



JURNAL TEKNIK SIPIL

**Characteristics of Pore-Water Pressure Response In Slopes
During Rainfall**

(*Alfredo Satyanaga Nio*)

**Respon Struktur Dua Derajat Kebebasan Dengan Kekakuan
Sebagai Parameter Ketidakpastian**

(*Olga Pattipawaej, Budiarto*)

**Pengaruh Kadar Air dan Jarak Antar Paku Terhadap
Kekuatan Sambungan Kayu Kelapa**

(*Arusmalem Ginting*)

Fire Safety Design in Building

(*Maksum Tanubrata*)

**Evaluasi Kinerja Jalan Jendral Ahmad Yani Depan Pasar Kosambi
Bandung**

(*Tan Lie Ing, Indra Rachman Efendi*)

**Alternatif Pemecahan Masalah Pada Simpang Tiga Kariangau -
Soekarno Hatta KM 5.5, Balikpapan Ditinjau Pada Kondisi Geometrik**

(*Budi Hartanto Susilo, Apriyanto Loentan*)

Studi Permodelan Bangkitan Perjalanan di Perkotaan

(*Robby Gunawan Yahya*)

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

J. Tek.Sipil	Vol. 3	No. 1	Hlm. 1 — 102	Bandung, April 2007	ISSN 1411-9331
--------------	--------	-------	--------------	---------------------------	-------------------



JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil adalah jurnal ilmiah jurusan teknik sipil Universitas Kristen Maranatha yang diterbitkan 2 kali setahun pada bulan April dan Oktober. Pertama kali terbit bulan Oktober 2003. Tujuan penerbitan adalah sebagai wadah komunikasi ilmiah dan juga penyebarluasan hasil penelitian, studi literatur dalam bidang teknik sipil atau ilmu terkait. Bila pernah dipresentasikan pada seminar agar diberi keterangan lengkap.

Pelindung	: Rektor Universitas Kristen Maranatha
Penanggung Jawab	: Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha
Pemimpin Redaksi	: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
Ketua Dewan Penyunting	: Ir. Maksum Tanubrata, MT.
Penyunting Pelaksana	: Anang Kristianto, ST., MT. Andrias Suhendra Nugraha, ST., MT. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc. Ir. Herianto Wibowo, M.Sc. Robby Yussac Tallar, ST., MT.
Mitra Bestari	: Prof. Ir. Bambang I.S., M.Sc., Ph.D. (Institut Teknologi Bandung) Ir. Bigman Hutapea, M.Sc., Ph.D. (Institut Teknologi Bandung) Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. (UNPAR) Prof. Paulus P. Rahardjo, MSCE., Ph.D. (UNPAR) Prof. Ir. Wimpy Santosa, MSCE., Ph.D. (UNPAR) Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Universitas Atma Jaya Yogyakarta) Ir. Peter F. Kaming, M.Eng., Ph.D. (Universitas Atma Jaya Yogyakarta) Dr. Ir. Agung Bagiawan, M.Eng (PUSAIR, Bandung) Olga Pattipawaej, Ph.D. (Universitas Kristen Maranatha)
Desain Visual dan Editor	: Aldrin Boy
Sekretariat dan Sirkulasi	: Dra. Dorliana, Kristianto
Alamat Redaksi	: Sekretariat Jurnal Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha Jl. Prof. drg. Suria Sumantri MPH. No. 65 Bandung 40164 Tel. 022 - 2012186 ext. 219, 212 Fax. 022 - 2017622
E-mail	: jurnal_ts@eng.maranatha.edu, atau jurnaltsukm@gmail.com
Penerbit dan Percetakan	: PT Danamartha Sejahtera Utama, Universitas Kristen Maranatha Jl. Cihampelas 169 Bandung, Jawa Barat



JURNAL TEKNIK SIPIL

DAFTAR ISI :

**Characteristics of Pore-Water Pressure Response In Slopes
During Rainfall**

(*Alfrendo Satyanaga Nio*)

1 - 13

**Respon Struktur Dua Derajat Kebebasan dengan Kekakuan
Sebagai Parameter Ketidakpastian**

(*Olga Pattipawaej, Budiarto*)

14 - 27

**Pengaruh Kadar Air dan Jarak Antar Paku Terhadap
Kekuatan Sambungan Kayu Kelapa**

(*Arusmalem Ginting*)

28 - 40

Fire Safety Design in Building

(*Maksum Tanubrata*)

41 - 53

Evaluasi Kinerja Jalan Jendral Ahmad Yani Depan Pasar Kosambi Bandung

(*Tan Lie Ing, Indra Rachman Efendi*)

54 - 74

**Alternatif Pemecahan Masalah Pada Simpang Tiga Kariangau -
Soekarno Hatta KM 5.5, Balikpapan Ditinjau Pada Kondisi Geometrik**

(*Budi Hartanto Susilo, Apriyanto Loentan*)

75 - 91

Studi Permodelan Bangkitan Perjalanan di Perkotaan

(*Robby Gunawan Yahya*)

92 - 100

CHARACTERISTICS OF PORE-WATER PRESSURE RESPONSE IN SLOPES DURING RAINFALL

Alfredo Satyanaga Nio^[1]

ABSTRACT

Field measurements of residual soil slopes are valuable for the assessment of slope stability during rainfall. Several residual soil slopes, which are predominantly unsaturated due to their deep groundwater table, were instrumented with tensiometer and rainfall gauge in order to study the response characteristics of the slopes during rainfall. Comprehensive field measurement results involving a large number of rainfall events are presented in the paper. The results show that the pore-water pressures in all instrumented slopes increased in a similar fashion during rainfall, but at different magnitudes depending on soil type. The pore-water pressure response characteristics can then be used to estimate the variation in factor of safety of the slope during rainfall.

Keywords : Residual soil, Rainfall, Unsaturated, Tensiometer, Pore-water pressure.

ABSTRAK

Penyelidikan dari kondisi tanah residual yang sebenarnya di lapangan sangat berharga untuk analisis stabilitas lereng selama hujan turun. Beberapa lereng yang mengandung tanah residual, di mana sebelumnya berada dalam kondisi tidak jenuh karena dalamnya muka air tanah, dipasang tensiometer dan rainfall gauge untuk mempelajari sifat-sifat dari lereng tersebut pada waktu hujan. Hasil dari penyelidikan tanah di lapangan yang melibatkan pengukuran curah hujan dipresentasikan melalui jurnal ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua tekanan air pori pada lereng yang dipasang tensiometer dan alat pengukur curah hujan, mengalami peningkatan yang sama, tetapi mempunyai perbedaan nilai yang tergantung dari jenis tanah pada lereng tersebut. Selanjutnya, sifat-sifat dari tekanan air pori dapat dipakai untuk memperkirakan faktor keamanan dari lereng selama hujan turun.

Kata kunci : Tanah residual, *Rainfall*, *Unsaturated*, Tensiometer, *Pore-water pressure*.

1. INTRODUCTION

Slope failures cause a major threat to both lives and property worldwide especially in regions of residual soils that are subjected to frequent heavy rainfalls. In areas of steep terrain that experience prolonged hot and dry periods followed by heavy rainstorms, slope failures continue to occur during or after rainfall.

In tropical and subtropical areas, rainfall-induced slope failures are closely related to the properties of the soil, the geometry of the slope, and the environmental factors (vegetation and weathering effects).

Almost all traditional slope stability analyses incorporate rainfall effects based on the assumption of saturated soil behaviour. However, this method cannot be applied to slopes under unsaturated conditions since some of the infiltration profiles may lead to the

development of perched water zones near the surface of the slope, causing a decrease in unsaturated shear strength and slope failures.

This paper is intended to examine the characteristics of pore-water pressure response during rainfall within two instrumented slopes in Singapore. The main factors affecting the stability of a slope are rainfall pattern, initial conditions within the slope (expressed either as initial pore-water pressure distribution within the slope) and hydrological parameters of the slopes.

2. OVERVIEW OF THE STUDY AREA

Field monitoring and investigation took place on the western part of Singapore. The slopes are called NTU-CSE and NTU-ANX, located in Nanyang Technological University (NTU), where its geological formation is referred to as sedimentary Jurong Formation (Pitts, 1984). An 11 m high rain tree, of the *Samanea saman* type (Rao and Wee, 1989), exists at the toe of the NTU-CSE slope, 2 m from the instrumentation area. Both slopes were covered by buffalo grass. Table 1 shows geometry and geological information of NTU-CSE and NTU-ANX slopes.

Five boreholes were drilled to a depth of 28 m in the NTU-CSE slope whereas two boreholes were drilled in the NTU-ANX slope (Rahardjo et al., 2000). The borehole information and the laboratory tests were combined to produce a simplified slope profile (Figure 1). The hydrologic and engineering properties of top soils are summarized in Table 2. The soil profile of both slopes consists of two layers and bedrock. Almost all the layers contain silt and clay. The higher value of permeability in the NTU-CSE slope reflects the coarser particle size in this site than in the NTU-ANX slope.

3. FIELD INSTRUMENTATION PROGRAM

The in-situ measurements of negative pore-water pressure were carried out using Jet-Fill tensiometers. These tensiometers have capability to measure negative pore-water pressures up to -100 kPa. The NTU-CSE slope has six rows of tensiometer while the NTU-ANX slope only has three rows of tensiometer, which are spaced 3 m apart. Each row comprises five Jet-Fill tensiometers, which are situated 0.5 m apart and installed at depths of 0.5, 1.1, 1.7, 2.8, and 3.2 m.

The schematic diagram of the instrument position is shown in Figures 2 and 3. Pressure transducers were installed at the top of the tensiometer and they were connected to a Fluke TM Hydra 2365A data bucket and a Grayhill Inc. data acquisition system in the NTU-

CSE and NTU-ANX slopes, respectively. The measurements were collected every 4 hours during dry period.

Rainfall was recorded at both slopes using a tipping-bucket (Handar 444A) rain gauge. Once a rainfall event started, the data acquisition systems on both slopes would start collecting measurements from all instruments at intervals of 10 min. The fluctuations of the groundwater level during wet and dry periods were monitored with the Cassagrande piezometer with a ceramic tip and PVC riser tubing. A detailed description of instrumentation within NTU sites can be found in Gasmo et al. (1999) and Tsaparas (2001).

Table 1. Site investigation of two instrumented slopes in NTU

Variable	NTU-CSE	NTU-ANX
Slope height (m)	7.1	3.3
Slope angle (°)	27	29
Vegetation cover (%)	100	100
Soil type (USCS)*	CL to SC-CL	CL-ML

*USCS = Unified Soil Classification System

Table 2. Soil properties in top 3 m of investigated slopes

Properties	NTU-CSE	NTU-ANX
Bulk density, ρ	2.10	2.00
Water content, w (%)	19	22
Liquid Limit, LL (%)	36	45
Plasticity Index, PI (%)	14	19
Fines (%)	58	74
Effective cohesion, c'	13.8	5.0
Effective angle of friction, ϕ' (°)	40	32
Permeability, k_s (m.s ⁻¹)	7.8×10^{-8}	3.5×10^{-9}

Note : Soil physical and engineering properties were obtained from an average of 7 to 9 samples, and soil hydrological properties were obtained from an average of 2 to 4 samples.

4. PORE-WATER PRESSURE VARIATION DUE TO RAINFALL

The average monthly total rainfall on both NTU-CSE and NTU-ANX slopes is 102 mm. October to December 1999 was the wettest period with 615 mm of total rainfall and April to June 2000 was the driest period of the year with 279 mm of total rainfall.

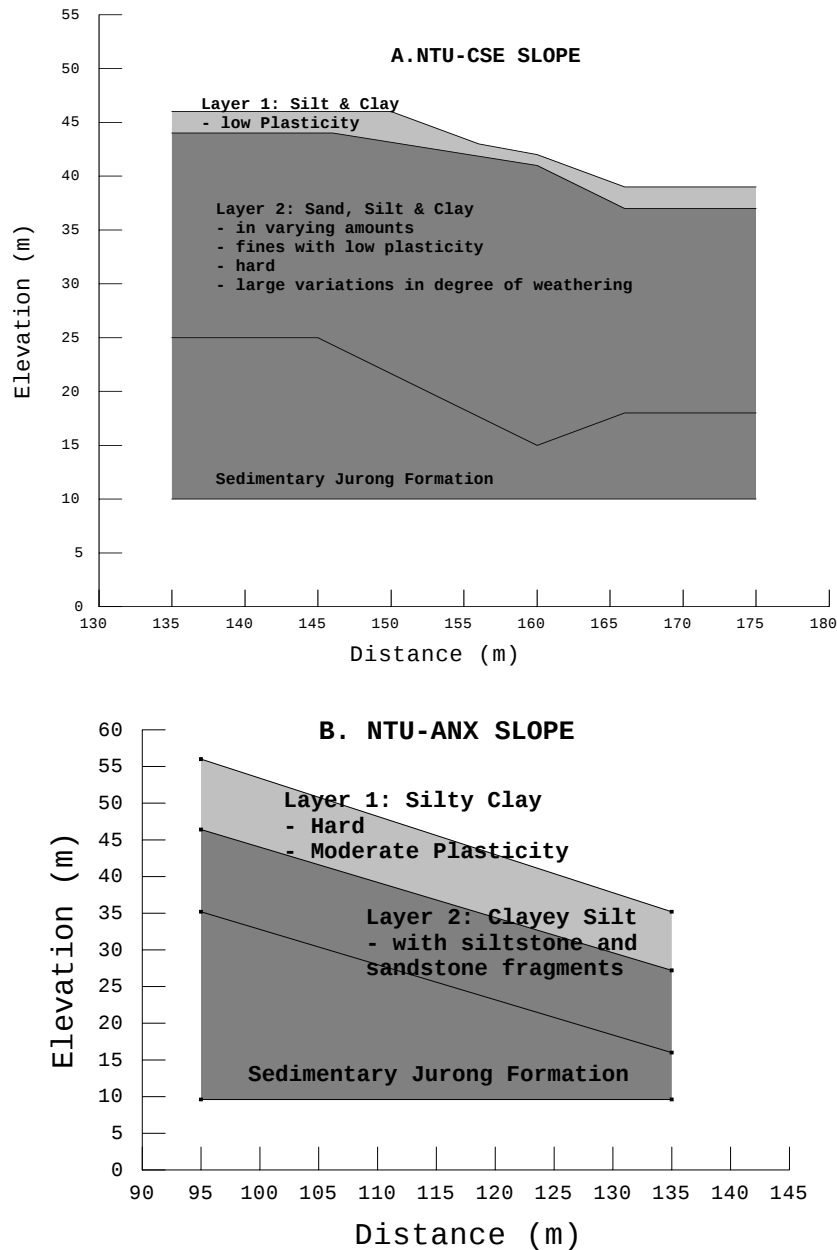


Figure 1. Soil profile of the instrumented slope: (a) NTU-CSE (b) NTU-ANX

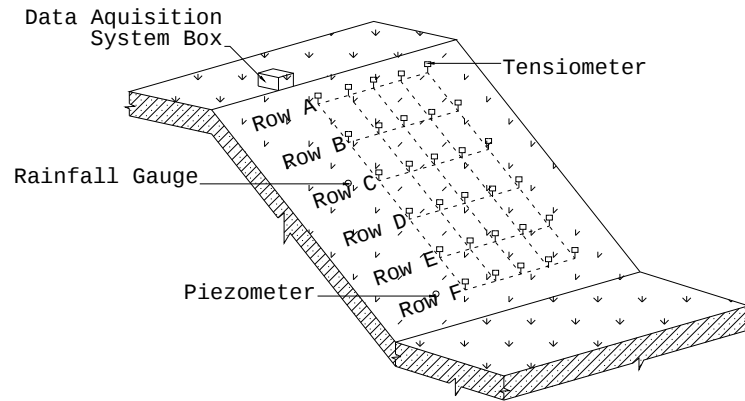


Figure 2. Location of instrumentation installed in NTU-CSE slope

The development of the pore-water pressures with time for the instrumented NTU-CSE and NTU-ANX slopes as measured by the tensiometers are presented in Figures 4, 5, and 6. The figures also present the corresponding rainfall data in order to study the development of pore-water pressures at each depth due to infiltration.

During the monitoring period, negative pore-water pressure as high as -90 kPa was observed at depth of 0.5 m in the NTU-CSE slope after a long dry period. Positive pore-water pressures were observed at all soil depths in the NTU-ANX slope after a significant rainfall, but they were not observed at shallow depths in the NTU-CSE slope.

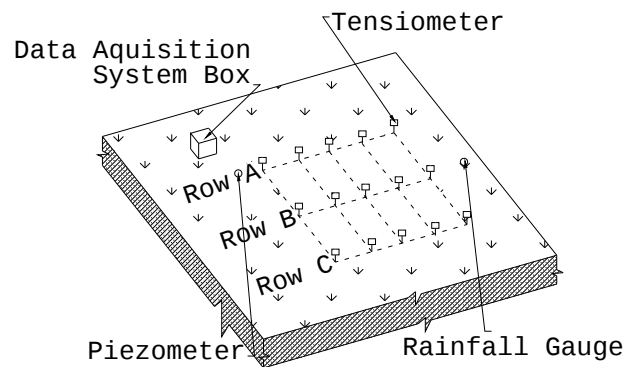


Figure 3. Location of instrumentation installed in NTU-ANX slope

Figures 4, 5 and 6 also show that the initial pore-water pressure has significant effect on changes in pore-water pressure during rainfall. It is observed that the more negative the initial pore-water pressure is, the higher will be the change in the pore-water pressure for a given rainfall. In general, the pore-water pressures in the NTU-ANX slope are higher or

more positive than those in the NTU-CSE slope. As a result, during a particular rainfall the changes in the pore-water pressure in the NTU-ANX slope are not as high as the pore-water pressure changes in the NTU-CSE slope.

The changes in pore-water pressure in the NTU-CSE and NTU-ANX slopes at depths of 0.5, 1.1, and 1.7 m due to a significant amount of rainfall are shown in Figures 7 and 8, respectively. The pore-water pressure data are taken from tensiometer readings on 25 March 2000, 26 March 2000 and 28 March 2000 in row A in the NTU-CSE and NTU-ANX slopes. The first reading was taken on 25 March 2000 before rainfall occurred. The next reading was taken at the end of the rainfall event of 50 mm. The last pore-water pressure data were taken two days after the rainfall stopped.

5. DISCUSSION

Initially, pore-water pressure was -18 kPa at depth of 0.5 m in the NTU-CSE slope. On the next day, it increased rapidly to -9 kPa after the rainfall ended (see Figure 7). The rate of increase appeared to decrease for tensiometer readings at deeper depths. Two days after the rainfall stopped, pore-water pressure decreased to -12 kPa since water had percolated down to deeper depths. This trend was similar at all depths in the NTU-CSE slope.

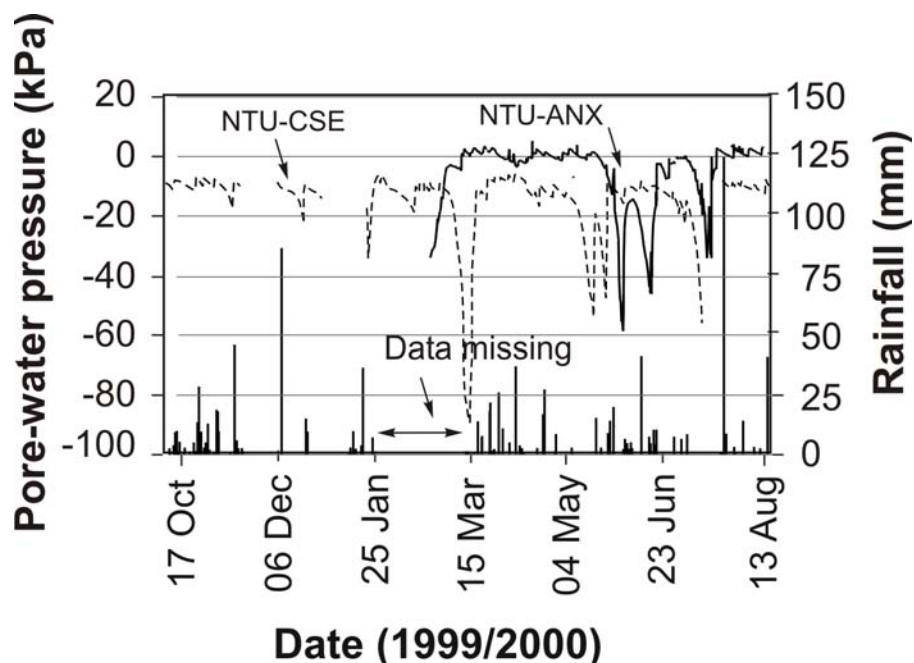


Figure 4. Time series of rainfall and pore-water pressure in NTU-CSE and NTU-ANX slopes at depth 0.5 m

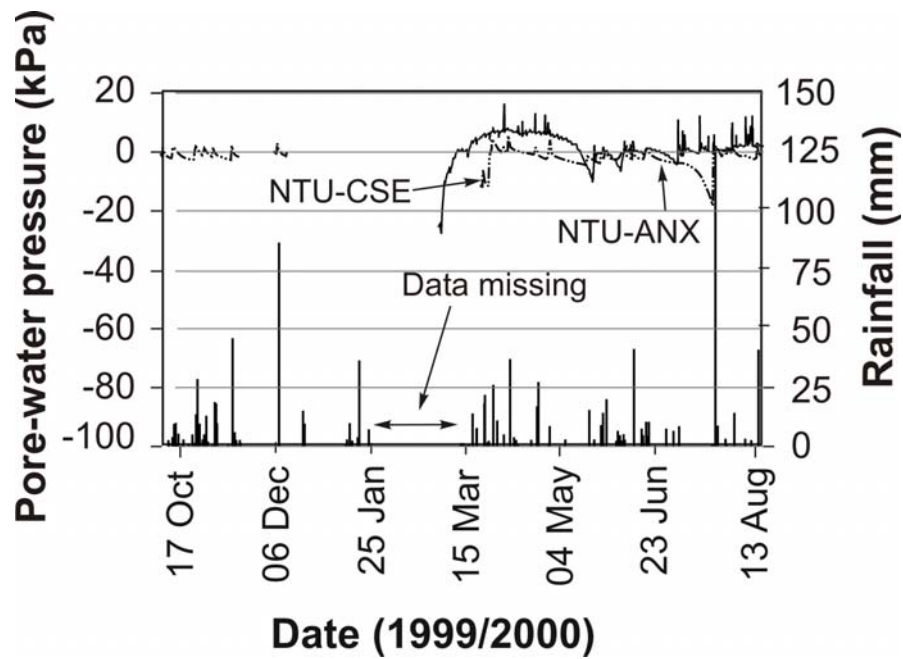


Figure 5. Time series of rainfall and pore-water pressure in NTU-CSE and NTU-ANX slopes at 1.1 m

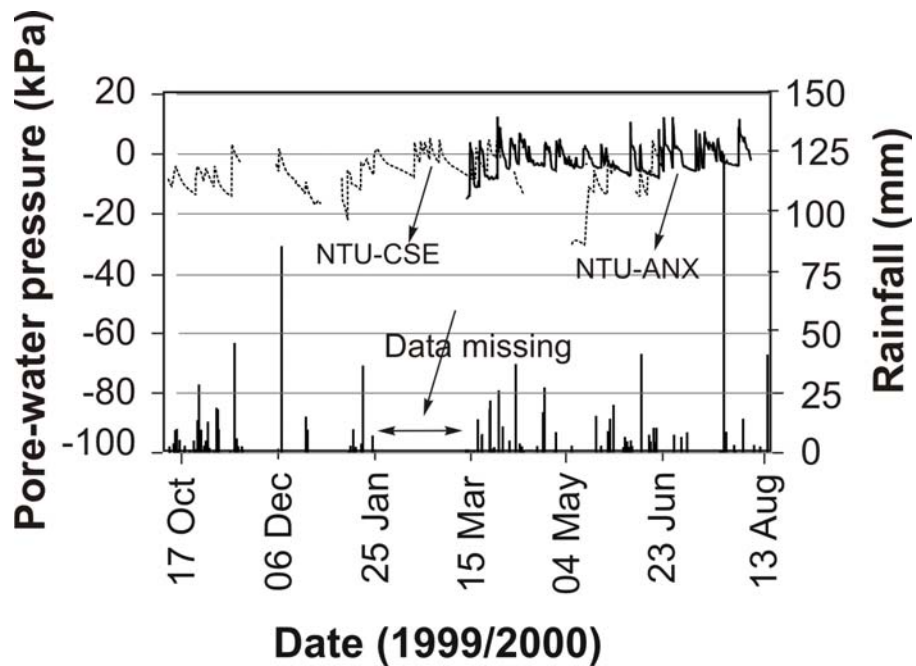


Figure 6. Time series of rainfall and pore-water pressure in NTU-CSE and NTU-ANX slopes at 1.7 m

In the NTU-ANX slope, the initial pore-water pressure was higher than the one in the NTU-CSE slope. It can be observed from Figure 8 that there was an increase in the pore-water pressure at the end of rainfall although the rate was slower than the one in the NTU-

CSE slope. However, in the NTU-ANX slope, the increase in pore-water pressure was higher at depths of 1.1 and 1.7 m. Then the rate decreased again at depth of 2.8 m. This trend occurred due to the lower permeability of the soil in the NTU-ANX than that in the NTU-CSE slope. Rain water needs a longer time to reach greater depths and as a result, a perched water table might have developed.

Figures 7 and 8 also show that pore-water pressure in the NTU-CSE slope appeared to increase with depth. Meanwhile, the pore-water pressure in the NTU-ANX slope remained essentially constant with depth. This occurred due to the fact that water flowed down faster through the soil layer within the NTU-CSE slope due to the coarser particle size of the soils as opposed to those in the NTU-ANX slope.

It is observed in Figures 4, 5 and 6 that the increase in pore-water pressure does not seem to be proportional to the amount of rainfall. Therefore, a correlation between the increase in pore-water pressure and the amount of daily rainfall in the NTU-CSE and NTU-ANX slopes was examined. The analyses were performed using the rainfall data from 15 March 2000 until 13 August 2000 since the instrumentation readings for the NTU-ANX slope were taken within this period.

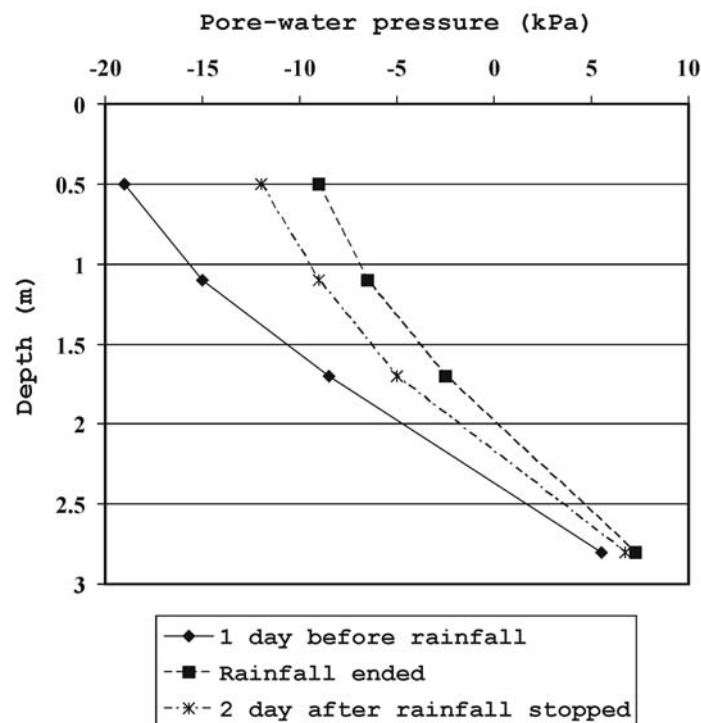


Figure 7. Pore-water profiles in row A of NTU-CSE slopes

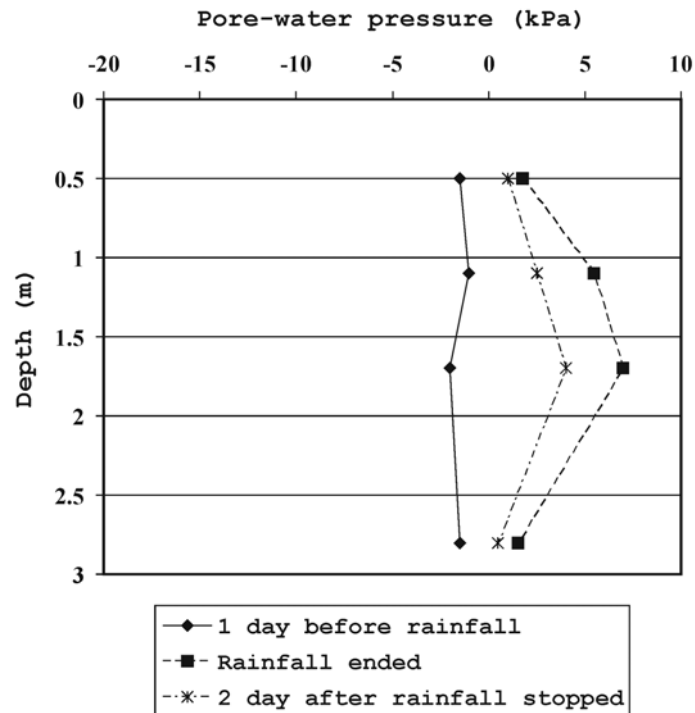


Figure 8. Pore-water profiles in row A of NTU-ANX slopes

The analyses were conducted using tensiometer measurements from three different depths, such as: 0.5m, 1.1m and 1.7m. The tensiometer measurements from greater depths are insufficient for developing a relationship between the increase in pore-water pressure and daily rainfall. The analyses were performed by taking the algebraic difference in pore-water pressure before and after the rainfall event. Figures 9 and 10 show the increase in pore-water pressure as a function of the daily rainfall amount monitored at the NTU-CSE and NTU-ANX slopes, respectively. A semi logarithmic form of correlation between increase in pore water pressure and daily rainfall amount could be developed using significant daily rainfalls and corresponding increases in pore-water pressure. The parameters for the correlations were obtained by the non-linear regression method (Wilkinson, 1986).

The relative increase in pore-water pressure seems to increase rapidly with the increase of daily rainfall at all depths in the NTU-CSE slope, but then the rate of increase tends to decline at larger daily rainfall amounts. At depth of 0.5 m, the average values of the increase in pore-water pressure are higher than those at deeper depths in the NTU-CSE slope. However, the slopes of the regression lines show a similar trend for all depths. The regression lines indicate that the increase in pore-water pressure tends to slow down after a

daily rainfall of 20 mm for all depths in the NTU-CSE slope. The increase in pore-water pressure achieves its maximum as the soil approaches saturation.

