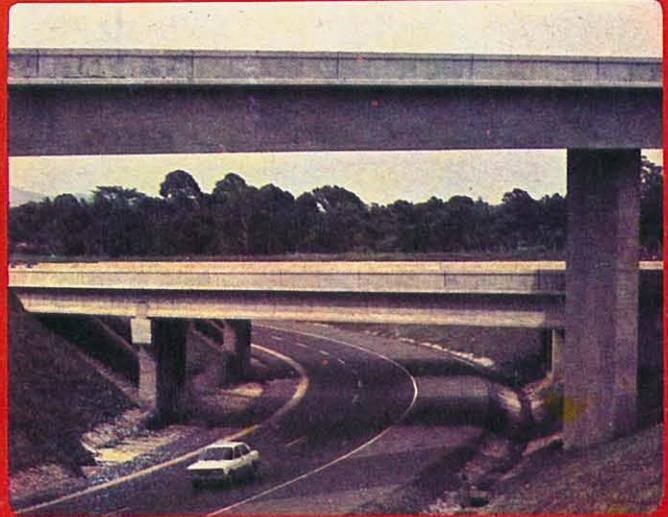
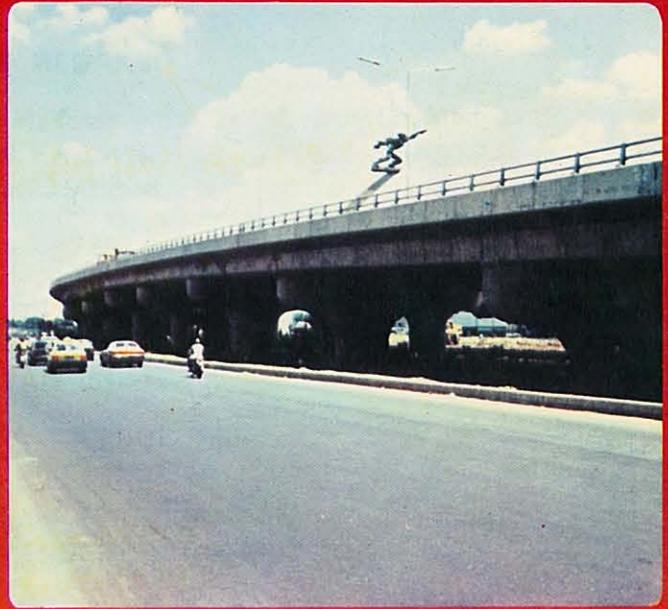
# JURNAL PUSLITBANG JALAN

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

No. 3 THN KE II

ISSN : 0216 - 4124

DESEMBER 1985



DENGAN SEMANGAT PENGABDIAN DAN KEBAKTIAN P.U. 3 DESEMBER  
MASUKAN TEKNOLOGI SEBAGAI PRODUK PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
MENUNJANG TERWUJUDNYA PENINGKATAN MUTU JARINGAN JALAN

## PELINDUNG

H.A.B. Hasibuan

## PEMBINA

S. Soelastri                      Gandhi Harahap  
Rosjid Sastramihardja      Soenardi  
ling Rochman K

### PEMIMPIN UMUM

Soetantyo Sunardi

### PIMPINAN REDAKSI/ PENANGGUNG JAWAB

M. Wahyu Adjie

### REDAKTUR PELAKSANA

M. Sjahdanulirwan

### STAF REDAKSI

Nanny Kusminingrum  
I.F. Poernomosidhi

R.H. Tular  
G.J.W. Fernandes  
Roosmina Ahmad

Erry Ch. Mathias  
Syukur Wahyono

---

---

## DAFTAR ISI

PERKIRAAN A.A.D.T. DENGAN CARA PROPORSI .....	1
Hikmat Iskandar.	
PENGGUNAAN STATISTIK DALAM PERENCANAAN, PENYELIDIKAN TANAH DAN PENGENDALIAN MUTU ....	9
Alan Rachlan	
BANTALAN JEMBATAN DARI KARET ALAM .....	18
Max Saiendu.	
PENGUKURAN KERATAAN PERMUKAAN JALAN DENGAN ALAT PROFILOGRAF .....	26
Soemartono M. & Soeroso.	

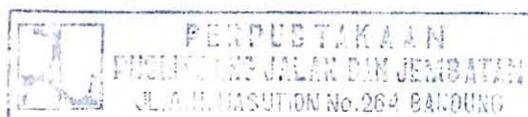
---

---

## JURNAL PUSLITBANG JALAN

diterbitkan oleh :

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN  
BALITBANG PU DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM  
Jalan Raya Timur No. 264, Alamat Kawat : DPMJ - P.O. Box 298  
Telp.: 78251 - 78252 - 78253 Telex : 28377 DPMJ  
B A N D U N G



# Pengantar Redaksi

*Sesuai dengan pengarahan dari pihak P2JP (Panitia Penilaian Jabatan Peneliti) LIP1, di mana salah satu persyaratan agar Jurnal Puslitbang Jalan (J.P.J) dapat dikategorikan sebagai publikasi ilmiah (sehingga dapat berfungsi sebagai wadah penilaian angka kredit bagi jenjang karier peneliti), adalah karakteristik Jurnal itu sendiri yang seyogyanya hanya khusus berisi artikel-artikel ilmiah saja.*

*Oleh karena itu, sejak saat ini yaitu dimulai dari penerbitan No. 3 tahun II Desember 1985, J.P.J. tampil dengan hanya memuat artikel-artikel ilmiah dari penelitian dan pengembangan bidang jalan.*

*Seperti telah kita ketahui bersama, bahwa J.P.J terbitan nomor-nomor lalu, di samping berisi artikel-artikel ilmiah juga memuat tulisan-tulisan yang bersifat berita, seperti di antaranya: Puslitbang Jalan dalam RPI '85, Review KTTJ I, Aneka Berita, dan lain sebagainya.*

*Tulisan-tulisan yang bersifat berita tersebut akan diterbitkan secara terpisah, barangkali berbentuk Bulletin, dan tentunya sasaran penyebarannya pun akan berlainan dengan J.P.J.*

*J.P.J. nomro ini, hadir bertepatan dengan peringatan Hari Kebaktian Pekerjaan Umum 3 Desember ke-40. Dalam hubungan ini, maka J.P.J. dapat pula berperan serta dalam mengetengahkan kegiatan penelitian dan pengembangan yang menghasilkan perangkat lunak (software) serta perangkat otak (brainware) beserta hasil-hasilnya yang memberikan kesan kemampuan pemikir-pemikir bangsa Indonesia. Atau dengan kata lain, dalam 4 dasa warsa pengabdian dan kebaktian P.U., J.P.J. berperan serta menggalakkan penguasaan rekayasa bidang Pekerjaan Umum pada umumnya dan bidang jalan pada khususnya dalam mewujudkan cita-cita bangsa.*

*"Dengan semangat Pengabdian dan Kebaktian P.U. 3 Desember Masukan Teknologi sebagai produk penelitian dan pengembangan menunjang terwujudnya peningkatan mutu jaringan jalan".*

**PEMIMPIN REDAKSI.**

# Perkiraan AADT dengan cara Proporsi



Hikmat Iskandar

*Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHR-tahunan) adalah angka yang mewakili demand lalu lintas terhadap fasilitas jalan. Besarannya, bervariasi, tergantung kepada aktivitas socio-ekonomi dari areal yang dilayani oleh ruas jalan tersebut.*

*LHR-tahunan umumnya dipakai sebagai masukan dalam proses perencanaan jalan, sebagai dasar untuk menetapkan geometri jalan, tebal dan jenis perkerasan jalan dan evaluasi ekonomi suatu appraisal dibidang jalan.*

*Karena proses untuk mendapatkan nilai LHR-tahunan cukup lama (1 tahun penuh) dan ini dianggap kurang praktis ataupun kurang ekonomis, maka diperlukan suatu cara estimasi yang cukup tepat, mudah dilaksanakan dalam arti tidak diturunkan dari data survey yang lama dan cukup murah.*

*Berdasarkan pengalaman, di mana LHR-tahunan sering disamakan dengan LHR 7 hari yang mana hal ini dapat menyebabkan kesalahan yang besar (bisa sampai  $\pm 20\%$ ), maka dalam tulisan ini dikemukakan satu cara yang disebut cara proporsi.*

*Perkiraan LHR-tahunan cara proporsi ini berdasarkan kepada pola rata-rata pergerakan lalu lintas di dalam satu regional dimana jaringan jalannya terintergrasi secara fungsional antara ruas yang satu dengan ruas-ruas jalan yang lainnya.*

*Atas dasar anggapan bahwa pola pergerakan manusia tidak berubah penting dari waktu ke waktu, maka pola-pola tersebut dapat dijabarkan dalam bentuk angka yang disebut faktor proporsi musiman (seasonal variation factors).*

*Berdasarkan faktor-faktor tersebut, perkiraan LHR-tahunan dilakukan dengan mengoreksi data volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) untuk satu satuan waktu tertentu (misal 7 hari) oleh faktor-faktor proporsi tersebut.*

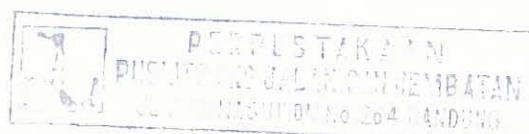
## PENDAHULUAN

Yang disebut lalu lintas harian rata-rata tahunan (disingkat LHR-tahunan) adalah jumlah lalu lintas selama penuh 1 tahun atau 365 hari dibagi oleh jumlah hari pada tahun yang bersangkutan. Umumnya LHR-tahunan dihitung mulai 1 Januari sampai dengan 31 Desember dari tahun yang bersangkutan.

Yang disebut Lalu Lintas Harian Rata-rata (disingkat LHR) adalah jumlah lalu lintas selama beberapa hari tertentu yang lamanya lebih besar dari 1 hari tetapi lebih kecil dari 365 hari, dibagi oleh jumlah hari tertentu tersebut.

Dari literatur 1) diperoleh informasi bahwa di Kenya ternyata nilai LHR tidak sama dengan LHR-tahunan. Semangkin pendek jumlah hari untuk menurunkan LHR, semangkin besar perbedaan nilainya jika dibandingkan dengan LHR tahunan. Untuk lebih jelasnya periksa Lampiran 1).

Informasi ini tampaknya juga sesuai dengan apa yang terjadi di Indonesia khususnya terhadap beberapa ruas jalan yang pernah diteliti yang menunjukkan bahwa volume lalu lintas harian selama seminggu, mingguan selama 1 bulan dan bulanan selama setahun berlain-lainan (untuk hal ini periksa Lampiran 2), tetapi untuk beberapa ruas jalan, kelainan-kelainan tersebut tampak terpola, hampir memiliki pola fluktuasi yang sama.



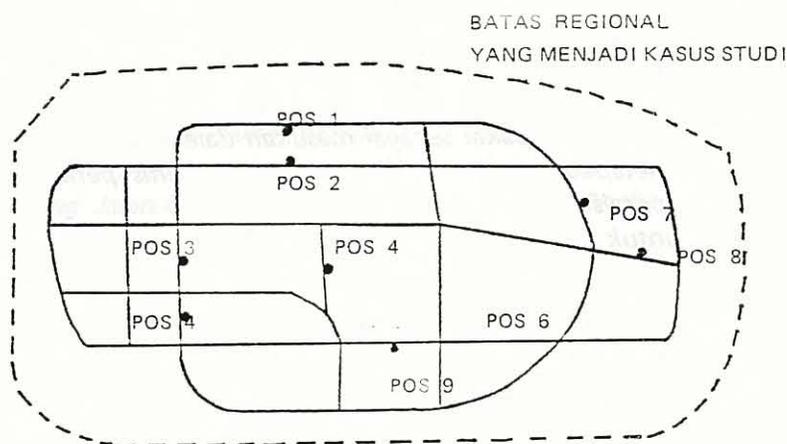
Informasi dari Kenya tersebut menunjukkan, perbedaan antara LHR dan LHR-tahunan yang dinyatakan oleh nilai kira-kira error (%); di mana waktu pengumpulan data LHR, ditetapkan secara random.

Error tersebut diperkirakan masih dapat diperkecil seandainya pola fluktuasi lalu lintasnya yang dinyatakan sebagai faktor-faktor musiman diketahui. Dengan demikian perkiraan LHR-tahunan dapat dilakukan lebih tepat dan cukup murah.

Untuk mengetahui pola fluktuasi lalu lintas satu regional, dapat dilakukan cross section analisis terhadap pola volume lalu lintas pada ruas-ruas jalan di regional yang bersangkutan selama penuh 1 tahun.

## PENDEKATAN TEKNIS PERKIRAAN LHR-TAHUNAN CARA PROPORSI

Tinjau suatu jaringan jalan yang ada pada suatu regional, pilih secara random beberapa ruas jalan yang dianggap dapat dijadikan sample mewakili pola fluktuasi keseluruhan regional sebagai populasinya.



Skema Jaringan Jalan pada satu regional  
(terdapat n ruas jalan sebagai sample)

Kumpulkan data volume lalu lintas secara menerus selama 1 tahun dari ruas-ruas jalan yang menjadi sample tersebut, sehingga dapat diperoleh data hariannya selama 1 tahun dan didapat LHR-tahunannya. Misal akan dianalisa sifat fluktuasi regional pada minggu ke 1 bulan Maret pada tahun yang bersangkutan, maka dari data dapat dihitung LHR 7 hari dari tiap-tiap ruas jalan yang menjadi sample tersebut.

Jika LHR 7 hari tersebut dibandingkan terhadap LHR-tahunannya maka akan didapat proporsi LHR minggu ke 1 bulan Maret terhadap LHR-tahunannya untuk setiap ruas jalan yang menjadi sample.

Proporsi tersebut sebagai berikut:

$$P_i = \frac{\text{LHR 7 hari}}{\text{LHR - tahunan}} \quad \dots \dots \dots 1)$$

dimana :

$P_i$  = Proporsi LHR 7 hari terhadap LHR-tahunan dari ruas jalan ke i.

Jika jumlah ruas jalan yang menjadi sample sebanyak N buah, maka akan terdapat  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$  buah nilai proporsi, sehingga akan didapat nilai rata-rata  $\bar{P}$ , standard deviasi dan 'coefficient of variation'-nya sebagai berikut :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N} \quad \dots \dots \dots 2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{(N - 1)}} \quad \dots \dots \dots 3)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{P}} \quad \dots \dots \dots 4)$$

Nilai  $C_v$  menunjukkan variasi fluktuasi antara ruas-ruas jalan pada regional tersebut, semangkin kecil nilai-nilai  $C_v$  menunjukkan semakin terpolanya secara seragam fluktuasi volume lalu lintas dari ruas-ruas jalan yang ada pada regional tersebut.

Misal t adalah LHR 7 hari dari satu ruas jalan pada group tersebut yang mana data ini akan dipakai untuk memperkirakan besarnya LHR-tahunan ruas jalan yang bersangkutan. Sebut LHR-tahunan yang akan diperkirakan tersebut = T, maka :

$$T = \frac{t}{P} \dots\dots\dots \text{(perkiraan)} \dots\dots\dots 5)$$

sebut LHR-tahunan yang sebenarnya = X, maka

$$X = \frac{t}{p} \dots\dots\dots \text{(sebenarnya)} \dots\dots\dots 6)$$

Maka akan terdapat kesalahan (error) sebesar :

$$\Delta = T - X = \frac{t}{P} - x \dots\dots\dots 7)$$

Proporsi kesalahan terhadap nilai sebenarnya :

$$x = \frac{\Delta}{X} = \frac{t/P - x}{X} = \frac{t}{PX} - 1 = \frac{1}{P} \left( \frac{t}{X} \right) - 1$$

$$= \frac{P}{P} - 1 \dots\dots\dots 8)$$

Jika hal ini dilakukan untuk seluruh ruas jalan yang menjadi sample, maka tiap ruas jalan akan memiliki kesalahan sebagai berikut :

$$x_i = \frac{P_i}{\bar{P}} - 1 \dots\dots\dots 9)$$

di mana subscript i menunjukkan jumlah ruas jalan.

Nilai rata-rata dari proporsi kesalahan tersebut adalah :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$= \left\{ \left( \frac{P_1}{\bar{P}} - 1 \right) + \left( \frac{P_2}{\bar{P}} - 1 \right) + \left( \frac{P_3}{\bar{P}} - 1 \right) \dots\dots\dots \right.$$

$$\left. \left( \frac{P_N}{\bar{P}} - 1 \right) \right\} / N$$

$$= \frac{1}{\bar{P} N} \{ P_1 - \bar{P} + P_2 - \bar{P} + P_3 - \bar{P} \dots\dots\dots$$

$$P_N - \bar{P} \}$$

$$= \frac{1}{\bar{P} N} \{ P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots P_N - N \bar{P} \}$$

$$= \frac{1}{\bar{P} N} \{ P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots \}$$

$$P_N - N \left( \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots P_N}{N} \right) = 0$$

$$\therefore \bar{x} = 0 \dots\dots\dots 10)$$

Standard deviasi dari proporsi kesalahan ini :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \left( \frac{P_i}{\bar{P}} - 1 \right) - 0 \right\}^2}{N - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}{\bar{P}^2 (N - 1)}}$$

$$= \frac{1}{\bar{P}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}{(N - 1)}} = \frac{1}{\bar{P}} \{S\}$$

$$\therefore S_x = \frac{S}{\bar{P}} = C_v \dots\dots\dots 11)$$

Jika proporsi kesalahan (xi) berdistribusi normal, maka 95% probabilitas proporsi kesalahan, akan berkisar di antara nilai-nilai sebagai berikut :

$$- 2 C_v \leq x \leq + 2 C_v$$

$$- 2 C_v \leq \frac{T - X}{X} \leq + 2 C_v$$

$$\frac{T}{1 + 2 C_v} \leq X \leq \frac{T}{1 - 2 C_v} \dots\dots\dots 12)$$

Jadi X, LHR-tahunan yang sebenarnya akan berkisar diantara nilai-nilai Y terdapat pada persamaan 12) dengan tingkat probabilitas 95%.

Melihat rumus no. 12) dan 5), maka parameter dasar yang dipakai dalam perkiraan ini adalah :

- a)  $\bar{P}$  - nilai rata-rata proporsi LHR 7 hari terhadap LHR-tahunan, yang dalam hal ini kemudian disebut faktor proporsi minggu pertama, bulan Maret sesuai dengan pemisalan di muka.
- b)  $C_v$  - koefisien variasi nilai-nilai proporsi tersebut.

