

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGUKURAN MODULUS ELASTIS DINAMIK MUTU BETON
PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODE SASW
(SPECTRAL ANALYSIS OF SURFACE WAVE)**



Disusun Oleh :

KURNIWAN SUHARTOMO

2000 011 0064

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR

STUDI PENGUKURAN MODULUS ELASTIS DINAMIK MUTU BETON PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODE SASW (*SPECTRAL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Disusun Oleh :

KURNIAWAN SUHARTOMO

2000 011 0064

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

STUDI PENGUKURAN MODULUS ELASTIS DINAMIK MUTU BETON
PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODE SASW
(SPECTRAL ANALYSIS OF SURFACE WAVE)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Disusun Oleh :

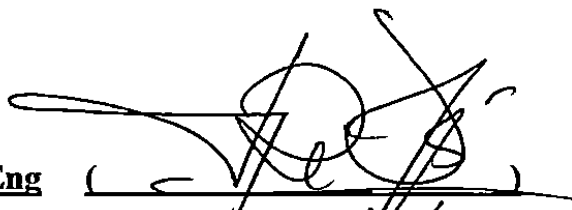
NAMA : KURNIAWAN SUHARTOMO

No Mhs : 2000 011 064

Telah disetujui dan disahkan oleh Tim Penguji :

Sri Atmaja PJNNR, ST, M. Sc.C Eng, P Eng


Dosen Pembimbing I / Ketua Tim Penguji


Tanggal : 23/05/05

Ir. Gendut Hantoro, MT

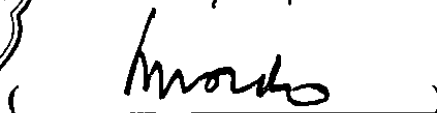
Dosen Pembimbing II / Anggota Tim Penguji




Tanggal : 23/05/05

Ir. Wahyu Widodo, MT

Anggota Tim Penguji


Tanggal : 23/05/05

Semakin banyak kesulitan dan derita yang engkau rasakan dalam menuntut ilmu pengetahuan akan semakin berharga ilmu pengetahuan itu dalam hidup dan kehidupan

(Maulana Taziz J.C. Z)

Don't worry be your self, Positive Thinking, What Ever will Be Life must be go on.....

(myself)

Hanya penderitaan hidup yang mengajarkan manusia untuk menghayati kebahagiaan dan kebahagiaan serta kebagusan hidup

(Af-Jlatist)

Barang siapa membertarkan kemudahan kepada orang yang sedang kesulitan, maka Allah akan memudalikannya di dunia dan akhirat

(J.F. Gukfion)

Jadilah siolot dan sabar sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang beriman

(Q.S Al-Baqoroh : 45)

MOTTO

HALAMAN PERSEMBAHAN

Telah usai salah satu tugas penting dalam hidupku, dan ku persembahkan skripsiku ini kepada

Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, yang selalu mendo'akanku, memberikan motivasi dan

segala sesuatunya serta memberikan petuah-petuah bijak dalam menyikapi kehidupan ini,

Adikku tersayang dan tercinta,

seluruh keluarga besar Drs H. Sutomo

Agamaku (Al Qur'an dan Al Hadist),

tempatku meratap, bersedih, mengiba, menangis dan bahagia, juga sumber inspirasiku dan

ideku, waktuku, malamku, ragaku dan jiwaku

Teruntuk Adik sekaligus Kekasih hatiku Nur Lailatul Fitria, yang memberikan waktu dan

semangatnya kepadaku semoga Allah membahagiakan kita semua Amin

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji dan syukur atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dengan Judul “ Studi Pengukuran Mutu Beton Melalui Modulus Elastis Dinamik Slab Beton Perkerasan Kaku Menggunakan metode SASW (*Spectral Analysis of Surface Wave*)”.

Terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu baik moril maupun materiil dari awal sampai akhir penyelesaian tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Gendut Hantoro, MT, selaku Dosen Pembimbing I, yang dengan kerelaan dan kesabarannya memberikan banyak arahan, bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Sri Atmaja Putra JNNR, ST, M.Sc.C Eng,P Eng, selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama pembuatan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wahyu Widodo, MT selaku Dosen Penguji.
4. Ayahanda tercinta Drs H. Sutomo dan Ibunda Srie Hartati, atas segala ketulusan kasih sayang dan arahan waktu dan tenaga serta dukungan

5. Adikku Angga Suhartomo yang sering menemaniku nonton tv saat lagi suntuk
6. Untuk kekasihku Nur Lailatul Fitria, atas ketulusannya telah memberikan do'a dan motivasi yang sangat berarti
7. Keluarga Besar Toko Besi " Wido Martono " dan keluarga besar Harto Suminto atas bantuan mencari bahan penelitian ini.
8. Teman-temanku Angkatan 2000 (TTC.Com), Mas Rusdan, Mas Dodo, P-man Herman, Om Jati, Topik, Eko Kz, Purwaka, Endar, Edris Sardi, Epo Zhazida, Kemul Nafis, Budi Gunawan, Ari 'TM' Wibowo, Haryo L, Tintin Ririn, Om Roni, Adri 'Nanda', Yuswendra, Aris S, Dadi, Puguh, Mbak Puji, Rossi, Phitenx, Ismi.
9. Teman-temanku di kost " Moksibasi ", Agus'Egus'Kurniawan inget *The Next Door* , Paryono si calon Dokter, Budi Gunawan ST, Bondan, Bapak Kost beserta Ibu.
10. Teman-temanku di KABISAT, mas Tutug, Tyas, jangan patah semangat, latihan terus, bikin demo, dan berdo'a semoga ada *Mayor Label* yang mau memproduksi lagu kita.
11. Teman-temanku TIM SASW RIGID yang stay on road with mi, Mas Wendy Artiyanto, Mas Eko Rahadi Nurtanto, Mas Sigit 'COMMANDO' Sunarjati (kalian adalah sohibku yang selalu mensupport aku dalam suka dan duka,thanks ya, Kita ber4 ini adalah tiang statif berkaki 4)

12. Teman-teman TA SASW Mas G... El... G... D... N... C...

13. Motor TIGER 2000 CW ku, maaf ya belum diserviskan, kamu telah banyak membantu dan menemaniku, ga pa pa khan, besok aku gantikan olie Repsol
Ok...

14. Dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih kurang sempurna, maka semua kritik dan saran yang bersifat membangun akan selalu diterima dengan senang hati. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat terutama bagi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR SIMBOL	xviii
INTISARI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jenis Perkerasan	5
2.2 Konstruksi Perkerasan Kaku	5

2.3	Gelombang Seismik.....	7
2.3.1	Gelombang Primer (Gelombang P).....	7
2.3.2	Gelombang Sekunder (Gelombang S)	7
2.3.3	Gelombang Love (Gelombang L).....	8
2.3.4	Gelombang Rayleigh (Gelombang R).....	9
2.4	Sejarah dan Perkembangan SASW	11
2.5	Analisis Data Seismik Dengan Menggunakan Metode SASW ...	13
2.5.1	Analisis FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>).....	13
2.5.2	Fungsi Spektrum Dalam SASW	14
2.5.3	Prosedur Analisis SASW	14
2.6	Studi Mengenai Metode SASW yang Berkaitan Dengan Perkerasan Jalan	14
BAB III LANDASAN TEORI		16
3.1	Analisis Frekuensi	16
3.1.1	Spektrum Tenaga Auto (<i>Auto Power Spectrum</i>).....	17
3.1.2	Spektrum Tenaga Silang (<i>Cross Power Spectrum</i>).....	17
3.1.3	Fungsi Perpindahan (<i>Transfer Function</i>).....	18
3.1.4	Fungsi Koheren (<i>Coheren Function</i>).....	19
3.2	Pembuatan Kurva Penyebaran Kecepatan Fase	20
3.3	Proses Rata-Rata Kecepatan	21
3.4	Proses Inversi	23
3.5	Perhitungan Modulus Geser (<i>G</i>) dan Modulus Elastisitas (<i>E</i>)	25

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	27
4.1 Tahapan Penelitian	27
4.2 Cara Penelitian	32
4.2.1 Variabel Penelitian.....	32
4.2.2 Prosedur Pengambilan Data	33
4.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	34
4.3.1 Alat Penelitian	34
4.3.2 Bahan Penelitian Untuk Pembuatan Model Fisik Beton.....	38
4.4 Cara Analisis Data Seismik	39
4.4.1 Metode Analisis FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>).....	39
4.4.2 Metode Penyaringan dan Penyembunyian	40
4.4.3 Pembentukan Kurva Penyebaran	42
4.4.4 Proses Inversi.....	45
4.4.5 Perhitungan Modulus Geser dan Modulus Elastis.....	46
4.4.6 Profil Akhir.....	46
4.4.7 Uji Statistik.....	47
4.5 Uji Tekan Beton Pada Sampel Silinder Beton	48
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	50
5.1 Analisis Data	50
5.1.1 Data Seismik.....	50
5.1.2 Proses Spektrum dan FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>)	51
5.1.3 Analisis Spektrum.....	51