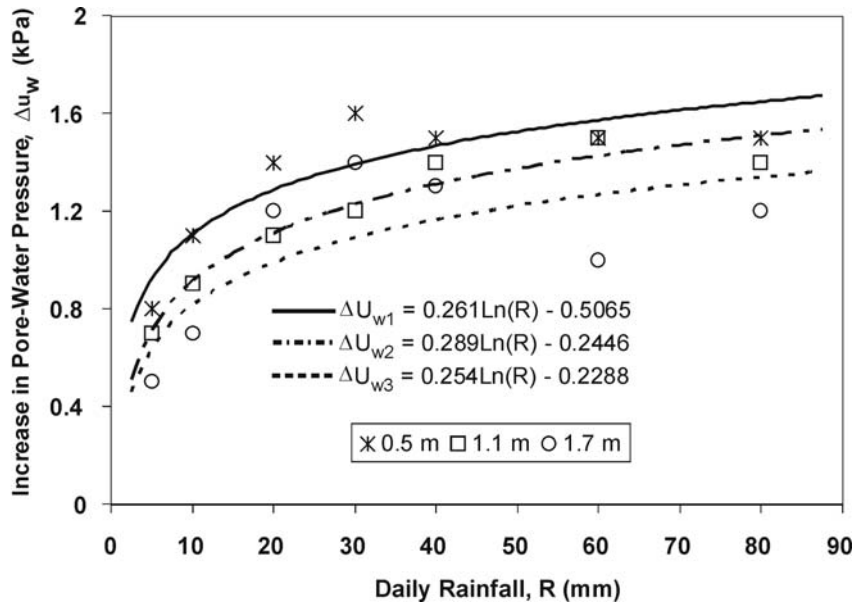


Figure 9. Relationship between increase in pore-water pressure and daily rainfall amount in NTU-CSE slope

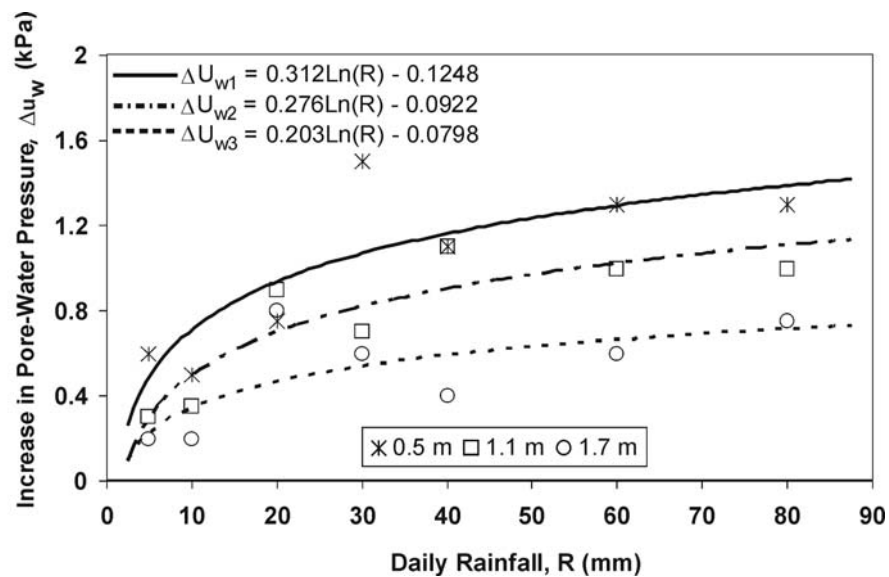


Figure 10. Relationship between increase in pore-water pressure and daily rainfall amount in NTU-ANX slope

Note:

Δu_{w1} = increase in pore-water pressure in depth of 0.5 m

Δu_{w2} = increase in pore-water pressure in depth of 1.1 m

Δu_{w3} = increase in pore water pressure in depth of 1.7 m

R = amount of daily rainfall

In the NTU-ANX slope, initially the increase in pore-water pressure at all depths increases quickly and then starts to decline after a daily rainfall of 30 mm. The rates of increase in pore-water pressure in the NTU-ANX slope are not the same at the different depths for a given daily rainfall since the initial pore-water pressure is more negative at shallower depths.

Figures 9 and 10 show that the rate of increase in pore-water pressure in the NTU-CSE slope is faster than the rate of increase in pore-water pressure in the NTU-ANX slope. This could be attributed to the higher permeability of soils in the NTU-CSE slope than the permeability of soils in the NTU-ANX slope. As a result, the infiltration rate in the NTU-CSE slope is faster than the infiltration rate in the NTU-ANX slope.

In addition, the maximum increase in pore-water pressure in the NTU-CSE slope is higher than the maximum increase in pore-water pressure in the NTU-ANX slope since the initial pore-water pressures in the NTU-CSE slope are generally more negative than initial pore-water pressures in the NTU-ANX slope. As a general observation, the more negative the initial pore-water pressure is, the higher will be the change in the pore-water pressure for a given rainfall.

6. CONCLUSIONS

Two residual soil slopes from the sedimentary Jurong Formation in Singapore were instrumented for field monitoring during dry and rainy periods. The analysis of the pore-water pressure changes show that the changes in pore-water pressure during rainfall are not entirely dependent on the total rainfall amount, but also on the initial pore-water pressure values. If the initial pore-water pressure has a low value, then it will experience a relatively high increase in pressure during a rainfall event. The pore-water pressure may remain constant after reaching its peak value. Analyses of data from these two slopes illustrate that a relationship between the increase in pore-water pressure and daily rainfall amount can be developed for a particular slope with given soil properties.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by a research grant from the National Science and Technology Board, Singapore (Grant NSTB 17/6/16: Rainfall-Induced Slope Failures). The writers are deeply grateful for the assistance from Geotechnics Laboratory staff, School of

Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, during setup and data collection.

REFERENCES

1. Fredlund, D.G, and Rahardjo, H. (1993), Soil Mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons Inc., New York.
2. Gasmo, J.M., Rahardjo, H., Leong, E.C. (2000), Infiltration effects on stability of a residual soil slope, *Computer and Geotechnics* 26, 145-165.
3. Lim, T.T., Rahardjo, H., Chang, M.F., & Fredlund, D.G. (1996), Effect of rainfall on matric suctions in a residual soil slope, *Canadian Geotechnical Journal*, 33: 618-628.
4. Pitts, J., and Cy, S. (1987), In situ soil suction measurements in relation to slope stability investigations in Singapor, E.T. Hanrahan, T.L. L. Orr, and T.F. Widdis, eds., Pro., 9th European Conf. on soil mechanics and foundation engineering. Vol. 1, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 79-82.
5. Rahardjo, H. (2000), Rainfall-induced slope failures, NSTB Rep. 17/6/16, School of Civil and Structural Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
6. Rahardjo, H., Leong, E.C., Deutsher, M.S., Gasmo, J.M., and Tang, S.K. (2000), Rainfall-induced slope failures, *Geotechnical Engineering Monograph 3*, NTU-PWD Geotechnical Research Centre, Nanyang Technological University, Singapore. ISBN 81-04-2928-2.
7. Rahardjo, H., Lee, T.T, Leong, E.C. & Rezaur, R.B. (2005), Response of a residual soil slope to rainfall, *Canadian Geotechnical Journal* 42: 340-351.
8. Rao, A.N., and Wee, Y.C. (1989), *Singapore trees*, Singapore Institute of Biology, Jin Jin Printing Industry, Singapore. pp 287-288.
9. Rezaur, R.B., Rahardjo, H., Leong, E.C. & Lee, T.T. (2003), Hydrologic behaviour of residual soil slopes in Singapore, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 8, No. 3, 133-144.
10. Tsaparas, I., Rahardjo, H., Toll, D.G., & Leong, E.C. (2003), Infiltration characteristics of two instrumented residual soil slopes, *Canadian Geotechnical Journal* 40: 1012-1032.

11. Tsaparas, I. (2002), Field measurements and numerical modelling of infiltration and matric suctions within slopes, PhD Thesis, University of Durham, Durham, United Kingdom.
12. Wilkinson, L. (1986), Systat: The system of statistics, SYSTAT Evanston III.

^[1] **Alfredo Satyanaga Nio, Ir., M.Sc.**, Geotechnics Laboratory Staff, School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.

RESPON STRUKTUR DUA DERAJAT KEBEBASAN DENGAN KEKAKUAN SEBAGAI PARAMETER KETIDAKPASTIAN

Olga Pattipawaej^[1], Budiarto^[2]

ABSTRAK

Sistem suatu struktur sangatlah bergantung kepada ketidakpastian yang ada di geometri struktur, sifat bahan dan kondisi pembebanan. Pemodelan struktur berupa bangunan dua lantai sebagai portal sederhana berdimensi dua. Dengan memasukkan parameter ketidakpastian, perhitungan dilakukan dengan menggunakan gabungan dua metode yaitu probabilitas dan metode elemen hingga. Parameter ketidakpastian dalam tulisan ini adalah kekakuan struktur. Hasil analisis dengan menggunakan program Matlab diperoleh bahwa pengaruh respon sebelum memasukkan dan setelah memasukkan parameter ketidakpastiannya menyebabkan adanya penambahan perpindahan.

Kata kunci : Ketidakpastian, Probabilitas, Metode elemen hingga.

ABSTRACT

System of structures is very much depending on the uncertainties that embrace in geometry, materials, and loading. A two-story building structure is modeled as a two dimensional of simple portal. Taking account of the uncertainties, the calculation has conducted by using two combining methods that is finite element method and probability. Uncertainties parameter in this article is the stiffness of structure. Analysis result using Matlab program is obtained that influence of response before and after put into the uncertainties cause the existence of the additional displacements.

Keywords : Uncertainty, Probability, Finite element method.

1. PENDAHULUAN

Tidaklah mudah dan tidak selalu dapat ditemukan solusi matematis yang tepat untuk masalah teknik. Kenyataannya, solusi analitis hanya mungkin untuk beberapa keadaan yang disederhanakan. Untuk masalah mengenai sifat material yang kompleks dan rumit, pembebanan dan syarat-syarat batas, ahli teknik membuat anggapan dan idealisasi yang sesuai sehingga diperoleh penyelesaian matematis yang diperlukan yang dapat memberikan solusi pendekatan dengan hasil yang memuaskan.

Dalam bidang teknik, penerapan praktis yang biasa digunakan dalam menganalisa suatu sistem struktur adalah dengan mengasumsikan parameternya sebagai sesuatu yang pasti atau deterministik. Meskipun dalam situasi yang nyata hal ini tidaklah mungkin terjadi sehingga tanggapan stuktur dan sistem perancangan secara keseluruhan menjadi penting dengan mengikutsertakan parameter ketidakpastian (*uncertainty*) dalam proses perhitungan.

Sistem suatu struktur sangatlah bergantung kepada ketidakpastian yang ada di geometri struktur, sifat bahan dan kondisi pembebanan. Ada tiga metode dasar yang digunakan dalam menganalisa tanggapan struktur dengan memperhitungkan parameter tak pastinya, yaitu: Simulasi Monte Carlo, Neuman Ekspansi dan Probability Metoda Elemen Hingga.

Dalam tulisan ini metode yang akan digunakan yaitu probability metoda elemen hingga dengan menggunakan perluasan Deret Taylor derajat dua karena ditinjau dari segi teori dan komputasi sangatlah mungkin diterapkan meski untuk sistem struktur yang besar tetapi tetap menerapkan teknik komputasi biasa. Metode elemen hingga digunakan dengan mengikutsertakan parameter ketidakpastian, sehingga pendekatan ini dikenal juga dengan stokastik metoda elemen hingga (Kleiber dan Hien, 1992). Tujuan tulisan ini dibuat adalah untuk mengetahui perilaku perpindahan akibat dari kekakuan lateral sebagai random variabel atau parameter ketidakpastian terhadap bangunan berlantai dua. Pemodelan bangunan berlantai dua sebagai portal sederhana bertujuan untuk memudahkan perhitungan struktur baik itu massa maupun kekakuan. Sementara damping merupakan kombinasi linier massa dan kekakuan. Gempa El-Centro diikutsertakan untuk mengetahui respons dinamik pembebanan bangunan berlantai 2 dengan riwayat waktu.

2. PEMODELAN PARAMETER KETIDAKPASTIAN

Perhitungan dan analisa keberadaan struktur sudah diketahui tidak dapat mengabaikan pengaruh adanya ketidakpastian/*uncertainty*. Sumber ketidakpastian yang ada di lingkungan dapat dikenal melalui bentuk struktur, parameter bahan dan juga gaya pembebanan yang terjadi. Dengan adanya ketidakpastian ini dan pengaruhnya terhadap suatu struktur menjadi suatu yang sangat penting dalam perhitungan tanggapan dan sistem struktur secara keseluruhan.

Ahli teknik dan peneliti telah menerapkan beberapa metode untuk menjawab masalah ini. Metoda tradisional yang sangat sering dilakukan adalah mengabaikan variasi suatu variabel. Metode ini mengasumsikan bahwa kemungkinan terburuk dari suatu variabel digunakan sebagai nilai masukan/*input*. Akibatnya analisa suatu struktur hanya berdasarkan nilai-nilai parameter yang pasti saja/*deterministic* (Clough dan Penzien, 1993).

Pendekatan lain yang sering digunakan adalah simulasi Monte Carlo (Astill, Nossier dan Shinozuka, 1972). Dalam metoda ini suatu proses statistik digunakan dengan cara melakukan simulasi numerik dari suatu variabel. Simulasi numerik ini menerima masukan dari suatu kumpulan variabel acak yang ditentukan sebagai nilai yang tidak pasti dalam

sistem suatu struktur. Analisa lebih lanjut diperlukan untuk memperkirakan besarnya nilai ketidakpastian tersebut. Sayangnya metode ini memerlukan banyak data variabel acak tadi untuk mendapatkan hasil yang baik. Tidaklah mengherankan jika diperlukan banyak pengulangan/iterasi dan kurang efisien jika banyak variabel acak yang diikutsertakan dalam perhitungan.

Aplikasi metoda numerik lain yang lebih efisien dalam bidang teknik adalah probabilistik metoda elemen hingga. Secara umum probabilistik metoda elemen hingga ini merupakan kombinasi dua metode, yaitu metode elemen hingga dan metode probabilitas. Metoda elemen hingga telah dikenal merupakan alat yang sangat sering dipakai dalam bidang teknik terutama dalam memecahkan masalah-masalah yang kompleks. Metode ini memiliki konsep yang sederhana, akurat dalam pengembangannya dan mempunyai kemampuan aplikasi yang baik. Hasil penggunaan metode elemen hingga ini memerlukan biaya operasi yang terjangkau dan dapat digunakan untuk sistem yang sangat besar yang sangat penting di bidang teknik. Selanjutnya metode probabilitas secara eksplisit memasukkan ketidakpastian yang bersesuaian dengan analisa variabel yang pasti. Nilai eksak dari variabel-variabel ini biasanya tidak diketahui karena tidak dapat diukur secara akurat. Dengan kata lain, probabilistik metode elemen hingga merupakan suatu metode numerik yang mengikutsertakan unsur ketidakpastian dalam memprediksi reaksi suatu struktur.

Banyak peneliti berperan serta dalam pengembangan berbagai aspek metodologi probabilistik metode elemen hingga. Kekuatan utama dari penelitian mereka adalah dengan mengikutsertakan sumber-sumber ketidakpastian (*uncertainties*) dalam pemodelan dan merumuskan persamaan matematika dari reaksi suatu struktur dengan tetap menggunakan metode elemen hingga.

Ketika teknik elemen hingga digunakan dalam analisa keandalan, mereka biasa menyebutnya sebagai teknik stokastik elemen hingga. Hal ini dikarenakan gambaran parameter suatu struktur dimodelkan sebagai variabel acak. Pendekatan komputasi berdasarkan formula pembebanan diterapkan dan digunakan bersamaan dengan analisa stokastik elemen hingga untuk memprediksi kemungkinan terjadi kegagalan suatu struktur yang kompleks (Guan dan Melchers, 1999).

Vanmarcke and Grigoriu (1983) menganalisa beam satu dimensi dengan probabilistik metode elemen hingga. Metode yang diterapkan digambarkan dengan menghitung lendutan statis suatu beam dimana kekakuannya bervariasi sepanjang sumbu. Chakraborty and Dey (1995) menerapkan stokastik metode elemen hingga untuk

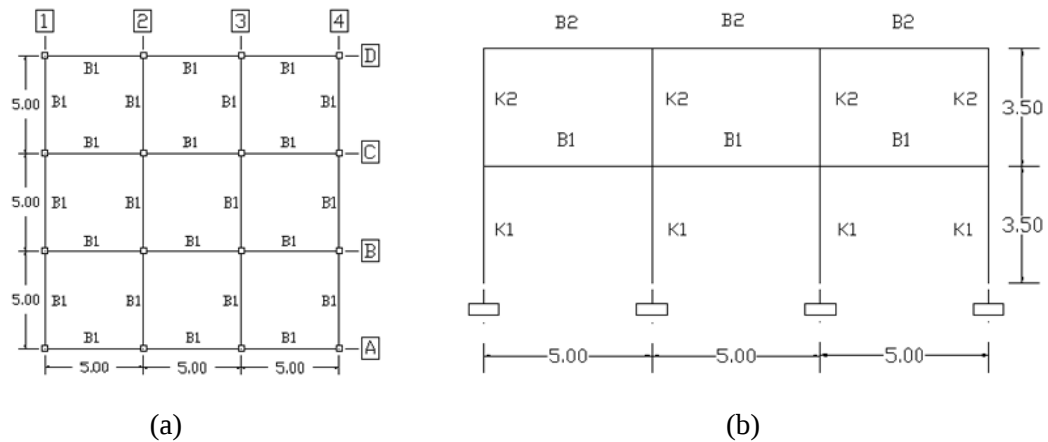
menganalisa suatu balok kantilever dimana kelenturan dan pembebanan merata dimodelkan sebagai proses Gauss yang homogen berdimensi satu. Teknik perluasan Neumann digunakan sebagai invers dari stokastik matrik kekakuan dalam mencari reaksi solusi elemen hingga. Mereka juga menerapkan metode ini untuk menganalisa struktur dinamik dengan pembebanan acak. Reaksi dinamika terhadap beban harmonik yang umum seperti beban gempa yang diperoleh melalui domain frekuensi. Selanjutnya Lei and Qui (2000a) juga menggunakan dinamika Neumann stokastik metode elemen hingga dalam *domain* waktu untuk menganalisa dinamika respon suatu struktur.

Selain ekspansi Neumann, pendekatan perturbasi digunakan dalam mempelajari pengaruh dinamika ketidakpastian struktur dimana pembebanannya dapat acak atau pasti. Khususnya, Ghanem menyajikan hal-hal utama pengembangan umum spektral stokastik metode elemen hingga. Metode ini kemudian dikembangkan sebagai perbandingan dari perkembangan metode elemen hingga biasa, yang digunakan dalam tulisan Ghanem dan Kruger (1996).

Aplikasi dari perturbasi berdasarkan stokastik metode elemen hingga telah digunakan dalam analisa kelelahan/fatigue dari media yang homogen dan heterogen (Kaminski 2002). Lee and Lim (1998) mengerjakan langkah-langkah yang lebih sederhana untuk optimasi perancangan bersamaan dengan sistem suatu struktur acak. Dalam prosedurnya, metode perturbasi orde dua diterapkan dalam menghitung tekanan dan perpindahan. Dalam pendekatan perturbasi, perhitungan kepekaan suatu perancangan dari suatu sistem acaknya dinyatakan sebagai jumlah komponen pasti/deterministik dan tak pasti/acak. Lei and Qiu (1998) mempelajari kemampuan dinamika stokastik metode elemen hingga berdasarkan dinamika pembatasan mode dan mengevaluasinya melalui hasil suatu beam sederhana dan suatu rangka struktur dengan pembebanan gempa. Nonlinier dipertimbangkan dalam penggunaan metode di atas sebagai penelitian lanjut.

2. DESAIN GEDUNG LANTAI DUA

Studi kasus menggunakan model gedung dengan sistem struktur balok-kolom dengan jumlah lantai dua. Mutu beton yang digunakan adalah $f_{c'} = 25$ MPa dan $f_y = 400$ MPa. Pelat menggunakan tebal 120 mm. Penutup atap menggunakan pelat dak dengan tebal 120 mm. Pada pemodelan struktur, data-data yang digunakan data-data dari gedung berlantai dua dengan tinjauan portal dua dimensi. Lantai pada pemodelan ini ditetapkan sebagai *rigid diaphragm*, yaitu massa dipusatkan pada satu titik nodal untuk tiap lantainya. Denah untuk lantai 1 dan 2 dan potongan portal dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Denah lantai 1 dan lantai 2; (b) Potongan portal B

Pembebanan yang digunakan pada struktur gedung tersebut hanya beban mati (DL), beban hidup (LL) dan beban mati tambahan (SDL), dimana beban-beban tersebut, dimaksudkan untuk mendapatkan suatu besaran dari kekakuan, massa dan redaman dari struktur gedung itu tersebut. Hasil perhitungan beban mati pada struktur sebesar 386 kg/m^2 untuk lantai 1 dan 2, sedangkan beban mati untuk dak sebesar 299 kg/m^2 . Beban hidup pada struktur sebesar 250 kg/m^2 untuk lantai 1 dan 2, sedangkan dak sebesar 100 kg/m^2 . Perhitungan ekuivalen beban diatas merupakan perhitungan pembebanan pada pelat lantai maupun dak.

Massa terpusat pada titik hubung elemen struktural. Massa secara proporsional dengan beban gravitasi, yaitu :

$$m = \frac{W}{g} \quad (1)$$

dimana W adalah berat bangunan per lantai dan g percepatan gravitasi.

Dalam dinamika struktur (Paz, 1990), jumlah koordinat bebas diperlukan untuk menetapkan susunan atau posisi sistem pada setiap saat, yang berhubungan dengan jumlah derajat-kebebasan (*degrees of freedom*).

Pada umumnya struktur berkesinambungan (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan (*number of degrees of freedom*) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit.

Pada penelitian ini, gedung dianggap sebagai struktur berderajat kebebasan dua. Secara

umum, persamaan matriks massa $[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19044,75025 & 0 \\ 0 & 18890,62181 \end{bmatrix}$ kg

det²/m, dimana m_1 adalah massa lantai 1 dan m_2 merupakan massa lantai 2.

Kekakuan suatu struktur adalah gaya yang dapat disimpan oleh sistem struktur bila struktur itu diberi perpindahan baik itu perpanjangan, perpendekan, perputaran sudut, atau deformasi – deformasi lainnya.

Kekakuan merupakan gaya balik elastic (*elastic restoring force*) dan kapasitas energi potensial dari struktur. Persamaan kekakuan yang digunakan untuk sebuah kolom bermassa seragam dengan kedua ujungnya terjepit atau tak berotasi, konstanta pegasnya adalah,

$$K = \frac{12 \times E \times I}{h^3} \quad (2)$$

dengan h tinggi total kolom per lantai, E adalah modulus elastisitas dan I momen inersia. Sedangkan persamaan matriks kekakuan,

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3551720,116 & -1775860,058 \\ -1775860,058 & 1775860,058 \end{bmatrix} \text{ kg/m} \quad (3)$$

dengan k_1 kekakuan lantai 1 dan k_2 kekakuan lantai 2.

Redaman pada suatu struktur yang bergetar menyatakan adanya fenomena disipasi energi atau penyerapan energi.

Salah satu contoh bila struktur digetarkan semakin lama amplitudonya semakin kecil hingga akhirnya struktur itu diam. Redaman struktur dimodelkan sama dengan redaman *viscous* yaitu besarnya gaya redaman yang dialami oleh suatu struktur yang bergetar berbanding lurus dengan koefisien redaman serta kecepatan getaran struktur.

Model redaman yang digunakan pada perhitungan ini menggunakan redaman Rayleigh sebagai berikut

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] = \begin{bmatrix} 24653,41932 & -8204,47346 \\ -8204,47346 & 16382,22365 \end{bmatrix} \text{ kg det/m} \quad (4)$$

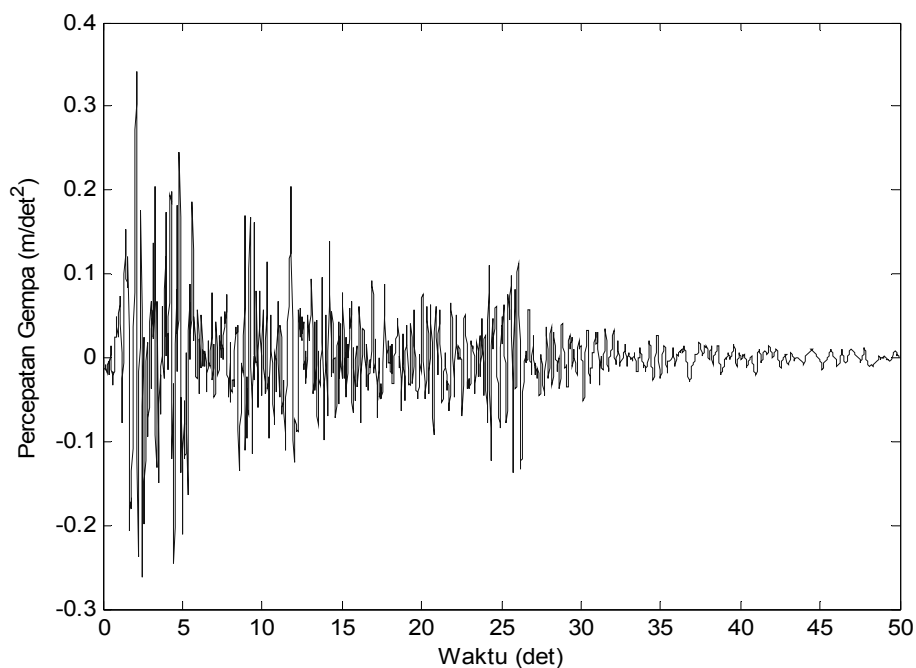
dimana $[C]$ matriks redaman, $[M]$ matriks massa dan $[K]$: matriks kekakuan.

Koefisien α adalah koefisien redaman yang tergantung massa dan koefisien β adalah koefisien redaman yang berhubungan dengan kekakuan, yang dihitung untuk memberikan tingkat yang dibutuhkan redaman viscous pada dua frekuensi yang berbeda, didapat dari nilai mode pertama dan mode kedua dari vibrasi bebas.

3. BEBAN GEMPA

Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dalam beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Peninjauan arah gempa menggunakan satu arah saja.

Gempa El-Centro terjadi pada tanggal 15 Mei 1940 di dataran California, AS diambil sebagai beban gempa. Pergerakan tanah gempa El-Centro ini berhasil dicatat pertama kali dari lokasi gempa Imperial Valley California, pada jarak 9 km dari pusat gempa, dengan durasi 13,98 detik. Skala gempa 6,4 Richter. Beban ini dipilih karena kecenderungan respons spektra percepatan yang dihasilkan hampir sama dengan hasil penelitian respon spektra percepatan dari gempa-gempa yang ada di Indonesia.



Gambar 2. Akselerogram Gempa El-Centro 1940 N-S

Selain itu tipe beban gempa El-Centro 1940 N-S akan direspon oleh semua ragam struktur, baik kecil, sedang maupun besar. Percepatan tanah maksimum 0,3417g terjadi pada

detik ke 2,1. Dengan rata-rata sebesar $5,9901 \times 10^{-4}$ dan simpangan standar deviasi sebesar 0,4676 yang diperoleh dari analisis MATLAB. Hasil pencatatan akselerograph dari gempa El-Centro terlihat pada Gambar 2.

4. PROBABILITAS METODE ELEMEN HINGGA

Persamaan dinamik dimana gempa merupakan gaya luar dapat dinyatakan sebagai persamaan orde nol sebagai berikut :

$$\overline{M}\ddot{\bar{x}} + \overline{C}\dot{\bar{x}} + \overline{K}\bar{x} = -\bar{F} = -\overline{M}\ddot{U}_g \quad (5)$$

Dengan mensubstitusikan matriks redaman Rayleigh ke dalam persamaan orde-nol diperoleh

$$\overline{M}\ddot{\bar{x}} + (\alpha\overline{M} + \beta\overline{K})\dot{\bar{x}} + \overline{K}\bar{x} = -\bar{F} = -\overline{M}\ddot{U}_g \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan persamaan dinamik umum dimana semua paramaternya deterministik. Dalam tulisan ini, kekakuan diasumsikan sebagai parameter ketidakpastian. Persamaan orde-nol yang diturunkan terhadap fungsi matriks kekakuan yang kemudian disebut sebagai persamaan orde-satu. Penurunan persamaan orde-nol terhadap matriks kekakuan adalah sebagai berikut :

$$\overline{M}\frac{\partial\ddot{\bar{x}}(t)}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} + \overline{C}\frac{\partial\dot{\bar{x}}(t)}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} + \overline{K}\frac{\partial\bar{x}(t)}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} = \tilde{F} \quad (7)$$

dengan,

$$\begin{aligned} \tilde{F} &= \frac{\partial F}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} - \left[\frac{\partial M}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} \ddot{\bar{x}}(t) + \frac{\partial C}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} \dot{\bar{x}}(t) + \frac{\partial K}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} \bar{x}(t) \right] \\ \tilde{F} &= 0 - \left[0 - \beta\dot{\bar{x}}(t) + \bar{x}(t) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

sehingga diperoleh persamaan orde-satu menjadi :

$$\tilde{F} = \beta\dot{\bar{x}}(t) + \bar{x}(t) \quad (9)$$

Turunan kedua dari persamaan orde-nol terhadap fungsi matriks kekakuan disebut sebagai persamaan orde-dua, dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\overline{M}\Delta\ddot{\bar{x}}(t) + \overline{C}\Delta\dot{\bar{x}}(t) + \overline{K}\Delta\bar{x}(t) = \Delta\hat{F}(t) \quad (10)$$

dengan,

$$\Delta\hat{F}(t) = \left(\beta\frac{\partial\dot{\bar{x}}(t)}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} + \frac{\partial\bar{x}(t)}{\partial K}\bigg|_{\overline{K}} \right) \text{Var}(K) \quad (11)$$

dengan memasukkan kekakuan sebagai parameter ketidakpastian, respon dinamik untuk perpindahan diperoleh dari penyelesaian persamaan (6) dan (10), yaitu

$$E(\bar{x}(t)) = \bar{x}(t) + \Delta\bar{x}(t) \quad (12)$$

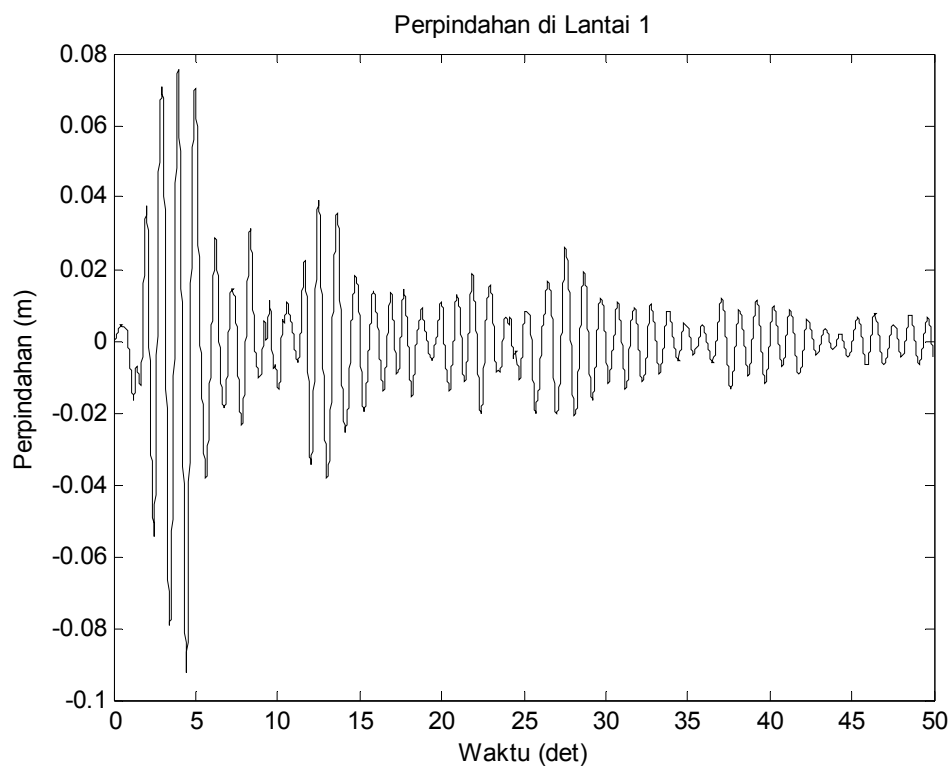
5. HASIL

Analisis dilakukan secara numerik dengan menggunakan program MATLAB. Gambar 3 menunjukkan perpindahan lantai 1 terhadap riwayat waktu untuk orde pertama. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan kontribusi perpindahan yang diperoleh dari orde dua.