Untuk lebih umum, nilai-nilai  $\bar{P}$  dan  $C_v$ , dapat diturunkan dengan cara yang sama seperti di atas untuk berbagai pengelompokan waktu. Hal yang paling umum, pengelompokan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 1**  
**KLASIFIKASI FAKTOR-FAKTOR PROPORSI**

Bulan	M i n g g u			
	1	2	3	4
1	$P_{11} ; C_{v-11}$	$P_{12} ; C_{v-12}$	$P_{13} ; C_{v-13}$	$P_{14} ; C_{v-14}$
2	$P_{21} ; C_{v-21}$	$P_{22} ; C_{v-22}$	$P_{23} ; C_v$	$P_{24} ; C_{v-24}$
3	$P_{31} ; C_{v-31}$	$P_{32} ; C_{v-32}$	$P_{33} ; C_v$	$P_{34} ; C_{v-34}$
4	$P_{41} ; C_{v-41}$	$P_{42} ; C_v$	$P_{43} ; C_v$	$P_{44} ; C_{v-44}$
5	$P_{51} ; C_{v-51}$	$P_{52} ; C_v$	$P_{53} ; C_v$	$P_{54} ; C_{v-54}$
6	$P_{61} ; C_{v-61}$	$P_{62} ; C_{v-62}$	$P_{63} ; C_v$	$P_{64} ; C_{v-64}$
7	$P_{71} ; C_{v-71}$	$P_{72} ; C_{v-72}$	$P_{73} ; C_v$	$P_{74} ; C_{v-74}$
8	$P_{81} ; C_{v-81}$	$P_{82} ; C_{v-82}$	$P_{83} ; C_v$	$P_{84} ; C_{v-84}$
9	$P_{91} ; C_{v-91}$	$P_{92} ; C_{v-92}$	$P_{93} ; C_v$	$P_{94} ; C_{v-94}$
10	$P_{10-1} ; C_{v-10.1}$	$P_{10-2} ; C_{v-10.2}$	$P_{10.3} ; C_v$	$P_{10.4} ; C_{v-10.4}$
11	$P_{11-1} ; C_{v-11.1}$	$P_{11.2} ; C_{v-11.2}$	$P_{11.3} ; C_v$	$P_{11.4} ; C_{v-11.4}$
12	$P_{12-1} ; C_{v-12.1}$	$P_{12.2} ; C_{v-12.2}$	$P_{12.3} ; C_v$	$P_{12.4} ; C_{v-12.4}$

Catatan :  
faktor-faktor proporsi di atas diturunkan untuk data lalu lintas dengan perbedaan waktu pencatatan per hari sebagai berikut :

- a) 24 jam/hari (jam 00.00 s/d 24.00)
- b) 16 jam/hari (jam 06.00 s/d 22.00)
- c) 12 jam/hari (jam 06.00 s/d 18.00)

**PENYELIDIKAN KARAKTERISTIK VOLUME LALU LINTAS REGIONAL**

Areal study untuk aplikasi cara proporsi ini harus dipilih pada ruas-ruas jalan yang secara fungsi terintegrasi antara yang satu dengan lainnya. Pada group jalan ini dilakukan sampling secara random, untuk memilih ruas-ruas jalan yang dijadikan sample. Pada ruas-ruas jalan yang terpilih, dilakukan perhitungan volume lalu lintas secara continue selama penuh 1 tahun (dari tanggal 1 Januari s/d tgl. 31 Desember) untuk mendapatkan volume lalu lintas harian dan LHR-tahunan.

Dari data-data tersebut dapat dihitung P dan  $C_v$  menggunakan rumus 2), 3) dan 4) untuk pengelompokan waktu seperti pada Tabel 1. Dari hasil ini faktor-faktor tersebut ( P ) dievaluasi keseragaman fluktuasinya dengan cara menilai angka  $C_v$ -nya.

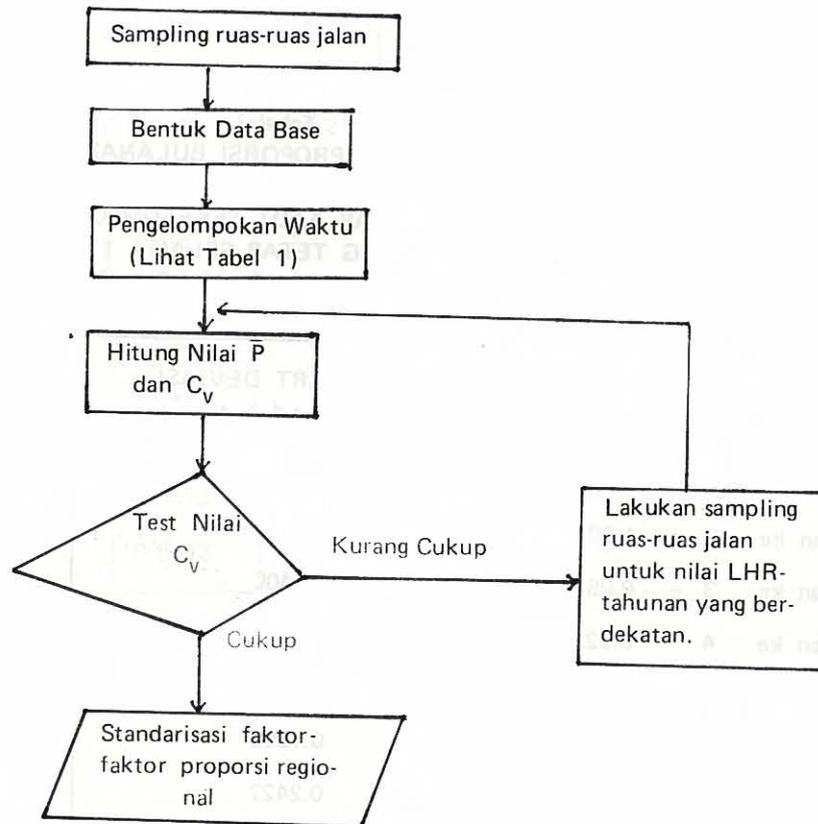
Nilai  $C_v$  yang  $\leq 5\%$  dianggap cukup karena nilai ini akan menyebabkan error dari estimasi  $\pm 10\%$  untuk tingkat probabilitas 95%. Jika terdapat nilai  $C_v$  yang terlalu besar, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap pengambilan ruas-ruas jalan sebagai sample tersebut.

Pengelompokan berikutnya dapat dilakukan terhadap besarnya (rate) dari angka LHR-tahunannya. Ruas-ruas jalan yang memiliki nilai LHR-tahunan yang berdekatan dikumpulkan dan dijadikan 1 group ruas jalan sebagai sample untuk kemudian dihitung P dan  $C_v$ -nya.

Jika dari hasil pengelompokan terakhir ini nilai  $C_v$ -nya masih tetap besar (katakan  $> 20\%$ ) maka dapat disimpulkan bahwa group jalan tersebut tidak memiliki hubungan fungsional antara yang satu dengan yang lainnya.

Tahap-tahap penelitian tersebut di atas dapat digambarkan secara 'chart' di bawah ini :

Gambar 2  
FLOW PENURUNAN NILAI PROPORSI REGIONAL



## APLIKASI NUMERIK CARA PROPORSI

Tahun 1982 pernah dilakukan pengumpulan data volume lalu lintas harian yang kontinue selama 1 tahun yang dilakukan oleh DPMJ. Pencatatan data tersebut dilakukan pada 5 ruas jalan di Jawa Barat menggunakan alat ATC (Automatic Traffic Counter) produksi DPMJ (saat itu). Lokasi pencatatan dapat dilihat pada Lampiran no. 3. Sekalipun data tersebut belum dapat dianggap mewakili regional Jawa Barat (secara sampling), tetapi dalam kasus ini, hal tersebut dianggap memenuhi untuk sementara untuk tujuan membuat model pengaplikasian teori.

Untuk memudahkan perhitungan dan kemudahan selanjutnya jika kelak telah terkumpul data yang cukup, maka ditulis program perhitungannya dalam bahasa BASIC II yang sesuai pengoperasiannya dengan komputer WANG - system 2200 yang ada di Puslitbang Jalan.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan pada 5 ruas jalan tersebut, dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3, sebagai berikut :

Tabel 2  
FAKTOR PROPORSI BULANAN

PROPORSI LHR-bulanan TERHADAP AADT SEKELOMPOK VOLUME LALU-LINTAS  
PADA POS-POS PENCATATAN YANG TETAP SELAMA 1 TAHUN PADA TAHUN 1982  
(5 POS PENCATATAN DI PROPINSI JAWA BARAT)

PROPORSI BULAN KE : F-bulan ke	STANDART DEVIASI (s.d.)	COEFICIENT VARIANCY Cv (%)
Bulan ke 1 = 0.9233	0.0814	8.82
Bulan ke 2 = 1.0076	0.0874	8.68
Bulan ke 3 = 0.9578	0.0400	4.17
Bulan ke 4 = 0.9297	0.0530	5.70
Bulan ke 5 = 0.9263	0.0568	6.13
Bulan ke 6 = 0.9926	0.1395	14.05
Bulan ke 7 = 1.2158	0.2427	19.76
Bulan ke 8 = 0.9813	0.0719	7.33
Bulan ke 9 = 0.9350	0.0911	9.74
Bulan ke 10 = 1.0182	0.0498	4.89
Bulan ke 11 = 1.0040	0.0496	4.94
Bulan ke 12 = 1.1134	0.0850	7.63

Tabel 3  
FAKTOR PROPORSI MINGGUAN

PROPORSI LHR - mingguan TERHADAP LHR-bulan ybs. DARI SEKELOMPOK POS  
PENCATATAN VOLUME LALU-LINTAS (5 POS) DI JAWA BARAT PADA TAHUN 1982

BULAN	P-minggu ke 1		P-minggu ke 2		P-minggu ke 3		P-minggu ke 4	
	P	Cv(%)	P	Cv(%)	P	Cv(%)	P	Cv(%)
1	1.0254	4.23	1.0390	8.15	0.9020	7.59	0.9197	6.77
2	0.9734	3.32	0.9946	2.38	1.0437	3.73	0.9881	3.76
3	0.9922	10.96	1.0746	5.65	0.9875	5.56	0.9502	6.64
4	1.0132	3.81	0.9781	10.21	0.9766	3.56	1.0376	10.07
5	0.9420	8.71	1.0890	5.75	1.0285	0.25	0.9030	12.54
6	1.0170	4.02	1.519	18.40	0.9403	11.87	0.8884	16.07
7	0.7883	23.63	0.7573	24.42	1.4492	27.76	1.1467	19.01
8	1.0342	4.56	0.9608	3.75	0.9921	3.35	0.9927	1.98
9	0.9959	3.45	1.0037	5.50	1.0055	2.75	1.0152	2.81
10	1.0267	5.57	1.0221	6.29	1.0081	2.61	0.9780	10.25
11	0.9900	3.20	0.9913	3.65	1.0014	3.60	1.0001	3.36
12	0.9881	15.54	0.8683	10.07	1.0943	12.36	1.0680	8.96

Dari hasil tersebut di atas terlihat bahwa nilai-nilai  $C_v$  umumnya besar. Hal ini menyebabkan error estimasi untuk perkiraan LHR-tahunan yang akan besar. Ini dimungkinkan oleh sampling ruas-ruas jalan yang tidak berfungsi.

Kemungkinan untuk melakukan pengelompokan ruas-ruas jalan berdasarkan besarnya LHR-tahunan, sulit dilakukan karena jumlah sample ruas-ruas jalan yang sedikit (hanya 5).

#### CONTOH PENGGUNAAN

Jika tabel 2) dan 3) dianggap benar, maka penggunaannya dalam perencanaan seperti diuraikan berikut.

Pada pos 05 di tahun 1983 (1 tahun setelah faktor-faktor proporsi di Bab IV diturunkan), telah juga dilakukan pencatatan volume lalu lintas secara continue selama 1 tahun.

Dari data tersebut telah dihitung nilai LHR-tahunan = 1.820 kendaraan per hari.

Jika pada minggu kedua bulan Maret pada tahun tersebut seolah-olah hanya dilakukan survey menerus selama seminggu maka hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4

H a r i	Volume / hari
Senin	1.539
Selasa	1.550
Rabu	1.600
Kamis	1.597
Jumat	1.598
Sabtu	1.447
Minggu	2.086
<b>Total</b>	<b>11.417</b>
L H R = 1.631	

Dari tabel II dan III diperoleh :

$$\bar{P}_b = 0.9578 \text{ dan } C_{v-b} = 4.17\%$$

$$\bar{P}_m = 1.0746 \text{ dan } C_{v-m} = 5.65\%$$

$$P_{31} = (\bar{P}_b)(\bar{P}_m) = (0.9578)(1.0746)$$

$$C_{v-31} = \sqrt{C_{v-m}^2 + C_{v-b}^2} = 7.02\%$$

$$t = \mu \cdot LHR = 1.631 \text{ kendaraan/hari}$$

$$T = \frac{t}{\bar{P}_b \cdot \bar{P}_m} = \frac{1.631}{(1.0746)(0.9578)} =$$

$$= 1.585 \text{ kendaraan/hari.}$$

$$\frac{T}{1 - 2C_v} = \frac{1.585}{1 - (0.0702)(2)}$$

$$= 1.390 \text{ kendaraan/hari}$$

$$\frac{T}{1 - 2C_v} = \frac{1.585}{1 - (0.0702)(2)}$$

$$= 1.844 \text{ kendaraan/hari}$$

Jadi LHR-tahunan diperkirakan dengan tingkat probabilitas 95%, sebesar :  $1.390 \leq LHR\text{-tahunan} \leq 1.844$  kendaraan/hari.

Angka LHR-tahunan yang sebenarnya atas dasar-survey lapangan adalah 1.820 kendaraan/hari.

Terlihat bahwa LHR-tahunan (1983) terletak diantara 'range' LHR-tahunan perkiraan. Dengan demikian cara ini menunjukkan hasil yang positif.

## KESIMPULAN

1. LHR-tahunan tidak sama dengan LHR<sub>7 hari</sub> ; Jika LHR<sub>7 hari</sub> dipakai untuk mengestimate LHR-tahunan dengan cara menyamakannya, maka akan didapat error yang tidak dapat diduga, dan mungkin besar.
2. LHR-tahunan dapat diestimate dengan menggunakan data LHR yang diturunkan dari survey yang relatif pendek (misal 7 hari) dengan cara mengoreksinya menggunakan faktor-faktor proporsi. Disamping itu tingkat probabilitas dan errornya dapat juga diketahui.
3. Faktor-faktor proporsi dapat diturunkan dari "Database" volume lalu lintas harian selama 1 tahun untuk 1 group jalan.

Penyerapan methoda cara proporsi ini pada beberapa ruas di jalan di Jawa Barat menunjukkan hasil yang positif.

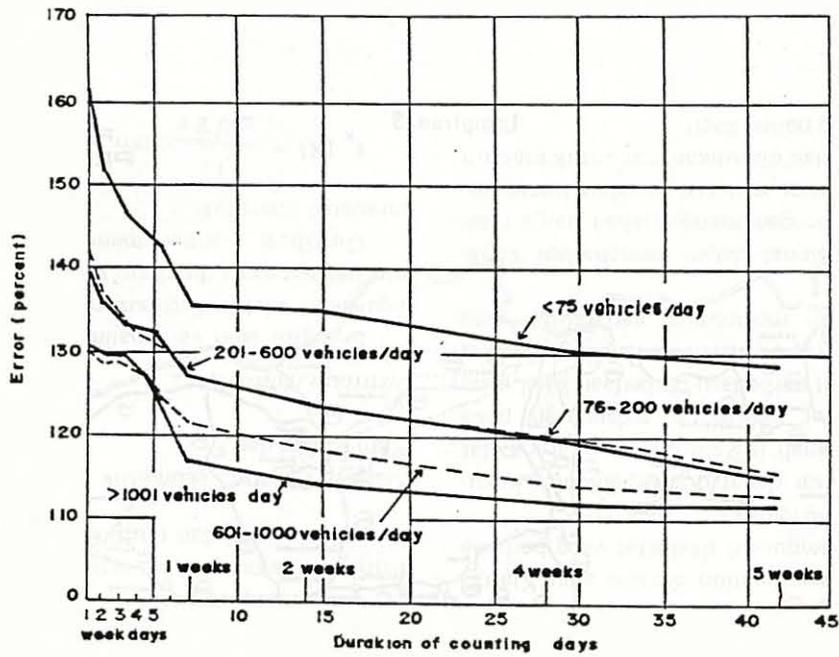
## DAFTAR PUSTAKA

1. J.D.G.F., Howe, "A Review of Rural Traffic Counting Method in Developing Countries", Dept. of the Environment, TRRL, LR 427, Crowthorne, Berkshire, U.K., 1972.
2. Bellamy, P., "Seasonal Variation in Traffic Flows", Dept. of the Environment, TRRL, LR 437, Crowthorne, Berkshire, U.K., 1968.
3. Kennedy, J.B. and A.M. Veville., "Basic Stastical Method for Engineers and Scientist", U.S.A.
4. Tindal, J.I., "Short Term Transport Planning and Traffic Engineering" (Unpublished).  
A Paper is in a Series of Lecture Notes for a short course in transport planning organized by United Nation on Development Program, Bandung, Indonesia 1983.

## Penulis :

Ir. Hikmat Iskandar, M.Sc., Lulus Sipil ITB 1980, Lulus Birmingham University U.K. 1984. Kursus singkat dalam bidang Transportasi di University of East Anglia 1983. Tahun 1981 - 1983 turut aktif pada proyek kerja sama antara Puslitbang Jalan dan TRRL-U.K. Berkecimpung dalam Penelitian Teknik Lalu Lintas sejak 1976.