5.1.3.1	Perhitungan Kecepatan Fase	54
5.1.3.2	Proses Penyembunyian (<i>Masking Process</i>)	56
5.1.4	Kurva Dispersi	56
5.1.4.1	Kurva Penyebaran Eksperimen Individu (<i>Individual Experimental Dispersion Curve</i>)...	56
5.1.4.2	Kurva Eksperimen Gabungan (<i>Composite Experimental Dispersion Curve</i>).....	57
5.1.4.3	Analisis Kurva Gabungan	58
5.1.5	Proses Inversi.....	59
5.1.5.1	Profil Akhir	61
5.1.5.2	Perhitungan Modulus Geser, Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan.....	66
5.2	Pembahasan.....	82
5.2.1	Karakteristik Nilai Kuat Tekan Beton (f_c) dari Pengujian SASW Dengan Pengujian Di Laboratorium ..	82
5.2.2	Karakteristik Nilai Modulus Elastisitas Dinamik Beton (E_{dc}) dari Pengujian SASW Dengan Estimasi dari Pengujian Di Laboratorium	88
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		95
6.1	Kesimpulan	95
6.2	Saran	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur perkerasan kaku (<i>Rigid Pavement</i>) (Departemen P.U, 1998)	6
Gambar 2.2 Jenis gelombang badan (<i>body wave</i>) (a) gelombang primer (P), (b) gelombang sekunder (S) (Bolt, 1976)	8
Gambar 2.3 Gelombang Love dan arah perambatannya (Bolt, 1976)	9
Gambar 2.4 Bentuk perambatan gelombang Rayleigh (Bolt, 1976)	10
Gambar 2.5 Sifat gelombang Rayleigh yang merambat di permukaan media yang berlapis (Rosyidi et al., 2002)	11
Gambar 3.1 Hubungan antara nilai Poisson dengan kecepatan gelombang Rayleigh	25
Gambar 4.1 Sketsa permodelan fisik perkerasan kaku	28
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian	29
Gambar 4.3 Bagan alir pengambilan data pada uji SASW di lapangan	33
Gambar 4.4 (a) <i>Ballbearing</i> , dan (b) palu besi yang digunakan sebagai pembangkit gelombang	35
Gambar 4.5 Dua buah sensor, korek api dan silicon	36
Gambar 4.6 Set akusisi <i>Harmonie 01 db</i> dan sebuah laptop	37
Gambar 4.7 <i>Harmoni Spectral Analyzer</i>	37
Gambar 4.8 Perangkat <i>Notebook</i>	38

Gambar 4.9 Proses penyembunyian (<i>masking</i>) untuk data yang jelek (Rosyidi, 2004)	41
Gambar 4.10 Kurva penyebaran eksperimen individu	44
Gambar 4.11 Kurva eksperimen gabungan dari kurva eksperimen individu	45
Gambar 4.12 Contoh profil akhir jalan dengan menggunakan metode SASW (Rosyidi, 2004)	47
Gambar 4.13 Proses pengujian kuat tekan silinder beton	49
Gambar 5.1 Data analog gelombang yang diterima oleh sensor 1 dan 2 yang ditampilkan dalam uit akusisi	50
Gambar 5.2 Tampilan (a) <i>auto power spectrum</i> sensor 1, (b) <i>auto power spectrum</i> sensor 2, (c) <i>cross power spectrum</i> , (d) <i>transfer function</i> dan (e) <i>coheren function</i>	52
Gambar 5.3 Spektrum fase fungsi transformasi yang digunakan untuk membuat kurva penyebaran. (a) <i>wrapped</i> dan (b) <i>unwrapped</i>	55
Gambar 5.4 Tampilan kurva penyebaran eksperimen individu untuk mutu beton K175 umur 10 hari dengan jarak sensor 15 cm	57
Gambar 5.5 Tampilan kurva gabungan untuk mutu beton K175 umur 10 hari dengan jarak sensor 10 cm, 15 cm, dan 30 cm.	58
Gambar 5.6 Tampilan kurva penyebaran rata-rata global (<i>lobal average dispersion curve</i>) untuk mutu beton K175	58
Gambar 5.7 Grafik hubungan kecepatan gelombang <i>phase</i> (V_{ph}) dan panjang gelombang (λ) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	62