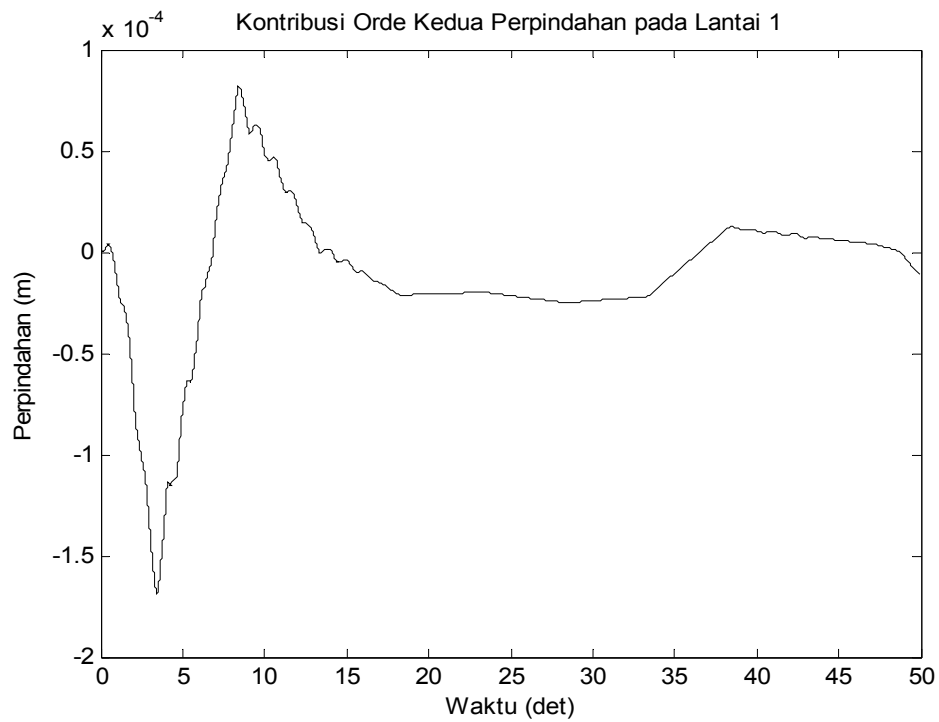
Simpangan baku perpindahan pada lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 5. Tabel 1 menunjukkan hasil respon dinamik gedung lantai 1 akibat beban gempa.

Tabel 1. Respons dinamik akibat beban gempa pada lantai 1

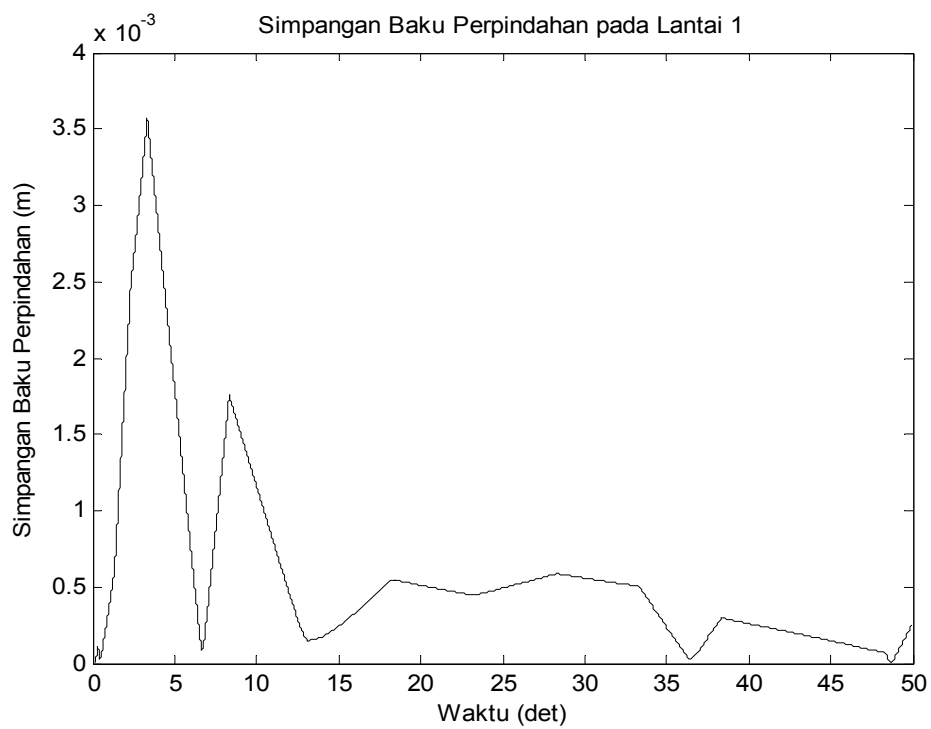
	0 th (meter)	2 th (meter)
Mean	$1,3317 \times 10^{-5}$	$-1,0935 \times 10^{-5}$
Simpangan Baku	0,0169	$3,6774 \times 10^{-5}$
Maksimum	0,0923	$1,6909 \times 10^{-4}$



Gambar 3. Perpindahan lantai 1 terhadap riwayat waktu



Gambar 4. Kontribusi orde kedua perpindahan di lantai 1



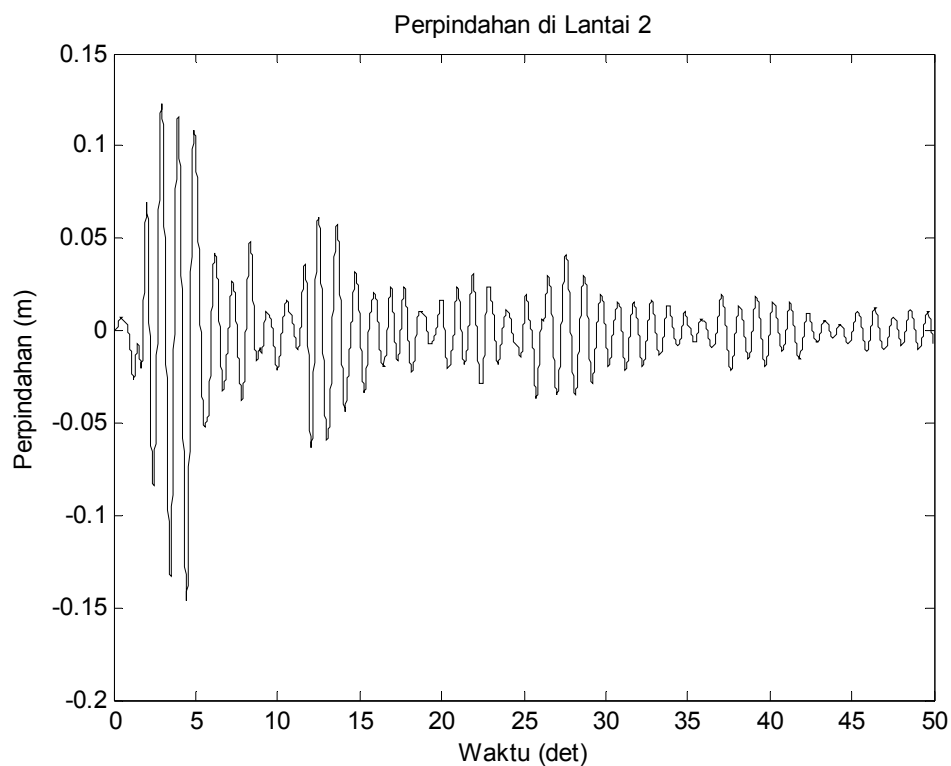
Gambar 5. Simpangan baku perpindahan di lantai 1

Dengan memasukkan pengaruh paramater kekakuan sebagai faktor ketidakpastian diperoleh penambahan maksimum perpindahan di lantai 1 sebesar 0,18 %.

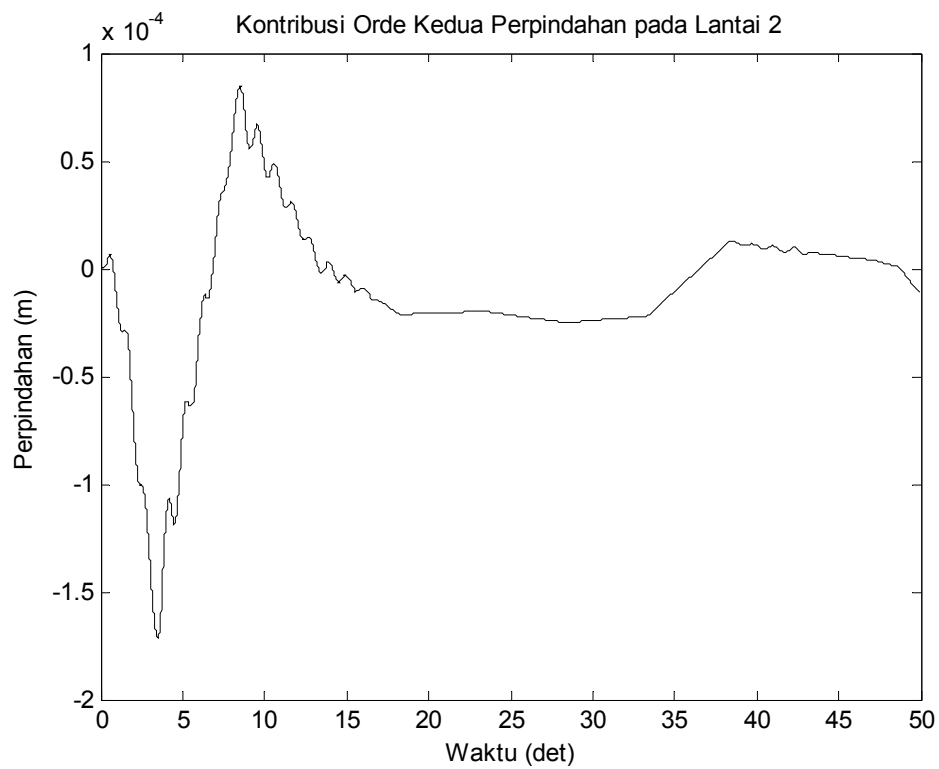
Gambar 6 menunjukkan perpindahan lantai 2 terhadap riwayat waktu untuk orde pertama. Sedangkan Gambar 7 merupakan kontribusi perpindahan yang diperoleh dari orde dua di lantai 2. Simpangan baku perpindahan pada lantai 2 dapat dilihat pada Gambar 8. Tabel 2 menunjukkan hasil respon dinamik gedung lantai 2.

Tabel 2. Respons dinamik akibat beban gempa di lantai 2

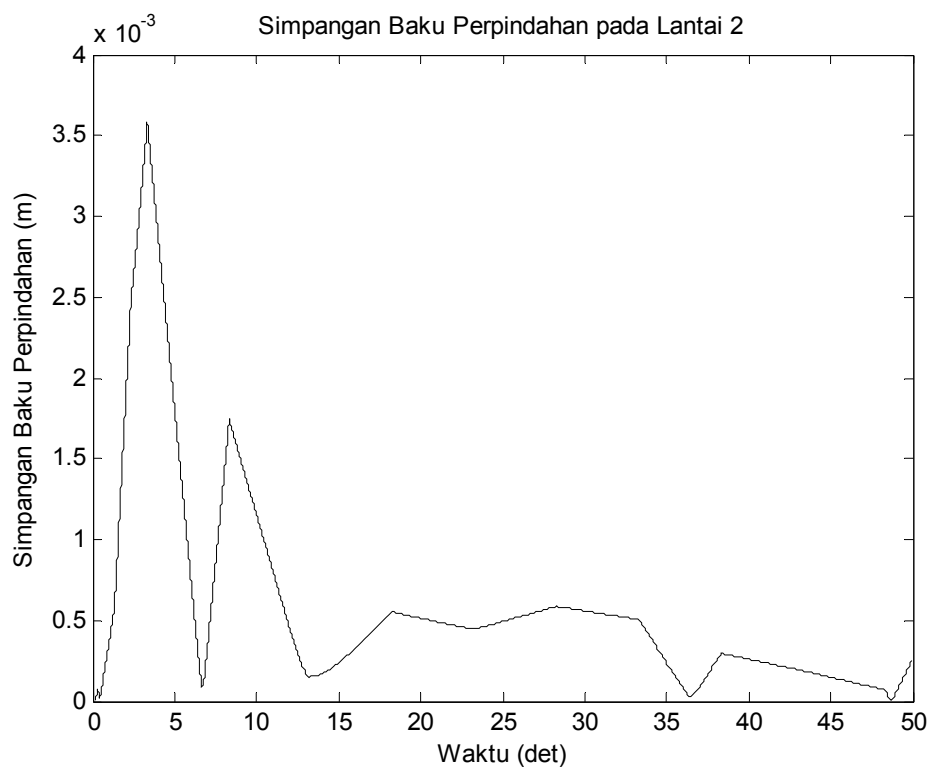
	0 th (meter)	2 th (meter)
Mean	$2,2671 \times 10^{-5}$	$-1,0885 \times 10^{-5}$
Simpangan Baku	0,0274	$3,6868 \times 10^{-5}$
Maksimum	0,1464	$1,7122 \times 10^{-4}$



Gambar 6. Perpindahan lantai 2 terhadap riwayat waktu



Gambar 7. Kontribusi orde kedua perpindahan di lantai 2



Gambar 8. Simpangan baku perpindahan di lantai 2

Dengan memasukkan pengaruh parameter kekakuan sebagai faktor ketidakpastian diperoleh penambahan maksimum perpindahan di lantai 2 sebesar 0,12 %.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi probabilitas respon struktur dengan metode elemen hingga ini, setelah diberikan beban gempa El-Centro serta peninjauan terhadap parameter ketidakpastian dimana kekakuan sebagai variansi parameternya, adalah sebagai berikut :

1. Pada lantai 1 terjadi adanya perubahan, yaitu adanya penambahan maksimum perpindahan sebesar 0,18 %.
2. Pada lantai 2 terjadi adanya perubahan, yaitu adanya penambahan maksimum perpindahan sebesar 0,12 %.
3. Dengan penambahan kekakuan sebagai parameter yang tidak pasti diperoleh penambahan perpindahan. Hal ini menjadi penting dalam menganalisa respon suatu struktur.

DAFTAR PUSTAKA

1. Astill, C.J., Nossier, S.B., and Shinozuka, M. (1972). "Impact loading on structures with random properties." *J. Struct. Mech.*, 1(1), 63-77.
2. Benjamin J.R., and Cornell, C.A. (1970), "Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers." Penerbit Mc Graw – Hill, Inc, New York.
3. Chakraborty, S., and Dey, S.S. (1995). "Stochastic finite element method for spatial distribution of material properties and external loading." *Comput. and Struct.*, 55(1), 41-45.
4. Clough, R. W., and Penzien, J.P. (1993). *Dynamic of structures*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY.
5. Ghanem, R.G., and Kruger, R.M. (1996). "Numerical solution of spectral stochastic finite element systems." *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 129, 289-303.
6. Kaminski, M. (2002). "On probabilistic fatigue models for composite materials." *Int. J. Fatigue*, 24, 477-495.

7. Kleiber M., and Hien T. D. (1992), *The Stochastic Finite Element Method., Basic Perturbation Technique and Computer Implementasi*, Penerbit John Wiley and Sons, England.
8. Lee, B.W., and Lim, O.K. (1998). "Application of stochastic finite element method to optimal design of structures." *Comput. and Struct.*, 68, 491-497.
9. Lei, Z., and Qiu, C. (1998). "A dynamic stochastic finite element method based on dynamic constraint mode." *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 161, 245-255.
10. Paz, M. (1990), *Dinamika Struktur*, Penerbit Erlangga, Indonesia.
11. Vanmarcke, M., and Grigoriu, M. (1983). "Stochastic finite element analysis of simple beam." *J. Eng. Mech*, 109(5), 1203-1214.

^[1] **Olga Pattipawaej, Ph.D.**, Dosen Tetap, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Bandung. E-mail : olga.pattipawaej@eng.maranatha.edu

^[2] **Budiarto, ST.**, alumnus Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

PENGARUH KADAR AIR DAN JARAK ANTAR PAKU TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN KAYU KELAPA

Arusmalem Ginting^[1]

ABSTRAK

Kayu kelapa sebagai kayu alternatif sudah banyak digunakan sebagai bahan bangunan. Bangunan dapat berupa bangunan terlindung dan bangunan tidak terlindung. Kadar air kayu dipengaruhi oleh kelembaban udara sekitarnya yang sering disebut sebagai sifat higroskopis kayu. Kayu kelapa yang ada di pasaran juga mempunyai kadar air yang berbeda-beda. Sambungan merupakan titik terlemah pada struktur kayu. Kekuatan sambungan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kadar air dan jarak alat sambung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berat jenis kayu kelapa, pengaruh kadar air, dan jarak antar paku terhadap kekuatan sambungan. Pada penelitian ini digunakan 3 variasi kadar air yaitu 8,27 %, 16,28 % dan 33,44 %. Jarak antar paku yang digunakan adalah 8D, 10D dan 12D, dengan D adalah diameter paku. Digunakan 10 buah paku 4''BWG8 dengan diameter 0,42 cm dan panjang 10,2 cm yang ditempatkan dalam 2 baris. Sambungan kayu kelapa yang diuji menggunakan pelat sambung kayu, tebal batang utama 4 cm, lebar 8 cm dan pelat sambung ganda tebal 2 cm, lebar 8 cm. Dari hasil penelitian didapat berat jenis kayu kelapa 0,74. Jarak paku yang kurang dari jarak minimum (10D) mengurangi kekuatan sambungan dan jarak paku yang lebih dari jarak minimum (10D) akan meningkatkan kekuatan sambungan. Kekuatan sambungan meningkat pada kadar air kurang dari kondisi kering udara (16,28 %) dan menurun pada kadar air melebihi kondisi kering udara (16,28 %). Besarnya faktor aman sambungan kayu kelapa menggunakan alat sambung paku (4''BWG8) pada kondisi kering udara (16,28 %) dan jarak paku minimum (10D) sebesar 2,86.

Kata kunci : Kadar air, Jarak paku, Kekuatan sambungan, Kayu kelapa.

ABSTRACT

Coconut wood has often been used as alternative wood for the building materials. The structure condition could be protected or unprotected from the change atmosphere humidity. Moisture content of wood was affected by humidity of surrounding atmosphere that was acknowledged as the hygroscopic characteristics. Coconut wood in commercial had the moisture content that was different. Connection was the weakest point in wood structures. The strength of connection was influenced by several factors like the moisture content and spacing of fastener. The goal of this research was to know the specific gravity of coconut wood, influence of moisture content and spacing of nail towards the strength of connection. In this research was used 3 variations of moisture content that was 8.27 %, 16.28 % and 33.44 %. The spacing variation of the nail was 8D, 10D and 12D, with D was the diameter of the nail. Used 10 nail 4''BWG8 with the diameter 0,42 cm and long 10,2 cm that was placed in 2 rows. Connection of coconut wood that was tested used wood side plates, thickly the main member 4 cm, wide 8 cm and wood side plates thick 2 cm, wide 8 cm. Results of the research was gotten the specific gravity coconut wood 0.74. Nail spacing less than minimal spacing (10D) reduced the strength of connection and the spacing that larger than minimal spacing (10D) increased the strength of connection. The strength of connection increased on moisture content less than air-dry condition (16,28 %) and descended on moisture content exceeded air-dry condition (16,28 %). The safe factor connection of coconut wood used the nail fastening (4''BWG8) in air-dry condition (16,28 %) and minimal spacing (10D) was 2.86.

Keywords : Moisture content, Nail spacing, Strength of connection, Coconut wood.

1. PENDAHULUAN

Penebangan hutan secara liar yang tidak terkendali selama puluhan tahun menyebabkan terjadinya penyusutan hutan tropis secara besar-besaran yang mengakibatkan kurangnya pasokan kayu dan semakin tingginya harga kayu di pasaran. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dicari alternatif pengganti kayu.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki areal perkebunan kelapa yang cukup luas. Hampir semua kawasan pantai Indonesia terdapat tanaman kelapa. Pemanfaatan kayu kelapa dilakukan sebagai alternatif pengganti kayu. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, kayu kelapa cukup kuat digunakan sebagai bahan bangunan.

Kayu merupakan bahan bangunan yang bersifat higroskopis, yaitu bahan bangunan yang sangat peka terhadap perubahan udara yang mengakibatkan perubahan kadar air. Penggunaan kayu sebagai bahan bangunan dapat digunakan pada struktur terlindung, tidak terlindung dan struktur yang terendam air. Struktur terlindung yaitu struktur yang terlindung dari perubahan udara yang besar, dari hujan dan matahari, sehingga tidak basah dan kadar airnya tidak akan berubah-ubah banyak. Struktur tidak terlindung adalah struktur yang tidak dilindungi dari perubahan udara yang besar tetapi kayu dapat mengering dengan cepat. Struktur yang terendam dalam air adalah struktur untuk bangunan-bangunan di sungai dengan kadar air yang selalu tinggi.

Sambungan merupakan titik terlemah pada struktur kayu. Sambungan pada struktur kayu dapat berupa sambungan paku, baut, pasak, perekat atau dapat juga menggunakan alat sambung modern (*modern timber connector*). Sambungan paku sering digunakan pada kayu lunak atau kayu dengan berat jenis rendah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan sambungan diantaranya adalah jarak alat sambung dan kadar air kayu. Pada peraturan-peraturan (*code*) biasanya dicantumkan faktor reduksi kekuatan sambungan sesuai dengan kondisi lingkungan struktur dan juga dicantumkan jarak minimum antar alat sambung. Kayu kelapa sebagai kayu alternatif perlu diketahui perilaku sambungannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kadar air dan jarak antar paku terhadap kekuatan sambungan kayu kelapa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kayu Kelapa

Kayu kelapa (*Cocos Nucifera L*) atau pohon nyiur merupakan salah satu pohon di daerah tropis yang termasuk keluarga *palmaceae* dan golongan *monocotyledoneae*. Pohon ini

tumbuh di daerah pantai, tinggi pohon kelapa berkisar antara 15 - 40 m dengan diameter batang 0,25 - 0,40 m. Pertumbuhan batang lurus ke atas dan tidak bercabang. Pada ujung batang terdapat titik tumbuh yang merupakan jaringan *meristem* yang berfungsi untuk membentuk daun, bunga dan batang. Pada usia 3 – 4 tahun lingkaran pada batang tidak membesar lagi. Hal ini disebabkan pada pohon kelapa tidak mempunyai kambium, sehingga tidak dapat mengalami pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan pohon kelapa setiap tahun bertambah tinggi sebesar 1 - 1,5 m untuk tanaman muda, 0,4 – 0,5 m untuk tanaman dewasa dan 0,1 m untuk tanaman yang sudah tua (Setyamidjaja, 1995).

2.2 Kadar Air

Kadar air kayu adalah banyaknya air yang ada didalam sepotong kayu dinyatakan sebagai persentase dari berat kayu kering oven. Banyaknya kandungan air pada kayu bervariasi tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekitarnya dan tergantung dari jenis kayu. Semua sifat fisik kayu sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air kayu. Oleh karena itu dalam penggunaan kayu sebagai bahan baku bangunan perlu diketahui kandungan kadar airnya (Dumanauw, 1984).

Menurut Kasmujo (2001) kadar air besarnya bervariasi menurut jenis kayu, dan perbedaan umur kayu. Kayu dari mulai ditebang sampai siap dibuat produk akan mengalami penurunan kadar air. Kadar air kering udara di Indonesia berkisar antara 10-18%. Pada jenis-jenis kayu dengan berat jenis rendah, kadar air 18% sudah mencapai kondisi kering udara. Di daerah iklim tropis kadar air seimbang didalam ruangan kurang dari 10%, sedang di luar ruangan lebih dari 20%. Dalam ruang ber-AC kadar air seimbang kurang dari 10% demikian juga ruangan yang dilengkapi dengan pemanas. Kayu dalam kondisi kering udara jika terus dikeringkan, maka kadar airnya masih bisa berkurang lagi hingga tinggal 0 - 1% saja. Kadar air pada kondisi teoritis 0% disebut kondisi kering tanur dan relatif labil artinya mudah berubah.

Berdasarkan PKKI (1961) kadar air kayu dapat dibagi menjadi 3 golongan yaitu kadar air basah, kadar air kering udara, dan kadar air kering mutlak. Kayu yang baru ditebang dan masih basah kadar airnya antara 40 – 200 %, dan besarnya kadar air ini juga tergantung jenis kayu. Kayu basah makin lama makin kering hingga mencapai kadar air antara 24 – 30 % yang dinamakan *fiber saturation point*. Kadar air dibawah *fiber saturation point* akan mengakibatkan penyusutan dan meningkatkan kekuatan kayu, sedangkan kadar air di atas *fiber saturation point* mengakibatkan penurunan kekuatan kayu. Kadar air kayu kering udara di Indonesia antara 12 – 18 % atau rata-rata 15 %.

2.3 Berat jenis

Berat jenis kayu adalah perbandingan berat kayu terhadap volume air yang sama dengan volume kayu tersebut dengan menggunakan berat kayu kering sebagai dasar. Faktor tempat tumbuh dan iklim, letak geografis dan spesies dapat berpengaruh terhadap berat jenis, demikian pula letak bagian kayunya berpengaruh terhadap berat jenis kayu (Haygreen dan Bowyer, 1996).

Setiap jenis kayu mempunyai berat jenis yang berbeda, berkisar antara minimum 0,2 (kayu balsa) hingga 1,28 (kayu nani). Berat jenis merupakan petunjuk penting bagi aneka sifat kayu. Makin besar berat jenis kayu, umumnya makin kuat pula kayunya dan semakin kecil berat jenis kayu, akan berkurang pula kekuatannya (Dumanauw, 1984).

Menurut Haygreen dan Bowyer (1996), kemungkinan kondisi kayu yang dipakai untuk menyatakan berat jenis adalah:

- Volume basah, yaitu volume dimana dinding sel sama sekali basah atau jenuh dengan air atau berada pada kondisi titik jenuh serat atau diatasnya.
- Volume pada keadaan seimbang, yaitu kayu pada kondisi kadar air dibawah titik jenuh serat.
- Volume kering tanur, yaitu kondisi berat konstan setelah dikeringkan dalam tanur pada suhu $\pm 103^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sektianto (2001) berat jenis rata-rata kayu kelapa sebesar 0,54.

Isyunto (2002) meneliti lapis luar dan lapis dalam kayu kelapa. Dari hasil penelitian didapat berat jenis rata-rata lapis luar kayu kelapa 0,725 dan berat jenis rata-rata lapis dalam kayu kelapa 0,721. Perbedaan berat jenis lapis luar dan lapis dalam tidak terlalu besar dan kayu kelapa digolongkan sebagai kayu kelas kuat II.

Berdasarkan PKKI 1961 hubungan antara berat jenis dan kelas kuat kayu adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara berat jenis dan kelas kuat kayu (PKKI 1961)

Kelas kuat kayu	Berat jenis	Kuat lentur mutlak kg/cm^2	kuat tekan mutlak kg/cm^2
I	$> 0,90$	> 1100	> 650
II	$0,90 - 0,60$	$1100 - 725$	$650 - 425$
III	$0,60 - 0,40$	$725 - 500$	$425 - 300$
IV	$0,40 - 0,30$	$500 - 360$	$300 - 215$
V	$< 0,30$	< 360	< 215

2.4 Sambungan Paku

Menurut Soehendrodjati (1990) pemakaian paku sebagai alat sambung banyak digunakan, baik untuk alat sambung perabot rumah tangga, kusen, pintu, jendela maupun sambungan struktur bangunan. Beberapa keuntungan penggunaan paku adalah sebagai berikut :

- Paku merupakan alat sambung yang murah, sehingga harga struktur menjadi murah.
- Sambungan paku bersifat kaku, sesaran kecil, sehingga struktur menjadi lebih kokoh.
- Pelaksanaan pekerjaan cepat, mudah, tidak memerlukan tenaga ahli, peralatanya cukup dengan palu dan catut saja.
- Perlemahan pada tampang kecil.
- Penyimpangan arah gaya terhadap arah serat tidak mempengaruhi kekuatan dukung.

Berdasarkan PKKI (1961) syarat-syarat dan cara perhitungan sambungan paku adalah sebagai berikut :

- Paku yang digunakan dapat mempunyai tampang melintang yang berbentuk bulat, persegi atau beralur lurus.
- Kekuatan paku tidak tergantung dari besar sudut antara gaya dan arah serat kayu.
- Ujung paku yang keluar dari sambungan sebaiknya dibengkokkan tegak lurus arah serat, asal pembengkokkan tersebut tidak akan merusak kayu.
- Apabila dalam satu baris lebih dari 10 batang paku maka kekuatan paku harus dikurangi dengan 10%, dan jika lebih dari 20 batang harus dikurangi 20%.
- Pada sebuah sambungan paku, paling sedikit harus digunakan 4 batang paku.

Jarak paku minimum diatur sebagai berikut:

- Jarak paku searah gaya dengan tepi kayu yang dibebani sebesar $12d$, untuk tepi kayu yang tidak dibebani sebesar $5d$, dan jarak antar paku $10d$, dengan d adalah diameter paku.
- Jarak paku arah tegak lurus gaya ke tepi kayu $5d$ dan jarak antar baris $5d$.