Lampiran 1



ERRORS IN ADT ESTIMATES FROM RANDOM COUNTS OF VARYING DURATION

LAMPIRAN 2  
LALU LINTAS HARIAN RATA - RATA  
( L.H.R. )

A.D.T. MINGGUAN						
Bulan	Minggu ke	ADT POS 1	ADT POS 2	ADT POS 3	ADT POS 4	ADT POS 5
1	1	3227	2077	5817	1421	2356
1	2	3313	1945	5668	1373	2750
1	3	3205	1933	4928	1115	2020
1	4	3194	1029	5395	1153	2069
2	1	3630	1891	6473	1274	2752
2	2	3669	1946	6114	1415	2818
2	3	4059	1909	6493	1412	3111
2	4	3417	1893	6419	1437	2819
3	1	3030	1909	5780	1610	2444
3	2	3972	1869	5658	1638	2916
3	3	3622	1710	5875	1264	2849
3	4	3271	1685	4978	1275	3073
4	1	3345	1890	8182	1312	2997
4	2	3439	1782	5284	1071	3037
4	3	3282	1703	5064	1263	2999
4	4	3434	1631	5066	1697	2967
5	1	3108	1455	4463	1609	2663
5	2	3449	1837	5271	1941	2790
5	3	3894	1810	5115	1733	2152
5	4	3139	1815	4719	1152	2206
6	1	4473	1897	5378	1784	2138
6	2	4864	2019	5128	2825	2122
6	3	3839	1859	5232	1333	2282
6	4	2992	1864	5192	1284	2254
7	1	3865	1889	5073	1325	2266
7	2	4034	1605	5315	1177	2195
7	3	7716	1850	6417	5608	4426
7	4	5297	1915	4981	2920	5258
8	1	4176	1900	5466	1363	3142
8	2	3509	1890	5354	1258	2580
8	3	3670	1759	5695	1308	3144
8	4	3542	1861	5515	1358	3077
9	1	3146	1841	5701	1220	2971
9	2	2931	1718	5789	1432	2970
9	3	3175	1691	5973	1292	3032
10	1	3205	1801	6051	1306	2892
10	2	4205	1723	6221	1660	2892
10	3	4441	1785	5944	1564	2858
10	4	4020	1824	6064	1517	2946
11	1	3238	2113	6159	1523	2597
11	2	3422	1951	5711	1630	2720
11	3	3565	1941	6098	1461	2757
11	4	3444	2036	5929	1455	2958
11	1	3396	2014	6098	1640	2717
12	1	3386	1994	5855	1443	4631
12	2	3433	1883	5628	1507	2561
12	3	4338	2352	5958	2258	3262
12	4	4776	2113	6057	2877	3526

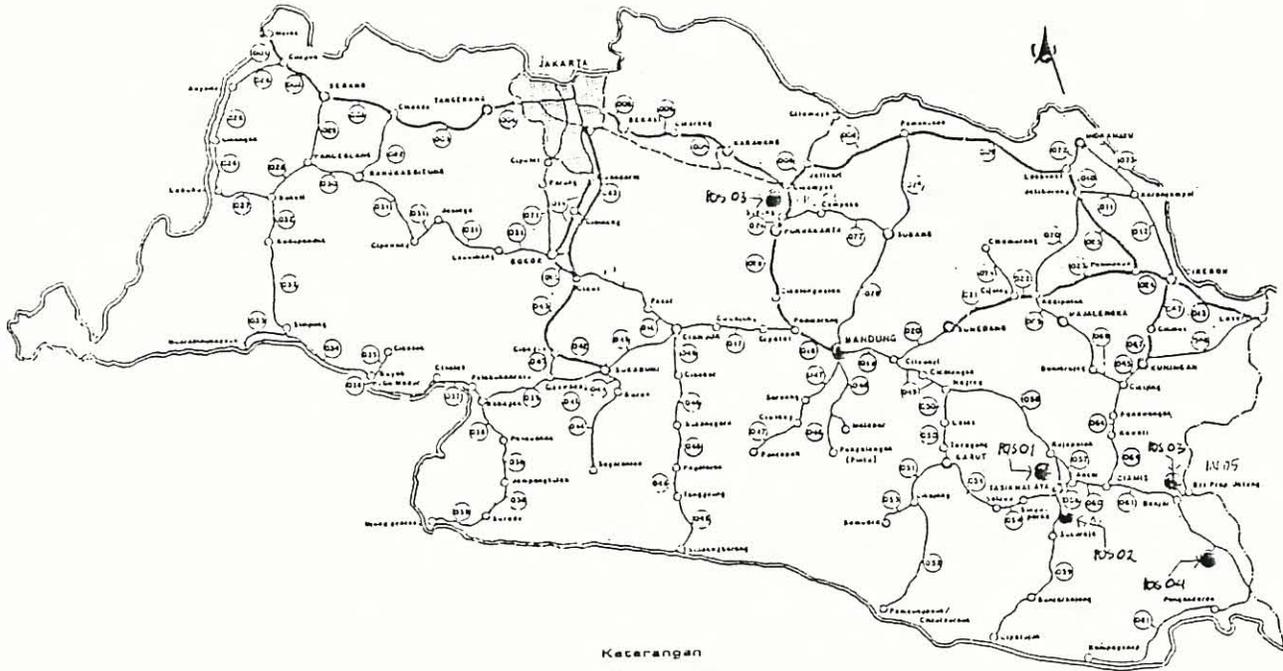
Dilan	POS 01		POS 02		POS 03		POS 04		POS 05	
	Volume	ADT(BI)								
1	304401	3367	60367	1947	167739	5410	44103	3422	71077	2292
2	301491	3696	53405	1910	78501	6275	38777	3384	80511	2875
3	306997	3451	55516	1791	171800	5541	44355	1430	89251	2879
4	300165	3337	52790	1759	154077	5135	41249	1374	87650	2721
5	306780	3444	53711	1733	152547	4920	50015	1639	76487	2467
6	323441	4114	57366	1912	155221	5174	54658	1821	64989	2166
7	353433	4019	58386	1818	167957	5417	80054	2582	104466	3368
8	115062	3711	57229	1846	170100	5487	42258	1363	95459	3078
9	91171	3339	52014	1760	171613	5720	39034	1301	89466	2982
10	320547	3888	57659	1859	309944	6127	47508	1532	87332	2817
11	303701	3456	59476	1902	176956	5898	46612	1553	85192	2839
12	315268	3842	63159	2105	175149	5838	51826	1727	107123	3637

ANNUAL AVERAGE DAILY TRAFFIC  
(Volume Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan)  
Dari 5 pos Pencatatan di Jawa Barat pada Th.19

A.A.D.T. (VPD) Pos Ke :	S.D.	Cv (%)	
1	3698 (VPD)	945	25.55 (%)
2	1863 (VPD)	248	13.35 (%)
3	5581 (VPD)	677	12.14 (%)
4	1597 (VPD)	1146	71.78 (%)
5	2862 (VPD)	758	26.51 (%)

Lampiran 3

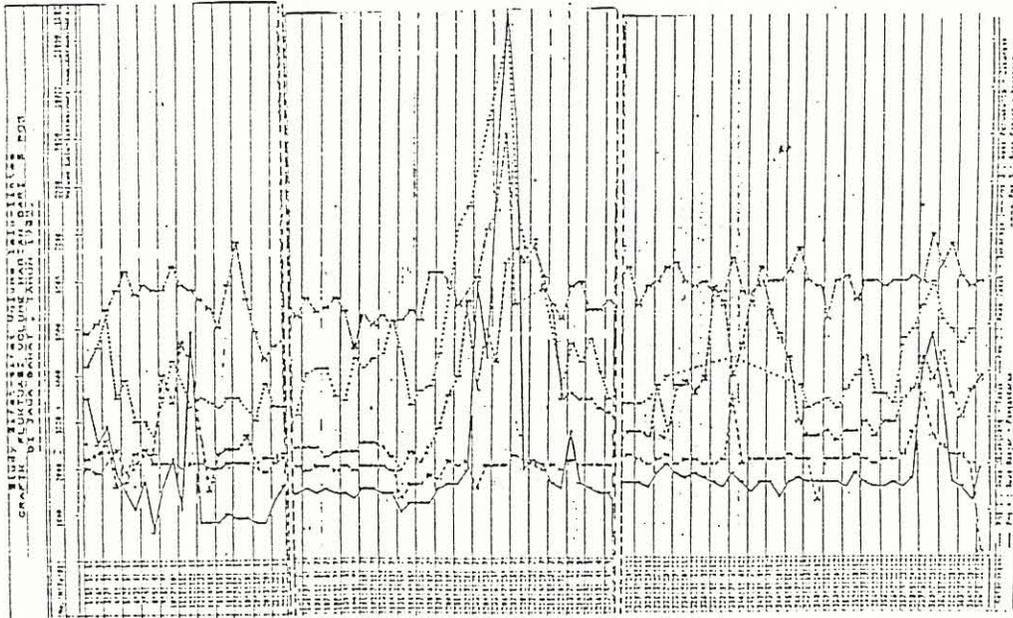
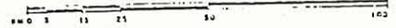
PROP. JAWA BARAT (22)  
PETA FUNGSI JALAN  
TAHUN 1980



Keterangan

- JALAN ARTERI DENGAN NOMOR RUMAH
- JALAN AKSESORIS DENGAN NOMOR RUMAH
- JALAN LOKAL DENGAN NOMOR RUMAH
- JALAN FUNGSI
- IBUKOTA PROPINSI
- IBUKOTA KABUPATEN
- KOTA-KOTA LAIN

Skala



# Penggunaan Statistik dalam Perencanaan, Penyelidikan tanah dan Pengendalian mutu.

Alan Rachlan

*Tanah dan batuan merupakan material alam yang paling tidak homogen dibandingkan dengan material lainnya seperti besi, beton atau aspal.*

*Konsep-konsep statistik dapat membantu dalam membuat rencana penyelidikan tanah yang lebih logis dan lebih reliable baik untuk maksud study maupun untuk pengendalian mutu.*

*Dalam paper ini dibahas rationalitas konsep faktor keamanan gaya lama dan contoh-contoh perhitungan dengan cara statistik diberikan untuk sekedar memberi ilustrasi penggunaannya.*

## PENDAHULUAN

Problema-problema engineering banyak menyangkut proses-proses dan fenomena-fenomena yang sudah menjadi pembawaannya bersifat random. Keadaan alami yang tidak menentu ini tidak dapat digambarkan secara tepat, karenanya keputusan-keputusan yang diperlukan dalam proses perencanaan dan disain engineering harus diambil atau dibuat dalam suasana/kondisi yang mengandung ketidakpastian.

Tanah adalah material alam yang sangat tidak homogen. Ketidak homogenan ini disebabkan oleh cara pembentukannya dan karena tanah itu sendiri terdiri dari bermacam-macam bahan pembentuk. Begitu besar ketidak homogenan tersebut sampai-sampai suatu tanah yang diklasifikasikan "homogen" menurut suatu sistim klasifikasi seperti United Classification System atau Klasifikasi AASHTO masih mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari satu titik ke titik yang lainnya.

Variabilitas yang besar dapat disebabkan oleh kekurangan homogenan pada tanah itu sendiri atau karena alat pengukurnya mempunyai sensitivitas sedemikian peka sehingga dapat mendetect perbedaan-perbedaan kecil yang mungkin saja tidak ada artinya dalam konteks engineering atau test-test itu sendiri mempunyai variabilitas yang cukup besar.

Pendekatan konvensional dalam menghadapi variabilitas tersebut adalah dengan menggunakan harga rata-rata dan mengambil asumsi material tersebut homogen. Sering juga variabilitas tidak diacuhkan dan untuk maksud disain diambil harga yang paling kecil.

## TEORI KEMUNGKINAN (PROBABILITY THEORY)

Perkataan "kemungkinan" (probabilitas) akan banyak sekali digunakan sebab cara statistik dalam perencanaan, pengambilan contoh atau pengendalian mutu didasarkan pada teori kemungkinan.

Kemungkinan atau probabilitas dapat dinyatakan dengan angka perbandingan, pecahan atau angka desimal atau prosentase. Untuk menghitung besarnya kemungkinan ada beberapa rumus/teori yang penting diantaranya adalah:

$$\text{Teori penjumlahan : } \Pr (A + B) = \Pr (A) + \Pr (B)$$

$$\text{Teori perkalian : } \Pr (AB) = \Pr (A) \cdot \Pr (B)$$

$$\Pr (AB) = \Pr (A) \cdot \Pr (B/A)$$

Di samping itu kita mengenal macam-macam bentuk distribusi kemungkinan seperti distribusi normal, log-normal, binomial dan multinomial, eksponensial, distribusi

Pearson Poisson, geometrik dan hypergeometrik, beta, t, chi-square dan F.

### Distribusi Normal.

Sebegitu jauh yang paling dikenal dan paling banyak digunakan adalah distribusi normal. Distribusi ini dikenal juga dengan nama distribusi Gauss.

Distribusi normal mempunyai fungsi probabilitas kerapatan (density).

$$f_x (X) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right)$$

dimana  $u$  dan merupakan parameter dari distribusi tersebut. Distribusi Gauss dengan parameter  $u = 0, \sigma = 1$  dikenal dengan nama distribusi normal standar, fungsi kerapatan:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad \text{dimana } z = \frac{x-u}{\sigma}$$

Bentuk distribusi ini mulai dipelajari pada pertengahan abad ke-19 dimana ilmuwan-ilmuwan pada waktu itu memperhatikan bahwa mereka selalu menemukan kesalahan-kesalahan (error) dalam pengukuran-pengukuran yang mereka lakukan dan kesalahan-kesalahan tersebut selalu mempunyai keteraturan yang mengejutkan. Dan pola distribusi dapat digambarkan dengan suatu kurva kontinueus yang disebut "normal curve of error". Dalam bidang geoteknik keanekaragaman (variasi) dari sifat-sifat tanah seperti kepadatan, kadar air, kompresibilitas dan sebagainya, dan pemeriksaan yang terdiri dari pengukuran-pengukuran mempunyai keteraturan yang juga dapat digambarkan dengan kurva normal tersebut.

Bila dianggap ketidak pastian atau kesalahan (error) pada pengukuran atau pemeriksaan timbul dari sebab-sebab individual yang sifatnya aditive, maka fungsi distribusi kemungkinan akan mempunyai bentuk:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad \text{untuk } u \sim < u < \sim$$

dimana:  $u$  = harga rata (mean) populasi  
 $\sigma$  = standar deviasi dari populasi.

Seperti telah dikatakan diatas hasil pemeriksaan sifat-sifat tanah mayoritas sesuai dengan kurva distribusi ini (tetapi tidak semuanya).

Bentuk yang paling berguna dari distribusi normal ini adalah distribusi kemungkinan kumulatif. Ini merupakan luas area dibawah kurva distribusi:

$$F(z) = \int_{-\infty}^z f(z) dz$$

#### Distribusi-distribusi kemungkinan lainnya.

Dibawah ini adalah ringkasan dari bentuk distribusi lainnya yang sering digunakan dalam ilmu teknik.

#### 1. Distribusi Binomial:

Problema statistik yang berhubungan dengan percobaan yang berulang-ulang, seperti misalnya kita ingin mengetahui kemungkinan satu dari lima buah baut akan putus dalam suatu percobaan tarik atau kita ingin mengetahui kemungkinan duar dari test kepadatan akan kurang dari 100%.

Bila  $n$  menunjukkan banyaknya percobaan-percobaan atau contoh dan  $x$  banyaknya yang jelek maka:

$$Pr(x, n, p) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

Contoh: Bila diketahui misalnya dari suatu pemadatan tanah telah dicapai kepadatan rata-rata 100% dan diketahui bahwa 10% dari kepadatan yang dicapai kurang dari 100%, kemudian kita lakukan test kepadatan sebanyak 6 titik. Berapa besarnya kemungkinan kita mendapatkan suatu titik dari keenam tes akan kurang dari 100%.

#### 2. Distribusi hepergeometrik.

Bila kita tertarik untuk mengetahui berapa banyaknya barang yang jelek yang terdapat dalam satu contoh yang dari satu lot yang mengandung banyaknya barang =  $N$  dimana  $a$  adalah banyaknya barang yang jelek, maka kemungkinan mendapatkan  $x$  :

$$Pr(x, n, a, N) = \frac{\binom{a}{x} \binom{N-a}{n-x}}{\binom{N}{n}}$$

Contoh: Dalam satu set kartu bridge yang banyaknya = 52 buah kartu terdapat 4 buah As ( $a$ ). Bila kita ambil 5 lembar kartu dari tumpukan tersebut, berapa kemungkinan kita akan mendapatkan 3 ( $x$ ) buah As.

#### 3. Distribusi Poisson:

Bila  $n$  besar dan  $p$  kecil, maka kemungkinan Binomial dapat diganti dengan:

$$f(x, \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

### STATISTIK DALAM PERENCANAAN GEOTEKNIK

Seperti telah dikemukakan di atas, tanah adalah material yang sudah menjadi pembawaannya sejak lahir bersifat heterogen. Tanah transported (aluvial, marine dan sebagainya), karena cara pembentukannya mempunyai lapisan/sisipan tidak teratur dan terdiri dari macam-macam bahan seperti lempung, lanau, tanah organik, pasir kerikil atau kombinasinya. Tanah residu/karena terbentuk dari proses pelapukan batuan induknya mempunyai derajat pelapukan yang berbeda-beda sehingga profilnya mempunyai horizon-horizon yang tiap lapisannya mempunyai sifat-sifat yang berbeda-beda. Batuan terdiri dari kekar/sesar tidak teratur sehingga sangat mempengaruhi daya dukungnya.

Macam tanah lebih banyak dari macam manusia dimuka bumi ini. Lebih-lebih sifatnya. Bandingkan kadar airnya, atau liquid limitnya atau penetrasinya. Tanah mempunyai kadar air yang berkisar dari 10-150. Tanah mempunyai permeabilitas yang berkisar dari  $10^{-1}$  -  $10^{-8}$  dengan perbedaan yang terkecil terhadap yang paling besar = 10 juta kali.

Dalam mendisain pondasi untuk pendukung suatu bangunan apakah itu berupa jembatan atau timbunan, atau mendesain galian atau menganalisa suatu lereng, kita dihadapkan kepada dua masalah yaitu adanya variabilitas pada material itu sendiri dan keputusan harus dibuat/diambil berdasarkan informasi yang sifatnya terbatas (data dari hasil penyelidikan tanah atas pengambilan contoh yang terbatas).

Karena adanya ketidak pastian (unvertainty) seperti dijelaskan dimuka, angka-angka desain yang diambil untuk menentukan kapasitas tanah (daya dukung, tahanan geser dan sebagainya) dapat menimbulkan suatu ketidak pastian terhadap performance dari bangunan yang kita rencanakan.

**Cara konvensional.**

Cara-cara konvensional untuk menentukan angka desain adalah dengan mengambil satu angka, satu angka rata-rata dari suatu observasi atau mengambil satu angka konservatif yang dianggap cukup aman (biasanya diambil angka terkecil dari angka hasil observasi). Angka yang diambil dengan cara tersebut (cara ini disebut cara deterministik) dapat menjadi terlalu konservatif sehingga menghasilkan suatu desain yang berlebihan (over desain) dan konsekwensi dari suatu desain yang "over" adalah tidak ekonomis dan sebaliknya desain kurang (under desain) akan membawa konsekwensi ambruknya bangunan atau kurangnya service life dari bangunan yang kita rencanakan.

Untuk menutupi faktor ketidak pastian seperti disebutkan diatas maka biasanya diberikan suatu faktor keamanan yang berupa angka (yang berkisar dari 2 sampai 5).

**Faktor keamanan.**

Faktor keamanan digunakan untuk menjaga keamanan terhadap:

- Adanya variasi alamiah pada tanah/batuan (terutama kuat gesernya).
- Adanya ketidak pastian ketepatan atau reliabilitas metoda-metoda perhitungan daya dukung (teoritis maupun empiris)
- Penurunan yang besar/berlebihan bila daya dukung pondasinya sudah mendekati ultimatenya.

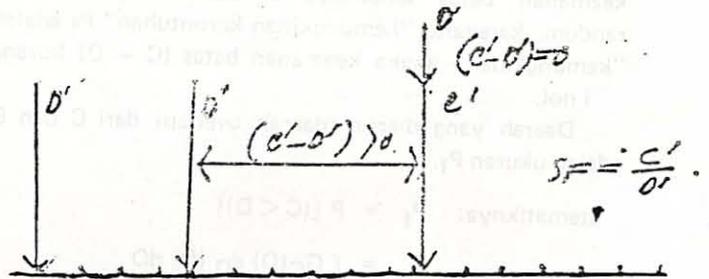
Dari 4 faktor tersebut, faktor a (adanya variasi pada tanah) merupakan alasan utama diambilnya faktor keamanan terhadap keruntuhan yang begitu besar. Faktor keamanan 2,50 – 3 biasanya diambil untuk mencakup faktor variasi. Faktor keamanan 2 biasanya digunakan bila kondisi tanah sangat seragam. Harus dicatat disini bahwa faktor keamanan yang diambil biasanya tidak untuk mencakup atau mengcover kemungkinan adanya penambahan beban struktural.

**KEMUNGKINAN KERUNTUHAN (FEAILURE)**

*Tingkat kepercayaan (reliabilitas).*

Reliabilitas dalam arti luas harus mencakup konsep teknis yang disebut faktor keamanan, karena konsep ini pertama-tama digunakan untuk menghilangkan resiko.

Dalam tahun-tahun terakhir ini dalam bidang teknik sipil telah dilakukan usaha serius untuk meninjau kembali arti faktor keamanan tersebut. (Henry/Kienyiet 1979).



**GAMBAR 1**

**KONSEP FAKTOR KEAMANAN**

Konsep faktor keamanan dalam desain diambil untuk memberi jaminan sehingga ada perbedaan atau selisih yang cukup antara 'KEINGINAN' (D') yaitu tegangan-tegangan yang terjadi karena beban dan "KEMAMPUAN" (C') yaitu kekuatan yang dipunyai sedemikian sehingga keinginan tidak melampaui kemampuan. Sifat-sifat tanah begitu juga kekuatannya merupakan variabel dan pembebanan merupakan resultante dari komponen-komponen seperti beban hidup beban mati, beban angin, akselerasi gempa, proses pelaksanaan dan sebagainya, yang juga merupakan variabel.

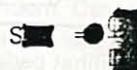
Model  $\frac{\text{KEINGINAN (D')}}{\text{Kemampuan (C')}}$  dapat ditunjukkan pada gambar . . . . 2

Dalam desain konvensional satu harga tunggal diambil untuk masing-masing "kemampuan" dan "keinginan". Umumnya harga-harga tersebut berbeda dari harga D dan C yang merupakan harga batas konservatif yang dianggap terjadi simultan dan terletak pada lokasi kritis:

Definisi faktor keamanan konvensional adalah:

$$SF = \frac{C'}{D'}$$

~~Definisi faktor keamanan konvensional adalah:~~



dan ini merupakan hanya satu fungsi variabel selama C' dan D' dipilih oleh seorang engineer (atas dasar judgment) untuk mewakili harga yang konservatif.

Perbandingan harga rata-rata adalah harga faktor keamanan sentral, yang didefinisikan sebagai:

$$CSF = \frac{C}{D}$$

dan harga ini umumnya melebihi faktor keamanan konvensional. Perbedaan antara dua variabel random C dan D adalah angka keamanan batas, dan keruntuhan akan terjadi bila angka keamanan batas ini kurang dari nol. Angka keamanan batas sendirinya merupakan satu variabel random, karenanya "kemungkinan keruntuhan"  $P_f$  adalah "kemungkinan" angka keamanan batas (C - D) kurang dari nol.

Daerah yang diarsir (daerah overlap) dari C dan D adalah ukuran  $P_f$ .

$$\begin{aligned} \text{Matematikanya: } P_f &= P[(C < D)] \\ &= \int G_C(D) g_D(D) dD \end{aligned}$$

dimana  $G_C(D)$  = fungsi distribusi kumulatif C  
 $g_D(D)$  = fungsi distributif kemungkinan dari D.

Tabel I  
**KEMUNGKINAN KERUNTUHAN**

Bentuk distribusi C dan D	Kemungkinan runtuh $P_f$
Uniform	$\frac{1}{2} \frac{D_{\max} - 2C_{\max} + D_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}$
Normal*	$1 - F\left(\frac{C - D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}}\right)$  $1 - F\left(\frac{\ln\left[\frac{(C/D)\sqrt{1+V^2D}}{1+V^2C}\right]}{\sqrt{\ln(1+V^2D)(1+V^2C)}}\right)$
	dimana V = koefisien variasi
Exponensial	$\frac{\alpha D}{\alpha C + \alpha D}$
Betat	$\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \left[ \int_{C_{\min}}^D g_C(D) \right] g_D(D) dD$

\* Fungsi F ( ) dapat dilihat pada tabel statistik  
 + Diperlukan integrasi numerik.

**Contoh:**

1. Suatu timbunan dibangun diatas tanah lembek "homogen" yang mempunyai harga kuat geser rata-rata  $C_u = 1 \text{ ton/cm}^2$ ,  $CV = 20\%$ . Berapa besar kemungkinan timbunan setinggi 1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 akan runtuh.

**Jawaban:**

Dengan cara konvensional didapat SF untuk masing-masing tinggi timbunan sebagai berikut:

$$SF = \frac{C}{D} = \frac{5,5 C_u}{\gamma H}$$

Tinggi timbunan	SF	Kemungkinan runtuh	Keterangan
1,00 m	3,05	?	
1,50 m	2,04	?	
2,00 m	1,53	?	Timbunan runtuh bila SF < 1
2,50 m	1,22	?	
3,00 m	1,02	?	
3,50 m	0,87	?	
4,00 m	0,76	?	

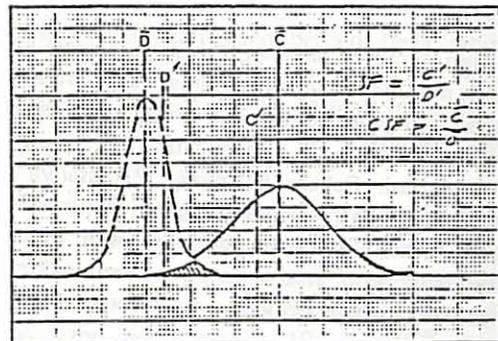
Dengan cara deterministik tinggi timbunan yang diijinkan ditentukan dengan mengambil SF = 2 maka disini  $H_a = 1,50 \text{ m}$ .

Dengan cara konvensional kita tidak akan tahu kemungkinan runtuhnya timbunan atau kita coba menjawab pertanyaan ini. Apakah misalnya ada kemungkinan timbunan runtuh pada tinggi 1,50 m, atau mungkinkah tinggi timbunan dengan tinggi H = 3,50 m (SF = 0,87) akan tetap berdiri, berapa besar kemungkinannya?

Dengan cara statistik maka pertanyaan tersebut dapat dijawab sebagai berikut:

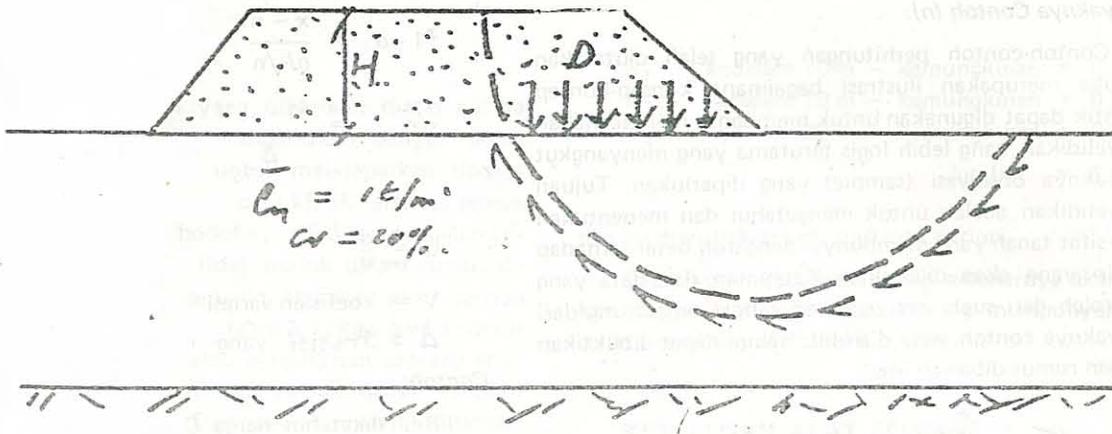
Bila diketahui bahwa lapisan tanah lembek kuat gesernya mempunyai variabilitas dengan bentuk distribusi normal:

$$\begin{aligned} C_u &= u = 1 \text{ t/m}^2 \\ \sigma &= 0,2 \text{ ton/m}^2 \\ CV &= 20\% \end{aligned}$$



Gambar 2

MODEL FAKTOR KEAMANAN (SF)  
 KERUNTUHAN TERJADI BILA (C'-D') < 0



GAMBAR 3

maka akan didapat besarnya kemungkinan keruntuhan timbunan untuk harga  $D = \gamma H$  sebagai berikut:

$$P_f(H) = 1 - F\left(\frac{5,5 C_u - 1,8 H}{\sigma_C}\right) \text{ dimana } C = 5,5 C_u \text{ dan } D = 1,8H.$$

Tinggi	$P_f$
1,00 m	$1 - F(6,72) = 0,00000000 ?$
1,50 m	$1 - F(5,09) = 0,000000 ?$
2,00 m	$1 - F(3,45) = 0,0003$
2,50 m	$1 - F(1,82) = 0,0344$
3,00 m	$1 - F(0,18) = 0,4286$
3,50 m	$1 - F(-1,45) = 1 - (1 - F(1,45)) = F(1,45) = 0,9265$
4,00 m	$1 - F(-3,09) = F(3,09) = 0,9990$

Jelas terlihat bahwa tinggi timbunan = 2,50 m masih cukup dengan kemungkinan 0,03 atau 3% atau dengan kata lain timbunan akan runtuh dengan kemungkinan 1 : 30. Dan timbunan tidak akan runtuh pada ketinggian 3,50 m dengan kemungkinan 0,07.

### PENYELIDIKAN TANAH

Teori statistik dan beberapa contoh penggunaannya telah dikemukakan sebelumnya. Tetapi mungkin harus disebutkan disini bahwa cara untuk mengatasi variabilitas material seperti dikemukakan di atas tadi tidak dimaksudkan untuk mengatasi kesalahan (error) yang terdapat dalam metodologi desainnya, tetapi contoh-contoh tersebut hanyalah usaha untuk menjelaskan adanya variabilitas material dan mencoba mengkuantifisir resiko-resiko yang akan ditimbulkannya.

#### Rencana Pengambilan Contoh:

- Langkah pertama penyelidikan adalah menentukan populasi yang akan diambil contohnya. Ini memerlukan penyelidikan pendahuluan yang sifatnya exploratory untuk membagi-bagi tanah kedalam region-region atau populasi yang relatif homogen. Kearah lateral dibagi-bagi menjadi bagian-bagian menurut jenis tanahnya (pedologi, geologi atau geometry) dan kearah vertikal menurut lapisan-lapisan homogen, yang kemudian dapat ditentukan pengambilan contohnya.
- Tentukan banyaknya contoh yang akan diambil untuk masing-masing region menurut variabilitasnya. Bila jumlah seluruh contoh seluruhnya yang akan diambil =  $N$  dan banyaknya populasi =  $r$ , maka untuk masing-masing region banyaknya contoh yang diambil =

$$n_i = N \frac{V_i^2}{\sum_j V_j^2}$$

dimana :  $V_i$  koefisien variasi dari region ke  $i$ .

- Tentukan titik pengambilan contoh. Penentuan letak pengambilan contoh harus berdasarkan prinsip bahwa setiap titik pada tanah tersebut baik kearah lateral atau arah horizontal harus mempunyai kans yang sama untuk dapat terpilih. Untuk menjamin kans tersebut maka titik pengambilan contoh harus dilakukan secara random. Cara penentuan titik pengambilan contoh secara random dapat dilihat pada buku-buku standar statistik.

**Banyaknya Contoh (n):**

Contoh-contoh perhitungan yang telah diutarakan dimuka merupakan ilustrasi bagaimana konsep-konsep statistik dapat digunakan untuk membantu merencanakan penyelidikan yang lebih logis terutama yang menyangkut banyaknya observasi (sample) yang diperlukan. Tujuan penyelidikan adalah untuk mengetahui dan menentukan sifat-sifat tanah yang mempunyai pengaruh besar terhadap desain yang akan dilakukan. Ketepatan data-data yang diperoleh dari suatu penyelidikan sangat tergantung dari banyaknya contoh yang diambil. Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus dibawah ini:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dari rumus itu terlihat bahwa semakin besar n maka  $\sigma_{\bar{x}}$  akan semakin kecil dan semakin kecil  $\sigma_{\bar{x}}$  maka semakin akurat taksiran (estimate) yang kita buat.

Persoalan utama yang dihadapi dalam menentukan sifat-sifat tanah adalah pertama-tama tanah merupakan material yang sangat tidak homogen dibandingkan dengan material lainnya seperti besi, beton atau aspal misalnya. Kedua disamping terdapatnya variabilitas pada material itu sendiri, pemeriksaan (test) atau pengukurannya itu sendiri mempunyai variabilitas yang tergantung dari peralatan, prosedur dan manusia. Sifat-sifat tanah yang sebenarnya (seperti kuat gesernya, kompresibilitasnya atau batas-batas atterbergnya) tidak mungkin dapat diketahui dengan pasti. Sifat-sifat tanah hanya dapat diestimate atau ditaksir. Dan taksiran (estimate) yang paling mendekati adalah harga rata-rata ( $\bar{x}$ ):

$$\hat{u} = \bar{x}$$

Bila diperhatikan maka terlihat bahwa harga x mempunyai varians dan mempunyai tendensi berkerumun pada harga sentralnya (u). Harga rata-rata ini mempunyai distribusi sama halnya dengan x nya. Harga rata-rata ini mempunyai deviasi  $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ . Begitu juga dengan standar deviasinya (s), standar deviasi mempunyai standar deviasi ( $\sigma_s$ ). Standar deviasi ini dapat dianalogikan dengan kutu: seekor kutu dikepala mempunyai kutu dikepalanya dan seterusnya ad infinitum.

**Tingkat dan Batas-batas Kepercayaan (confidence level dan confidence limit).**

Bila harga standar deviasi ( $\sigma$ ) misalnya standar deviasi kuat geser suatu tanah lembek atau standar deviasi harga CBR tanah laterit diketahui maka banyaknya contoh yang harus diambil untuk suatu tingkat akurasi yang kita kehendaki ( $\Delta$ ), pada tingkat kepercayaan tertentu ( $1 - \alpha$ ), maka:

$$z_{1-\alpha} = \frac{\bar{x} - u}{\sigma/\sqrt{n}} \quad \text{atau} \quad \frac{u \pm \Delta u - u}{\sigma/\sqrt{n}}$$

$$\sqrt{n} = \frac{z_{1-\alpha} \cdot V}{\Delta}$$

$$u = \frac{\sigma}{\sigma}$$

$$V = \text{koefisien variasi} = \frac{\sigma}{x}$$

$\Delta = \text{Presisi}$  yang dikehendaki.

**Contoh:**

Bila diketahui harga CBR tanah laterit mempunyai  $V = 20\%$ .

Berapa banyaknya contoh yang harus diambil sehingga harga CBR rata-rata yang didapat mempunyai ketelitian 1%.

**Jawaban:**

Untuk tingkat kepercayaan 95% maka:

$$n = \left( \frac{1,65 \cdot 0,20}{0,1} \right)^2 = 11 \text{ contoh}$$

$$z = 1,65 \text{ (dari tabel kurva normal).}$$

**Distributif t (t student distribution).**

Bila tidak diketahui maka banyaknya observasi dapat ditentukan dengan menghitung s dari contoh-contoh yang didapat. Kerapatan t tergantung dari n atau merupakan fungsi v (degree of freedom).

$$t_{1-\alpha} = \frac{\bar{x} - u}{S/\sqrt{n}} ; \quad t_{1-\alpha} = \frac{\pm \Delta u + u - u}{S/\sqrt{n}}$$

$$u = \frac{S}{V}$$

$$n = \frac{t_{1-\alpha} \cdot V}{\Delta}$$

Seperti contoh diatas, uuntuk tingkat kepercayaan 95% maka didapat.

$$n = 18$$

Catatan: harga  $t_{1-\alpha}$  didapat dari tabel t

**Hukum Bayes:**

Terlihat dari contoh yang diberikan diatas bahwa dengan teori statistik klasik diperlukan banyak sekali contoh atau observasi (n) untuk mendapatkan tingkat presisi tertentu karena dengan cara klasik tersebut semua engineer dianggap sama bodohnya. Faktor pengalaman/keahlian seorang engineer tidak masuk dalam rumus diatas. Bagaimana dengan seorang engineer yang dengan telunjuknya saja dapat mengetahui kira-kira angka sondir dari suatu tanah lembek, atau pengalaman seorang engineer yang dengan mencium baunya saja dapat menaksir kedalaman suatu rawa. Dari perhitungan-perhitungan, juga dapat dilihat pada gambar 4 yang sudah berbentuk grafik ternyata bahwa presisi yang didapat dari penambahan jumlah contoh sangat tidak sebanding bila jumlah contoh melebihi 6-8, sehingga penambahan contoh lebih dari itu tidak efisien.

Untuk memasukan faktor pengalaman seorang engineer ke dalam perhitungan, maka hukum Bayes dapat digunakan:

The probability that the true state is  $S_i$  (having observed R) is proportional to the probability of observing R if the true state were  $S_i$  times the probability of the true state being  $S_i$ .

matematikanya.

$$P [ S_i / R ] = \frac{P [ R / S_i ] P [ S_i ]}{\sum_{j=r}^n P [ R / S_j ] P [ S_j ]}$$

dimana:

$P [ x ]$  = probability of X

$P [ x / y ]$  = probability of X given y applies.