Kekuatan sambungan paku tampang dua ($b \leq 7.d$) dapat dihitung dengan Persamaan 1 berikut ini :

$$S = b \cdot d \cdot \sigma_{kd} \quad (1)$$

dengan: S = gaya dukung satu paku, (kg)

b = tebal kayu tepi, (cm)

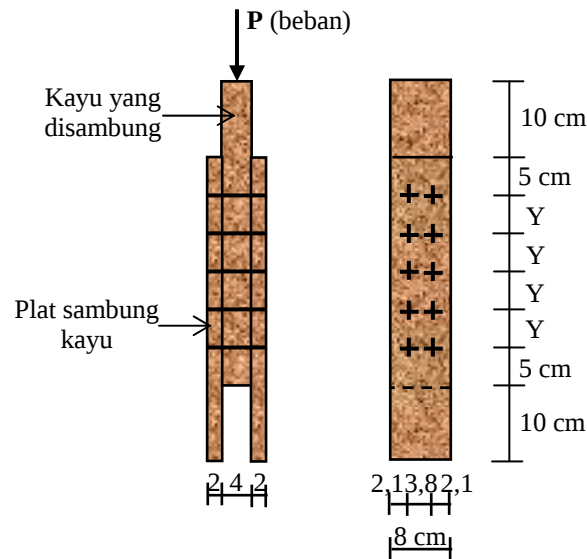
d = diameter paku, (cm)

σ_{kd} = kuat desak kayu, (kg/cm²)

3. CARA PENELITIAN

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu 4/8 cm yang disambung dengan pelat sambung 2 x 2/8 cm menggunakan 10 buah paku 4"BWG8 dengan panjang 10,2 cm dan diameter (D) 0,42 cm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Kadar air benda uji terdiri dari 3 variasi yaitu 8,27 %, 16,28 %, dan 33,44 %. Jumlah benda uji yang diteliti sebanyak 27 buah dengan variasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 1. Benda uji

Tabel 2. Variasi benda uji

Variasi	Kadar air (%)	Jarak paku	Y (cm)	Jumlah benda uji
I	8,27	8D	3,36	3
		10D	4,20	3
		12D	5,04	3
II	16,28	8D	3,36	3
		10D	4,20	3
		12D	5,04	3
III	33,44	8D	3,36	3
		10D	4,20	3
		12D	5,04	3

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan bahan meliputi pengadaan dan pengamatan visual kayu kelapa mengenai panjang dan cacat kayu.
2. Pemotongan kayu sesuai dimensi benda uji.

3. Pembuatan dan proses pemakuan benda uji.
4. Pengujian desak benda uji menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).
5. Pengujian kadar air kayu yang diambil dari benda uji.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kadar Air

Hasil pemeriksaan kadar air seperti pada Tabel 3, 4, dan 5. Dari Tabel 3 didapat besarnya kadar air benda uji variasi I sebesar 8,27 %, kadar air ini sudah mencapai kadar air seimbang didalam ruangan yang besarnya kurang dari 10%. Dari Tabel 4 didapat besarnya kadar air benda uji variasi II sebesar 16,28 %, kadar air ini sudah mencapai kering udara karena kadar air kering udara di Indonesia berkisar antara 10-18%. Dari Tabel 5 didapat besarnya kadar air benda uji variasi III sebesar 33,44 %, kadar air ini di atas *fiber saturation point* yang mengakibatkan penurunan kekuatan kayu.

Tabel 3. Kadar air variasi I

Benda uji	Berat awal (gr)	Berat kering oven (gr)	Kadar air (%)
1	7,70	7,09	8,60
2	6,97	6,41	8,74
3	8,85	8,14	8,72
4	4,70	4,43	6,09
5	4,80	4,35	10,34
6	6,86	6,33	8,37
7	4,72	4,24	11,32
8	6,75	6,25	8,00
9	9,80	9,40	4,26
Kadar air rata-rata			8,27

Tabel 4. Kadar air variasi II

Benda uji	Berat awal (gr)	Berat kering oven (gr)	Kadar air (%)
1	3,55	3,02	17,55
2	6,06	5,10	18,82
3	5,08	4,30	18,14
4	8,33	7,20	15,69
5	7,35	6,45	13,95
6	7,63	6,54	16,67
7	8,55	7,42	15,23
8	8,18	7,10	15,21
9	8,15	7,07	15,28
Kadar air rata-rata			16,28

Tabel 5. Kadar air variasi III

Benda uji	Berat awal (gr)	Berat kering oven (gr)	Kadar air (%)
1	7,45	5,20	43,27
2	7,30	5,85	24,79
3	6,90	5,22	32,18
4	6,85	5,10	34,31
5	8,32	6,10	36,39
6	5,51	3,81	44,62
7	7,65	6,07	26,03
8	7,03	5,55	26,67
9	6,95	5,24	32,63
Kadar air rata-rata			33,44

4.2. Berat Jenis

Berat jenis kayu dihitung berdasarkan berat kering oven. Hasil pemeriksaan berat jenis kayu seperti pada Tabel 4.4 berikut ini.

Dari Tabel 6 didapat berat jenis rata-rata kayu kelapa sebesar 0,74. Berdasarkan PKKI 1961 kayu kelapa ini termasuk kelas kuat II karena berat jenis berada antara 0,6 – 0,9.

Tabel 6. Berat jenis kayu kelapa

Benda uji	Dimensi (cm)			Volume (cm ³)	Berat (g)	Berat jenis (g/cm ³)
	P	l	t			
1	1,90	2,00	2,00	7,60	7,09	0,93
2	2,00	2,10	2,20	9,24	6,41	0,69
3	1,80	2,00	2,10	7,56	8,14	1,08
4	1,90	2,00	2,15	8,17	4,43	0,54
5	2,00	2,00	2,10	8,40	4,35	0,52
6	2,10	2,10	2,30	10,14	6,33	0,62
7	1,90	2,10	2,10	8,38	4,24	0,51
8	1,85	2,10	2,20	8,55	6,25	0,73
9	2,00	2,10	2,20	9,24	9,40	1,02
Berat jenis rata-rata						0,74

4.3. Kekuatan Sambungan Teoritis

Berdasarkan berat jenis rata-rata kayu kelapa sebesar 0,74 maka dipakai $\sigma_{kd} = 185 \text{ kg/cm}^2$.

$$S = 2. 0,42. 185 = 155,4 \text{ kg}$$

Jadi kekuatan teoritis sambungan dengan 10 paku = $10. 155,4 = 1554 \text{ kg}$.

4.4. Kekuatan Sambungan Pengujian

Hasil pengujian kekuatan sambungan seperti dicantumkan pada Tabel 7, 8 dan 9.

Tabel 7. Kekuatan sambungan kayu dengan kadar air 8,27 %

Jarak paku	Benda uji	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Kekuatan maks rata-rata sambungan (kg)
8D	1	4344	4988
	2	4831	
	3	5788	
10D	1	5199	5183
	2	5914	
	3	4435	
12D	1	6466	5797
	2	5971	
	3	4953	

Tabel 8. Kekuatan sambungan kayu dengan kadar air 16,28 %

Jarak paku	Benda uji	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Kekuatan maks rata-rata sambungan (kg)
8D	1	4983	4373
	2	4040	
	3	4098	
10D	1	4424	4449
	2	4582	
	3	4343	
12D	1	6134	5803
	2	5220	
	3	6056	

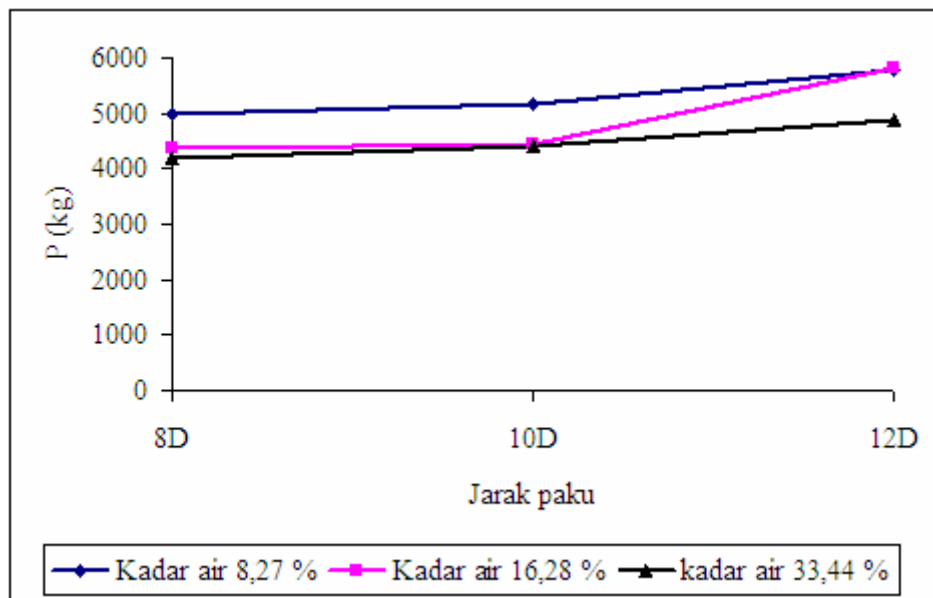
Tabel 9. Kekuatan sambungan kayu dengan kadar air 33,44 %

Jarak paku	Benda uji	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Kekuatan maks rata-rata sambungan (kg)
8D	1	4099	4193
	2	3916	
	3	4564	
10D	1	4875	4400
	2	4236	
	3	4087	
12D	1	4722	4891
	2	5149	
	3	4802	

Hubungan antara jarak paku dan kekuatan sambungan pada berbagai variasi kadar air dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 2.

Tabel 10. Hubungan kekuatan sambungan dengan jarak paku

Kadar air (%)	Jarak paku	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Perbandingan kekuatan sambungan terhadap jarak paku minimum 10D (%)
8,27	8D	4988	96
	10D	5183	100
	12D	5797	112
16,28	8D	4373	98
	10D	4449	100
	12D	5803	130
33,44	8D	4193	95
	10D	4400	100
	12D	4891	111



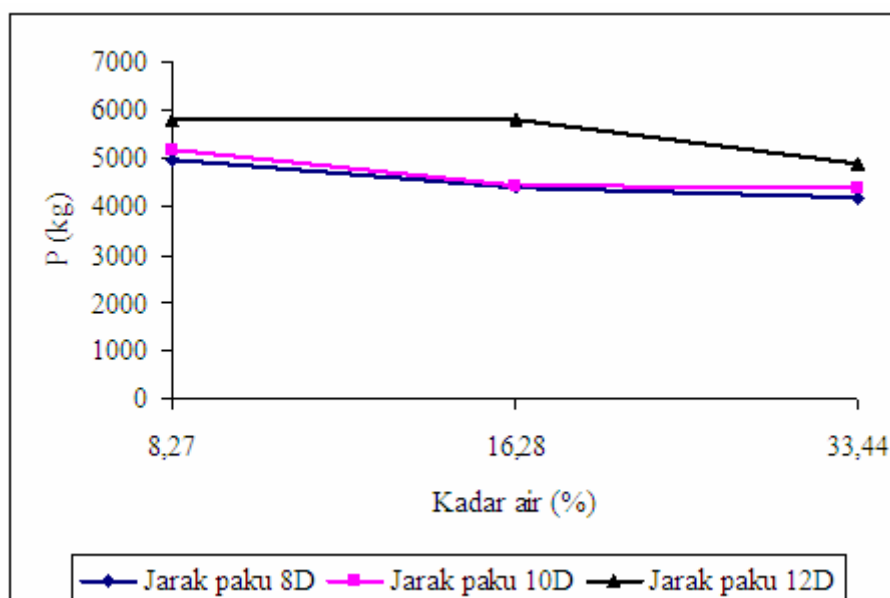
Gambar 2. Hubungan antara jarak paku dengan kekuatan sambungan

Berdasarkan PKKI 1961 jarak minimum antar paku dalam 1 baris sebesar 10D. Dari Tabel 10 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa kekuatan sambungan pada setiap variasi kadar air dipengaruhi oleh jarak antar paku. Jarak paku yang kurang dari jarak minimum mengakibatkan penurunan kekuatan sambungan dan jarak paku yang lebih besar dari jarak minimum meningkatkan kekuatan sambungan. Dari hasil ini dapat ditarik kesimpulan bahwa pendetailan mempengaruhi kekuatan sambungan.

Hubungan antara variasi kadar air dan kekuatan sambungan pada berbagai jarak paku dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 3.

Tabel 11. Hubungan kekuatan sambungan dengan kadar air

Jarak paku	Kadar air (%)	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Perbandingan kekuatan sambungan terhadap kadar air 16,28 %
8D	8,27	4988	114
	16,28	4373	100
	33,44	4193	96
10D	8,27	5183	116
	16,28	4449	100
	33,44	4400	99
12D	8,27	5797	100
	16,28	5803	100
	33,44	4891	84



Gambar 3. Hubungan antara kadar air dengan kekuatan sambungan

Berdasarkan PKKI 1961 kadar air kering udara berkisar antara 12 -18 % atau rata-rata 15 %, jadi kayu kelapa dengan kadar air 16,28 % dapat dianggap sudah mencapai kering udara. Dari Tabel 11 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa kekuatan sambungan pada setiap jarak paku dipengaruhi oleh kadar air kayu. Kadar air kayu yang kurang dari kadar air kering udara atau hampir sama dengan kadar air kayu di dalam ruang mengakibatkan peningkatan kekuatan sambungan dan kadar air yang melebihi kadar air kering udara menurunkan kekuatan sambungan. Hal ini diakibatkan oleh kekuatan sel kayu dipengaruhi oleh kadar air.

Perbandingan hasil pengujian sambungan kayu kelapa dengan hasil perhitungan teoritis seperti ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan hasil pengujian sambungan dengan hasil perhitungan teoritis

Jarak paku	Kadar air (%)	Kekuatan maksimum sambungan (kg)	Hasil perhitungan teoritis (kg)	Perbandingan
8D	8,27	4988	1554	3.21
	16,28	4373	1554	2.81
	33,44	4193	1554	2.70
10D	8,27	5183	1554	3.34
	16,28	4449	1554	2.86
	33,44	4400	1554	2.83
12D	8,27	5797	1554	3.73
	16,28	5803	1554	3.73
	33,44	4891	1554	3.15

Dari Tabel 12 dapat dilihat bahwa pada jarak paku yang sama, perbandingan kekuatan maksimum hasil pengujian dan hasil perhitungan teoritis (faktor aman) semakin kecil dengan meningkatnya kadar air.

Pada kadar air yang sama jarak paku mempengaruhi besarnya faktor aman, semakin besar jarak paku meningkatkan faktor aman. Jadi pada perhitungan kekuatan sambungan paku pada kayu kelapa perlu diperhitungkan faktor reduksi akibat pendetailan alat sambung dan pengaruh kadar air.

Besarnya faktor aman pada sambungan kayu kelapa yang menggunakan alat sambung paku pada kondisi kering udara (kadar air 16,28 %) dan dengan jarak antar paku sesuai dengan peraturan 10D sebesar 2,86.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kayu kelapa termasuk kayu kelas kuat II dengan berat jenis rata-rata 0,74.
2. Jarak antar paku yang kurang dari jarak minimum berdasarkan peraturan mengurangi kekuatan sambungan dan jarak yang lebih besar dari jarak minimum meningkatkan kekuatan sambungan.
3. Pada kadar air dibawah kondisi kering udara kekuatan sambungan paku mengalami peningkatan dan pada kadar air diatas kondisi kering udara mengalami penurunan.
4. Peningkatan kadar air akan memperkecil faktor aman dan penambahan jarak antar paku meningkatkan faktor aman.
5. Besarnya faktor aman sambungan kayu kelapa pada kondisi kering udara dan dengan jarak paku sesuai peraturan sebesar 2,86.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian sambungan kayu kelapa menggunakan alat sambung paku dengan kekuatan sambungan sama atau lebih besar dengan kekuatan kayu yang disambung sehingga pengaruh kadar air menjadi lebih jelas.
2. Kadar air benda uji sebaiknya dibuat lebih bervariasi lagi misalnya kering, kering udara, kadar air seimbang dan basah sehingga perbedaan kekuatan sambungan akibat perbedaan kadar air ini lebih kelihatan.
3. Jarak antar paku sebaiknya dibuat lebih bervariasi lagi, khususnya jarak antar paku yang lebih besar dari jarak minimum sehingga dapat diketahui sampai jarak berapa paku masih dapat bekerja sama dan mulai pada jarak berapa paku bekerja sendiri-sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim (1961), *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia 1961*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
2. Dumanauw J.F. (1984), *Mengenal Kayu*, Pendidikan Industri Kayu (PIKA), Semarang.
3. Haygreen, J.G., Bowyer, J.L. (1996), *Hasil Hutan dan Ilmu Ukur Kayu*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
4. Isyunto, S. (2002), *Kajian Sifat Mekanik Kayu Kelapa Sebagai Kayu Alternatif di Bidang Konstruksi*, Skripsi, FT UJB, Yogyakarta.
5. Kasmujo (2001), *Identifikasi Kayu dan Sifat-sifat Kayu*, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
6. Sektianto, W. (2001), *Tinjauan Sifat Mekanika Kayu Pohon Kelapa Terhadap Rendaman Gamping Dan Daun Jati*, Skripsi, FT UJB, Yogyakarta.
7. Setyamidjaja (1995), *Jenis Kayu Sebagai Bahan Baku Industri Kayu*, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
8. Soehendrajati, R.J.B. (1990), *Kayu untuk Struktur Jilid 1*, Bahan Kuliah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

^[1] **Arusmalem Ginting, S.T., M.T.**, Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil, Universitas Janabadra Yogyakarta. E-mail : agintm@yahoo.com

FIRE SAFETY DESIGN IN BUILDING

Maksum Tanubrata^[1]

ABSTRACT

The main themes for fire safety planning may be described as follows ; Prevention of outbreak and growth of fire , Fire protection of Building structures, smoke control and escape planning. Fire load in a building can be roughly classified into 3 groups: (a). buildings materials, (b). furniture, and (c). daily goods. Building materials including linings, interior material of walls, ceilings, floors, partition walls, etc, and daily goods such as books, clothes, and so on.

Keywords : Fire protection, Safety, Buildings materials, Furniture.

ABSTRAK

Untuk perencanaan bangunan gedung kita harus memperhatikan pencegahan dari bahaya kebakaran, cara menyelamatkan diri dari gedung bila terjadi kebakaran. Beban api untuk bangunan secara garis besar dapat dibagi menjadi : (a). bahan bangunan, (b). mebel, dan (c). perlengkapan lainnya. Material bangunan termasuk lantai, dinding , atap, dinding partisi beserta isinya seperti buku, kertas dan lain sebagainya.

Kata kunci : Pencegahan kebakaran, Keamanan, Bahan bangunan.

1. INTRODUCTION

In general, through the word, fire safety of building is ensured by taking measures of the fire codes or standards usually require the safety performance for a certain hours in each building members in buildings.

However, keeping or following codes is usually very difficult not only for existing buildings, but for new ones in every country when new items for fire safety are introduced in the revised regulations. Measures for fire safety in buildings may be developed in accordance with more research work and experiences.

Development of fire safety measures are not same as that of electronics or mechanics, etc. The former is always based on the preferable ways or ideal ways for human lives. That is, fire safety may be based on the balanced between cost for safety planning and the lost when buildings get fire.

Then, we should always consider the principle of fire safety from the point of daily life and architecture. The main themes for fire safety planning may be described as follows :

1. Prevention of outbreak and growth of fire.
2. Fire protection of Building structures.

3. Smoke control and escape planning.

The problems are how can we get free from these items. It's easy to say, but difficult to conduct actually. Let's think together about the items in detail.

2. GROWTH OF FIRE

2.1 Start and spread of a fire

A fire starts by various cause. Fire is a rapid reaction of combustible materials with oxygen, producing heat and light. For combustion, the mixing ratio between the combustible gas released from combustible materials and an oxidizing agent (air, etc) must be in a certain range. The minimum ratio of the concentration of the combustible gas is called the lowest limit of combustion, and the maximum, the upper limit of combustion. Many materials ignite or catch fire at elevated temperatures as listed in Table 1

Table 1. Ignitation-Temperatures of various materials

Material	Ignitation Temperatures °C	Auto-ignition Temperatures °C
Wool	200	-
Paper	230	230
Cotton	230-266	254
Polymethylmethacrylate	280-300	450-462
Rigid polyurethane foam	310	416
Polyethylene	341	349
Polystyrene	345-360	486-496
Polister (glass fibre filled)	346-399	483-488
Polyvinylchloride	391	454
Polyamide (Nylon)	421	424
Phenolic resins (glass fibre filled)	520-540	571-580

The heat released by the combustion of materials is fed back to the material, to promote the thermal decomposition of the material and the release of combustible gases. Oxygen is needed to continue the combustion.

When the buildings materials burn, they give different calorific values as shown in Table 2.

The fire growth / spread characteristics such as ease of ignition of fire, spread velocity and emission of heat, smoke and hazardous gases etc, are determined by many factors such as the geometric conditions of the room, openings, initial fire source, distance

between the fire source and combustible materials, type and volume of materials and situation or arrangement in the room, etc.

Fire rapidly spreads upward by buoyancy and convection, and then spread laterally along ceiling when a fire occurs in a confined space. Combustions generates gases as well as heat and smoke. Hot gases will fill the entire room. The temperatures in the plume can be as 650 to 950 ° C. Unignited parts in the room will be preheated by the convection from hot gases and irradiation from the hot area. Combustible interior materials will have a significant influence on fire growth and spread in the room.

While a fire grows, it effects to surrounding materials which will be degraded, melted, burnt and collapsed etc. Examples of effect at elevated temperatures are shown in Table 3.

Table 2. Calorific values of building materials

No	Material	Calorific value (MJ/Kg)
1	Asbestos slate (specific gravity 1.8)	0
2	Rock wool sound absorbing board (starch 7%)	0.84
3	Rock wool sound absorbing board (starch 12%)	2.09
4	Plaster board (without paper)	0.42
5	Plaster board (with paper)	6.28
6	Pulp cement board (pulp 8%)	1.47
7	Pulp cement board (pulp 15%)	2.09
8	Excelsior board (excelsior 45%. Specific gravity (0.70-0.85)	3.14-5.36
9	Japanese cedar board (specific gravity 0.45)	18.92
10	Plywood (specific gravity 0.50)	18.84
11	Particle board (specific gravity 0.55)	16.74
12	Hard fiberboard (specific gravity 0.85)	20.09
13	Soft fiberboard (specific gravity 0.40)	14.65
14	Polyvinyl Chloride tile (vinyl chloride 10%)	15.07
15	Polyvinyl Chloride tile (vinyl chloride 30%)	19.38
16	Asphalt tile	17.33
17	Buber tile	15.91
18	Linoleum	21.35

Table 3. Effect of temperature on selected materials

Substance	Typical examples	Conditions	Approximate temperature
Polystyrene	Thin wall food containers Foam, light shades, handles, curtain hooks, radio casings	Collapse Softens Melts and flows	120 °C 120-140 250

Table 3. (continued)			
Polystyrene	Bags, Films Bottles, buckets	Shrinks	120
		Softens and melts	150
Polymethyl methacrylate	Handles, covers, “glazing”	Softens	130-200
		Bubbles	250
PVC	Cables	Degrades	100
		Fumes	150
		Browns	200
		Charring	400-500
Cellulose	Wood, paper, cotton	Darkens	200-300
Solder	Plumbing joints	Melts	250
Lead	Plumbing Sanitary installations, Toys	Melts, sharp edges	200-350
		Rounded Drop formation	
Aluminium And Alloys	Fixture, casings Brackets, small mech Parts	Softens	400
		Melts Drop formation	650
Glass	Glazing, bottles	Softens, rounded	500-600
		Flowing easily viscous	850
Silver	Jewellery, spoons	Melts	950
		Drop formation	
Brass	Locks, taps Doorhandles, lapes	Melts (particularly At edges)	900-1000
		Drop formation	
Copper	Wiring, Cables Ornaments	Melts	1000-1100
Cast iron	Radiators Pipes	Melts	1100-1200
		Drop formation	
Zink	Sanitary installation Sutter, Down pipes	Drop formation	400
Bronze	Windows, fittings, door bells, Ornamentation	Rounds	1000
		Drop formation	
Paints	-	Deteriorates damages	100 250
Wood	-	ignits	200

2.2 Flashover

One of most peculiar phenomena occurs in the early stage of fire.. It is called “flashover” which is the sudden growth of a fire involving the whole room with a big flame.

A thipical growth of a room fire is drawn by the temperatures rise which is shown in fig.1. At the stage of O to A in the figure, a small fire grows gradually, and its behavior changes depending on the conditions of fire source, materials, openings and volume of the

room, etc. The stage of B to C after the flashover is a developed stage. The behavior of the fire depends upon the sizes of windows, the heat insulation inside the room and volume of fire etc.

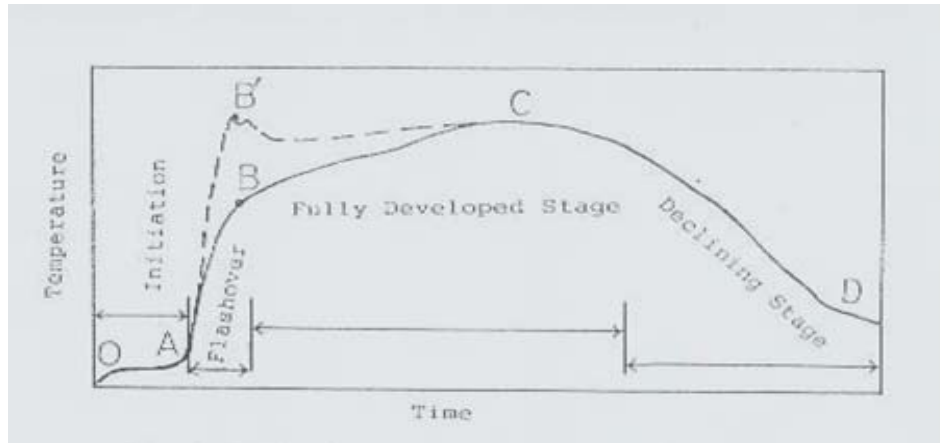


Figure 1. Typical pattern of stages of fire growth

When flashover occurs, heat, smoke and gases are vigorously released. Therefore, the duration from the start of a fire to flashover has an important role.

A phenomenon like intermittent explosive combustion can be seen as a special case of flashover, depending on the relationship between the kinds and volume of combustion gas, etc.

For the prevention of outbreak of a fire, “How can we do?”. The answer should be left to the participants today. For the prevention of growth of it in a room, minimum use of combustible materials for walls, ceiling, floors, furniture and daily goods will be required. For the stop of fire from a room to another, compartmentation of building space must be taken.

A better compartmentation in each building member such as wall, beam, column, floor etc, must consist of fire resisting.

3. FIRE LOAD

Before consideration of compartmentation, we must consider the phenomena of fire.

The main factors governing the duration of the fire are the volume of combustible materials contained in the building and the openings as mentioned above. For fire protection design of a building structure, it is essential to know the volume of combustible materials in a designed building, for predication of a burning rate.

Fire load in a building can be roughly classified into 3 groups:

- a. buildings materials,
- b. furniture
- c. daily goods.

Building materials including linings, interior material of walls, ceilings, floors, partition walls, etc, and daily goods such as books, clothes, and so on.

These combustible materials have different calorific values to release heat in combustion.

The heat release from the different materials in a room during a fire are often expressed by the “relevant fire load” which means the equivalent heat value of that of a similar amount of wood.

Therefore, for a design of fire-resisting building, the equivalent fire load is often used for simplification.

Mean volume of fire load in various types of building in Japan is shown in Table 4. These data were obtained by actually weighed in many buildings.

Concerned to each building, there figure do not accurately meet, but there will be useful for engineering treatment

Fire load at the Hotel Bali Beach is shown in Table 4 as an example.

Table 4. Fire load at the Hotel Bali Beach

Application of building	Ordinary range (Kg/m ²)
Hotel Bedroom	7- 11
Meeting room	2 - 6
Office	30 - 80
Hospital (bad room)	3 - 5
Library	62 - 93
Dweling (apartement house)	35 - 60
Classroom	30 - 45
Warehouse	640 - 1020
Shop	100 - 200
(excuding bookstore and other stores containing much combustible materials)	

Table 5. Fire load in Building in Japan

A. Bed Room , Bath room (standard room) Ukuran (7,6 x 4 x 3,55) m Bahan lantai dan atap : dari beton massive Bahan dinding samping : beton masive Bahan dinding luar koridor : diasumsikan beton ringan Bahan dinding balkon : kaca (diasumsikan segera pecah)	
1. Bed (spring bed) dan perlengkapan	210 kg
2. Furniture:	
Meja, kursi, lemari	35 kg
Alas duduk	5 kg
Kulkas, TV	5 kg
3. Karpet	174 kg
Alas (Busa polypropilen)	44 kg
Karpet	130 kg
4. Gordyn + vitrage	42,5 kg
5. Ceiling	100 kg
Acoustic tile	86 kg
Kayu konstruksi.....	14 kg
6. Kusen balkon dan koridor	40 kg
Total fire load	613,5 kg
Luas ruangan	30,4 kg
Fire load dalam kamar	20,18 kg
B. KORIDOR	
Size (2,6x4x3,55)m	
▪ Carpet.....	22,4 kg
▪ Ceiling (plywood) +construction.....	23 kg
▪ Penutup plumbing	15 kg
▪ Konstruksi kayu pendukung kaca	30 kg
Total	90,4 kg
Luas koridor	10,4 m2
C. BALKONI	
Ukuran (2,35 x 4 x 3,3)m	
▪ Ceiling (plywood) + konstruksi	30 kg
▪ Meja + kursi	25 kg
Total	55 kg
Luas balkoni	9,4 m2
D. REKAPITULASI	
Fire load total (per room)	758 kg
Square total	50 m2
Fire load typical floor (3 th – 9 th)	15,2 kg/m2
Area floor south wing (12,5 x 60)	750 m2
Area floor north wing (12,5 x 60)	750 m2
Area floor east wing (17,6 x 44)	775 m2
Luas bukaan SW dan NW	
(dianggap lantai tanpa kompartemen)	
▪ Pintu koridor (0,8 x 2) m2 x 13 bh	10,8 m2
▪ Pintu jendela kaca balkoni 44,2 x 2,6	114,2 m2
Total bukaan	125 m2
Faktor bukaan	0,8
Bukaan efektif	100 m2

4. TEMPERATURES AND DURATION OF A ROOM FIRE

In a fire-resisting building, the combustion rate is controlled by area of the openings.