Pembagi dari persamaan diatas adalah faktor penormal, yang menjumlahkan semua kemungkinan yang dapat mengandung hasil R.  $P S_i$  disebut kemungkinan apriori dari S, sebelum dilakukan pemeriksaan (test). Ini biasa ditulis sebagai  $P (S_i)$  yang mengukur pengalaman si Engineer atau tingkat keyakinannya bahwa  $S_i$  benar.  $P S_i R$  disebut kemungkinan posterior S setelah R diketahui.

Kemungkinan posterior biasanya ditulis  $P'' (S_i)$ . Hasil R disebut outcome dan S + keadaan sebenarnya.

**Penggunaan Hukum Bayes:**

Untuk memberi ilustrasi penggunaan rumus diatas, ambil contoh seorang engineer yang ingin mengestimate kedalam batuan dasar pada suatu lokasi. Untuk maksud penaksiran (estimate), kedalam batuan dibagi kedalam 3 katagori: 10 m (kurang dari 10m), 20 m (dari 15-25) dan 30m (lebih dari 25m). Melihat dari geologi lokalnya dan pengalamannya maka si engineer membagi kemungkinan-kemungkinan kedalam sebagai berikut:

$S_1$	— kedalam 10 m — kemungkinan	= 0,70
$S_2$	— kedalam 10 m — kemungkinan	= 0,25
$S_3$	— kedalam 30 m — kemungkinan	= 0,25
	Jumlah	= 1,00

dan ini merupakan kemungkinan apriori.

Pengukuran kedalaman yang sebenarnya akan dilakukan dengan satu alat seismik yang mempunyai akurasi seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

**KETELITIAN ALAT SEISMIK**

Dari pembacaan	Kedalaman sebenarnya		
	10 m	20 m	30 m
10 m	0,85	0,10	0,25
20 m	0,12	0,76	0,12
30 m	0,03	0,14	0,83
Jumlah	1,00	1,00	1,00

(sumber: Geotechnical Engineering, Lee, White and Inggles).

Tembakan pertama dilakukan dan alat seismik menunjukkan pembacaan 22 m (masuk kategori 20 m). Kemungkinan posterior:

$$P'' (10) = \frac{0,30 \times 0,7}{\Sigma} = \frac{0,021}{\Sigma} = 0,08$$

$$P'' (20) = \frac{0,93 \times 0,25}{\Sigma} = \frac{0,233}{\Sigma} = 0,90$$

$$P'' (30) = \frac{0,10 \times 0,05}{\Sigma} = \frac{0,005}{\Sigma} = 0,02$$

1,00

$$(\Sigma = 0,021 + 0,233 + 0,005 = 0,259)$$

Kemungkinan posterior menunjukkan bahwa masih ada kemungkinan sebesar 8% kedalam batuan dasar lebih dangkal.

**Ketelitian (Precision) dan Ketepatan (Accuracy) Pemeriksaan.**

Adanya variabilitas pada hasil-hasil suatu pemeriksaan (test) adalah merupakan konsekwensi karena adanya variabilitas pada materialnya sendiri, tetapi juga karena adanya "kesalahan" (error) yang bersumber dari prosedur pengambilan contoh dan dari prosedur pemeriksaan itu sendiri, peralatan dan faktor manusia. Dengan teknik analisa varians (Davies 1976) dan analisa faktor (Wong and Brenner, 1979) sumber-sumber variabilitas dapat diselusuri.

Penyimpangan hasil prosedur pemeriksaan yang telah ditentukan merupakan sumber "kesalahan" (error) yang utama. Seperti terlihat pada gambar 4 pengulangan test (test replication) untuk menghilangkan error yang sifatnya random efeknya kecil sekali. Contohnya pengulangan test LL dari dua kali ke 8 kali hanya mampu mengurangi error atau menambah presisi sebesar 2% saja, yang mana ini tidak ada artinya.

Tabel II. Harga Cv rata-rata untuk Pemeriksaan Klasifikasi.

Pemeriksaan	CV ( $\alpha + \delta$ ) %	CV ( $\delta$ ) %
Batas Cair (LL)	6,0	1,2
Batas Plastis	8,7	2,9
Kadar Pasir	1,1	-
Kadar Lempung	11,4	0,7
Berat Jenis	1,4	0,2
Berat Isi Maximum (Mod)	1,5	0,8

(Sumber: Lumb 1974, dikutip dari Geotechnical Engineering).

$\alpha$  = alat + operator

$\delta$  = random error

## PENGENDALIAN MUTU

Pengendalian mutu dilakukan oleh pihak produser untuk menjaga kualitas barangnya supaya dapat dibeli atau sesuai dengan pesanan. Pengertian kedua adalah acceptance sampling yang dilakukan oleh pemesan untuk menentukan apakah barang yang dipesannya sesuai dengan spesifikasi yang diberikannya. Metoda end product banyak digunakan dalam pekerjaan jalan misalnya penerimaan barang, pemadatan dan sebagainya. Dibawah ini diberikan contoh control pemadatan, dimana ditentukan bahwa pemadatan tanah dasar atau perkerasan jalan harus memenuhi spesifikasi tertentu. Misalnya Bina Marga mensyaratkan tanah datar untuk jalan harus dipadatkan minimal 100% kepadatan Proctor. Untuk acceptance sampling pekerjaan pemadatan biasanya ditentukan untuk luas 1000 yard persegi diperiksa sebanyak satu titik dan bila hasil pengujian tersebut kepadatannya kurang dari 100% maka pekerjaan ditolak (rejected) sebaliknya bila lebih atau sama dengan 100% pekerjaan diterima.

Yang jadi pertanyaan disini apakah dengan sampling hanya satu titik akan dijamin barang yang kita terima seluruhnya baik. Karena adanya variabilitas baik pada material itu sendiri, pemadatannya sendiri atau pada pengujiannya sendiri. Sebagai contohnya kepadatan yang dicapai untuk dasar Proyek Jagorawi mempunyai standar deviasi total sebesar 4%. Bila misalnya kepadatan rata-rata yang dicapai pada suatu lot hanya mencapai 96% maka

ada kemungkinan kita akan menerima pekerjaan tersebut dengan tidak disengaja karena kebetulan yang dites kebetulan terambil pada bagian yang lebih dari 100% (untuk standar deviasi 4%, dengan u 96%, maka 15% dari luas yang dipadatkan mempunyai kepadatan lebih dari 100%.

$$P(a < 100\%) = F\left(\frac{100 - 96}{\uparrow}\right) = (1) = \pm 15\%$$

(lihat tabel statistik)

Besarnya kemungkinan kita akan menerima barang yang mempunyai defect p % (dalam hal pemadatan p = prosentase pemadatan yang kurang dari 100 %) dapat dihitung dengan persamaan Binomial dibawah ini :

$$P_r(n, d) = \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d q^{n-d}$$

dimana

$P_r$  = Besarnya kemungkinan terterima (probability of acceptance).

n = Banyaknya contoh

d = banyaknya defect (yang tidak memenuhi sarat.

p = besarnya prosentase yang jelek (< 100 %)

q = besarnya prosentase yang baik = (1 - p)

Dengan persamaan ini kita dapat menentukan banyaknya pemeriksaan (test) untuk melindungi consumer dari kemungkinan terterimanya barang yang jelek. Sebagai contohnya bila kita mentolerir prosentase yang jelek sebesar 10% kita dapat menentukan banyaknya pengujian (n) sehingga consumer terlindung dari terterimanya barang yang lebih jelek dari itu (untuk menjamin consumer ambil  $P_r = 10\%$ ).

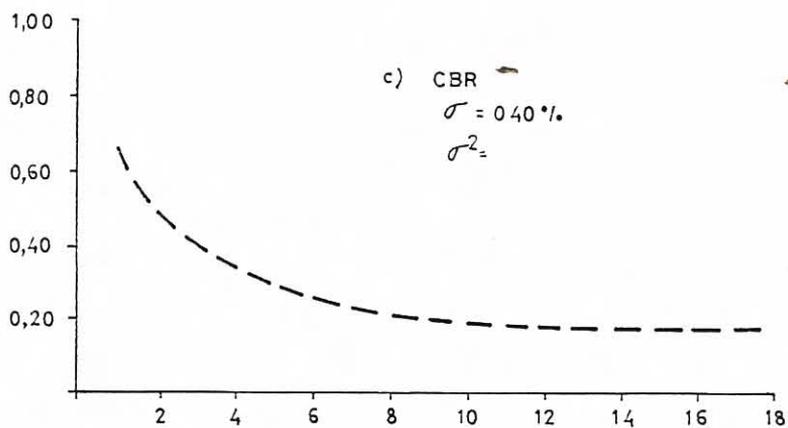
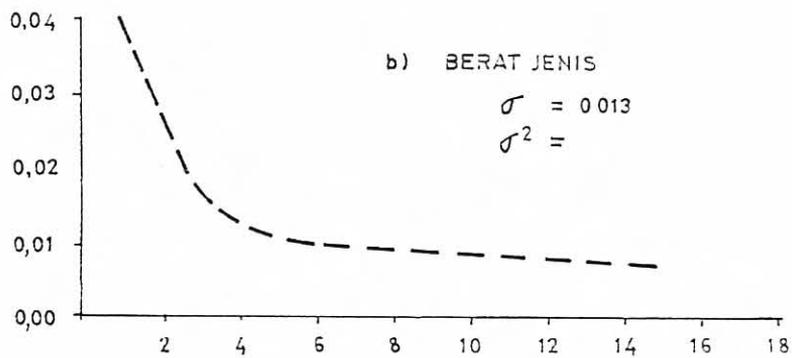
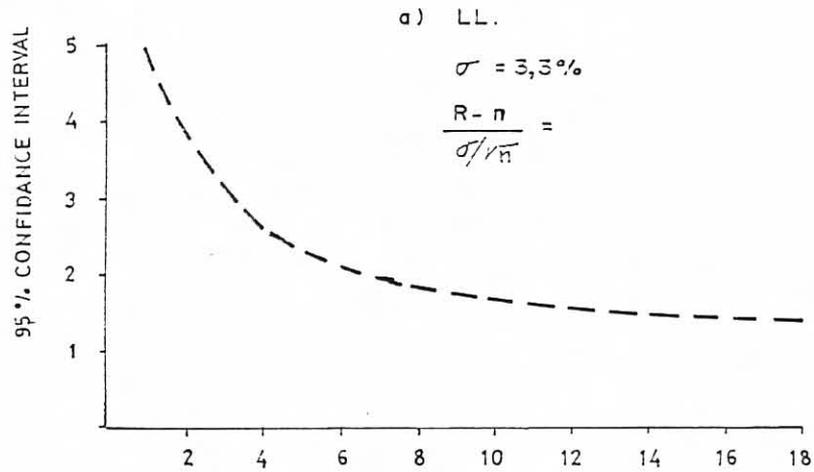
$$0,10 = \frac{n!}{d!(n-d)!} 0,10^d 0,90^{n-d}$$

$$0,10 = \frac{n!}{d!(n-d)!} 0,10^d 0,90^{n-d}$$

bila kita tentukan d = 0, maka n dapat dihitung.

Untuk jelasnya dari grafik kurva OC, maka untuk  $P_r = 0,10$ , diperlukan sampling sebanyak 22 titik.

PENGARUH JUMLAH TEST VS BATAS KE-  
TELITIAN (n VS L.2)



GAMBAR 4  
 HUBUNGAN ANTARA JUMLAH  
 CONTOH (n) DENGAN BATAS KETELITIAN

Contoh diatas merupakan ilustrasi penggunaan statistik dalam pengendalian mutu. Tentu saja pemeriksaan kepadatan sebanyak itu bila menggunakan sand cone yang satu titiknya memerlukan waktu kurang lebih 30 menit pemeriksaan sebanyak itu akan memerlukan waktu yang lama sekali. Bagaimana cara mengatasinya? . Sederhana, gunakan sequential sampling atau gunakan alat pemeriksa kepadatan yang lebih cepat. Berapa banyaknya sampling bila menggunakan alat yang lebih cepat tetapi lebih kasar tetapi dapat menghasilkan ketepatan (accuracy) atau reliabilitas yang sama?

Bila menggunakan alat yang ketelitiannya kurang maka  $n_{\text{equivalent}}$  dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$n_e = \frac{\sigma_{s+\alpha}^2}{\sigma_{s+0}^2} n_{\text{balon}} = \frac{\sigma_{\text{balon}}^2}{\sigma_{\text{sord cone}}^2}$$

**Contoh 1:**

Bila sand cone mempunyai index presisi  $\sigma = 2\%$  dan kita gunakan Baloon Tester dengan  $\sigma = 3\%$ , maka dengan Baloon tester yang kecepatannya 4 kali kecepatan sand cone kita dapat mengambil test sebanyak  $9/9 \times$  titik yang hasilnya sama dengan atau akurasi sama dengan sand cone.

**Contoh 2:**

Untuk mendapatkan kuat geser suatu lapisan tanah dapat digunakan alat yang lebih kasar (seperti Vase test atau penetrometer) tetapi lebih cepat dan lebih mudah tetapi dapat menghasilkan akurasi yang sama dengan unconfined compressive strength test misalnya.

**KESIMPULAN**

1. Konsep-konsep statistik dapat lebih merasionalkan pengertian faktor keamanan, ketidak pastian (uncertainty), risiko dapat dikuantifisir walaupun masih ada variabel-variabel yang mengganjal tetapi minimal sudah dapat dipersempit.
2. Data yang minim dapat dianalisa untuk dapat ditentukan ketepatan dan reliabilitasnya, sebaliknya rencana penyelidikan yang lebih logis dapat dibuat dengan bantuan statistik.
3. Acceptance sampling yang biasa dilakukan tidak memberi jaminan perlindungan terhadap konsumen akan diterimanya barang yang prosentase defectnya lebih yang dikehendaki.

4. Studi variabilitas material akan sangat bermanfaat untuk memberi informasi tentang sifat-sifat tanah terutama mengenai variabilitasnya yang dapat digunakan untuk keperluan perencanaan, apakah itu perencanaan penyelidikan, desain atau untuk maksud-maksud penelitian. Dan kita dapat keluar dari rimba ketidakpastian yang penuh risiko-risiko, walaupun perjalanan terasa masih jauh.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Grant, "Statistical Quality Control", Mo Graw-Hill 3d edition.
2. Dudley J Cowden, "Statistical Method in Quality Control". Prentice Hall, Tokyo.
3. Cochran W.G. "Sampling Technique", Modern Asia Edition.
4. Hald, "Statistical Theory Engineering Application", Wiley.
5. Miller, I. Freund J E, "Probability And Statistic For Engineer", Eastern Economy second edition.
6. Ang A. Hs. Tang W.H, "Probability Concepts In Engineering Planning And Design" John Wiley V 1, Basic Principles.
7. ASTM "Use Of Term Precision And Accuracy As Applied To Measurement Of A Property Of Material" E 177-71.
8. Weingarten H, Baker R.F, "Specification Control Pf Quality".
9. Metoalf J.B, "Method Of Specifying And Controlling Compaction", Journal Of The ARRB vol4,no2.
10. Bowls, "Physical And Geotechnical Property Of Soils"? Mc Graw Hill.
11. Lee, Ik, White W. Ingles O.G, "Geotechnical Engineering", Pitman.

**Penulis:**

Alan Rachlan, BRE., adalah Staf Bidang Geo Teknik Puslitbang Jalan. Memperdalam masalah penelitian bidang Geo Teknik di Inggris + Belanda.

# Bantalan jembatan dari Karet alam

Max Salendu



*Fungsi utama dari suatu bearing ialah meneruskan/menyalurkan beban-beban bangunan atas terhadap bangunan bawah jembatan tanpa menimbulkan kerusakan struktur. Bearing dapat pula menghindari pengaruh yang kurang menguntungkan bangunan bawah, misalnya gaya horisontal.*

*Pentingnya fungsi bearing sebagai bagian dari konstruksi menimbulkan suatu kecenderungan untuk mencari bearing yang lancar bergerak, tidak mudah terserang korosi dan tidak memerlukan pemeliharaan khusus. Rubber bearing memenuhi semua kualifikasi tersebut diatas, disamping memiliki harga pembuatan dan ongkos pemasangan yang rendah, dan keawetan yang dapat diharapkan sesuai umur rencana jembatan. Hal ini tentu saja harus ditunjang oleh mutu bahan yang baik dan perencanaan dimensi bearing yang tepat.*

*Bahan baku rubber bearing secara umum terdiri atas dua macam bahan, yaitu karet alam (natural rubber) dan karet sintetis (neoprene). Penggunaan karet alam sebagai bantalan jembatan di Indonesia baru dimulai pada awal tahun tujuh puluhan, walaupun jauh sebelumnya rubber bearing jembatan telah digunakan di luar Indonesia, yang umumnya didominasi oleh karet sintetis sebagai bahan bakunya.*

*Sebagai upaya pengembangan penggunaan bantalan jembatan dari karet alam, maka Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan bekerjasama dengan Balai Penelitian Perkebunan Bogor telah mengadakan studi mengenai "Bantalan Jembatan dari Karet Alam".*

## MAKSUD & TUJUAN

Dengan memperhatikan latar belakang sebagai berikut.

- Tingginya nilai variasi kualitas bantalan jembatan dari karet alam yang dihasilkan oleh sebagian besar pengrajin karet sebagai produsen.
- Adanya penggunaan bantalan jembatan dari karet alam yang berdimensi kurang sesuai dengan konstruksi yang didukung.
- Indonesia sebagai penghasil karet alam memungkinkan tercapainya faktor ekonomis dalam pembuatan bantalan jembatan dari karet alam.

Maka maksud dan tujuan penelitian adalah :

- Meningkatkan mutu bahan bantalan jembatan dari karet alam melalui penyusunan komponen karet yang sesuai dan memenuhi persyaratan.
- Mendapatkan dimensi bantalan jembatan dari karet alam untuk digunakan pada beberapa macam type jembatan.
- Upaya meningkatkan penggunaan produksi dalam negeri.

## SUSUNAN KOMPON BANTALAN JEMBATAN DARI KARET ALAM

### A. BAHAN PEMBUAT BENDA UJI.

- Karet alam.  
Karet alam yang digunakan sebagai bahan baku adalah berasal dari PTP. XI Sukamaju.
- Bahan pembantu kimia, terdiri dari :
  - Bahan untuk vulkanisasi : belerang
  - Bahan penggiat : ZnO dan Asam Stearat
  - Bahan pencepat : N-Cyclohexyl 2-Benzole Sulphenamida.
  - Bahan pelunak : minyak mineral
  - Bahan penangkal degrading : N-isopropyl-N' phenyl-para phenylenediamine  
Phenyl-B-Napthylamine
  - Bahan pengisi penguat : General purpose furnace-black.
- Logam.  
Lempengan logam yang digunakan untuk meningkatkan kekakuan bantalan karet, memenuhi syarat sesuai standar ASTM A. 366 dengan ketebalan 3 mm.

- Bahan perekat.

Bahan perekat antara permukaan kompon dengan lempeng logam yang digunakan adalah "Chemlok No. 220 dan Chemlok No. 205".

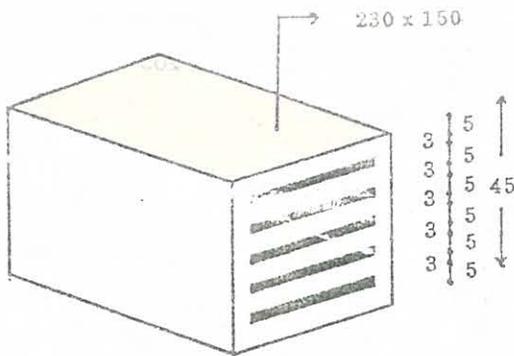
### B. PEMBUATAN BENDA UJI

Pembuatan kompon (campuran karet alam dengan bahan kimia) dilakukan pada mesin giling (open-mill) dengan suhu sekitar 70°C. Komposisi bahan untuk kompon tercantum pada tabel 1.

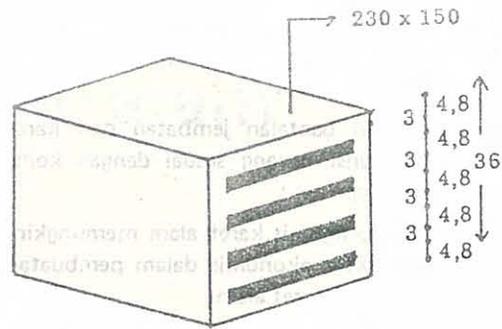
TABEL  
BAHAN UNTUK KOMPON

Bahan	Bagian perseratus berat karet
RSS. I	100
ZnO	6
Asam Stearat	1
PBN	1
Santoflex IP	2
N-660, GPF black	25
Dutrex R	2
Santocure	0,7
Belerang	2,5

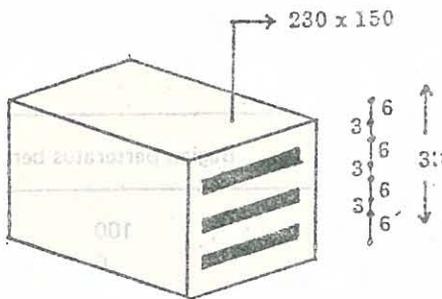
Ketebalan lembaran kompon disesuaikan dengan ukuran yang dikehendaki. Antara permukaan kompon dan lempeng logam diberi bahan perekat. Susunan Kompon dengan lempeng logam tampak pada gambar 1.



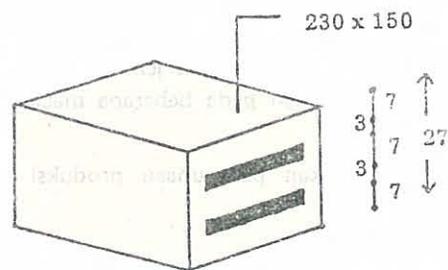
(B<sub>1</sub>)



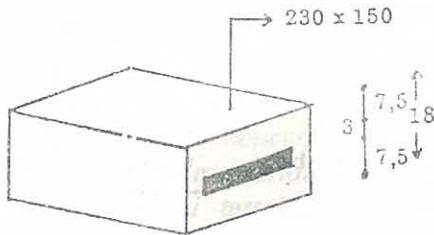
(B<sub>2</sub>)



(B<sub>3</sub>)



(B<sub>4</sub>)



(B<sub>5</sub>)

Penentuan waktu vulkanisasi optimum dilakukan pada alat "Rheometer". Susunan komponen dengan lempeng logam dalam cetakan, divulkanisasi pada mesin kempa dengan suhu 140°C. Pemanasan dilaksanakan dengan uap air, tekanan 150 kg/m<sup>2</sup> selama 1 jam.

#### C. PENGUJIAN BENDA UJI

- Pengujian sifat vulkanisat karet sesuai BS.1154-1952.
- Pengujian sifat mekanik bantalan karet sesuai AASHT.M 251-1974.

#### D. HASIL DAN PEMBAHASAN

- Sifat fisika vulkanisat yang diperoleh dari percobaan tercantum pada tabel 2. Jenis uji dan nilai yang diperkenankan pada tabel 2 adalah untuk kondisi iklim tropika.

Seluruh sifat fisika yang diperoleh memenuhi persyaratan. Nilai kekerasan vulkanisat karet maha dapat ditingkatkan sesuai kebutuhan perencanaan sampai nilai maksimum, yaitu 70<sup>0</sup>BS. (50 ± 2 s/d 70 ± 2)

TABEL  
SIFAT VULKANISA. KARET

JENIS UJI	HASIL	SPESIFIKASI "BS 1154: 1952"
Kekerasan, Shore A	48	50 ± 2 <sup>o</sup> BS.
Tegangan putus, psi	41112,5	3000 ( MINIMUM)
Perpanjangan putus, psi	620	600 (MINIMUM)
Pemantapan tetap, %	9,9	12 (MAKSIMUM)
Perubahan sifat fisika setelah pengusangan-dipercepat pada suhu 70 <sup>o</sup> C selama 7 x 24 jam		
Kekerasan, Shore A	+ 3	+ 4 s.d. 0
Tegangan Putus, %	+ 1,4	+ 10 s.d. - 10
Perpanjangan putus, %	- 9,7	0 s.d. - 15
Ketahanan terhadap ozone : 25 pphm, 20% perpanjangan, 38 <sup>o</sup> C. selama 48 jam	TAK RETAK	TAK RETAK

— Hasil pengujian sifat mekanika bantalan karet tercantum pada tabel 3.

TABEL  
HASIL PENGUJIAN BANTALAN KARET

HASIL PENGUJIAN		SPESIFIKASI		Keterangan
$\Delta c$ (%)	$I_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta c$ (%)	$I_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
B1	1,28	1,3	< 5	: $\Delta c$ = simpanan vertikal   $I_s$ = tekanan horisontal
B2	1,73	1,6	< 5	
B3	1,96	1,4	< 5	
B4	2,64	1,4	< 5	
B5	2,80	1,5	< 5	

#### Ujian beban vertikal :

Benda uji memenuhi syarat yang diperkenankan. Perbedaan kekakuan bantalan yang diakibatkan perbedaan tebal lapisan karet berhubungan dengan perbedaan kemampuan karet untuk berubah bentuk. Faktor bentuk (S), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara luas permukaan yang dibebani dengan luas permukaan yang bebas beban, merupakan parameter yang berpengaruh pada kekakuan bantalan ke arah vertikal. Secara matematis ditulis,

$$S = \frac{L \times B}{2t(L + B)}$$

L = panjang; B = lebar; t = tebal masing-masing lapisan karet

Simpangan vertikal sebagai fungsi faktor bentuk,

$$\Delta c = \frac{P_c \times t}{E_o (1 + 2 k s^2)}$$

Kekakuan vertikal,

$$K_c = \frac{W}{\Delta c}$$

E<sub>o</sub> = modulus Young; k = faktor koreksi; P<sub>c</sub> = tekanan, W = beban

Dari ketiga persamaan di atas tampak bahwa  $t$  yang kecil akan memperbesar nilai  $S$ . Simpangan vertikal akan semakin kecil dengan membesarnya nilai  $S$  yang mengakibatkan kekakuan yang besar. Pengaruh faktor bentuk tampak pada gambar 2.

#### Uji beban horisontal :

Kekakuan bantalan kearah horisontal tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan gaya horisontal ditahan langsung oleh kekakuan vulkanisat. Secara matematis ditunjukkan oleh persamaan,

$$F = G \times A \times \delta_s / t,$$

di mana  $F$  = gaya horisontal;  $G$  = modulus geser vulkanisat;  $A$  = luas penampang bantalan (arah normal  $\perp$  arah gaya  $F$ );  $\delta_s$  = simpangan geser (horisontal);  $T$  = tebal total bantalan.

### PERENCANAAN DIMENSI BANTALAN JEMBATAN DARI KARET ALAM

#### A. DATA PERENCANAAN

- Sket lay out dan jumlah bearing.
- Batasan ukuran bearing.
- Pergerakan horisontal maximum.
- Beban horisontal maksimum yang diijinkan pada perletakan.
- Muatan sekunder.
- Beban mati dan beban hidup maksimum tiap-tiap bearing.
- Gaya tekan maksimum
- Batasan regangan vertikal
- Rotasi bearing maksimum
- Kondisi cuaca

#### B. PROSEDUR PERENCANAAN

- Diketahui :

$W$  (Beban total maksimum)  
 $\delta_s$  (Pergerakan geser horisontal maksimum)  
 $\alpha$  (Rotasi bearing dalam radians maksimum)

- Batasan maksimum yang tidak boleh dilampaui

$F$  (beban geser horisontal)  $< 0,2$  beban mati  
 $\Delta c$  (regangan vertikal maksimum)  $< 0,15$   
 $P_c$  (tegangan vertikal)

- Setelah memilih suatu kekerasan karet, melalui tabel 4 di peroleh :

$E_o$  (Modulus Young)  
 $k$  (Faktor tekan)  
 $G$  (Modulus geser)  
 $E_v$  (Bulk Modulus)

#### C. PERSAMAAN-PERSAMAAN

$$P_c = W/A = W/L^2 \rightarrow \text{untuk bujur sangkar} \rightarrow L \text{ minimum}$$

$$S = \frac{P_c}{160} \rightarrow S \text{ minimum}$$

$$= L/4t \rightarrow \text{Untuk bujur sangkar atau bulat } (\phi = L)$$

$$= L/2t \rightarrow \text{Untuk persegi panjang dimana : } B \gg L \text{ (t maksimum.)}$$

$$F = G.A.e_s = G.L^2.e_s \rightarrow \text{untuk bujur sangkar} \rightarrow e_s \text{ max.}$$

Jika  $e_s >$  harga pada tabel di atas, gunakan harga yang berikut.

$$e_s = \delta_s/T \rightarrow T \text{ minimum}$$

$$n = T/t \rightarrow n \text{ minimum}$$

$n$  harus merupakan bilangan bulat dengan cara meningkatkan harga  $T$  atau memperkecil  $t$ .

$$\Delta c > \frac{n.p.c.t.}{E_o(1+2.k.s^2)} + \frac{p.c.T}{E_v}$$

$$\alpha < \frac{2.\Delta c}{L}$$

$t/T > 4 \rightarrow$  bila tak dipenuhi, maka perlu dicek kestabilan dengan percobaan.

#### D. HASIL PERENCANAAN DAN PEMBAHASAN

Hasil perencanaan dimensi bantalan jembatan dari karet alam tampak pada tabel 5. Kelima type jembatan yang dipakai sebagai dasar perencanaan merupakan sebagian dari beberapa type jembatan yang telah distandarisasi oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. Pengelompokan type jembatan berdasarkan beban dan lebar bantalan dalam perencanaan, bertujuan menyederhanakan jumlah dimensi bantalan. Ketebalan ( $T$ ) pada tabel 5

TABEL 4  
HUBUNGAN MODULUS DAN HARDNESS VULKANISAT

HARDNESS	YOUNG'S MODULUS		SHEAR MODULUS		k	BULK MODULUS		MAX. PERMISSIBLE SHEAR STRAIN
	E <sub>o</sub>		G			E <sub>oo</sub>		e, (max)
°BS	p.s.i.	kg/cm <sup>2</sup>	p.s.i.	kg/cm <sup>2</sup>		p.s.i.	kg/cm <sup>2</sup>	%
50	310	22	90	6.4	0.73	146.000	10.300	70
55	460	32.5	115	8.1	0.64	154.000	10.900	65
60	630	44.5	150	10.6	0.57	163.000	11.500	60
65	830	58.5	195	13.7	0.54	171.000	12.100	55
70	1040	73.5	245	17.3	0.53	180.000	12.700	50

- Dari persamaan-persamaan di bawah akan didapatkan :

- A = Luas bearing ( L x B )
- S (Faktor bentuk tiap-tiap lapis)
- e<sub>s</sub> (Regangan geser)
- t (Ketebalan tiap-tiap lapis)
- T (Ketebalan karet total)
- n (Jumlah lapis karet)

belum termasuk lempengan logam (3 mm) yang harus diletakkan pada setiap antara lapisan vulkanisat yang berketebalan 5 s/d 8 mm. Hasil pengujian benda uji secara vertikal pada tabel 6, menunjukkan daya dukung bantalan jembatan dari karet alam yang cukup memadai.

TABEL 5  
HASIL PERENCANAAN DIMENSI BANTALAN

Type Jembatan / Bentang	B (cm)	L (cm)	T (cm)	duro
1. - Composite / 6 - 16 m - Balok T / 5 - 9 m	23	23	1,6	55±5 ±
2. - Composite / 18 - 20 - Balok T / 10 - 17 M	40	20	2,0	55±5
3. - Balok T / 18 - 20	50	20	2,0	55±5
4. - Balok T / 21 m - Girder I Beam / 20 - 27 m	60	25	2,7	55±5
5. - Balok T / 22 - 25 - Girder I Beam/28 - 35	70	25	3,5	55±5
6. - Voilded slab / 5 - 16 - Flat slab / 5 - 12	20	20	1,6	55±5



Gambar 3. Kerusakan bantalan jembatan akibat mutu bahan dan dimensi yang tidak memenuhi syarat.

TABEL 6  
HASIL PENGUJIAN BEBAN VERTIKAL

Benda Uji	Pada $\Delta c = 5\%$		Pada $\Delta c = 8\%$	
	Pc (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Spesifikasi	Pc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Spesifikasi
B 1	120	> 35 kg/cm <sup>2</sup>	196	> 56 kg/cm <sup>2</sup>
B 2	98	> 35 kg/cm <sup>2</sup>	160	> 56 kg/cm <sup>2</sup>
B 3	76	> 35 kg/cm <sup>2</sup>	111	> 56 kg/cm <sup>2</sup>
B 4	60	> 35 kg/cm <sup>2</sup>	85	> 56 kg/cm <sup>2</sup>
B 5	52	> 35 kg/cm <sup>2</sup>	76	> 56 kg/cm <sup>2</sup>

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Susunan Kompon Bantalan Jembatan dari Karet Alam.

- Komposisi kompon yang diperoleh cukup memenuhi syarat. Untuk memilih sifat elastis vulkanisat karet, lebih dahulu bantalan jembatan diuji kearah horisontal. Untuk memperoleh kekakuan ke arah vertikal yang diperkenankan, cukup dengan memvariasi jumlah dan atau cara perletakan lempeng logam mendatar.

- Kesulitan yang ditemui dalam persoban adalah menjaga kedudukan lempeng logam agar tidak berubah. Hal ini dapat dicapai dengan sedikit memodifikasi cetakan sedemikian rupa sehingga ada tempat kedudukan lempeng logam.

B. Perencanaan Dimensi Bantalan Jembatan dari Karet Alam.

- Hasil perencanaan cukup sederhana, yaitu enam macam ukuran untuk seratus tiga puluh jembatan yang terdiri dari lima type, dua macam pembebanan (BM. 70 dan BM. 100), dan berbagai bentang yang berlainan. Ketebalan bantalan bisa dikurangi untuk penggunaan pada jembatan bentang pendek dalam setiap kelompok ukuran tanpa merubah cetakan.
- Pembuatan dan pengujian bantalan yang berukuran sesuai dengan hasil perencanaan perlu dilaksanakan sebagai penelitian lanjutan. Perencanaan dimensi bantalan jembatan dari karet alam untuk type jembatan yang lain, termasuk jembatan rangka baja perlu dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhuana, K.S. dan Soemarno Kartowardoyo., "Susunan Komponen Karet Alam dan Desain Konstruksi untuk Bantalan Jembatan Jalan Raya", Bogor, Balai Penelitian Perkebunan, 1985.
2. Soemitroadi. B. DR., "Perkembangan Penggunaan Karet Alam dalam Pembangunan Prasarana", Jakarta, Balai Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 1985.
3. Salendu, M., "Perencanaan Bantalan Jembatan dari Karet Alam", Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, 1985

PENULIS :

Max Salendu, BE., adalah Staf Bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan Puslitbang Jalan. Saat ini sedang menekuni penelitian Karet Alam sebagai Bantalan Jembatan.

# Pengukuran Kerataan permukaan jalan dengan alat Profilograf

Soemartono Mulyadi dan  
Suroso.



*Konfigurasi permukaan jalan memberikan indikasi mengenai kerataan permukaan, baik dalam arah melintang maupun dalam arah memanjang. Karena itu alat ini diberi nama profilograf.*

*Sejak selesai pembuatannya pada awal 1983, telah dilakukan serangkaian uji coba terhadap struktur alat dan kemampuannya sebagai pengukur kerataan permukaan jalan. Konfigurasi kerataan permukaan jalan diukur langsung dengan menggunakan 6 (enam) buah roda sensor, dan hasil pengukuran tercatat langsung dalam bentuk grafik dan digital numerik.*

*Grafik tergambar dengan skala panjang 1 : 500 dan besarnya gelombang jalan (arah vertikal) dengan skala 1 : 2, memberikan gambaran mengenai konfigurasi dan besarnya gelombang permukaan jalan.*

*Digital numerik mencatat jumlah angka kekasaran (roughness index) dalam satuan mm/km.*

*Dengan menganalisa dan evaluasi grafik-grafik dan digital numerik tersebut akan didapatkan gambaran lebih nyata mengenai kondisi jalan tersebut.*

## PENDAHULUAN

Sampai saat sekarang, Direktorat Jenderal Bina Marga belum membakukan manual Penilaian Kondisi Jalan, walaupun kegiatan penilaian kondisi jalan sudah dilaksanakan sejak beberapa tahun yang lalu.

Selama ini, kegiatan penilaian kondisi jalan didasarkan pada Pedoman Penilaian Kondisi Jalan, suatu konsep yang disusun oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan. Menurut pedoman ini, penilaian kondisi jalan dilakukan secara visual; dimana 3 orang petugas dengan menggunakan kendaraan Jeep Toyota melintas di atas jalan yang akan dinilai dengan kecepatan  $\pm 40$  km/jam. Kondisi jalan diamati secara visual oleh petugas dan hasilnya dicatat dalam formulir. Penilaian kondisi dengan cara ini memberikan hasil yang sangat subyektif.

Sejak  $\pm 3$  tahun yang lalu, dikenalkan pula penilaian kondisi jalan dengan menggunakan alat NAASRA Roughometer. Dengan alat ini kita dapat mengukur besarnya Roughness Index dinyatakan dalam mm/km, yaitu suatu angka yang menyatakan jumlah pergerakan vertikal relatif antara as dan body kendaraan pada saat kendaraan tersebut melintasi jalan yang akan diukur.