The relationship between the burning rate R at the stage of a fully developed fire in a room is expressed as follows. The burning rate is mainly related with the area and the height of the opening.

$$R = k \times A \sqrt{H} \quad (1)$$

Where :
 R : Burning Rate (Kg/min)
 K : Coefficient (5.5 – 6.0)
 A : Area of the opening (m²)
 H : Height of the opening (m)

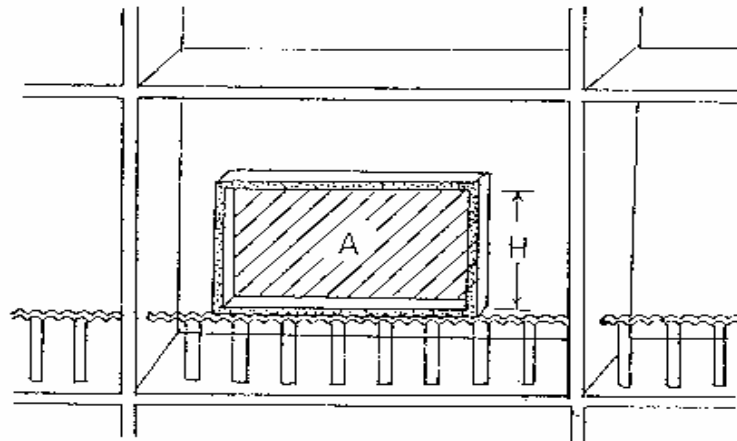


Figure 2. Opening of a compartment

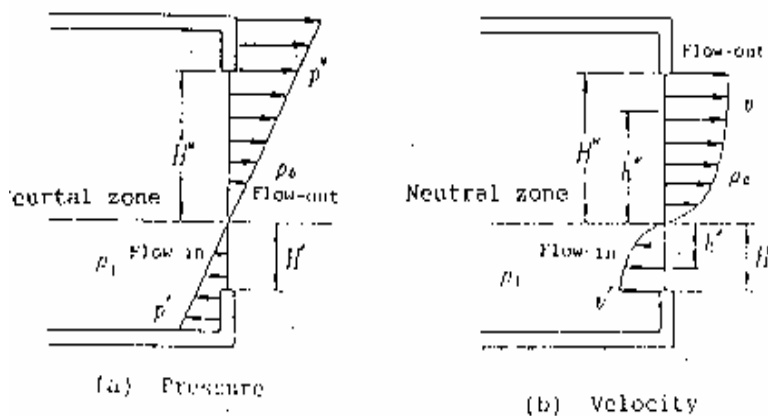


Figure 3. Air flow at the opening in fire

If temperatures anywhere in a room are assumed to be uniform, a neutral zone of flow-in and out of air appears as shown in Fig.3 with linear pressure distribution which is proportional to the height. The air velocity pattern is expressed in Fig.3 (b).

5. PHENOMENA OF STRUCTURES

As regards reinforced concrete structures, their members generally lose strength depending on the depth of protecting insulation of mortal.

Concrete members gradually lose their outer layer in fire and the steel inside becomes exposed to fire. Fig.4 show the typical phenomena at the depth of the concrete when heated under the standard fire exposure.

The phenomena, i.e., popping of the concrete, significantly affects the fire resistance of the material. It is also more likely to occur in pre-stressed and pre-cast concrete structural members.

According to the results of fire-resistance test, the following conditions are found to be significant for members:

1. heat source
2. the early stages of fire retardancy
3. water content of loaded force
4. application of loaded force
5. the corner section of beams and columns, etc.

Fig.4 and Fig.5 show the affect of temperature on the compressive strength of concrete.

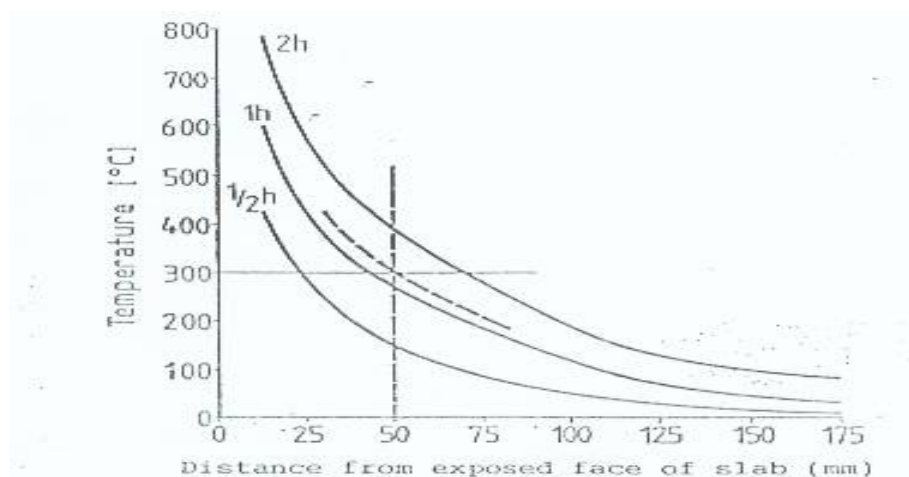


Figure 4. Temperature distribution in slab exposed to a standard fire

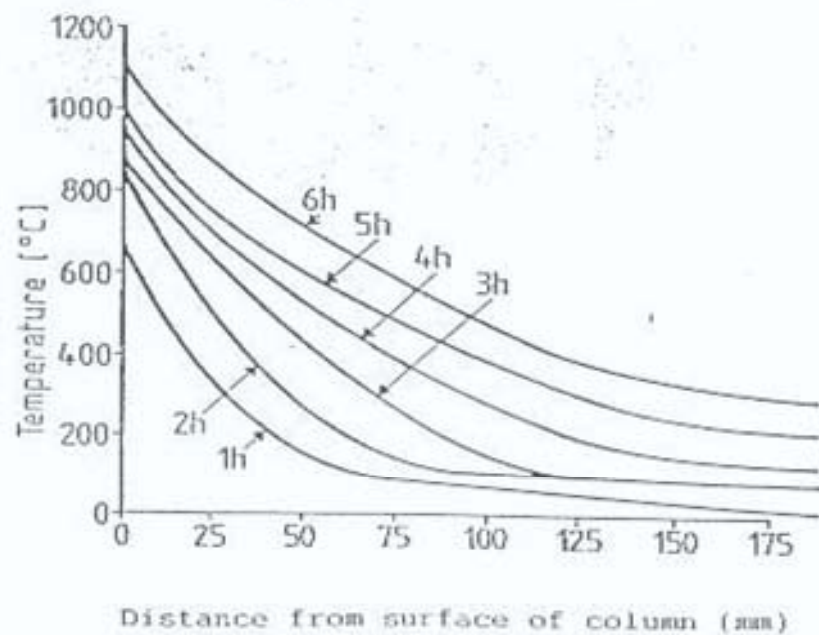


Figure 5. Temperature distribution in 350 mm columns exposed to a standard fire

6. FIRE PROTECTION OF BUILDING STRUCTURE

6.1 Fire-Resisting Design

For the protection of buildings from structural damage during fire, structural members are required to be protected by means of fire protection methods.

Fire-resistance requirements are made depending on the type, design and size of building.

The regulatory control for fire protection is required to be concerned with safeguarding the occupants in the building where a fire may occur. To minimize the risk to adjacent buildings and avoiding conflagrations, consideration must be given to the plan, layout and construction of the building for controlling the growth of a fire.

The fire performance is usually rated into four classes which are 3 hours, 2 hours, 1 hours and half an hour endurance.

Fire doors or fire protection assemblies are to be applied to the openings on the exterior wall of a fire-resistance construction where there may be imminent danger of spread of a fire.

6.2 Compartmentation Planning

A fire which start in a space a building spread to a junction spaced, finality involving the whole building, due to the hot current from the burnings rooms through corridors, staircases, opening of windows, doors, etc.

Therefore, in large-scale and / or high rise buildings, it is important to stop the fire in a restricted enclosure in a certain time after initiation.

This is called fire compartmentation, and is protected by fire resistant walls, floors, columns and beams.

For the design of the fire-resistance building, fundamental consideration is given to the type, design and size of buildings as shown in Fig.6 and detailed components are shown in Fig.7.

The principle for fire-resistance design is as follows:

1. Scale of fire is to be estimated in each fire zone. The main structural components are designed to endure for the estimated fire load and duration in each fire zone.
2. Fire safety for the whole building is to be estimated with the product of safety coefficient based on the data from each fire zone, depending on the use, scale and structure etc.
3. Main structural components are to be resistant for more than estimated fire duration.

In many years ago, there was no idea or no regulation for compartmentation of space in building in most countries.

Japan introduced the idea into fire regulation in there twenty years. The Hotel Bali Beach was constructed by a Japanese constructor in 1965. Then, there was no regulation for compartmentation.

That's why fire spread very easily through the whole building in not longer time. Fortunately no facilities are there during Fire on Wednesday January 20, 1993. Smoke control and escape planning are also very important measures for fire safety planning. There subjects are left to Mr.I. Hagiwara.

We must consider the fire safety from the point of architecture prior to consulting fire fighting after catching fires.

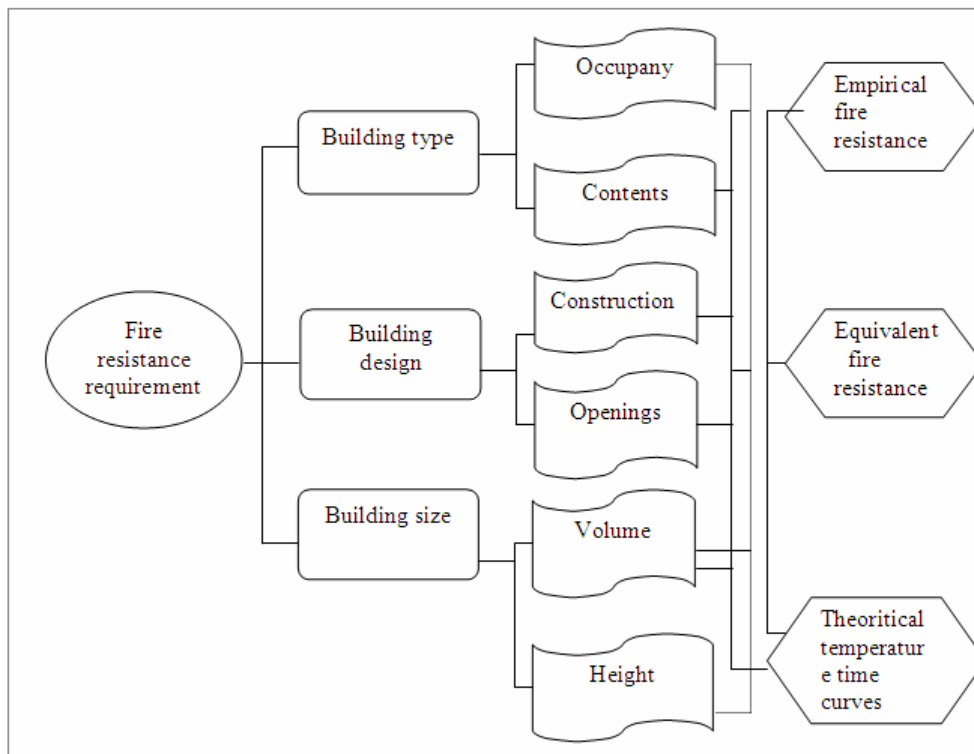


Figure 6. Method of defining fire resistance need

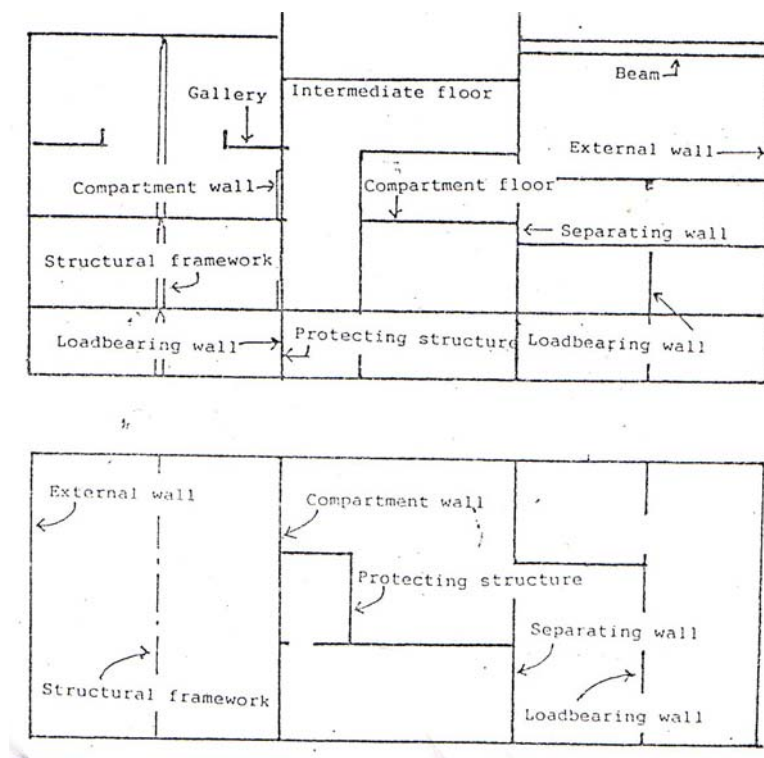


Figure 7. Various components of a building to which fire resistance requirements apply

7. SUMMARY AND CONCLUSION

The principle for fire-resistance design is as follows:

1. Scale of fire is to be estimated in each fire zone. The main structural components are designed to endure for the estimated fire load and duration in each fire zone.
2. Fire safety for the whole building is to be estimated with the product of safety coefficient based on the data from each fire zone, depending on the use, scale and structure etc.
3. Main structural components are to be resistant for more than estimated fire duration
4. The fire performance is usually rated into four classes which are 3 hours, 2 hours, 1 hours and half an hour endurance.
5. Fire doors or fire protection assemblies are to be applied to the openings on the exterior wall of a fire-resistance construction where there may be imminent danger of spread of a fire.

REFERENCES

1. Malhotra , H.L (1992), *Design of fire Resisting Structures*, 3ST ed, surrey University Presc, London.
2. Egan, M David, (1998), *Concepts in Building Fire Safety*, John Wiley and Sons Canada.
3. Suprpto (Jakarta, 21 Desember 1993), “*Keamanan Bangunan terhadap kebakaran, suatu tinjauan dari Identifikasi Bahaya, Konsep aman kebakaran dan evaluasi keandalan*”Lokakarya dan evaluasi system.

^[1] **Maksum Tanubrata**, Lecturer, Department of Civil Engineering, Maranatha Christian University, Bandung. E-mail : maksum.tanubrata@eng.maranatha.edu.

EVALUASI KINERJA JALAN JENDRAL AHMAD YANI DEPAN PASAR KOSAMBI BANDUNG

Tan Lie Ing ^[1], Indra Rachman Efendi^[2]

ABSTRAK

Pergerakan kendaraan dari suatu tempat asal menuju suatu tempat tujuan setiap hari sering kali terganggu akibat adanya aktivitas yang mengapit kedua sisi jalan. Kegiatan pasar pada sisi jalan seringkali menimbulkan gangguan berupa hambatan samping yang berakibat langsung terhadap kinerja jalan. Dalam penelitian ini dilakukan studi kapasitas, kecepatan, derajat kejenuhan dan hambatan samping pada saat pasar tumpah ke jalan dan pada saat kendaraan parkir disamping ruas jalan Jalan Jendral Ahmad Yani Bandung, dengan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Survei dilakukan pada hari Selasa tanggal 03 Oktober 2006, pada jam 05:00-09:00. Parameter yang diukur selama survei adalah jumlah kendaraan, waktu tempuh dan hambatan samping. Metode yang digunakan adalah Metode Pos Pengamat Tetap. Volume yang terjadi pada kondisi pasar tumpah ke jalan sebesar 1276,7 smp/jam/2 arah dan volume yang terjadi pada kondisi kendaraan parkir sebesar 2304,8 smp/jam/2 arah. Derajat kejenuhan (DS) adalah 0,32 pada kondisi pasar tumpah ke jalan dan 0,50 pada kondisi kendaraan parkir. Kecepatan tempuh teoritis untuk pasar tumpah ke jalan 35 km/jam dan kecepatan tempuh teoritis pada kondisi parkir kendaraan sebesar 36 km/jam, tetapi kecepatan tempuh hasil survei pada kondisi pasar tumpah ke jalan sebesar 19,36 km/jam dan kecepatan tempuh hasil survei pada kondisi kendaraan parkir sebesar 20,97 km/jam. Aktivitas pasar Kosambi mempengaruhi nilai hambatan samping dan mengakibatkan penurunan kinerja jalan. Pemindahan lokasi pasar yang tumpah ke jalan perlu dilakukan karena kecepatan tempuh kurang dari 25 km/jam.

Kata kunci : Kecepatan tempuh, Derajat kejenuhan, Kapasitas.

ABSTRACT

Movement of vehicle from one location to other is frequently obstructed because of the activity on both roadside. Activity of market at roadside oftentimes generates trouble in the form of resistance that cause to road and street performance. This research is conducted to study of capacities, speed, degree of saturation and side friction when the road is used for market and the vehicle park at Ahmad Yani Street, Bandung, using MKJI (1997). Survey is done at 05:00-09:00 on Tuesday, October 03, 2006. Measured parameter during surveys is the amount of vehicles, time of journey, and side friction. Method of Post Observer is used. Volume and Degree of saturation (DS) at the time when the road is used for market are 1276.7 smp/hour/2 directions and 0.32. Volume and DS when vehicles parked on the road side are 2304.8 smp/hour/2 directions 0.5. Theoretical Speed when the road used for market and when the vehicle park are 35 km/hour and 36 km/hour, respectively. On the other hand, the result of survey speed is 19.36 km/hour when the road is used for market and 20.97 km/hour when vehicle park on the side road. Activity at Kosambi market influenced the value of side friction and result decreasing of street performance. The location on the side road is used for market, needs to be move because the speed of journey less than 25 km/hour.

Keywords : Speed of journey, Degree of saturation, Capacity.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandung sebagai Ibukota Provinsi Jawa Barat, mempunyai banyak aktivitas bisnis, perkantoran dan komersil. Dengan adanya aktivitas-aktivitas tersebut maka diperlukan adanya prasarana jalan yang menghubungkan ke pusat–pusat aktivitas. Pusat aktivitas di Kota Bandung tersebut, antara lain terdapat di daerah kosambi, Jalan Asia Afrika, Jalan Jendral Gatot Subroto dan Jalan Otto Iskandardinata.

Peningkatan jumlah penduduk, jumlah kendaraan dan aktivitas di Kota Bandung menimbulkan masalah sosial dan ekonomi yang sangat bergantung pada transportasi jalan raya. Masalah ini muncul karena adanya ketidakseimbangan antara peningkatan kepemilikan kendaraan dan pertumbuhan prasarana jalan. Masalah-masalah yang akan timbul antara lain adalah kemacetan lalu lintas, peningkatan waktu tempuh, meningkatnya angka kecelakaan dan kerusakan lingkungan hidup, berupa pemborosan bahan bakar, kebisingan dan polusi udara.

Kapasitas efektif ruas jalan yang ada lebih kecil dari kapasitas jalan yang direncanakan akibat adanya hambatan di tepi jalan dan tingkat pertumbuhan kendaraan dan penduduk yang sangat tinggi. Hambatan di tepi jalan tersebut sering kali terkait dengan adanya aktivitas sosial dan ekonomi di tepi jalan, yang menyebabkan kinerja jalan mengalami penurunan.

Jalan Kosambi merupakan penghubung antara daerah perkantoran dan daerah komersil. Setiap hari pada jalan tersebut terdapat aktivitas pasar yang sangat mengganggu kelancaran lalu lintas sehingga kinerja Jalan Jend. Ahmad Yani dipengaruhi oleh adanya aktivitas pasar di jalan tersebut. Dengan demikian, kinerja jalan dari Jalan Jend. Ahmad Yani perlu dievaluasi.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kinerja jalan Jend. Ahmad Yani di depan pasar Kosambi dengan menentukan besarnya kapasitas, derajat kejenuhan, dan kecepatan, sehingga dapat ditentukan pengaruh aktivitas Pasar Kosambi tersebut terhadap kinerja jalan Jendral Ahmad Yani.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Karakteristik Jalan Perkotaan

Jalan perkotaan adalah jalan yang terdapat perkembangan secara permanen dan menerus di sepanjang atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, baik berupa

perkembangan lahan atau bukan. Yang termasuk dalam kelompok jalan perkotaan adalah jalan yang berada didekat pusat perkotaan dengan jumlah penduduk lebih dari 100.000 jiwa. Jalan di daerah perkotaan dengan jumlah penduduk yang kurang dari 100.000 juga dapat digolongkan pada kelompok ini jika perkembangan samping jalan tersebut bersifat permanen dan terus menerus.

Jalan dikelompokkan sesuai fungsi jalan. Fungsi jalan tersebut dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Jalan Arteri; jalan yang melayani lalu lintas khususnya melayani angkutan jarak jauh dengan kecepatan rata-rata tinggi serta jumlah akses yang dibatasi.
- b. Jalan Kolektor; jalan yang melayani lalu lintas terutama terutama melayani angkutan jarak sedang dengan kecepatan rata-rata sedang serta jumlah akses yang masih dibatasi.
- c. Jalan Lokal; jalan yang melayani angkutan setempat terutama angkutan jarak pendek dan kecepatan rata-rata rendah serta akses yang tidak dibatasi.

Karakteristik suatu jalan akan mempengaruhi kinerja jalan tersebut. Karakteristik jalan tersebut terdiri atas beberapa hal, yaitu :

1. Geometrik
2. Komposisi arus dan pemisahan arah; volume lalu lintas dipengaruhi komposisi arus lalu lintas, setiap kendaraan yang ada harus dikonversikan menjadi suatu kendaraan standar.
3. Pengaturan lalu lintas, batas kecepatan jarang diberlakukan di daerah perkotaan Indonesia, dan karenanya hanya sedikit berpengaruh pada kecepatan arus bebas.
4. Hambatan samping; banyaknya kegiatan samping jalan di Indonesia sering menimbulkan konflik, hingga menghambat arus lalu lintas.
5. Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan; manusia sebagai pengemudi kendaraan merupakan bagian dari arus lalu lintas yaitu sebagai pemakai jalan. Faktor psikologis, fisik pengemudi sangat berpengaruh dalam menghadapi situasi arus lalu lintas yang dihadapi.

Geometrik suatu jalan terdiri dari beberapa unsur fisik dari jalan sebagai berikut :

- a. Tipe jalan; berbagai tipe jalan akan menunjukkan kinerja berbeda pada pembebanan lalu-lintas tertentu, misalnya jalan terbagi, jalan tak terbagi, dan jalan satu arah.
- b. Lebar jalur; kecepatan arus bebas dan kapasitas meningkat dengan penambahan lebar jalur lalu-lintas.
- c. Bahu/Kereb; kecepatan dan kapasitas jalan akan meningkat bila lebar bahu semakin lebar. Kereb sangat berpengaruh terhadap dampak hambatan samping jalan.

Hambatan samping sangat mempengaruhi lalu lintas. Faktor-faktor yang

mempengaruhi hambatan samping adalah :

- a. Pejalan kaki atau menyebrang sepanjang segmen jalan.
- b. Kendaraan berhenti dan parkir.
- c. Kendaraan bermotor yang masuk dan keluar ke/dari lahan samping jalan dan jalan sisi.
- d. Kendaraan yang bergerak lambat, yaitu sepeda, becak, delman, pedati, traktor, dan sebagainya.

2.2 Parameter Arus Lalu Lintas

Berdasarkan MKJI 1997 fungsi utama dari suatu jalan adalah memberikan pelayanan transportasi sehingga pemakai jalan dapat berkendara dengan aman dan nyaman. Parameter arus lalu lintas yang merupakan faktor penting dalam perencanaan lalu lintas adalah volume, kecepatan, dan kerapatan lalu lintas.

2.2.1 Volume (Q)

Volume adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama periode waktu tertentu. Volume kendaraan dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q = \frac{N}{T} \quad (1)$$

dengan :

Q = volume (kend/jam)

N = jumlah kendaraan (kend)

T = waktu pengamatan (jam)

Penggolongan tipe kendaraan untuk jalan dalam kota berdasarkan MKJI 1997 adalah sebagai berikut:

1. Kendaraan ringan / *Light Vehicle* (LV).

Kendaraan bermotor beroda empat, dengan dua gandar berjarak 2,0 – 3,0 m (termasuk kendaraan penumpang, opelet, mikro bis, angkot, mikro bis, pick-up, dan truk kecil).

2. Kendaraan berat / *Heavy Vehicle* (HV).

Kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,50 m, biasanya beroda lebih dari empat, (meliputi : bis, truk dua as, truk tiga as dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

3. Sepeda motor / *Motor Cycle* (MC)

Kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda (termasuk sepeda motor, kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

4. Kendaraan tak bermotor / *Unmotorised* (UM)

Kendaraan bertenaga manusia atau hewan di atas roda (meliputi sepeda, becak, kereta kuda dan kereta dorong sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

Berbagai jenis kendaraan diekivalensikan ke satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekivalensi mobil penumpang (emp), emp adalah faktor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan dengan kendaraan ringan. Nilai emp untuk berbagai jenis tipe kendaraan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Ekivalensi Kendaraan Penumpang (emp) untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi

Tipe jalan Jalan tak terbagi	Arus lalu lintas total dua arah (kendaraan/jam)	HV	emp	
			MC	
			Lebar jalur lalu-lintas Wc (m)	
			< 6 m	> 6 m
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	0	1,3	0,50	0,40
	≥ 1800	1,2	0,35	0,25
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	0	1,3	0,40	
	≥ 3700	1,2	0,25	

Sumber : MKJI 1997

Tabel 2. Ekivalensi Kendaraan Penumpang (emp) untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe jalan: Jalan satu arah dan Jalan terbagi	Arus lalu lintas per lajur kend/jam	emp	
		HV	MC
Dua-lajur satu-arah (2/1)	0	1,3	0,4
Empat-lajur terbagi (4/2D)	≥ 1050	1,2	0,25
Tiga-lajur satu-arah (3/1)	0	1,3	0,4
Enam-lajur terbagi (6/2D)	≥ 1100	1,2	0,25

Sumber : MKJI 1997

2.2.2 Kecepatan (V)

Kecepatan adalah jarak tempuh kendaraan dibagi waktu tempuh.

$$U = \frac{d}{t} \quad (2)$$

dengan:

U = Kecepatan (km/jam)

d = jarak tempuh (km)

t = waktu tempuh (jam)

Berbagai macam jenis kecepatan yaitu :

- Kecepatan bintik (*Spot Speed*) adalah kecepatan sesaat kendaraan pada titik/lokasi jalan

tertentu.

- b. Kecepatan rata-rata ruang (*Space Mean Speed*) adalah kecepatan rata-rata kendaraan di sepanjang jalan yang diamati.

$$U_s = \frac{3,6nd}{\sum_{n=1}^i t_i} \quad (3)$$

dengan :

U_s = kecepatan rata – rata ruang (km/jam).

t = waktu perjalanan (detik)

d = jarak (meter)

n = banyaknya kendaraan yang diamati

- c. Kecepatan rata-rata waktu (*Time Mean Speed*) adalah kecepatan rata-rata yang menggambarkan kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati satu titik pengamatan pada waktu tertentu.

$$U_t = \frac{\sum_{n=1}^i U_i}{n} \quad (4)$$

dengan :

U_t = kecepatan rata – rata waktu (km/jam)

U = kecepatan kendaraan (km/jam)

n = jumlah kendaraan

- d. Kecepatan rata-rata perjalanan (*Average Travel Speed*) dan kecepatan jalan. Waktu perjalanan adalah total waktu tempuh kendaraan untuk suatu segmen jalan yang ditentukan. Waktu jalan adalah total waktu ketika kendaraan dalam keadaan bergerak (berjalan) untuk menempuh suatu segmen jalan tertentu.

- e. *Operating Speed* dan *Percentile Speed*

Operating speed adalah kecepatan aman maksimum kendaraan yang dapat ditempuh kendaraan tanpa melampaui kecepatan rencana suatu segmen jalan.

50 percentile speed adalah kecepatan dimana 50% kendaraan berjalan lebih cepat dan 50% kendaraan berjalan lebih lambat.

85 percentile speed adalah kecepatan kritis kendaraan dimana kendaraan yang melewati batas ini dianggap berada di luar batas aman.

15 percentile speed adalah batas kecepatan minimum suatu kendaraan dimana kendaraan yang berjalan dengan kecepatan lebih rendah dari ini cenderung menjadi hambatan pada arus lalu lintas dan dapat menyebabkan kecelakaan.

2.2.3 Kerapatan (D)

Kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menempati panjang jalan yang diamati dibagi panjang jalan yang diamati tersebut. Kerapatan sulit untuk diukur secara pasti. Kerapatan dapat dihitung berdasarkan kecepatan dan volume. Hubungan antara volume, kecepatan, dan kerapatan adalah sebagai berikut :

$$D = \frac{Q}{U} \quad (5)$$

dengan : D = kerapatan lalu lintas (kend/km) , Q = volume lalu lintas (kend/jam) dan U = kecepatan lalu lintas (km/jam)

2.3 Metode Pos Pengamat Tetap

Pengukuran volume dengan metode pos pengamat tetap dilakukan dengan cara pengamat berada di pos pengamat yang telah ditentukan. Setiap orang dalam pos pengamat menghitung kendaraan yang lewat di depan pos yang telah ditentukan dan mengklasifikasikan jenis kendaraan sesuai dengan klasifikasi kendaraan yang diperlukan.

2.4 Kinerja Jalan Berdasarkan MKJI 1997

Tingkat kinerja jalan berdasarkan MKJI 1997 adalah ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional. Nilai kuantitatif dinyatakan dalam kapasitas, derajat kejenuhan, derajat iringan, kecepatan rata – rata, waktu tempuh, tundaan, dan rasio kendaraan berhenti. Ukuran kualitatif yang menerangkan kondisi operasional dalam arus lalu lintas dan persepsi pengemudi tentang kualitas berkendara dinyatakan dengan tingkat pelayanan jalan.

2.4.1 Kapasitas

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur. Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{Cs} \quad (6)$$

dengan :

$$C = \text{Kapasitas (smp/jam)}$$

- C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)
 FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalan
 FC_{SP} = Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)
 FC_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan
 FC_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Kapasitas dasar (C_o) kapasitas segmen jalan pada kondisi geometri, ditentukan berdasarkan tipe jalan sesuai dengan Tabel 3.

Tabel 3. Kapasitas Dasar (C_o) Jalan Perkotaan

Tipe jalan	Kapasitas dasar (smp/jam)	Catatan
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	1650	Per lajur
Empat-lajur tak-terbagi	1500	Per lajur
Dua-lajur tak-terbagi	2900	Total dua arah

Sumber : MKJI 1997

Faktor penyesuaian lebar jalan ditentukan berdasarkan lebar jalan efektif yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalan (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar efektif jalur lalu-lintas (W_e) (m)	FC_w
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua-lajur tak-terbagi	Total kedua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Sumber : MKJI 1997

Faktor penyesuaian pembagian arah jalan didasarkan pada kondisi dan distribusi arus lalu lintas dari kedua arah jalan atau untuk tipe jalan tanpa pembatas median.