Kecepatan kendaraan  $\pm 32$  km/jam. Walaupun pengukuran dengan NAASRA Roughometer ini menggunakan kendaraan standar, hasil pengukuran sangat dipengaruhi oleh tipe dan kondisi kendaraan, respon kendaraan terhadap pergerakan vertikal dan kecepatan pada waktu pengukuran. Ini berarti bahwa untuk kondisi yang sama, bila diukur dengan alat dan kendaraan yang berlainan, akan memberikan hasil yang berbeda pula. Dengan kata lain, pengukuran tidak memberikan hasil yang nyata.

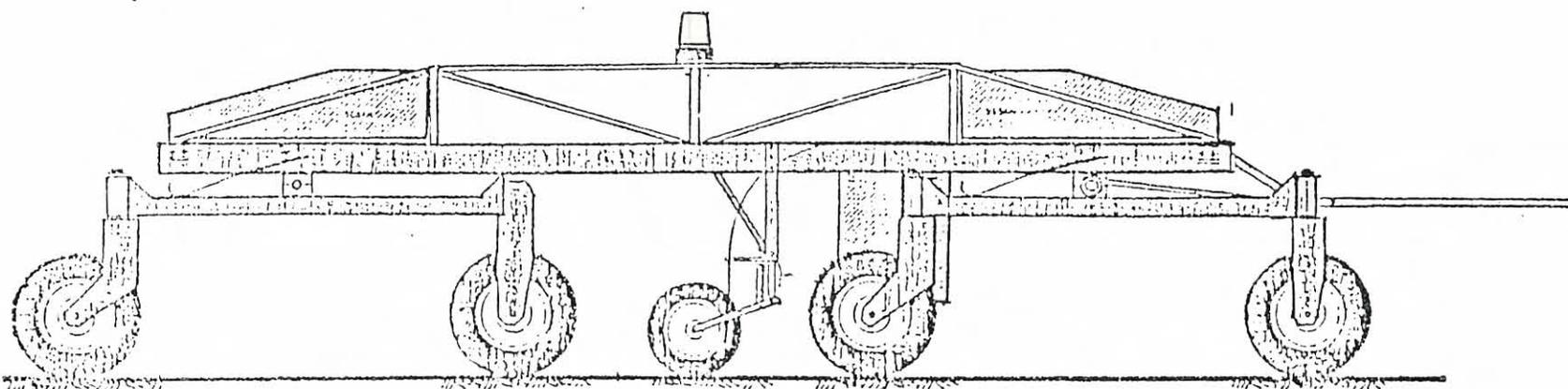
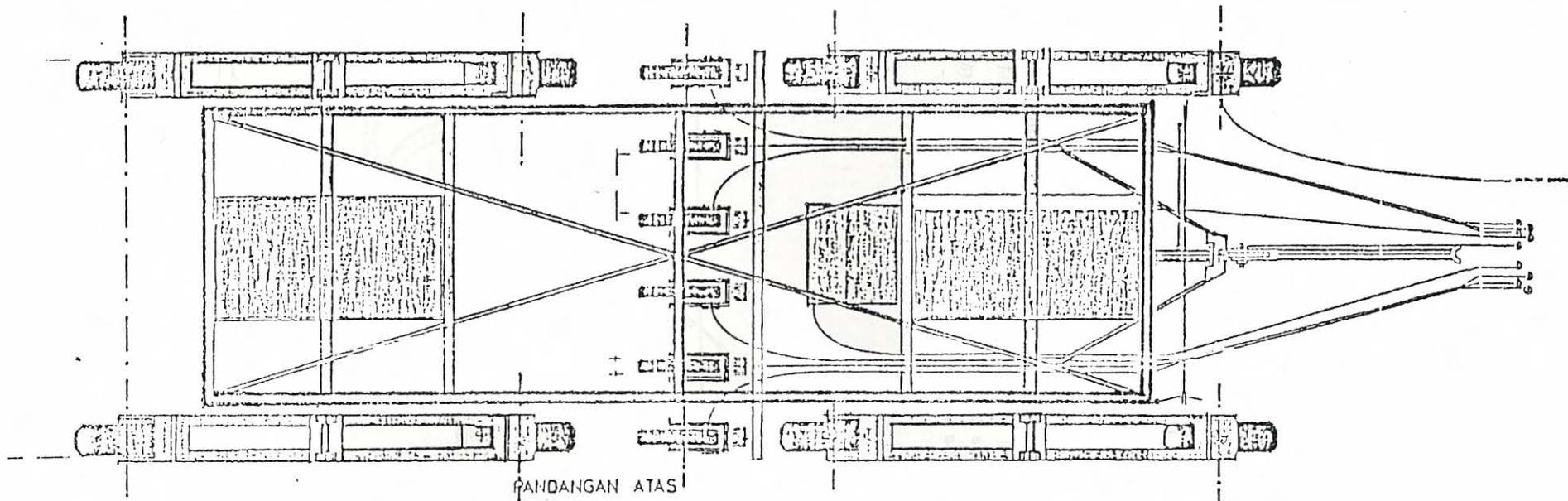
Untuk mengatasi hal-hal tersebut di atas, maka sejak tahun 1980, PUSLITBANG JALAN membuat sebuah alat yang dapat secara langsung mengukur kondisi permukaan jalan. Alat ini dapat mencatat besarnya nilai riil dari penyimpangan/kerataan jalan dalam bentuk grafik dan digital numerik.

Alat ini disebut PROFILOGRAF, trailer mounted, yang pengoperasinya ditarik dengan kendaraan.

Sejak selesai pembuatannya, alat ini telah mengalami serangkaian uji coba. Uji coba terhadap struktur dan komponen alat dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi Departemen Teknik Mesin ITB. Sedang uji coba kemam-

Gambar 1 --- **PROFILOGRAF**

MODEL PG 01 -----



TALPAK SAMPING

puan dan ketelitian dilakukan pada beberapa ruas jalan di Jawa Barat dan Jawa Tengah.

Seluruh komponen alat dibuat dengan bahan dari dalam negeri, kecuali digital counter ex import.

## STRUKTUR ALAT PROFILOGRAF

### PRINSIP KERJA ALAT

Pada prinsipnya, alat profilograf dirancang dan dibuat dengan kemampuan untuk mengukur langsung konfigurasi permukaan jalan dalam arah melintang dan arah memanjang. Agar pengukuran dapat memberikan data yang sebenarnya mengenai kerataan permukaan jalan, maka pada prinsipnya alat ini harus mampu mencatat tinggi rendahnya gelombang yang terdapat dipermukaan jalan. Konfigurasi gelombang (tinggi rendah permukaan) diukur dengan menggunakan roda-roda sensor (roda pengukur), yang menggelinding terus menerus dan selalu berada dalam keadaan kontak dengan permukaan jalan. Pada waktu menggelinding, roda-roda pengukur akan bergerak turun naik mengikuti bentuk profil permukaan. Jadi, jika pada suatu saat roda melintasi permukaan yang cembung, roda akan bergerak naik dan sebaliknya pada saat melintasi bagian permukaan yang cekung roda akan

bergerak turun. Gerak turun naik roda pengukur ini dicatat langsung oleh pesawat pencatat dalam bentuk grafik-grafik dan angka-angka. Grafik gelombang tersebut dicatat dengan skala memanjang 1 : 500 dan skala vertikal dapat diatur dengan maksimum 1 : 1. Angka-angka yang tercatat dengan digital counter menyatakan jumlah akumulatif dari besarnya gerakan turun naik roda sensor setiap satuan panjang jalan dan dinyatakan dalam mm per satuan panjang jalan.

### BAGIAN-BAGIAN STRUKTUR ALAT

Bentuk prototype alat profilograf dapat dilihat pada gambar 1. Prototype alat ini diberi kode PG-01, terdiri dari 3 (tiga) bagian, yaitu: Trailer, Roda-roda pengukur, Pesawat pencatat.

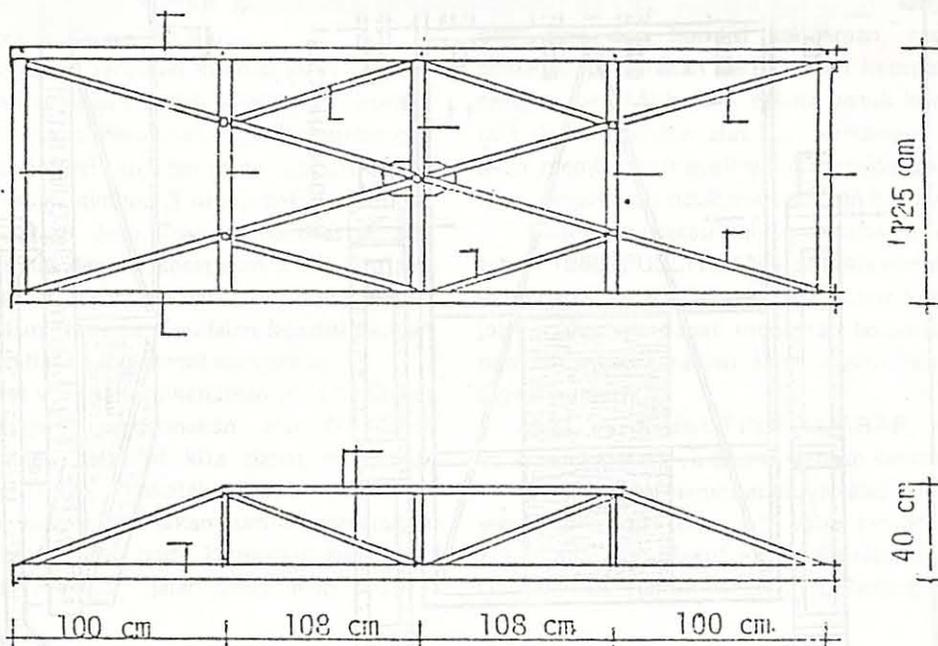
#### TRAILER

Trailer ini merupakan "body" dari profilograf, terdiri 2 (dua) bagian, yaitu:

##### 1. Konstruksi atas (BK)

Merupakan konstruksi rangka baja dengan ukuran: Panjang : 416 cm; lebar : 125 cm; tinggi : 40.

Konstruksi bagian atas trailer ini dapat dilihat pada gambar 2.



## 2. Lori ( L )

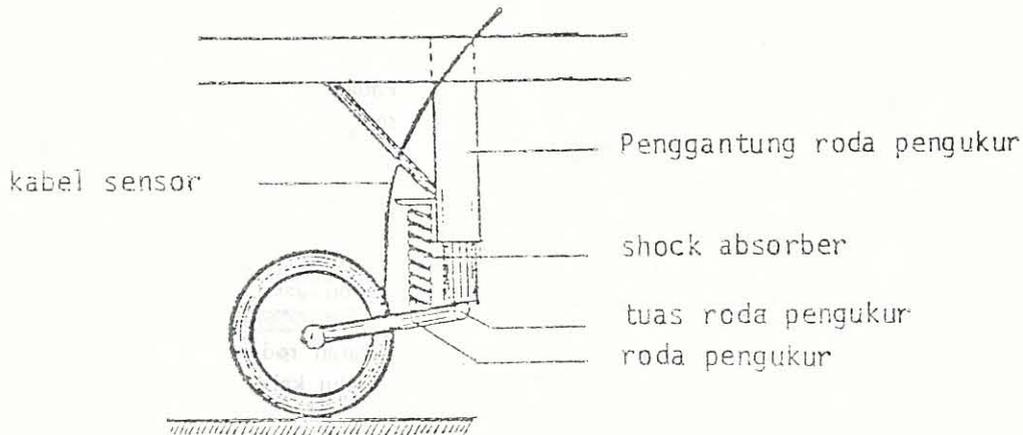
Trailer dipikul oleh 2 (dua) pasang lori, yaitu: lori depan dan lori belakang; setiap lori dipikul oleh 2 (dua) pasang roda. Jarak antar as adalah 170 cm, sedang jarak sisi luar roda-roda dalam satu as adalah 170 cm. Untuk roda-roda lori digunakan roda mobil Honda pick up yang mempunyai diameter 50 cm, masing-masing dipegang oleh garpu pemegang GP. Untuk meredam getaran akibat guncangan, pada setiap roda dipasang peredam getaran (shock absorber) dan antara konstruksi atas dengan lori pemikul dipasang 4 buah pegas (per).

Roda lori menggunakan jenis ban yang mempunyai kembang kasar, untuk memperkecil kemungkinan terjadinya penggelinciran (slip) pada jalan yang licin.

Pada lori depan dipasang konstruksi batang penarik, yang gunanya untuk mengikatkan alat profilograf pada kendaraan penarik. Konstruksi barang penarik dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan pergerakan bebas arah mendatar. Pergerakan ini diperlukan untuk memungkinkan profilograf dapat berbelok kekiri dan kekanan, mengikuti kendaraan penarik.

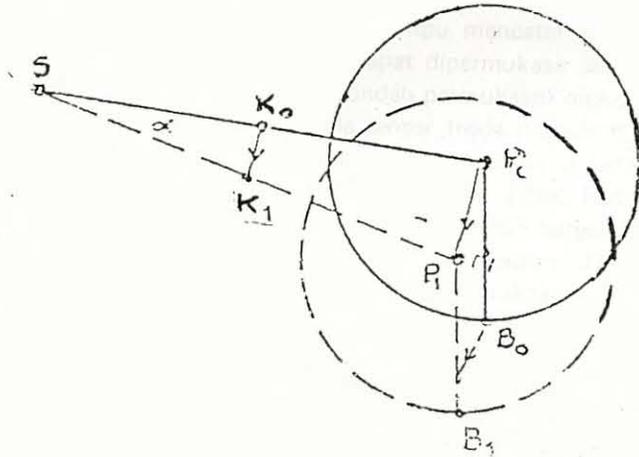
## RODA-RODA PENGUKUR.

Roda-roda pengukur adalah bagian dari profilograf yang berfungsi sebagai alat peraba permukaan jalan. Roda-roda ini dipasang berjajar dalam arah melintang. Jumlah roda ukur tergantung dari tingkat ketelitian yang dikehendaki, artinya sampai sejauh mana ingin diketahui konfigurasi permukaan jalan pada arah melintang. Pada prototype PH 01, dipasang 6 (enam) buah roda pengukur, dengan jarak 32 cm satu sama lainnya. Jenis roda yang digunakan adalah roda motor Vespa yang mempunyai diameter 30 cm, dengan ban yang mempunyai kembang halus atau pola kembang sejajar. Setiap roda menumpu pada tuas T, lihat gambar 3.



Tuas T terikat pada konstruksi gantungan yang kuat dengan konstruksi sendi. Konstruksi sendi dibuat sedemikian rupa sehingga hanya memungkinkan tuas T dan roda pengukur bergerak dalam arah vertikal saja keatas dan kebawah. Jarak antara as roda dengan sendi 57 cm. Pada tuas diletakkan ujung kabel sensor. Letak ujung kabel sensor ini menentukan skala vertikal grafik. Karena prototype alat menggunakan skala vertikal 1 : 2, maka ujung kabel diletakkan di tengah-tengah jarak as roda dengan sendi.

Secara skematis, skala vertikal ini dapat ditentukan sebagai berikut: lihat gambar 4.



- P = as sumbu roda pengukur
- K = letak ujung kabel sensor
- S = sendi
- B = titik sentuh roda pengukur dengan permukaan jalan.

Misalnya roda pengukur berubah posisinya, sehingga as roda berpindah dari  $P_0$  ke  $P_1$  dan posisi tuas T berubah posisi dari  $SP_0$  menjadi  $SP_1$  yang membuat sudut putar sebesar  $\alpha$ . Akibatnya ujung kabel sensor pindah dari  $K_0$  ke  $K_1$ . Panjang busur  $K_0K_1$  akan mengakibatkan pegas pada pesawat pencatat tertarik sebesar  $K_0K_1$  pula dan pena yang terpasang pada tuas pesawat pencatat akan menggambar grafik dengan amplitudo sebesar  $K_0K_1$

$$\frac{\text{busur } K_0K_1}{\text{busur } P_0P_1} = \frac{SK_0}{SP_0}$$

Ujung kabel sensor terletak di tengah  $SP_0$ , ini berarti

$$\text{busur } K_0K_1 = \frac{1}{2} \times \text{busur } P_0P_1$$

Karena sudut perputaran  $\alpha$  kecil maka busur  $B_0B_1 \sim$  busur  $P_0P_1$ , sehingga dianggap  $B_0B_1 \sim 3rB_1$

Dengan kata lain; bila ujung kabel sensor  $K_0$  terletak di tengah-tengah tuas T, perubahan/gerakan  $B_0$  ke  $B_1$  dengan amplitudo gerakan sebesar  $a$ , akan tercatat pada grafik dengan amplitudo sebesar  $\frac{1}{2}a$ .

Pada waktu beroperasi pengukuran di daerah jalan ber-gelombang ada kemungkinan terjadi gerakan ganda akibat adanya getaran. Gerakan ganda dari tuas akan mengakibatkan grafik ganda.

Untuk menghindari hal ini, maka pada setiap roda pengukur dipasang pegas dan shock absorber.

## PESAWAT PENCATAT (RECORDER)

Profilograf tipe PG-01 dilengkapi dengan dua buah alat pencatat, yaitu pencatat grafis dan pencatat digital numerik. Kedua pencatat ini digerakkan dengan tenaga mekanik.

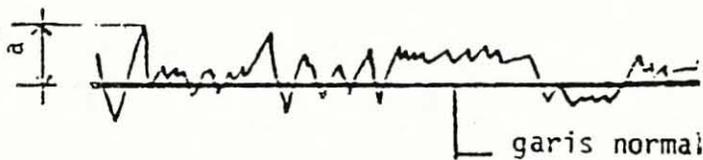
## PENCATAT GRAFIS

- a. Bagian dari pesawat  
Pesawat pencatat grafis, secara skematis dapat dilihat pada gambar 5. Alat ini terdiri dari:

- i. Kabel sensor  
Pada setiap roda pengukur dipasang sebuah sensor yang ujungnya terletak pada pegas pesawat. Jenis kabel yang digunakan adalah kabel baja  $\phi$  1.5 mm terbungkus logam. Bahan kabel dari baja yang ulur spesifikasinya kecil sekali, sehingga apabila ditarik tidak dapat mulur. Permukaan kabel halus, sehingga tidak terjadi geseran antara permukaan kabel dengan dinding pembungkus.
- ii. Tuas pencatat  
Pada pegas yang terletak pada ujung kabel sensor, dipasang tuas-tuas pencatat, masing-masing dilengkapi dengan sofidol atau balpoint.
- iii. Kertas pencatat  
Jenis kertas pencatat adalah kertas milimeter dalam bentuk rol. Rol kertas diletakkan pada sumbu yang dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Tenaga putaran sumbu rol berasal dari putaran roda dengan kiri, yang ditransmisikan melalui kabel, reducer dan gigi roda. Gigi roda dan reducer adalah sinkron. Ukuran gigi harus presisi dan konstruksinya dibuat sedemikian rupa, sehingga perputaran rol kertas beraturan dan menghasilkan skala panjang 1 : 500.

## b. Mekanisme pencatatan grafik

- Pada waktu mengukur, roda-roda pengukur akan bergerak mengikuti bentuk permukaan jalan. Akibat gerakan roda, tuas-tuas roda pengukur T akan berputar turun naik, sehingga kabel sensor akan tertarik dan terulur.
- Karena kabel sensor dalam keadaan teregang oleh pegas pesawat pencatat maka tertarik dan terulurnya kabel sensor akan mengakibatkan pegas-pegas pesawat pencatat tertarik dan terdorong.
- Tertarik dan terdorongnya pegas-pegas akan menggerakkan tuas-tuas pencatat.
- Secara simultan, gigi-gigi pemutar akan memutar sumbu kertas grafik, sehingga kertas grafik akan bergerak pula.
- Gerakan tuas-tuas pencatat yang ujungnya dipasang balpoint, akan melukiskan grafik gelombang jalan dengan amplitudo  $\frac{1}{2}a$ .
- Bentuk grafik seperti terlihat pada gambar

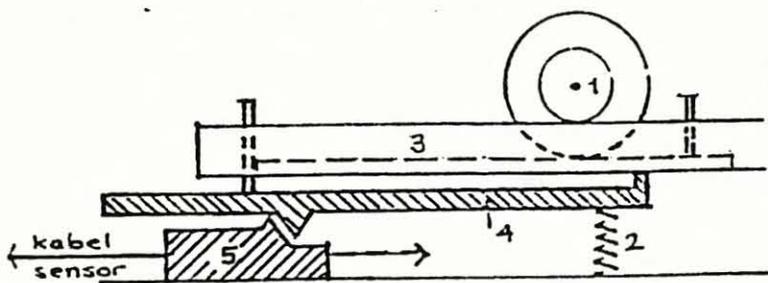


a = amplitudo penyimpangan

## PENCATAT DIGITAL NUMERIK

### a. Bagian-bagian dari alat

Pesawat pencatat digital numerik secara skematis bentuknya dapat dilihat pada gambar



- Kabel sensor  
Kabel sensor dari pesawat pencatat grafis diperpanjang dan ujungnya dihubungkan pada alas penggerak 5.
- Konstruksi penggerak counter, terdiri dari alas 5, peluncur 4, penahan 3, dan pegas 2.
- Alat pencatat, berupa digital counter dengan

ketelitian 0,01 mm. Pada ujung sumbu counter dipasang gigi dan roda 1 yang menumpu pada batang penahan.3.

### b. Mekanisme kerja alat

- Gerakan roda mengikuti bentuk permukaan jalan akan ditransmisi melalui kabel sensor ke alas penggerak.
- Gerakan roda yang ditransmisi melalui kabel akan menggerakkan alas penggerak kemuka-kebelakang. Gerakan ini akan memutar roda yang terpasang pada ujung sumbu counter. Besarnya gerakan  $\frac{1}{2}a$  akan langsung terbaca pada counter.
- Gerakan ini akan terus berlangsung selama pengukuran, dan besarnya gerakan akan tercatat secara akumulatif, sehingga besarnya jumlah gerakan untuk setiap satuan panjang jalan (mm/km) dapat dibaca.

## UJI COBA

### TUJUAN UJI COBA

Sejak awal tahun 1983, profilograf ini telah mengalami serangkaian uji coba. Uji coba ini mempunyai tujuan:

- Mengetahui kemampuan struktur dan kemantapan alat pada berbagai kondisi geometri dan permukaan jalan.
- Mengetahui tingkat ketelitian alat.
- Menentukan kecepatan optimal pada waktu pengukuran.

Sebagai telah dijelaskan dimuka, alat profilograf merupakan alat yang berbentuk kendaraan beroda 8 yang dalam pengoperasiannya ditarik oleh kendaraan lain. Pengukuran bentuk permukaan jalan dilakukan dengan roda pengukur yang harus selalu menyentuh permukaan jalan. Gerak turun naik roda pengukur ditransmisikan melalui kabel-kabel sensor ke pesawat pencatat, dalam bentuk grafik dan digital numerik. Agar alat tersebut dapat digunakan untuk mengukur permukaan jalan dalam berbagai kondisi geometri, maka profilograf harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

#### a. sebagai kendaraan, dituntut persyaratan:

- cukup stabil terhadap bahaya giling
- mudah dikendalikan
- konstruksi roda dibuat sedemikian rupa sehingga kecil kemungkinannya terjadi bahaya penggelinciran (slip)
- pada waktu pengukuran, alat harus mampu berjalan pada tikungan, tanjakan dan turunan tanpa mengurangi kecepatan operasi.
- konstruksi alat seringan mungkin sehingga mudah ditarik dengan kendaraan kecil, sejenis Jeep.

- konstriksi alat dibuat sedemikian rupa sehingga getaran dan guncangan yang terjadi pada waktu operasi tidak akan mempengaruhi hasil pengukuran.
  - konstruksi dibuat sesederhana mungkin sehingga biaya pembuatan dan pemeliharaan semurah mungkin.
- b. Sebagai alat pengukur bentuk permukaan jalan, dituntut persyaratan:
- mampu mengukur bentuk dan kondisi permukaan jalan seluas mungkin, baik dalam arah memanjang maupun melintang jalan.
  - hasil pengukuran tercatat secara menerus dalam bentuk grafik dan angka dengan ketelitian  $10^{-1}$  milimeter.
  - hasil pengukuran tidak dipengaruhi akibat getaran dan guncangan kendaraan.
  - sistem pencatatan mudah dan sederhana, sehingga hanya perlu dilayani oleh 2 (dua) orang petugas (1 surveyor dan 1 orang pengemudi kendaraan penarik).
- c. Persyaratan lainnya
- Sesuai dengan Kebijakan Pemerintah, alat ini dibuat dengan menggunakan sebanyak mungkin komponen dalam negeri.

#### UJI COBA KEMAMPUAN DAN KEMANTAPAN STRUKTUR

Untuk mengetahui sampai sejauh mana persyaratan tersebut diatas dapat dipenuhi oleh alat profilograf, telah dilakukan serangkaian uji coba. Lokasi uji coba dipilih pada beberapa ruas jalan yang kondisi permukaan dan geometrinya mewakili kondisi dan geometri jalan di Indonesia.

Untuk mewakili kondisi permukaan jalan yang baik dan geometri yang memenuhi persyaratan dipilih jalan Sukarno-Hatta. Sedang untuk geometri yang mempunyai tikungan tajam dan tanjakan curam dipilih ruas jalan Malangbong – Ciawi. Pada ruas-ruas jalan tersebut diatas, uji coba dilakukan dengan variasi kecepatan 5–10–15–20–25–30–35–45 km/jam, dan ditarik oleh kendaraan pick up Scot. Tekanan angin ban 20, 23, 26 dan 30 psi.

Pengujian terhadap komponen dan struktur alat dilakukan di Laboratorium Mesin Departemen Teknik Mesin ITB. Uji coba tersebut memberikan hasil sebagai berikut:

- a. Pada ruas jalan Sukarno-Hatta, antara Gedebage sampai ujung timur jalan. Geometri jalan lurus dan datar, jenis perkerasan adalah aspal beton.

- i. sampai dengan kecepatan 20 km/jam, profilograf dapat beroperasi dengan cukup baik tanpa terjadi:
- \* guncangan
  - \* puntiran
  - \* getaran yang mempengaruhi roda pengukur
- ii. pada kecepatan 20–35 km/jam, alat tidak mengalami guncangan dan puntiran, tetapi getaran yang terjadi mulai berpengaruh terhadap roda pengukur.
- iii. pada kecepatan lebih dari 35 km/jam, guncangan dan getaran pada trailer cukup besar pengaruhnya terhadap roda pengukur.
- iv. Untuk mengurangi pengaruh guncangan dan getaran trailer terhadap roda pengukur, maka pada bagian depan dan belakang konstruksi trailer dipasang pembebanan, masing-masing sebesar 160 kg dan 90 kg. Dengan ban sebesar 25 psi, maka guncangan dan getaran yang mempengaruhi roda pengukur, terjadi pada kecepatan 25 km/jam.
- b. Pada ruas jalan Malangbong–Ciawi, geometri jalan banyak tikungan tajam dengan sudut tikungan  $45^{\circ}$  dan tanjakan/turunan 0–10%. Jenis perkerasan jalan adalah aspal beton yang kondisinya relatif baik.
- i. pada tikungan dengan sudut  $45^{\circ}$  dan jari-jari R 30 m, kendaraan hanya dapat beroperasi tanpa terjadi bahaya guling, guncangan dan getaran pada kecepatan maksimum 5 km/jam.
- ii. pada tanjakan dengan sudut  $45^{\circ}$  dan jari-jari R 30 m, maka kecepatan yang tidak menimbulkan bahaya guling, guncangan dan getaran yang mempengaruhi roda pengukuran adalah 10 km/jam.
- iii. tekanan ban yang tidak menimbulkan bahaya gelincir adalah 25 psi.
- iv. pada tanjakan yang besarnya lebih dari 10%, kendaraan penarik jenis Scot hanya mampu menarik dengan kecepatan maksimum 15 km/jam.

Perlu dijelaskan bahwa uji coba pada ruas jalan Malangbong Ciawi dilakukan setelah trailer profilograf dipasang pembebanan 160 kg dimuka dan 90 kg dibagian belakang.

- c. Pengujian komponen profilograf yang dilakukan di Laboratorium Mesin ITB memberikan hasil cukup baik dalam arti, ditinjau dari teknis masih memenuhi persyaratan.

## UJI COBA TERHADAP TINGKAT KETELITIAN ALAT

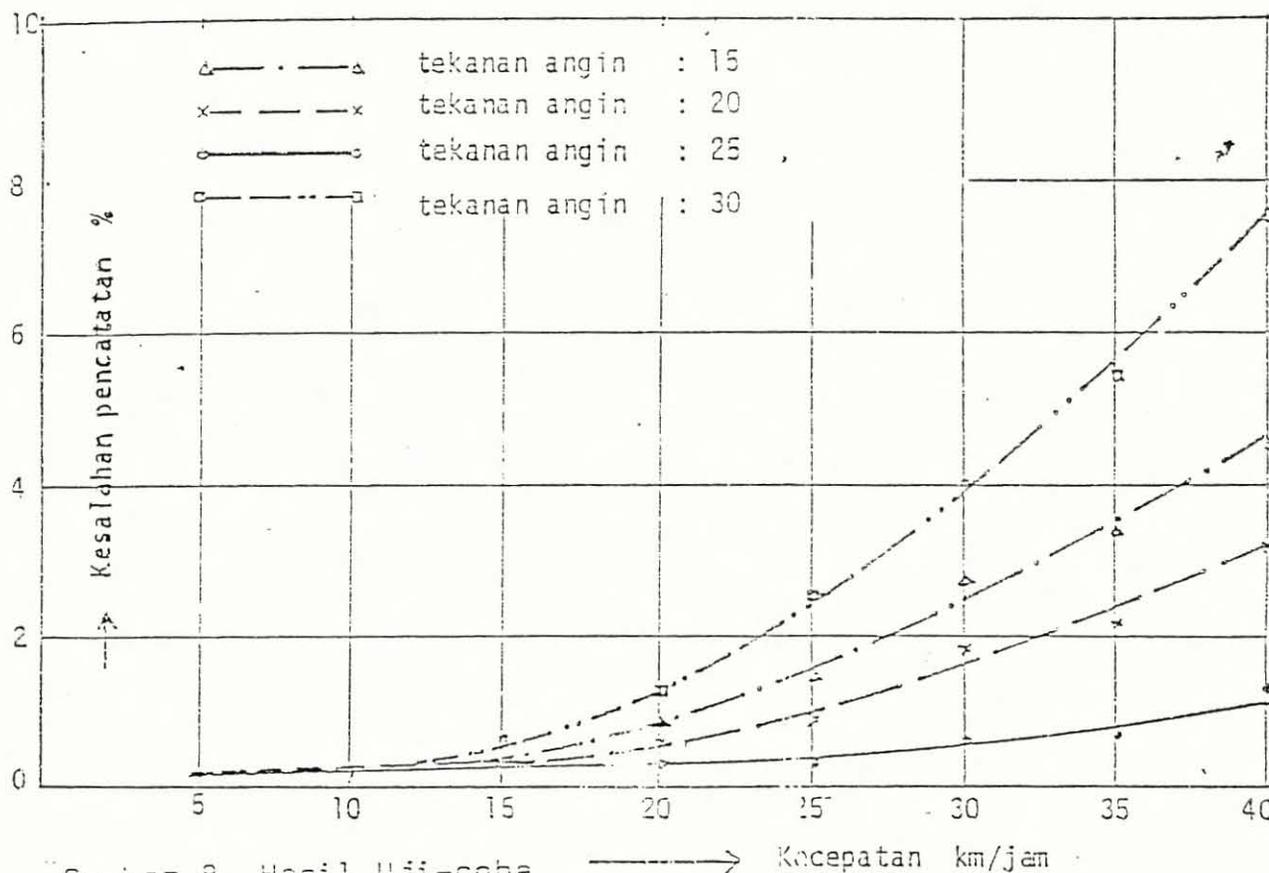
Uji coba ini terutama ditujukan untuk mengetahui:

- \* berfungsinya pesawat pencatat dengan baik dan teliti.
- \* pengaruh kecepatan terhadap hasil pencatatan.
- \* pengaruh tekanan dan roda pengukur terhadap hasil pencatatan.

Uji coba dilakukan pada tiga lokasi, yaitu ruas jalan Sukarno-Hatta, jalur jalan percobaan roughometer di kompleks Puslitbang Jalan dan Gombong-Yogyakarta. Mula-mula uji coba dilakukan pada test section di kom-

plek Puslitbang Jalan dengan variasi kecepatan 5-10-15-20-25-30-40 km/jam, masing-masing dengan tekanan angin ban roda pengukur 15-20-25-30 psi. Uji coba ini terutama ditujukan untuk mengetahui hubungan antara tekanan angin pada ban roda pengukur, kecepatan dan tingkat ketelitian pesawat pencatat.

Hasil uji coba ini digambarkan dalam bentuk grafik gambar



Gambar 8. Hasil Uji-coba

→ Kecepatan km/jam

Dari grafik tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan angin roda pengukur sebesar 25 psi, sampai dengan kecepatan 25 km/jam memberikan kesalahan pencatatan terkecil, yaitu 0,45% dan pada kecepatan 20 km/jam kesalahan pencatatan hanya 0,25%. Kesalahan sekali ini praktis diabaikan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tekanan angin roda pengukur diambil 25 psi dan profilograf dapat dioperasikan dengan kecepatan 20 km/jam.

Dengan dasar kesimpulan diatas, selanjutnya uji coba dilakukan pada jalur jalan Sukarno-Hatta dan Gombong-

Yogyakarta. Lapis permukaan jalan Sukarno-Hatta adalah aspal beton sedang ruang Gombong-Yogyakarta penetrasi. Tujuan utama uji coba ini adalah:

- \* mengetahui tingkat ketelitian skala panjang dari grafik.
- \* mendapatkan data mengenai ciri-ciri grafik pada lapisan aspal beton dan penetrasi.

Hasil uji coba pada kedua ruas jalan adalah sebagai berikut:

- a. Menurut rencana, grafi yang dibuat pesawat pencatat adalah dengan skala panjang 1 : 500; artinya setiap kilometer panjang jalan akan mendapatkan grafik sepanjang 200 cm. Dari hasil uji coba, ternyata skala 1 : 500 ini sering tidak tercapai dengan tepat. Kadang-kadang untuk setiap kilometer didapatkan grafik sepanjang 190 s/d 195 cm, jadi kesalahan skala panjang bervariasi antara 2½ – 5%. Kesalahan ini diduga disebabkan transmisi pemutar kertas tidak berjalan dengan sempurna. Hal ini disebabkan pemutar sumbu keras masih kurang presisi dan adanya gesekan kabel transmisi dengan pembungkusnya.
- b. Ciri-ciri konfigurasi grafik yang didapat dari lapisan aspal beton dan penetrasi adalah sebagai berikut:
  - i. aspal beton – bentuk grafik relatif halus
  - ii. penetrasi – bentuk grafik lebih kasar
 Perbedaan kedua grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 9 dan 10.

#### KESIMPULAN HASIL UJI COBA

Dari keseluruhan hasil uji coba pada beberapa ruas jalan yang kondisinya mewakili kondisi jalan-jalan di Indonesia, baik ditinjau dari segi geometri maupun kondisi permukaan jalan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. alat profilograf dapat digunakan untuk mengukur kondisi dan konfigurasi bentuk permukaan jalan dengan hasil nyata dan ketelitian cukup tinggi.
- b. profoligrafi dapat dioperasikan dengan ketentuan:
  - i. tekanan angin ban
    - untuk roda trailer : 20 psi
    - untuk roda pengukur : 25 psi
  - ii. kecepatan operasi
    - jalan dengan geometri lurus dan datar : 25 km/jam.
    - jalan dengan tikungan dan tanjakan : 10 km/jam.
- c. untuk lebih menyesuaikan dengan kondisi jalan didaerah pegunungan, konstruksi profilograf akan dirobah dengan bentuk dan dimensi yang lebih kecil. Bentuk dan dimensi profilograf tipe PG-02 dapat dilihat pada gambar 11,12 dan 13 dengan dimensi: panjang : 180 cm; lebar : 170 cm; tinggi : 60 cm.

Diharapkan dengan tipe PG-02, berat alat menjadi lebih ringan dan lebih lincah waktu melintasi tikungan tajam dan tanjakan terjal.

#### Penulis:

1. Ir. Soemartono Mulyadi, Sarjana Sipil UNSRI 1969, adalah Staf Bidang Teknik Jalan Puslitbang Jalan. Selama ini aktif dalam Pembinaan Peralatan dan Laboratorium di Lingkungan Puslitbang Jalan dan Laboratorium P.U, Propinsi.
2. Soeroso, adalah Staf Sub Bidang Pembinaan Sarana Litbang Puslitbang jalan. Sejak 1976 menekuni pengembangan peralatan Laboratorium.