Untuk jalan satu arah atau jalan dengan median faktor koreksi pembagian arah jalan adalah 1,0. Faktor penyesuaian pemisah jalan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pembagian Arah (FC_{SP})

Pemisah arah SP (%-%)		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{SP}	Dua-lajur (2/2)	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat-lajur (4/2)	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

Sumber : MKJI 1997

Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping untuk ruas jalan yang mempunyai kereb didasarkan pada 2 faktor yaitu lebar kereb (W_k) dan kelas hambatan samping.

Nilai faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FC_{SF})

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kerb penghalang (FC_{SF})			
		Jarak kerb penghalang (W_k) (m)			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,94	0,96	0,98	1,00
	M	0,91	0,93	0,95	0,98
	H	0,86	0,89	0,92	0,95
	VH	0,81	0,85	0,88	0,92
4/2 UD	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,90	0,92	0,95	0,97
	H	0,84	0,87	0,90	0,93
	VH	0,77	0,81	0,85	0,90
2/2 UD atau Jalan satu-arah	VL	0,93	0,95	0,97	0,99
	L	0,90	0,92	0,95	0,97
	M	0,86	0,88	0,91	0,94
	H	0,78	0,81	0,84	0,88
	VH	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber : MKJI 1997

Faktor penyesuaian ukuran kota didasarkan pada jumlah penduduk, Faktor penyesuaian ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FC_{CS})

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0,1	0,86
0,1 - 0,5	0,90
0,5 - 1,0	0,94
1,0 - 3,0	1,00
>3,0	1,04

Sumber : MKJI 1997

2.4.2 Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus jalan terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Persamaan dasar untuk menentukan derajat kejenuhan adalah sebagai berikut:

$$DS = \frac{Q}{C} \quad (7)$$

dengan :

DS = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Derajat kejenuhan digunakan untuk menganalisis perilaku lalu lintas.

2.4.3 Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kecepatan arus bebas (FV) didefinisikan sebagai kecepatan pada tingkat arus nol yaitu kecepatan yang akan dipilih pengemudi jika mengendarai kendaraan bermotor tanpa dipengaruhi oleh kendaraan bermotor lain di jalan. Persamaan untuk penentuan kecepatan arus bebas mempunyai bentuk umum berikut :

$$FV = (FV_0 + FV_w) \cdot FFV_{SF} \cdot FFV_{CS} \quad (8)$$

dengan :

FV = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan pada kondisi lapangan (km/jam).

FV_0 = Kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan pada jalan yang diamati (km/jam).

FV_w = Penyesuaian kecepatan untuk lebar jalan (km/jam).

FFV_{SF} = Faktor penyesuaian akibat hambatan samping dan lebar bahu.

FFV_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Kecepatan arus bebas ditentukan berdasarkan tipe jalan dan jenis kendaraan sesuai dengan Tabel 8.

Tabel 8. Kecepatan Arus Bebas Dasar untuk Jalan Perkotaan (FV_0)

Tipe jalan/ Tipe alinyemen (kelas jarak pandang)	Kecepatan arus bebas dasar (FV_0) (km/jam)			
	Kendaraan ringan (LV)	Kendaraan berat (HV)	Sepeda motor (MC)	Semua Kendaraan (rata-rata)
Enam-lajur terbagi (6/2 D) atau Tiga-lajur satu-arah (3/1)	61	52	48	57
Empat-lajur terbagi (4/2 D) atau Dua-lajur satu-arah (3/1)	57	50	47	55
Empat-lajur tak terbagi (4/2 UD)	53	46	43	51
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	44	40	40	42

Sumber : MKJI 1997

Penyesuaian kecepatan arus bebas untuk lebar jalur lalu lintas berdasarkan lebar jalur lalu lintas efektif dan kelas hambatan samping dapat dilihat pada Tabel 9. Lebar lalu lintas efektif diartikan sebagai lebar jalur tempat gerakan lalu lintas setelah dikurangi oleh lebar jalur akibat hambatan samping. Faktor penyesuaian kecepatan arus bebas akibat lebar jalan (FV_w) dipengaruhi oleh kelas jarak pandang dan lebar jalur efektif. Tabel 2.9 dapat digunakan untuk jalan empat lajur terbagi.

Tabel 9. Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Untuk Lebar Jalur Lalu-Lintas (FV_w)

Tipe Jalan	Lebar jalur lalu lintas efektif jalur lalu-lintas (W_c) (m)	FV
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Dua-lajur tak-terbagi	Total	
	5	-10
	6	-3
	7	0
	8	3
	9	4
	10	6
	11	7

Sumber : MKJI 1997

Faktor penyesuaian kecepatan arus bebas akibat hambatan samping berdasarkan jarak kereb dan penghalang pada trotoar (FFV_{SF}). untuk jalan dengan kereb dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Untuk Hambatan Samping dengan Jarak Kerb Penghalang (FFV_{SF})

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar kereb penghalang (FFV_{SF})			
		Jarak: kereb penghalang (W_k) (m)			
		< 0,5	1,0	1,5	> 2,0
Empat-lajur terbagi 4/2 D	Sangat rendah	1,00	1,01	1,01	1,02
	Rendah	0,97	0,98	0,99	1,00
	Sedang	0,93	0,95	0,97	0,99
	Tinggi	0,87	0,90	0,93	0,96
	Sangat tinggi	0,81	0,85	0,88	0,92
Empat-lajur tak-terbagi 4/2 UD	Sangat rendah	1,00	1,01	1,01	1,02
	Rendah	0,96	0,98	0,99	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,96	0,98
	Tinggi	0,84	0,87	0,90	0,94
Dua-lajur tak- terbagi 2/2 UD atau Jalan satu arah	Sangat tinggi	0,77	0,81	0,85	0,90
	Sangat rendah	0,98	0,99	0,99	1,00
	Rendah	0,93	0,95	0,96	0,98
	Sedang	0,87	0,89	0,92	0,95
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88
	Sangat tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber : MKJI 1997

Nilai faktor penyesuaian untuk pengaruh ukuran kota pada kecepatan arus bebas kendaraan (FFV_{CS}) dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas untuk Ukuran Kota (FFV_{CS})

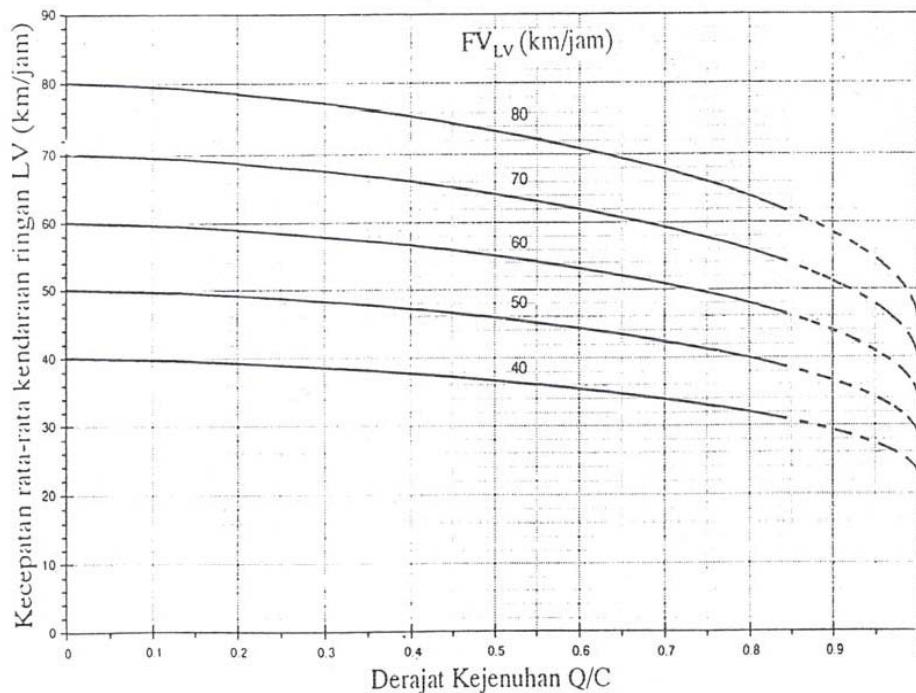
Ukuran kota (Juta Penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0,1	0,90
0,1 - 0,5	0,93
0,5 - 1,0	0,95
1,0 - 3,0	1,00
>3,0	1,03

Sumber : MKJI 1997

2.4.4 Kecepatan Tempuh

MKJI 1997 menggunakan kecepatan tempuh sebagai ukuran utama kinerja segmen jalan, karena mudah dimengerti dan diukur, dan merupakan masukan yang penting untuk biaya pemakai jalan dalam analisis ekonomi. Kecepatan tempuh ditentukan dengan

menggunakan grafik pada Gambar 1.



Gambar 1. Kecepatan sebagai fungsi DS untuk jalan banyak lajur dan satu Arah

2.4.5 Hambatan Samping

Hambatan samping, yaitu aktivitas samping jalan yang dapat menimbulkan konflik dan berpengaruh terhadap pergerakan arus lalu lintas serta menurunkan kinerja jalan. Adapun tipe kejadian hambatan samping, adalah :

1. Jumlah pejalan kaki berjalan atau menyeberang sepanjang segmen jalan.
2. Jumlah kendaraan berhenti dan parkir.
3. Jumlah kendaraan bermotor yang masuk dan keluar dari lahan samping jalan dan jalan samping.
4. Arus kendaraan lambat, yaitu arus total (kend/ jam) sepeda, becak, delman, pedati, traktor dan sebagainya.

Tingkat hambatan samping dikelompokkan ke dalam lima kelas dari yang rendah sampai sangat tinggi sebagai fungsi dari frekuensi kejadian hambatan samping sepanjang segmen jalan yang diamati. Menurut MKJI 1997 kelas hambatan samping dikelompokkan seperti yang ada pada Tabel 12.

Tabel 12. Kelas Hambatan Samping

Kelas samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot kejadian per 200 meter per (dua sisi)	Kondisi Khusus
Sangat rendah Rendah	VL L	< 100 100 - 299	Daerah pemukiman ; jalan dengan jalan samping Daerah pemukiman ; beberapa kendaraan umum dsb
Sedang Tinggi Sangat tinggi	M H VH	300 - 499 500 - 899 > 900	Daerah industri, beberapa toko di sisi jalan Daerah komersial, aktivitas disisi jalan tinggi Daerah komersil dengan aktivitas pasar di jalan

Sumber : MKJI 1997

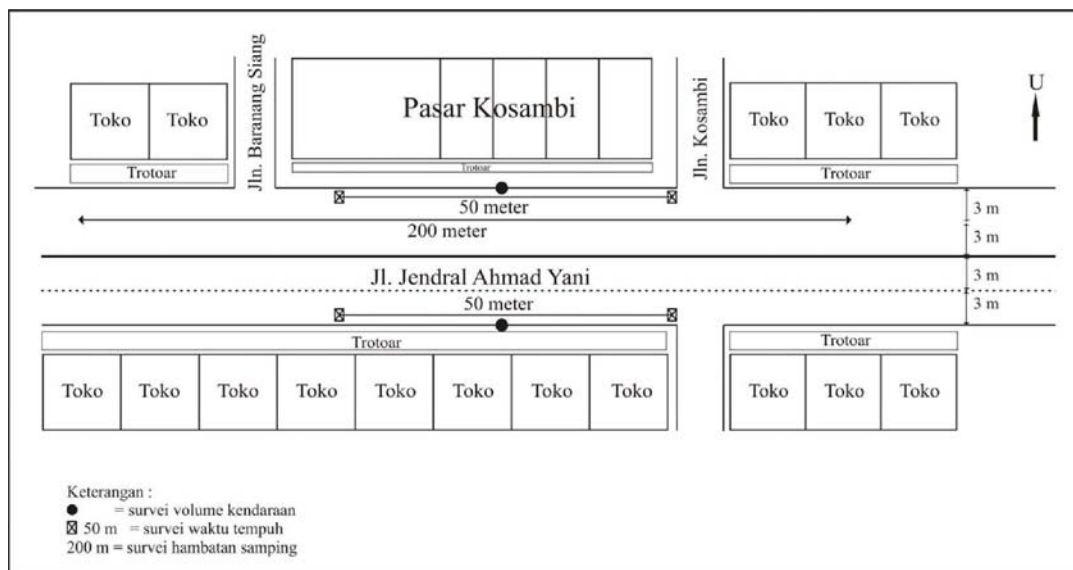
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Survei

Lokasi yang dipilih untuk penelitian yaitu ruas Jalan Jend. Ahmad Yani. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dan denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 3. Denah Lokasi Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data di lapangan harus dilakukan dengan cara seteliti mungkin agar diperoleh data akurat dan memenuhi. Data yang diukur adalah data geometrik jalan dari ruas jalan yang digunakan sebagai lokasi penelitian. Survei yang dilakukan adalah survei jumlah kendaraan berdasarkan klasifikasi kendaraan, survei waktu tempuh dan survei hambatan sampling.

3.2.1 Survei Volume lalu lintas

Survei dilakukan dengan cara menghitung langsung jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan dengan menggunakan *counter*. Survei dilakukan oleh dua surveyor pada titik pengamatan untuk setiap arah lalu lintas, dimana setiap surveyor akan menghitung tiap jenis kendaraan berdasarkan klasifikasi kendaraan. Jenis kendaraan yang diamati adalah: sepeda motor(MC), kendaraan ringan(LV) dan kendaraan berat(HV)

3.2.2 Survei Waktu Tempuh

Survei dilakukan dengan cara menghitung waktu tempuh dari kendaraan yang bergerak dengan menggunakan *stopwatch*. Survei dilakukan oleh dua surveyor pada satu lajur, Surveyor pertama bertugas sebagai pencatat waktu yaitu dimulai pada saat bagian depan dari kendaraan yang diamati berada di titik pengamatan sampai kendaraan tersebut bergerak mencapai jarak 50 meter, sedangkan surveyor kedua bertugas memberi tanda apabila kendaraan yang diamati telah berada sejauh 50 meter.

3.2.3 Survei Hambatan Samping

Survei hambatan samping dilakukan dengan cara menghitung langsung setiap tipe kejadian per jam per 200 meter pada lajur jalan yang diamati. Tipe kejadian digolongkan menjadi sebagai berikut :

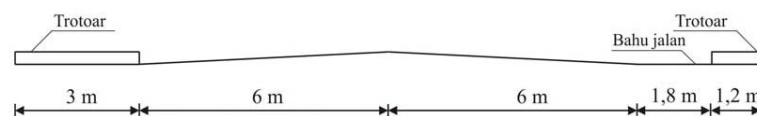
1. Jumlah pejalan kaki berjalan atau menyeberang sepanjang segmen jalan.
2. Jumlah kendaraan berhenti atau parkir.
3. Jumlah kendaraan bermotor yang masuk dan keluar dari lahan samping jalan.
4. Arus kendaraan yang bergerak lambat, yaitu arus total (kend/jam) dari sepeda, becak, pedati, traktor dan sebagainya.

Survei dilakukan oleh 4 surveyor pada lajur jalan per 200 meter, dimana setiap surveyor menghitung semua tipe kejadian per 200 meter per jam.

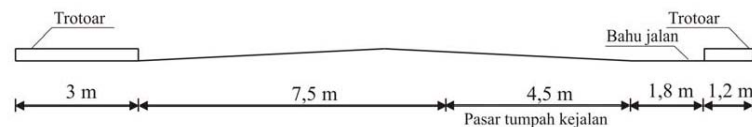
4. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Data Geometrik Jalan

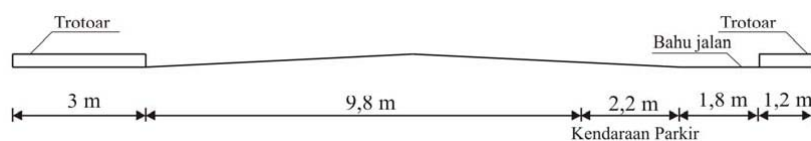
Berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan secara visual di lapangan yang dilakukan terhadap geometri jalan, diambil potongan melintang jalan pada segmen dimana jalan diamati dan mewakili karakteristik segmen jalan. Posisi potongan melintang pada segmen ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Penampang Melintang Segmen Jalan



Gambar 5. Penampang Melintang Segmen Jalan Pada Saat Pasar Tumpah ke Jalan



Gambar 6. Penampang Melintang Segmen Jalan Pada Saat Pasar tidak Tumpah ke Jalan (kend. parkir)

4.2 Perhitungan Volume Lalu Lintas

Tabel 13 menunjukkan hasil perhitungan volume lalu lintas total dua arah untuk kondisi pasar tumpah ke jalan per jam dan Tabel 14 menunjukkan hasil perhitungan volume lalu lintas total dua arah untuk kondisi kendaraan parkir per jam.

Contoh perhitungan lalu lintas pada hari Selasa tanggal 03 Oktober 2006 arah Timur - Barat.

Volume lalu lintas (Q1) jam 07:00 – 07:15 = 266,2 smp/15 menit/arah

Volume lalu lintas (Q2) jam 07:15 – 07:30 = 360,0 smp/15 menit/arah

Volume lalu lintas (Q3) jam 07:30 – 07:45 = 361,2 smp/15 menit/arah

Volume lalu lintas (Q4) jam 07:45 – 08:00 = 401,4 smp/15 menit/arah

Volume lalu lintas (Q) pada tanggal 31 Mei 2006 jam 07:00 – 08:00 WIB

$$\begin{aligned} Q &= Q1 + Q2 + Q3 + Q4 \\ &= 266,2 + 360,0 + 361,2 + 401,4 \\ &= 1388,8 \text{ smp/jam/arah} \end{aligned}$$

Tabel 13. Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas Kondisi Pasar Tumpah ke Jalan

Waktu Pengamatan	Volume Total (smp/jam)		Total (smp/jam)
	Barat - Timur	Timur - Barat	
05:00 - 06:00	248,3	291,0	539,3
05:15 - 06:15	301,0	356,1	657,1
05:30 - 06:30	479,3	490,6	969,9
05:45 - 06:45	408,5	649,8	1058,3
06:00 - 07:00	506,0	770,7	1276,7

Tabel 14. Hasil Perhitungan Volume Lalu Lintas kondisi Kendaraan Parkir

Waktu Pengamatan	Volume Total (smp/jam)		Total (smp/jam)
	Barat - Timur	Timur - Barat	
07:00 - 08:00	778,9	1388,8	2167,7
07:15 - 08:15	809,5	1495,3	2304,8
07:30 - 08:30	787,4	1481,5	2268,9
07:45 - 08:45	732,9	1451,1	2184,0
08:00 - 09:00	655,3	1379,3	2034,6

4.3 Perhitungan kecepatan rata-rata ruang

Hasil perhitungan kecepatan rata-rata ruang (Us) untuk 2 arah dapat dilihat pada Tabel 15 untuk kondisi pasar tumpah ke jalan dan Tabel 16 untuk kondisi kendaraan parkir. Contoh perhitungan dilakukan untuk data waktu tempuh tanggal 03 Oktober 2006 jam 07:00 – 08:00 WIB untuk kendaraan ringan arah Barat – Timur.

Jumlah kendaraan yang diamati (n) = 20 kendaraan

Jarak pengamatan (d) = 50 meter

Waktu tempuh seluruh kendaraan yang diamati (Σt) = 178,88 detik

$$\text{Kecepatan rata-rata ruang (Us)} = \frac{3,6 n d}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{3,6 \times 20 \times 50}{178,88} = 20,13 \text{ km/jam}$$

Tabel 15. Kecepatan Lalu lintas Pada Saat Pasar Tumpah Kejalan

Waktu	Us (km/jam)	Us (km/jam)	Us Rata-rata (km/jam)
	Barat - Timur	Timur - Barat	
05.00 - 06.00	20,20	17,82	19,01
06.00 - 07.00	20,66	18,74	19,70
Rata-rata			19,36

**Tabel 16. Kecepatan Lalu lintas Pada Saat Pasar tidak Tumpah Kejalan
(Kendaraan Parkir di Samping Jalan)**

Waktu	Us (km/jam)	Us (km/jam)	Us Rata-rata (km/jam)
	Barat - Timur	Timur - Barat	
07.00 - 08.00	18,86	21,83	20,35
08.00 - 09.00	20,44	22,73	21,59
Rata-rata			20,97

4.4 Perhitungan Kapasitas Jalan

Dengan menggunakan persamaan kapasitas jalan dapat dihitung kapasitas jalan untuk kondisi ideal, kondisi pasar tumpah dan kondisi pasar tidak tumpah (kendaraan parkir). Nilai kapasitas jalan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Nilai Kapasitas (C)

Kondisi	C ₀	FC _w	FC _{sp}	FC _{sf}	FC _{cs}	C (smp/jam)
Ideal	6000	0,91	1,00	1,00	1,00	5460
Pasar Tumpah	6000	0,73	1,00	0,90	1,00	3942
Kendaraan Parkir	6000	0,826	1,00	0,93	1,00	4609,08

4.5 Perhitungan Derajat Kejenuhan (DS)

Nilai derajat kejenuhan dihitung sebagai rasio antara arus terhadap kapasitas. Nilai derajat kejenuhan (DS) terdapat pada Tabel 18.

Tabel 18. Nilai Derajat Kejenuhan (Ds)

Kondisi	Volume	Kapasitas (smp/jam/per arah)	Derajat Kejenuhan
	(smp/jam/2 arah)		
Ideal	2034,6	5460	0,37
Pasar Tumpah	1276,7	3942	0,32
Kendaraan Parkir	2304,8	4609,08	0,50

4.6 Kecepatan Arus Bebas

Nilai kecepatan arus bebas dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Nilai Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kondisi	FV ₀	FV _w (km/jam)	FFV _{SF}	FFV _{CS}	FV (km/jam)
Ideal	51	-4	1,03	1	48,41
Pasar Tumpah	51	-13	0,95	1	36,10
Parkir Kendaraan	51	-10,4	0,98	1	39,79

Nilai kecepatan tempuh dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Nilai Kecepatan Tempuh (km/jam)

Kondisi	DS	FV	Kecepatan Tempuh (km/jam)
Pasar Tumpah	0,32	36,10	35
Parkir kendaraan	0,50	39,79	36

4.7 Hambatan Samping

Dengan mempergunakan Tabel Penentuan Kelas Hambatan Samping diperoleh kelas hambatan samping setiap jam dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Kelas Hambatan Samping

Waktu	Kelas Hambatan Samping
05:00 – 06:00	Sangat Tinggi
06:00 – 07:00	Sangat Tinggi
07:00 – 08:00	Tinggi
08:00 – 09:00	Sedang

4.8 Analisis Data

Volume yang terjadi pada kondisi pasar tumpah ke jalan sebesar 1276,7 smp/jam/2 arah dan volume yang terjadi pada kondisi kendaraan parkir sebesar 2304,8 smp/jam/2 arah.

Derajat kejenuhan (DS) adalah 0,32 pada kondisi pasar tumpah ke jalan dan 0,50 pada kondisi parkir kendaraan lebih kecil dari batas maksimum operasional sebesar 0,8. Penurunan volume terjadi akibat adanya aktivitas pasar tumpah ke jalan sebesar 1028,1 smp/jam/2 arah, hal ini juga mengakibatkan terjadinya perubahan nilai hambatan samping dari sedang ke sangat tinggi.

Pada kondisi pasar tumpah ke jalan kecepatan tempuh teoritis berdasarkan MKJI 1997 untuk pasar tumpah ke jalan 35 km/jam dan Kecepatan tempuh teoritis pada kondisi kendaraan parkir sebesar 36 km/jam. Kecepatan tempuh hasil survei pada kondisi pasar tumpah ke jalan sebesar 19,36 km/jam dan kecepatan tempuh hasil survei pada kondisi parkir kendaraan sebesar 20,97 km/jam. Jadi kecepatan tempuh teoritis lebih besar dari kecepatan tempuh survei, hal ini disebabkan pada saat survei kendaraan mengalami penurunan kecepatan karena adanya aktivitas pasar tumpah ke jalan. Pemindahan lokasi pasar yang tumpah ke jalan perlu dilakukan karena kecepatannya kurang dari 25 km/jam.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan analisis data, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Volume yang terjadi pada kondisi pasar tumpah ke jalan sebesar 1276,7 smp/jam/2 arah dan volume yang terjadi pada kondisi kendaraan parkir sebesar 2304,8 smp/jam/2 arah, penurunan volume yang terjadi sebesar 1028,1 smp/jam/2 arah.
2. Penurunan kecepatan terjadi karena adanya aktivitas pasar tumpah ke jalan sehingga pemindahan lokasi pasar yang tumpah ke jalan perlu dilakukan karena kecepatannya kurang dari 25 km/jam.
3. Berdasarkan Derajat kejenuhan (DS) yang terjadi lebih kecil dari batas maksimum operasional sebesar 0,8, maka tidak perlu dilakukan perbaikan, misalnya pelebaran jalan karena kapasitas yang ada untuk saat ini mencukupi untuk volume kendaraan yang lewat ke jalan Jendral Ahmad Yani.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alik Ansyori Alamsyah, *Rekayasa Jalan Raya*, Penerbitan Universitas Muhammadiyah Malang.
2. Deni Dermawan Lubis (2006), *Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Jalan Pada Ruas Jalan Sayati Kabupaten Bandung*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

3. Direktorat Jendral Bina Marga (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Sweroad dan PT. Bina Karya, Jakarta.
4. Hartanto, Budi (1985), *Karakteristik dan Studi Lalu Lintas*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
5. Morlok, E. K. (1988), *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Erlangga, Jakarta.
6. _____, (1982), *Transportation and Traffic Engineering Handbook Second Edition*, Intitute Of Transportation Engineerings, Prentice Hall, London.

- ^[1] **Tan Lie Ing, ST., MT.**, Dosen Tetap, Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha.
- ^[2] **Indra Rachman Efendi, ST.**, Alumnus Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha.

ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH PADA SIMPANG TIGA KARIANGAU - SOEKARNO HATTA KM 5.5, BALIKPAPAN DITINJAU DARI KONDISI GEOMETRIK^[1]

Budi Hartanto Susilo^[2], Apriyanto Loentan^[3]

ABSTRAK

Jalan Soekarno Hatta merupakan Jl. Arteri primer yang menghubungkan Balikpapan-Samarinda sepanjang 115 km. Jalan ini mempunyai beberapa titik rawan kecelakaan diantaranya simpang tiga Kariangau - Soekarno Hatta pada Km. 5.5 dari Balikpapan. Simpang tiga ini berpotensi besar untuk terjadinya kecelakaan karena kondisi geometrik yang jelek dengan kelandaian yang terjal pada jalan minor dan pada salah satu lengan jalan mayor. Rupanya pemasangan lampu lalu lintas tidak memecahkan masalah ini sehingga kenyataan dilapangan lampu ini tidak dioperasikan. Penanganan harian saat ini oleh petugas polantas pada waktu sibuk pagi saja. Perlu perbaikan geometrik dan lajur dengan kanalisasi arus sehingga potensi kecelakaan *merging conflict* dapat dieliminasi. Hal ini dapat dipahami karena dalam posisi menanjak umumnya pengemudi tancap gas dalam lajurnya dan sulit untuk *space sharing* dengan kendaraan yang datang dari arah yang berbeda sehingga kondisi ini sering menimbulkan terjadinya *merging conflict* dengan tingkat kecelakaan luka ringan atau kerusakan kendaraan. Analisa lapangan memberikan solusi perlunya penambahan lajur menerus dan lajur belok kiri serta *separator* untuk menghindari konflik.

Kata kunci : Geometrik simpang, Kanalisasi, Separator, Kecelakaan.

ABSTRACT

Soekarno-Hatta is an arterial primary road which connecting Balikpapan-Samarinda along 115 km. It has some accident troubled point in between such as Kariangau-Soekarno-Hatta junction at km 5,5 from Balikpapan. This junction is potentially to have an accident it has a worse geometric conditions as shown from critical grade on the minor road and major road. Unfortunately, traffic light - which take a position to controlled this junction - could not handle and solve the problem on this junction. Daily controlled have been done by police officer only on the morning peak hour. So, it should be need repairing geometric and lanes by making a traffic canal to eliminate the accident potential from merging conflict. This reason could be happened cause the drivers will increase vehicle speed on their lanes and it makes difficult to sharing lanes with the vehicle which coming from the other direction. Field analysis give a solution that this junction need additional continous lanes and separator to avoid the conflict.

Keywords : Junction geometric, Channelization, Separator, Accident.

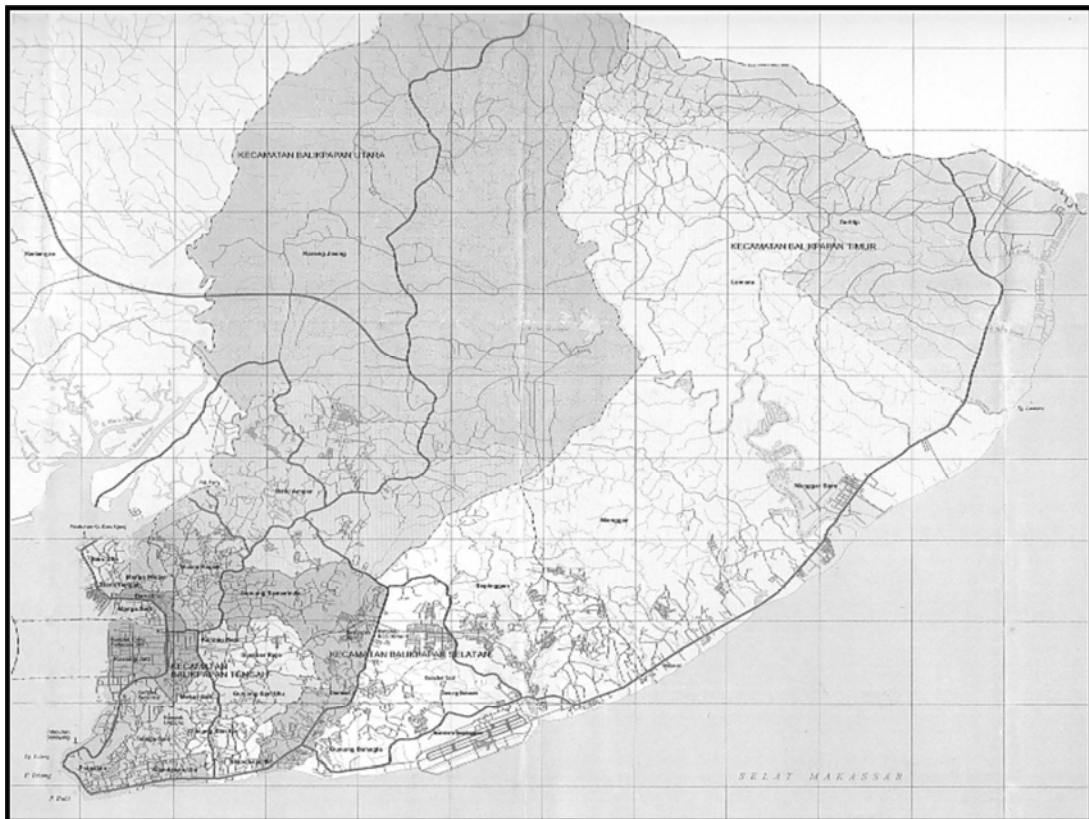
1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Balikpapan mempunyai peran dan fungsi kota yang sangat penting baik untuk Kalimantan Timur maupun Kawasan Timur Indonesia yang ditetapkan sebagai Pusat Kegiatan Nasional (PKN). Kota Samarinda adalah ibukota Propinsi Kalimantan Timur yang

ditetapkan sebagai Pusat Kegiatan Wilayah. Kota Bontang dan Tenggarong ditetapkan sebagai kota penyebar kegiatan ekonomi.

Jalan utama yang menghubungkan kota Balikpapan dengan Kota Samarinda adalah jalan Soekarno Hatta yang merupakan jalan Arteri Primer. Akses utama menuju kota Samarinda ini memiliki beberapa tempat yang disinyalir sering terjadi kecelakaan diantaranya adalah Simpang Kariangau yang berada pada Km 5,5 Balikpapan, yang merupakan pertemuan antara Jalan Soekarno Hatta dengan Jalan Kariangau. Dalam upaya pemecahan masalah pada simpang ini dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu pengaturan sinyal (*signalized controlled*) dan pengaturan tanpa sinyal (*unsignalized controlled*).



Gambar 1. Peta Lokasi Kegiatan Studi

Untuk pengaturan sinyal dilakukan dengan penghitungan ulang waktu siklus optimum dalam kondisi eksisting, sedangkan untuk pengaturan tanpa sinyal dilakukan dengan rekayasa geometrik yakni penambahan lajur, pembuatan *speed trap*, pembuatan pulau/separator, serta pengaturan *taper*. Kedua metode tersebut dapat di aplikasikan salah satu saja ataupun bisa kombinasi keduanya, dan saat ini akan dilakukan kajian terhadap

salah satu metode diatas yaitu pemecahan masalah persimpangan dengan pengaturan tanpa sinyal yang ditinjau dari kondisi geometriknya.

1.2 Maksud Dan Tujuan

Maksud kegiatan studi Peningkatan Kinerja Simpang Soekarno Hatta – Kariangau Km 5,5 Balikpapan adalah untuk mengurangi kecelakaan dan melancarkan lalu lintas di simpang kariangau khususnya pada jalan Soekarno Hatta agar menjadi tertib dan teratur tanpa ada hambatan yang berarti.

Adapun tujuannya adalah melakukan pengaturan kembali Simpang Kariangau berdasarkan perbaikan geometrik dengan kanalisasi dan manajemen pergerakan simpang.

1.3 Batasan Studi

Dalam studi ini permasalahan dibatasi hanya pada mencari alternatif pemecahan masalah persimpangan yang dialami oleh simpang kariangau dengan melakukan pengaturan kembali pergerakan kendaraan melalui rekayasa geometrik.

2. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA PRIMER

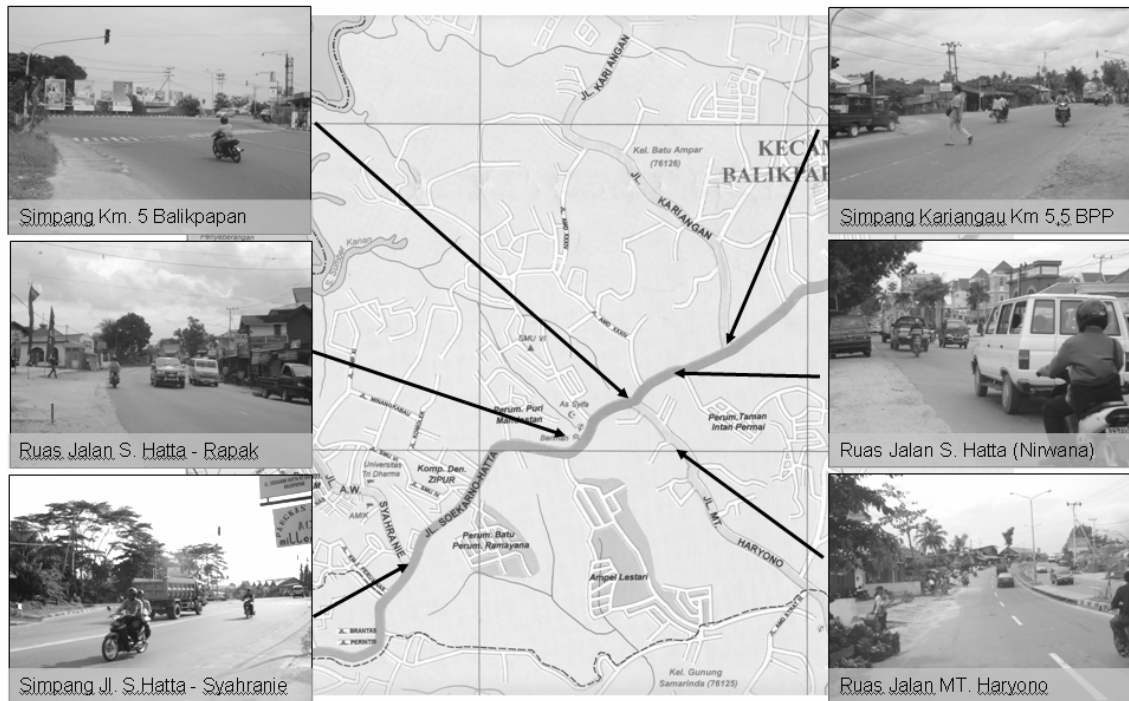
Untuk mengumpulkan informasi kondisi faktual yang terjadi disekitar simpang kariangau, maka dilakukan beberapa kegiatan survei di sekitar simpang tersebut. Kegiatan ini meliputi :

1. Survei Jaringan Jalan Sekitar Simpang Kariangau
2. Survei Pergerakan Lalu Lintas Simpang Kariangau
3. Survei Geometri Simpang Kariangau
4. Survei Tata Guna Lahan Sekitar Simpang Kariangau

2.1 Survei Jaringan Jalan Sekitar Simpang Kariangau

Pada kegiatan survei jaringan jalan yang ada disekitar simpang kariangau, dilakukan identifikasi ruas-ruas jalan yang berpengaruh terhadap kondisi pergerakan lalu lintas di simpang tersebut. Seperti diketahui bahwa simpang kariangau ini merupakan simpang tiga lengan yang terbentuk dari pertemuan antara Jalan Soekarno-Hatta dengan Jalan menuju Kariangau yang bertemu di km 5,5 Kota Balikpapan. Tidak jauh dari simpang ini yaitu ± 500 m ke arah selatan Jalan Soekarno-Hatta juga terdapat simpang yang dikenal dengan simpang Km.5 Balikpapan. Kondisi simpang yang berdekatan ditambah lagi pergerakan kendaraan yang cukup ramai dijalur ini menjadikan ruas jalan Soekarno-Hatta pada segmen ini rawan

dengan kecelakaan dan kemacetan. Beberapa kondisi jaringan jalan dan persimpangan yang ada disekitar simpang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi Jaringan Jalan dan Simpang Sekitar Simpang Kariangau

2.2 Survei Pergerakan Lalu Lintas Simpang Kariangau (*Intersection Traffic Count*)

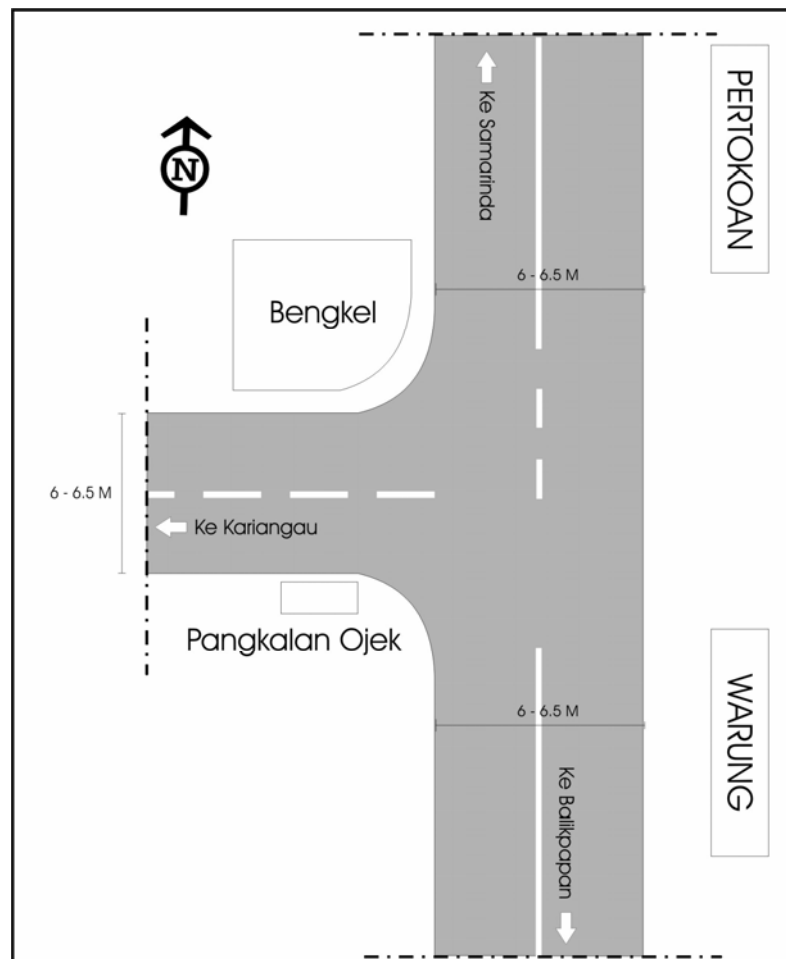
Kegiatan yang dilakukan pada survei ini adalah menghitung pergerakan lalu lintas kendaraan pada masing-masing lengan simpang dengan klasifikasi kelas kendaraan sesuai dengan standar Bina Marga, yaitu :

1. Sepeda Motor/Scooter
2. Sedan, jeep, taksi, station wagon
3. Van/Combi (elf, colt, kijang, carry)
4. Pick up, mobil box kecil
5. Bus ukuran kecil, Mikrolet, Angkot
6. Bis ukuran besar (55 seat)
7. Truk ukuran sedang (2-as)
8. Truk ukuran besar (3-as atau lebih)
9. Truk Gandengan
10. Truk Peti-kemas (*Container*)

Waktu pelaksanaan survei untuk simpang kariangau didasarkan pada waktu sibuk yang terjadi di simpang ini yang tergantung dari jam operasinya ferry penyeberangan di Kariangau yaitu pagi antara jam 07.00 – 10.00 dan sore hari jam 15.00 – 18.00 waktu setempat. Untuk orientasi arah pergerakan, sesuai dengan tiga lengan yang dimiliki simpang ini maka pergerakan lalu lintas dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Pergerakan dari dan ke arah Jalan Kariangau
2. Pergerakan dari dan ke arah Samarinda
3. Pergerakan dari dan ke arah Balikpapan

Diagramatis simpang dan orientasi pergerakan lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 3 dan untuk hasil survei pergerakan lalu lintas disimpang ini dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.



Gambar 3. Lay Out Geometris Simpang Kariangau Km 5,5 BPP Kota Balikpapan

Tabel 1 Data Survei Pergerakan Simpang untuk Lengan Soekarno-Hatta Dari Arah Balikpapan – Waktu Peak Pagi dan Sore

Tanggal Survei : 21 Juli 2006 ; Jam : 07.00 – 10.00 dan 15.00 – 18.00

WAKTU SURVEI 6 JAM/HARI	Gerak Lalulintas menuju Jalan	Sepeda Motor (Roda 2 dan 3)	Sedan, Jeep, station wagon	Kijang, colt, Van, elf	Pick up, Box kecil	Mikrolet, Bus Kecil	Bus Besar	Truk kecil 2 As	Truk sedang 3 As	Truk Gandeng	Truk Kontainer	Un-motorized Vehicle	Total Kendaraan Bermotor
07.00-08.00	Samarinda	415	196	107	111	12	11	29	83	1	1	1	965
	Kariangau	373	94	39	63	1	0	6	33	1	1	1	612
08.00-09.00	Samarinda	434	206	112	115	12	15	41	94	3	1	1	1034
	Kariangau	390	99	48	78	4	0	7	35	0	2	1	663
09.00-10.00	Samarinda	301	142	78	80	9	8	33	66	1	2	0	719
	Kariangau	272	69	35	54	1	1	4	24	1	1	1	463
15.00-16.00	Samarinda	341	168	58	96	7	2	9	62	3	4	1	750
	Kariangau	255	100	9	66	3	4	47	8	0	0	1	493
16.00-17.00	Samarinda	403	186	72	107	6	5	12	94	8	5	2	898
	Kariangau	328	127	7	85	4	5	65	5	0	0	2	626
17.00-18.00	Samarinda	352	154	56	87	5	3	11	63	6	2	2	739
	Kariangau	291	121	6	77	0	3	61	5	0	0	2	562

Tabel 2 Data Hasil Survei Pergerakan Simpang untuk Lengan Soekarno-Hatta Dari Arah Samarinda – Waktu Peak Pagi dan Sore

Tanggal Survei : 21 Juli 2006 ; Jam : 07.00 – 10.00 dan 15.00-18.00

WAKTU SURVEI 6 JAM/HARI	Gerak Lalulintas menuju Jalan	Sepeda Motor (Roda 2 dan 3)	Sedan, Jeep, station wagon	Kijang, colt, Van, elf	Pick up, Box kecil	Mikrolet, Bus Kecil	Bus Besar	Truk kecil 2 As	Truk sedang 3 As	Truk Gandeng	Truk Kontainer	Un-motorized Vehicle	Total Kendaraan Bermotor
07.00-08.00	Balikpapan	816	268	25	103	13	6	69	11	1	3	2	1314
	Kariangau	94	10	0	20	0	1	8	2	0	1	0	136
08.00-09.00	Balikpapan	853	280	26	109	14	7	77	12	1	1	0	1379
	Kariangau	98	11	0	23	0	3	10	2	0	1	0	148
09.00-10.00	Balikpapan	593	194	18	75	9	4	50	8	0	2	2	954
	Kariangau	68	8	0	16	0	1	7	0	0	1	0	100
15.00-16.00	Balikpapan	491	270	8	92	1	9	66	1	1	1	2	942
	Kariangau	51	15	0	12	0	1	8	2	0	1	0	90
16.00-17.00	Balikpapan	643	353	10	121	4	13	87	3	1	3	1	1237
	Kariangau	68	20	0	16	0	3	10	0	0	1	0	117
17.00-18.00	Balikpapan	581	320	9	109	0	10	79	3	0	1	0	1112
	Kariangau	59	18	0	11	0	3	9	2	0	1	0	103

Tabel 3 Data Hasil Survei Pergerakan Simpang untuk Lengan Kariangan – Waktu Peak Pagi dan Sore

Tanggal Survei : 21 Juli 2006 ; Jam : 07.00 – 10.00 dan 15.00 – 18.00

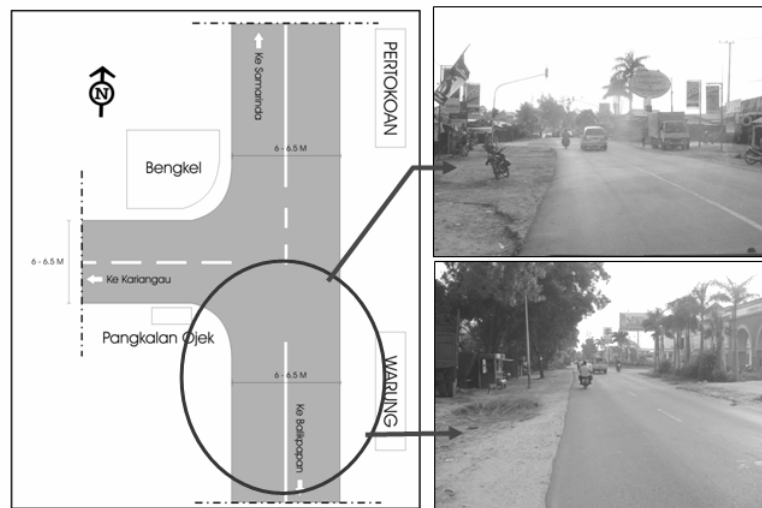
WAKTU SURVEI 6 JAM/HARI	Gerak Lalulintas menuju Jalan	Sepeda Motor (Roda 2 dan 3)	Sedan, Jeep, station wagon	Kijang, colt, Van, elf	Pick up, Box kecil	Mikrolet, Bus Kecil	Bus Besar	Truk kecil 2 As	Truk sedang 3 As	Truk Gandeng Kontainer	Truk motorized Vehicle	Total Kendaraan Bermotor
07.00-08.00	Samarinda	462	54	2	89	0	0	69	1	0	1	678
	Balikpapan	717	145	12	122	3	4	60	11	0	0	1073
08.00-09.00	Samarinda	484	56	2	93	0	0	72	1	0	1	710
	Balikpapan	750	151	13	127	3	4	63	11	0	0	1123
09.00-10.00	Samarinda	337	39	2	65	0	0	50	1	0	0	494
	Balikpapan	522	105	9	89	2	3	44	8	0	0	782
15.00-16.00	Samarinda	67	22	1	19	0	0	18	0	0	0	127
	Balikpapan	251	97	5	65	3	4	50	4	0	0	478
16.00-17.00	Samarinda	88	29	1	25	0	0	24	0	0	0	167
	Balikpapan	328	127	7	85	4	5	65	5	0	0	626
17.00-18.00	Samarinda	84	26	1	22	0	0	18	0	0	0	151
	Balikpapan	291	121	6	77	0	3	61	5	0	0	562

2.3 Survei Geometri Simpang Kariangau

Dalam kegiatan survei Geometrik simpang kariangau, dilakukan pengukuran geometrik tiap lengan (*approach*) simpang serta pengamatan terhadap kondisi khusus yaitu kelandaian lengan kariangau yang sangat curam dan manuver pergerakan lalu lintas yang berpotensi menimbulkan masalah di persimpangan.

1. Lengan Soekarno Hatta – dari arah Kota Balikpapan

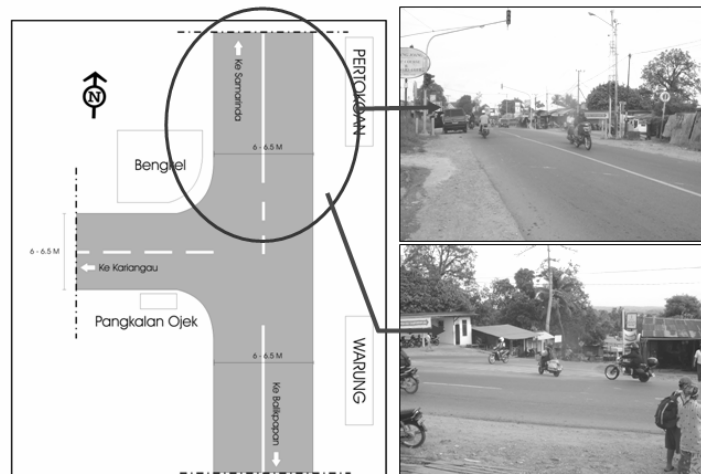
Pendekat simpang kariangau dari arah Kota Balikpapan memiliki tipe jalan 2/2 UD dengan lebar per lajur 3 m dan lebar bahu antara 2,5 – 3,5 meter. Bahu jalan tidak diperkeras (hanya tanah dan kerikil) dengan kondisi elevasi bahu dan lahan di sisi barat cenderung semakin menurun sedangkan sisi timur relatif datar kecuali dikomplek perumahan Bumi Nirwana yang terrain-nya menurun. Garis marka jalan di lengan ini sudah terhapus/ tidak jelas lagi dan lapisan atas perkerasan berdasarkan pengamatan visual diperkirakan telah mencapai batas aus lapisan. Jarak bangunan dari as jalan relatif jauh, sehingga untuk pengembangan ke depan masih sangat memungkinkan.



**Gambar 4. Kondisi Geometri di Lengan
Jalan Soekarno-Hatta-Dari Arah Balikpapan**

2. Lengan Soekarno Hatta – dari arah Kota Samarinda

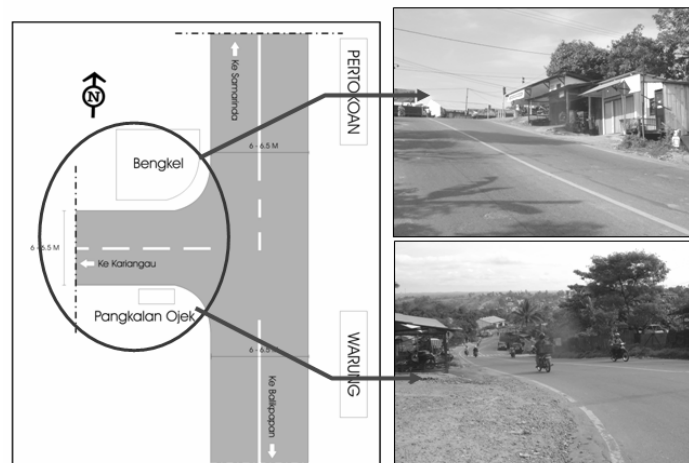
Pendekat simpang kariangau dari arah Kota Samarinda merupakan kesatuan ruas dengan Lengan Soekarno Hatta – dari arah Balikpapan. Karena masih dalam ruas yang sama menjadikan penampang geometri kedua pendekat ini relatif sama. Hanya saja untuk bahu jalan mengalami penyempitan menjadi 1,5 – 3 meter.



**Gambar 5. Kondisi Geometri di Lengan
Jalan Soekarno-Hatta-Dari Arah Samarinda**

3. Lengan Kariangau

Pendekat simpang kariangau dari arah Kariangau memiliki tipe jalan 2/2 UD dengan lebar per lajur 3 meter dan lebar bahu antara 1,5 – 3 meter. Sesaat sebelum memasuki mulut simpang, kendaraan yang berasal dari Kariangau akan melakukan pergerakan pendakian yang cukup terjal dengan kelandaian $>6\%$. Kondisi geometris lengan kariangau dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kondisi Geometri di Lengan Jalan Kariangau

2.4 Pelaksanaan Survei Tata Guna Lahan Sekitar Simpang

Dalam survei tata guna lahan sekitar simpang, dilakukan beberapa identifikasi pemanfaatan lahan samping di sekitar simpang dan pengamatan kecenderungan aktivitas penduduk disimpang ini. Pada ruas jalan soekarno Hatta umumnya tersebar

warung/pertokoan milik warga. Dan ± 100 meter dari mulut simpang ke arah selatan terdapat satu kompleks perumahan Bumi Nirwana, dengan bangunan Ruko pada bagian depannya. Semakin ke selatan atau menuju arah Kota Balikpapan terutama via Rapak, aktivitas warga semakin ramai. Berbeda halnya bila ke utara atau ke arah Samarinda, bangunan semakin jarang dan aktivitas warga yang ramai hanya bersifat *spot* saja. Untuk arah jalan Kariangau, pemanfaatan lahan baik sebagai pemukiman maupun pertokoan masih sangat jarang. Masih terdapat banyak lahan tidur yang belum dimanfaatkan secara optimal. Sehingga semakin ke Barat menuju arah Penyebrangan Kariangau, aktivitas warga cenderung sepi dan akan ramai lagi sesaat sebelum memasuki pelabuhan.

3. ANALISIS DATA SURVEI

3.1 Analisis Survei Jaringan Jalan

Dari hasil survei jaringan jalan yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa di sekitar simpang terdapat beberapa titik simpul pertemuan ruas jalan yang lokasinya cukup berdekatan. Titik simpul pertemuan ruas jalan (simpang) tersebut antara lain :

1. Simpang Jalan Soekarno Hatta Km.5
2. Simpang Rapak (Terminal)
3. Simpang A.H Syahrani

Ketiga simpang tersebut diatas adalah simpang tiga, dua simpang pertama yaitu simpang Jalan Soekarno-Hatta Km.5 dan Simpang Rapak (Terminal) memiliki lampu pengaturan lalu lintas namun tidak diaktifkan, sedangkan untuk simpang A.H Syahrani meski tidak memiliki lampu lalu lintas namun telah diatur dengan pulau pengarah pergerakan (*island*) dan dipasang *yellow amber*. Simpang yang paling dekat dengan simpang Kariangau adalah simpang jalan Soekarno-Hatta Km. 5 dengan jarak antar mulut simpang adalah ± 500 m. Pada ruas antar kedua simpang ini tidak jarang mengalami kemacetan terutama pada saat-saat jam sibuk. Oleh sebab itu, diperlukan suatu sistem pengaturan kedua simpang yang saling berinteraksi dan terintegrasi baik melalui manajemen waktu siklus lampu lalu lintas maupun sistem pengaturan lainnya yang perlu dikaji secara khusus.

Untuk simpang-simpang kecil (*gang*) seperti akses menuju kompleks perumahan berdasarkan kondisi dilapangan dianggap tidak menimbulkan pengaruh yang cukup besar terhadap kelancaran arus lalu lintas. Sehingga untuk kondisi jaringan jalan yang ada disekitar simpang, secara umum masih cukup baik kecuali masalah interaksi sistem pengaturan simpang di Km.5 dengan simpang Kariangau.

3.2 Analisis Data Survey Pergerakan Simpang

Setelah melakukan survei pergerakan kendaraan di simpang Kariangau selama 2 hari, selanjutnya dilakukan inputing dan pengolahan data hingga analisisnya. Dari data faktual yang didapat, diketahui bahwa pola pergerakan yang terjadi disimpang ini selama 2 hari berturut-turut relatif sama. Kondisi jam puncak yang telah diprediksi sebelumnya pun ternyata sesuai dengan keadaan dilapangan. Untuk kondisi pergerakan masing-masing simpang dari hasil survei pergerakan simpang ini dapat dideskripsikan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Pergerakan Kendaraan rata-rata pada masing-masing lengan simpang Kariangau

Lengan yang Diamati	Arah Pergerakan Lalu Lintas	Kend/6 Jam	Smp/6jam	Split Portion
S.Hatta - Balikpapan	Samarinda	4717	1721	60%
	Kariangau	3131	1342	40%
S.Hatta - Samarinda	Balikpapan	6017	2033	91%
	Kariangau	601	443	9%
Kariangau	Samarinda	2103	917	33%
	Balikpapan	4176	1720	67%

4. DESAIN DAN GAMBAR DESAIN

4.1 Desain Geometrik Simpang

Dalam meningkatkan kinerja simpang kariangau, salah satu metode yang akan di gunakan adalah dengan melakukan rekayasa geometrik simpang. Oleh karena itu, penulis menyusun beberapa alternatif pemecahan masalah persimpangan yang ditinjau dari sisi kondisi gemetriknya. Beberapa pemecahan yang diusulkan diantaranya adalah sebagai berikut :

2. Alternatif 1 : (Rekayasa Geometrik Lajur)

- Pembuatan lajur khusus (lajur baru) untuk pergerakan kendaraan dari arah Samarinda menuju Balikpapan yang terpisah dengan lajur yang menuju kariangau. Alternatif ini bertujuan agar kendaraan yang dari arah Samarinda sesaat sebelum memasuki simpang terlebih dahulu diarahkan masuk ke lajur khusus sebagai lajur perlambatan dan saat mencapai jarak aman baru diarahkan

kembali bergabung (*merging*) dengan kendaraan yang berasal dari kariangau seperti yang terlihat pada Gambar 8.

- Untuk arah dari Balikpapan menuju Samarinda yang sebenarnya memang tidak dapat menghindari *crossing conflict* dengan kendaraan dari Kariangau yang menuju ke Balikpapan, pemecahannya dengan memasang beberapa rambu-rambu peringatan sebelum memasuki simpang yang diantaranya bertuliskan :
 1. Dahulukan Kendaraan dari arah Kariangau
 2. Hati-Hati Simpang Rawan Kecelakaan
 3. Kurangi Kecepatan Anda Sekarang Juga
 - Memasang *Speed Trap* (Marka kejut) di lengan arah dari Balikpapan dan dari Samarinda untuk memberi peringatan sekaligus mengarahkan pengemudi agar mengurangi kecepatannya sesaat sebelum memasuki simpang.
 - Melakukan overlay dan pengecatan ulang marka-marka jalan terutama yang ada di sekitar simpang
2. Alternatif 2 : (Perbaikan Alinyemen, dapat dikombinasikan dengan Alternatif 1)
- 1 Mengurangi Kecuraman lengan kariangau dengan merekonstruksi lajur pendakian.
 - 2 Merekonstruksi alinyemen vertikal lajur-lajur pendekat.

Kedua alternatif diatas selanjutnya akan di kaji lebih lanjut dari segi perencanaan teknis dalam desain geometrik simpang dan desain pengaturan simpang beserta gambar-gambar usulan penanganan simpang pada bab selanjutnya.

4.2 Desain Pengaturan Simpang

Permasalahan lalu lintas yang terjadi dipersimpangan muncul karena adanya titik-titik konflik antar pergerakan kendaraan. Titik-titik konflik yang timbul pada simpang bervariasi menurut jenis manuvernya. Jumlah dari potensi titik-titik konflik pada simpang tergantung dari :

1. Jumlah kaki simpang
2. Jumlah lajur dari setiap kaki simpang
3. Jumlah pengaturan simpang
4. Jumlah arah pergerakan

Ada dua tipe konflik, yaitu : **primer** dan **sekunder**. Konflik primer termasuk konflik antara arus lalu-lintas dari arah tegak lurus. Konflik sekunder termasuk konflik antara arus

lalu-lintas belok kanan dan lalu-lintas arah lainnya atau antara arus belok kiri dan pejalan kaki.

Sinyal lalu-lintas terutama menghilangkan konflik primer dan mungkin juga konflik sekunder. Bila tidak ada konflik (primer dan sekunder) maka pergerakan-pergerakan adalah tak terganggu. Bila masih ada konflik sekunder, pergerakan tetap akan terganggu

Tujuan utama dari pengaturan lalu lintas umumnya adalah untuk menjaga keselamatan arus lalu lintas dengan memberikan petunjuk-petunjuk yang jelas dan terarah, tidak menimbulkan keraguan. Untuk pengaturan lalu lintas simpang kariangau akan di desain dengan dua metode yaitu pengaturan lalu lintas simpang tanpa sinyal (marka, rambu, dan pulau-pulau lalu lintas) dan pengaturan simpang dengan sinyal (lampu lalu lintas). Pemilihan jenis pengaturan simpang ini didasarkan pada karakteristik fisik dari simpang maupun kondisi lalu lintasnya.

Perencanaan kedua metode pengaturan simpang tersebut akan dideskripsikan sebagai berikut :

1. Pengaturan Simpang tanpa sinyal (Unsignalized Intersection)

Saat ini kondisi simpang kariangau dianggap simpang tak bersinyal karena meskipun terdapat lampu lalu lintas namun tidak diaktifkan karena tidak mampu mengatasi permasalahan yang ada disimpang saat ini. Untuk selanjutnya, metode pengaturan simpang yang direkomendasikan meliputi teknik-teknik berikut:

- **Aturan prioritas**

Persimpangan dengan *prioritas* adalah merupakan kontrol yang paling umum. ROW pada persimpangan dengan prioritas harus terlihat dengan jelas, baik marka dan rambu jalan. Secara umum, jalan utama mempunyai ROW. Jika volume besar pada jalan yang lebih kecil atau jika jalan utama tidak lurus, aspek efisiensi dan keselamatan memerlukan pertimbangan tertentu.

Ketentuan dari aturan prioritas pada simpang tanpa sinyal lalu-lintas sangat mempengaruhi kelancaran pergerakan arus lalu-lintas yang saling berpotongan. Terutama pada simpang yang merupakan perpotongan dari ruas-ruas jalan yang mempunyai kelas yang sama.

Untuk simpang kariangau, aturan prioritas di kenakan pada lengan yang dianggap manuvernya sulit dan rawan yaitu lengan kariangau dengan manuver daki yang sangat curam/terjal dan panjang. Sehingga, meskipun untuk aturan prioritas sebenarnya lengan Jalan Soekarno-Hatta yang lebih berhak, namun karena tingkat kesulitan manuver

kendaraan yang cukup tinggi untuk kendaraan dari kariangau, maka pergerakan kendaraan dari lengan ini akan lebih di prioritaskan.

- **Rambu dan/atau marka, misalnya : yield signs, stop signs, channelization**

Yield signs

Pengaturan ini digunakan untuk melindungi arus lalu-lintas dari salah satu ruas jalan pada dua ruas jalan yang saling berpotongan tanpa harus berhenti sama sekali. Sehingga pengendara tidak terlalu terhambat bila dibandingkan dengan pengaturan *stop signs*.

Stop signs

Pengaturan simpang dengan *stop signs* digunakan bila pengendara pada kaki simpang harus berhenti secara penuh sebelum memasuki simpang. Pengaturan ini digunakan pada pertemuan antara *minor road* dengan *major road*.

Channelization

Pengaturan simpang dengan *channelization* terutama untuk memisahkan lajur lalu-lintas menerus dan lajur belok. Bentuk fisiknya dapat berupa *marka* atau *pulau-pulau lalu-lintas*. Dengan pengaturan ini arah pergerakan lalu-lintas lebih dipertegas sehingga kendaraan dapat dengan mudah dan aman memasuki simpang sesuai pada lajurnya.

- **Penambahan lajur**

Penambahan jumlah lajur pada persimpangan selain akan meningkatkan kapasitas juga berguna sebagai teknik pengaturan lajur dengan pembagian sesuai arah pergerakan. Pada simpang kariangau, direkomendasikan adanya penambahan lajur untuk pergerakan kendaraan yang berasal dari Samarinda. Lajur baru ini akan digunakan untuk pergerakan menerus dari arah Samarinda menuju Balikpapan, sehingga akan terjadi pemisahan lajur antara kendaraan yang ke Balikpapan dengan kendaraan yang akan menuju kariangau.

Bagian lain yang perlu ditambahkan lajur lalu lintas adalah pergerakan kendaraan dari arah lengan kariangau yang berbelok ke arah Samarinda. Hal ini dilakukan untuk mengurangi *merging conflict* dengan kendaraan yang berasal dari Balikpapan menuju ke arah Samarinda.

Untuk saat ini, direkomendasikan pengaturan simpang di kariangau tanpa sinyal dengan mengkombinasikan teknik-teknik diatas yang disesuaikan dengan kondisi dilapangan. Desain pengaturan yang dibuat haruslah efisien dan efektif serta mampu

meningkatkan kinerja simpang yang ada saat ini. Gambar desain pengaturan simpang yang direkomendasikan dapat dilihat pada gambar 8.

2. Pengaturan Simpang dengan Sinyal Lampu lalu-lintas

Sebenarnya untuk pengaturan simpang dengan sinyal lalu-lintas termasuk yang paling efektif terutama untuk volume lalu-lintas pada kaki-kaki simpang yang relatif tinggi. Pengaturan ini dapat mengurangi atau menghilangkan titik-titik konflik pada simpang dengan memisahkan pergerakan arus lalu-lintas pada waktu yang berbeda-beda.

Peralihan antara persimpangan dengan *prioritas* menjadi *lampu lalu-lintas* biasanya di-justifikasi dengan pengurangan pada keterlambatan dan kecelakaan, hal utama yang menentukan peralihan ke lampu lalu-lintas ditentukan berdasarkan arus lalu-lintas. Lampu lalu-lintas adalah hal yang paling efektif jika volume *turning movement* rendah, dan jumlah *stage* sedikit.

Simpang Kariangau sebelumnya telah memiliki sistem pengaturan dengan lampu lalu lintas. Namun ternyata lampu ini tidak mampu mengatur lalu lintas yang ada. Masalahnya bukan terjadi pada tingginya volume kendaraan yang masuk simpang, akan tetapi keberadaan lampu ini tidak mampu mengakomodir kebutuhan pengendara dari arah lengan kariangau yang mengalami kesulitan bermanuver naik untuk memasuki dan melewati simpang kariangau. Sehingga perlu adanya kajian lengan mana yang diprioritaskan serta menjajagi kemungkinan penggunaan teknik pengaturan sinyal ini yang dikombinasikan dengan teknik pengaturan simpang yang didesain tanpa sinyal. Namun, jika problem kapasitas terjadi pada lampu lalu-lintas, beberapa parameter berikut diperlukan untuk meningkatkan kapasitas :

1. Menghitung kembali waktu siklus optimum.
2. Mereview pengaturan fase optimum.
3. Menentukan pengaturan optimum untuk arus pejalan kaki.
4. Meningkatkan kapasitas jalur *approach* dan *exit*, dan menyediakan jalur *turning movement*.

4.3 Gambar Desain Simpang

Gambar desain simpang ini merupakan hasil rekayasa geometrik penanganan simpang yang di usulkan dalam rangka peningkatan kinerja simpang kariangau. Desain geometrik ini bertujuan mengatur konflik-konflik primer maupun sekunder yang menjadi penyebab tingginya tingkat kecelakaan yang terjadi di simpang kariangau.

penambahan lajur, pembuatan *speed trap*, pembuatan pulau/separator, dan pengaturan *taper*. Pengaturan pergerakan kendaraan dengan pembuatan lajur menerus dan *speed trap* diharapkan mampu meredam laju kendaraan dari masing-masing lengan sehingga mampu memperkecil resiko konflik atau benturan saat melakukan proses *merging* antar kendaraan, sedangkan *taper* diharapkan akan memperlancar pergerakan kendaraan yang belok kiri sehingga tidak mengganggu pergerakan kendaraan menerus dan belok kanan. Dengan metode diatas diharapkan tingkat pelayanan simpang kariangau dapat lebih baik lagi dan mampu menurunkan tingginya potensi kecelakaan yang terjadi selama ini sehingga faktor keselamatan pengguna jalan pada simpang ini dapat lebih ditingkatkan.

5.2 Saran

Perlu untuk mengkaji kinerja simpang lebih lanjut dengan melakukan rekayasa alinyemen vertikal terutama pada lengan dari arah Kariangau dengan memperbaiki *grade* lajur dari kendaraan pada saat memasuki simpang.

PUSTAKA

1. Media Teknik Consultant, CV (2006), **Laporan Akhir Studi Peningkatan Kinerja Simpang Kariangau Km 5,5 Kota Balikpapan**, subdin Bina Marga, Balikpapan.
2. Susilo, B.H. (1993), **Survei dan Karakteristik Lalu Lintas**, Diktat Kuliah Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

^[1] Disampaikan dalam *Simposium IX Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Universitas Brawijaya - Malang, 17 – 18 November 2006

^[2] **Budi Hartanto S.**, Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

^[3] **Apriyanto Loentan**, Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

STUDI PERMODELAN BANGKITAN PERJALANAN DI PERKOTAAN

Oleh : Robby Gunawan Yahya ^[1]

ABSTRAK

Pertambahan penduduk meningkatkan kebutuhan akan perumahan, sarana/keperluan kota, serta transportasi dan komunikasi. Semua peningkatan tersebut membutuhkan ruang yang dapat menampung kegiatan-kegiatan penduduk dalam ruang perkotaan yang terbatas. Keterbatasan lahan perkotaan menyebabkan harga lahan di perkotaan, terutama di pusat kota menjadi mahal, akibatnya kegiatan-kegiatan perkotaan banyak bermunculan di pinggiran kota, lalu terjadi perluasan kota. Namun demikian, perluasan kota yang tidak diikuti dengan pengembangan infrastruktur, dapat mengakibatkan timbulnya permasalahan-permasalahan, salah satunya adalah masalah transportasi.

Kata kunci : Pertambahan penduduk, Perkotaan, Infrastruktur.

ABSTRACT

Population growth will increase demand about house, city facilities, transportation and communications. The increasing need of those things will also increase the need of public space that can accommodate the activities of the inhabitants whereas the areas are limited. This conditions cause the land value will rise, especially in the city center, so that many activities are held in sub urban and will cause town expansion. On the other hand, town expansion which is not followed by infrastructure development will cause many problems and one of them is related to transportation.

Keywords : Population growth, City, Infrastructure.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan meningkatnya kepadatan penduduk perkotaan, maka jumlah perjalananpun juga semakin meningkat. Apabila peningkatan tersebut tidak diikuti dengan penambahan jalan, akan mengakibatkan terjadinya ketimpangan antara penyediaan dan permintaan. Untuk mengantisipasi kebutuhan dan memperhitungkan beban, diperlukan studi tentang bangkitan perjalanan dan perumahan. Banyaknya pergerakan dan perumahan dipengaruhi oleh faktor pendapatan, pemilihan kendaraan, jumlah penduduk, serta struktur pekerjaan penduduk. Keterkaitan faktor-faktor tersebut dapat digambarkan dalam suatu model perjalanan penduduk.

Seiring dengan pertambahan penduduk dan perkembangan kota, jalan jalan utamanya telah mengubah lahan pertanian di sepanjang jalan menjadi lahan terbangun, salah satunya adalah perumahan. Munculnya perumahan-perumahan tersebut akan menambah

jumlah pergerakan yang dapat mengganggu arus lalu lintas menerus yang kemudian dapat menurunkan tingkat pelayanan jalan. Penurunan tingkat layanan tersebut berlangsung pada macetnya lalu lintas jalan, terutama pada saat jam puncak pagi maupun sore. Adanya bangkitan pergerakan penghuni perumahan dapat mengganggu arus lalu lintas menerus yang kemudian dapat berpengaruh pada tingkat pelayanan jalan utama di perkotaan. Untuk itu perlu dikaji bagaimana kontribusi pergerakan penghuni perumahan terhadap pelayanan jalan utama di perkotaan.

1.2 Permasalahan

Bahwa pembangunan jalur angkutan terutama jalur jalan darat dengan mudah dapat mengubah tata guna lahan yang ada. Jalan utama di perkotaan telah mengubah lahan di sepanjang jalan dari lahan pertanian menjadi lahan terbangun diantaranya perumahan. Munculnya perumahan-perumahan di sepanjang jalan akan menambah jumlah pergerakan, dimana pergerakan ini dapat mengganggu lalu lintas menerus, yang kemudian dapat menurunkan tingkat pelayanan jalan. Penurunan tingkat layanan tersebut berlangsung sampai pada macetnya lalu lintas jalan, terutama pada saat jam sibuk.

Sementara itu, pemerintah daerah diduga tidak dapat memperkirakan dampak jalan sebagai jalan arteri primer, jika di sepanjang jalan tersebut dibangun perumahan-perumahan. Salah satu penyebabnya adalah tidak adanya standar untuk menghitung jumlah pergerakan yang akan dihasilkan oleh suatu perumahan.

2. PEMODELAN BANGKITAN PERJALANAN

2.1 Bangkitan Perjalanan

Penelaahan bangkitan perjalanan merupakan hal yang penting dalam proses perencanaan perangkutan, karena dengan mengetahui bangkitan perjalanan, maka jumlah perjalanan tiap *trip* zona pada masa yang akan datang dapat diperkirakan.

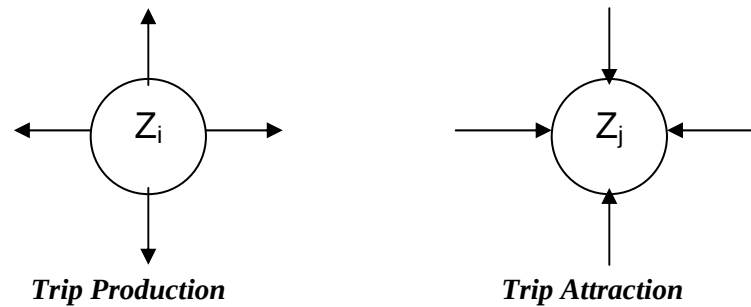
Bangkitan perjalanan adalah banyaknya perjalanan yang ditimbulkan oleh suatu zona atau daerah per satuan waktu. Waktu perjalanan bergantung pada kegiatan kota, karena penyebab perjalanan adalah adanya kebutuhan manusia untuk melakukan kegiatan dan mengangkut barang kebutuhannya.

Setiap suatu kegiatan pergerakan mempunyai zona asal dan tujuan, dimana asal merupakan zona yang menghasilkan perilaku pergerakan, sedangkan tujuan adalah zona yang menarik pelaku kelakuan kegiatan. Jadi terdapat dua pembangkit perjalanan, yaitu :

1. *Trip Production* = jumlah perjalanan yang dihasilkan suatu zona

2. *Trip Attraction* = jumlah perjalanan yang ditarik oleh suatu zona

Trip production digunakan untuk menyatakan bangkitan perjalanan zona perumahan, dan *trip production* digunakan untuk menyatakan bangkitan perjalanan pada saat sekarang, sehingga dapat digunakan untuk melakukan prediksi di masa mendatang.



Gambar 1 : Trip Production Dan Trip Attraction

1. Jenis-Jenis Perjalanan

Beberapa definisi yang dapat membantu dalam menjelaskan jenis-jenis perjalanan adalah (Willumsen, 1990 : 114) :

- Perjalanan didefinisikan sebagai suatu perjalanan satu arah dari titik asal ke titik tujuan. Biasanya diprioritaskan pada perjalanan yang menggunakan moda kendaraan bermotor.
- Perjalanan *Home-Based*, yaitu perjalanan yang menunjukkan bahwa rumah dan pembuat perjalanan merupakan asal dan tujuan dari perjalanan.
- Perjalanan *Non Home-Based*, yaitu suatu perjalanan yang menunjukkan bahwa salah satu tujuan dari perjalanan bukanlah rumah pelaku perjalanan.
- Produksi perjalanan (*Trip Production*), merupakan perjalanan yang didefinisikan sebagai awal dan akhir dari sebuah perjalanan *Home-Based* atau sebagai awal dari sebuah perjalanan *Non Home-Based*.
- Tarikan perjalanan (*Trip Attraction*), perjalanan ini didefinisikan sebagai perjalanan yang tidak berakhir di rumah bagi perjalanan yang bersifat *Home-Based* atau sebagai tujuan dari suatu perjalanan *Non Home-Based*.
- Bangkitan perjalanan (*Trip Generation*), didefinisikan sebagai total jumlah perjalanan yang ditimbulkan oleh rumah tangga dalam suatu zona, baik *Home Based* maupun *Non Home-Based*.



Sumber : Willumsen, 1990:115 (1990) hal.115

Gambar 2. Jenis-Jenis Perjalanan

2. Klasifikasi Pergerakan

Klasifikasi pergerakan terdiri dari (Willumsen, 1990 : 114) :

a. Maksud Perjalanan

Dalam kasus perjalanan *Home-Based*, terdapat lima kategori tujuan pergerakan, yaitu pergerakan kerja, pergerakan sekolah, pergerakan belanja, pergerakan sosial dan rekreasi, serta pergerakan lainnya

b. Karakteristik Orang

Klasifikasi lainnya adalah perilaku perjalanan individu. Perilaku ini dipengaruhi oleh karakteristik sosial dan ekonomi. Kategori yang digunakan adalah tingkat pendapatan, kepemilikan mobil, ukuran rumah tangga (jumlah anggota keluarga).

3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Jumlah Pergerakan

Faktor – faktor yang mempengaruhi jumlah pergerakan menurut beberapa literature adalah :

- Faktor-faktor yang biasanya diusulkan untuk pertimbangan dalam beberapa studi perjalanan rumah tangga adalah pendapatan, kepemilikan mobil, struktur rumah tangga, ukuran rumah tangga (Willumsen, 1990:116).
- Faktor yang mempengaruhi produksi pergerakan adalah kondisi sosial ekonomi, seperti banyaknya anggota keluarga yang bekerja dan penghasilan keluarga, pola guna lahan dan pembangunan, serta daya hubung (Daniel & Warners, 1980 : 187-188).
- Faktor yang mempengaruhi bangkitan perjalanan adalah tipe rumah, luas perumahan, jumlah unit rumah, dan ketersediaan fasilitas sosial di dalam perumahan.

- d. Berdasarkan analisa perjalanan penduduk pada beberapa lingkungan perumahan di Kotamadya Bandung adalah pemilikan kendaraan, jumlah jiwa yang berusia di atas 5 tahun, serta jarak dari lintas angkutan umum.

2.2 Permodelan Transportasi

Untuk mengidentifikasi perilaku permintaan terhadap jasa transportasi, maka perlu dilakukan penyederhanaan sistem transportasi dalam bentuk permodelan sistem transportasi. Dalam rangka menemukan perilaku perkembangan aspek pergerakan dalam sistem transportasi, secara konvensional terdapat 4 tahapan utama permodelan (Morlok, 1991:461-463). Keempat tahapan tersebut dapat digambarkan, seperti di bawah ini :

Ramalan Tata Guna Lahan



Trip Generation



Trip Distribution



Modal Split



Trip Assignment

Sumber : Morlok, 1979 : 463

Gambar 3. Proses Peramalan Perjalanan

1. Tahap pertama adalah peramalan pola tata guna lahan untuk masa mendatang, yang menggambarkan kegiatan manusia melalui jumlah setiap kegiatan pada daerah yang lebih kecil yang disebut zona.
2. Dengan dasar tersebut perjalanan yang berasal dan menuju ke setiap zona akan diperkirakan, dimana cara ini disebut analisis pembangkit perjalanan (*Trip Generation*).
3. Kemudian tempat asal perjalanan dikaitkan dengan dengan beberapa tempat tujuan yang berbeda-beda, yang biasa disebut distribusi perjalanan (*Trip Distribution*).

4. Apabila tempat asal dan tujuan diketahui, maka berbagai moda alternatif dapat diperbandingkan untuk menentukan kemungkinan moda perjalanan (Modal Split) serta memilih rute tertentu yang akan digunakan, yang disebut penentuan lalu lintas (*Trip Assignment*).

Selain 4 tahapan permodelan diatas, untuk mengidentifikasi perilaku permintaan terhadap jasa transportasi, maka dapat dilakukan dengan permodelan disagregat dan agregat. Model disagregat merupakan fungsi permintaan untuk memperkirakan respon konsumen yang berbeda untuk memilih berbagai tingkat pelayanan transportasi. Aplikasi model ini dalam menjelaskan perilaku individu konsumen sangat tergantung pada tujuan, ketersediaan sumber daya, teknologi, dan kondisi ekonomi. Dengan demikian, dalam menentukan pemilihan moda maka variabel yang diperhatikan adalah tingkat layanan moda (waktu tempuh, *cost*), jarak, kondisi ekonomis (Manheim, 1979:91).

Pengguna potensial sistem transportasi dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria yang berbeda-beda. Mereka termasuk satu kelompok dengan preferensi dan karakteristik sangat mirip serta mempunyai respon yang sama terhadap perubahan dalam transport, sementara pada saat yang bersamaan tiap kelompok tersebut mempunyai perbedaan satu sama lain (Manheim, 1979:114).

Pembentukan segmen/kelompok penumpang/orang dalam transportasi dapat diklasifikasikan berdasarkan pendapatan, jumlah mobil per keluarga, ukuran rumah tangga (jumlah anggota keluarga), stage in family life cycle, kondisi geografi (apakah pinggir jalan tol, pinggir jalan arteri, dsb), serta tujuan perjalanan (Manheim, 1979:115). Respon masyarakat penghuni perumahan terhadap kondisi transportasi yang ada dapat dikatakan sebagai besarnya pergerakan.

Untuk mengestimasi besarnya pergerakan dari suatu perumahan, digunakan model bangkitan perjalanan, yang biasanya dianalisis berdasarkan zona. Untuk menentukan model bangkitan perjalanan diperlukan data-data mengenai tata guna tanah (variabel X) dan data *trip production* (Y).

Model analisis bangkitan perjalanan yang biasanya digunakan adalah analisis regresi. Teknik ini adalah suatu teknik yang dapat digunakan untuk menghasilkan hubungan dalam bentuk numerik dan untuk melihat bagaimana dua variabel (*simple regresi*) atau lebih (*multiple regresi*) saling berkaitan. Teknik ini akan menghasilkan model bangkitan perjalanan.

Model untuk *simple linear regression* adalah :

$$Y = a + b X \quad (1)$$

Model untuk *multiple linear regression* adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n \quad (2)$$

Keterangan : Y = variabel tidak bebas

X = variabel bebas

b = koefisien regresi

a = konstanta

2.3 Tinjauan terhadap Kinerja Jalan

Kinerja jalan merupakan kinerja suatu sistem jaringan jalan dalam melayani pergerakan. Biasanya dalam menilai kinerja jalan dilakukan dengan melihat fungsi dan hirarki jalan, serta tingkat pelayanan jalan (LOS = *Level of Service*).

2.3.1 Tinjauan terhadap Fungsi dan Hirarki Jalan

Salah satu cara pengklasifikasian jalan, yaitu berdasarkan fungsinya. Jalan memiliki 2 fungsi, yaitu menyelenggarakan pergerakan yang bersifat menerus, serta merupakan akses ke guna lahan sekitarnya. Berdasarkan kedua fungsi tersebut maka jalan dikelompokkan menjadi jalan arteri, jalan kolektor, dan jalan lokal.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 1980 tentang Jalan, pengertian tentang jalan dari ketiga kelompok tersebut adalah sebagai berikut :

1. Jalan arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama, dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
2. Jalan kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan/pembagian, dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. Jalan lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat, dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

2.3.2 Tinjauan terhadap Tingkat Pelayanan Jalan

Peningkatan jumlah pergerakan dari perumahan menyebabkan menurunnya tingkat pelayanan jalan. Untuk itu perlu dilakukan tinjauan terhadap tingkat pelayanan jalan.

Tingkat pelayanan jalan (*Level of Service*) merupakan suatu ukuran kualitatif yang menggambarkan kondisi operasi lalu lintas pada suatu potongan jalan. Dengan kata lain merupakan suatu ukuran untuk menyatakan kualitas pelayanan yang disediakan oleh suatu

jalan dalam kondisi tertentu. Tingkat pelayanan jalan dinilai dari perbandingan volume lalu lintas dengan kapasitas jalan (V/C).

Tingkat pelayanan jalan ditentukan dalam suatu interval yang terdiri dari 6 tingkat (Morlok, 1978:212). Tingkatan itu terdiri dari A, B, C, D, E, dan F. Tingkat pelayanan paling baik adalah A, sedangkan paling buruk adalah F. Untuk lebih jelasnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan	V/C	Karakteristik
A	$< 0,60$	Arus bebas, volume rendah, kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang dikehendaki
B	$0,60 < V/C < 0,70$	Arus stabil, kecepatan sedikit terbatas oleh lalu lintas, pengemudi masih dapat memilih kecepatan yang dikehendaki
C	$0,70 < V/C < 0,80$	Arus stabil, kecepatan dikontrol oleh lalu lintas
D	$0,80 < V/C < 0,90$	Arus mulai tidak stabil, kecepatan rendah
E	$0,90 < V/C < 1$	Arus tidak dtabil, kecepatan rendah dan berbeda-beda, volume mendekati kapasitas
F	> 1	Arus yang terhambat, kecepatanrendah, volume di atas kapasitas, sering terjadi kemacetan pada waktu yang cukup lama sehingga kecepatan dapat turun menjadi nol

Sumber : Morlok, 1988 : 213

3. KESIMPULAN

Kesimpulan hasil penelitian yang berkenaan dengan pemodelan dan kontribusi bangkitan pergerakan perumahan terhadap tingkat pelayanan jalan di perkotaan, sebagai berikut :

1. Perlunya ditentukan variable-variabel yang mempengaruhi pergerakan penduduk dari perumahan, misalnya: jumlah pemilikan mobil (X1), jumlah pemilikan motor (X2), jumlah anggota keluarga (X3), jumlah anggota keluarga yang bekerja (X4), dan jumlah anggota keluarga yang sekolah (X5).
2. Model Bangkitan Pergerakan dapat ditentukan dari hasil perhitungan statistik dengan menggunakan Metode Regresi *Backward*.
3. Kontribusi Pergerakan
Bahwa jumlah bangkitan pergerakan dapat menggambarkan kontribusi pergerakan penghuni perumahan terhadap pelayanan jalan di sekitarnya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan secara teoritis bahwa bangkitan pergerakan penghuni perumahan berpengaruh terhadap pelayanan jalan utama di perkotaan, dan menjadi suatu model bangkitan perjalanan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Black, John., 1981, *Urban Transport Planning : Theory and Practice*, Croom Helm, London.
2. Hadjisarosa, Purnomosidi., 1979, *Studi Manajemen Lalu Lintas*, Sub.Dit. Perencanaan Jalan Kota, Dit.Pras. Dit.Jen. Bina Marga, Jakarta.
3. Kusbiantoro, BS., 1997, *Arah Kebijakan Transportasi Perkotaan*, Bunga Rampai Perencanaan Pembangunan di Indonesia, PT. Gramedia, Jakarta.
4. Manheim, Marvin L., 1979, *Fundamental of Transportation System Analysis, Volume I : Base Concept*, The MIT Press, New York.
5. Morlok, Edward K., 1991, *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Erlangga, Jakarta.
6. Tamin, Ofyar Z., 1997, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, ITB, Bandung.
7. Warpani, Suwardjoko., 1990, *Merencanakan Sistem Perangkutan*, ITB, Bandung.
8. Willumsen, Luis G., 1990, *Modelling Transport*, John Willey, England.
9. _____, 1980, *Undang-Undang RI Nomor 13 Tahun 1980 tentang Jalan*, Dep. PU, Dirjen Bina Marga.
10. _____, *Peraturan Pemerintah RI Nomor 26 Tahun 1985 tentang Jalan*.

^[1] **Robby Gunawan Yahya, Drs., Ir., MT.**, Dosen Kopertis Wilayah IV dpk pada Universitas Langlangbuana Bandung.

INDEKS PENGARANG JURNAL TEKNIK SIPIL VOLUME 3 NOMOR 1

Alfredo Satyanaga Nio. *Characteristics of Pore-Water Pressure Response In Slopes During Rainfall*. Vol 3. No. 1 April 2007: 1-13

Arusmalem Ginting. *Pengaruh Kadar Air dan Jarak Antar Paku Terhadap Kekuatan Sambungan Kayu Kelapa*. Vol 3. No. 1 April 2007: 28-40

Budi Hartanto Susilo, Apriyanto Loentan. *Alternatif Pemecahan Masalah Pada Simpang Tiga Kariangau - Soekarno Hatta KM 5.5, Balikpapan Ditinjau Pada Kondisi Geometrik*. Vol 3. No. 1 April 2007: 75-91

Maksum Tanubrata. *Fire Safety Design in Building*. Vol 3. No. 1 April 2007: 41-53

Olga Pattipawaej, Budiarto. *Respon Struktur Dua Derajat Kebebasan dengan Kekakuan Sebagai Parameter Ketidakpastian*. Vol 3. No. 1 April 2007: 14-27

Robby Gunawan Yahya. *Studi Permodelan Bangkitan Perjalanan di Perkotaan*. Vol 3. No. 1 April 2007: 92-100

Tan Lie Ing, Indra Rachman Efendi. *Evaluasi Kinerja Jalan Jendral Ahmad Yani Depan Pasar Kosambi Bandung*. Vol 3. No. 1 April 2007: 54-74

PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

1. Jurnal Teknik Sipil UKM merupakan jurnal ilmiah, hasil penelitian, atau studi literatur disertai analisis ilmiah dalam bidang teknik sipil.
2. Tulisan harus asli dan belum pernah dipublikasikan sebelumnya, dikirim dengan mencantumkan kelompok bidang keahlian dalam teknik sipil.
3. Apabila pernah dipresentasikan dalam seminar, agar diberi keterangan lengkap.
4. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris yang benar, singkat, jelas dilengkapi dengan abstrak dan kata kunci dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
5. Naskah ditulis pada kertas A4, menggunakan Microsoft® Word dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Judul ditulis dengan huruf kapital, **TIMES NEW ROMAN**, ukuran 13, huruf tebal.
 - b. Abstrak ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 10, spasi 1, demikian juga dengan kata kunci.
 - c. Isi naskah ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 11, spasi 1.5.
 - d. Jumlah halaman beserta lampiran minimal 10 halaman, maksimal 20 halaman.
 - e. Jumlah halaman untuk lampiran maksimal 20% dari jumlah halaman total.
 - f. Nama penulis ditulis tanpa pencantuman gelar akademik.
 - g. Penulisan sub bab disertai nomor, contoh :
 - 1. HURUF KAPITAL**
 - 1.1 Huruf Biasa**
 - h. Gambar diberi nomor dan keterangan gambar ditulis dibawah gambar.
 - i. Tabel diberi nomor dan keterangan tabel ditulis diatas tabel.
 - j. Daftar pustaka ditulis dengan format sebagai berikut :
 1. Timoshenko, S.P, Young, D.H. (1995), *Theory of Structures*, McGraw Hill Book Co, New York.
 - k. Kata-kata asing (jika naskah ditulis dalam bahasa Indonesia) dicetak *miring*.
6. Menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :
 - a. Judul Naskah.
 - b. Nama penulis utama, penulis pembantu.
 - c. Abstrak dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
 - d. Kata kunci.
 - e. Pendahuluan (berisi latar belakang, tujuan, ruang lingkup, dan metodologi).
 - f. Isi (Tinjauan pustaka, data, pembahasan).
 - g. Penutup (Kesimpulan, saran dan daftar pustaka).
7. Naskah dikirim dalam bentuk cetakan di kertas A4 beserta *file* dalam CD-ROM, atau dapat dikirim dalam bentuk *file* via E-mail.
8. Naskah yang masuk redaksi akan ditinjau oleh penelaah ahli dalam bidangnya sebelum diterbitkan.
9. Jurnal direncanakan terbit 2x dalam setahun pada bulan April dan Oktober.