Gambar 5.8 Grafik hubungan kecepatan gelombang geser (V_s) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	63
Gambar 5.9 Grafik hubungan kecepatan gelombang <i>phase</i> (V_{ph}) dan panjang gelombang (λ) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	64
Gambar 5.10 Grafik hubungan kecepatan gelombang geser (V_s) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	65
Gambar 5.11 Grafik hubungan modulus elastis dinamik (E_{dc}) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	70
Gambar 5.12 Grafik hubungan kuat tekan (f_c) beton dan kedalaman (H) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	71
Gambar 5.13 Grafik hubungan modulus elastis dinamik (E_{dc}) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	72
Gambar 5.14 Grafik hubungan kuat tekan (f_c) beton dan kedalaman (H) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	73
Gambar 5.15 Grafik uji tekan silinder beton mutu beton K175	74
Gambar 5.16 Grafik uji tekan silinder beton mutu beton K225	75
Gambar 5.17 Grafik hubungan kuat tekan beton dari uji SASW dengan uji laboratorium untuk mutu beton K175	83
Gambar 5.18 Grafik hubungan kuat tekan beton dari uji SASW dengan uji laboratorium untuk mutu beton K225	86
Gambar 5.19 Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton dari uji SASW dengan nilai modulus elastisitas beton estimasi untuk mutu beton K175	89

<p>Gambar 5.20 Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton dari uji SASW dengan nilai modulus elastisitas beton estimasi untuk mutu beton K225</p>	<p>92</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Perhitungan gelombang geser (V_s) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	59
Tabel 5.2	Perhitungan gelombang geser (V_s) dan kedalaman (H) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	60
Tabel 5.3	Perhitungan nilai modulus geser (G), modulus elastisitas dinamik (E_{dc}) dan kuat tekan beton (f_c) untuk mutu beton K175 umur 10 hari tebal 20 cm	68
Tabel 5.4	Perhitungan nilai modulus geser (G), modulus elastisitas dinamik (E_{dc}) dan kuat tekan beton (f_c) untuk mutu beton K225 umur 10 hari tebal 20 cm	69
Tabel 5.5	Hasil uji tekan silinder beton untuk mutu beton K175 dan K225	74
Tabel 5.6	Perhitungan perbandingan kekuatan berbagai unsure menurut PBB1 1871	76
Tabel 5.7	Prediksi kuat tekan silinder beton umur 28 hari	77
Tabel 5.8	Contoh hitungan kecepatan gelombang geser (V_{ph}) estimasi untuk mutu beton K175	80
Tabel 5.9	Contoh hitungan kecepatan gelombang geser (V_{ph}) estimasi untuk mutu beton K225	81
Tabel 5.10	Nilai kuat tekan beton (f_c) dengan mutu beton K175	82
Tabel 5.11	Perbandingan kuat tekan beton dari SASW dengan kuat tekan beton dari laboratorium mutu K175	84

Tabel 5.12 Nilai kuat tekan beton (f_c) dengan mutu beton K225	85
Tabel 5.13 Perbandingan kuat tekan beton dari SASW dengan kuat tekan beton dari laboratorium mutu K225	87
Tabel 5.14 Nilai modulus elastisitas dinamik beton (E_{dc}) dengan mutu K175	88
Tabel 5.15 Perbandingan nilai modulus elastisitas dari SASW dengan modulus elastisitas dari laboratorium mutu K175	90
Tabel 5.16 Nilai modulus elastisitas dinamik beton (E_{dc}) dengan mutu K225	91
Tabel 5.17 Perbandingan nilai modulus elastisitas dari SASW dengan modulus elastisitas dari laboratorium mutu K225	93

DAFTAR SIMBOL

E	= modulus elastik dinamik
f	= frekuensi gelombang.
G	= modulus geser.
G_{xx}	= spektrum tenaga auto.
G_{xy}	= spektrum tenaga silang.
H	= kedalaman lapisan.
r	= rasio peningkatan tetap (<i>constant increment ratio</i>).
t	= waktu gelombang.
$\gamma^2(f)$	= nilai koheren.
V_R	= kecepatan gelombang R (Rayleigh).
V_s	= kecepatan gelombang geser.
\bar{x}	= rata-rata (<i>mean</i>)
μ	= angka poisson material.
γ	= berat jenis bahan.
λ	= panjang gelombang.
ϕ	= beda fase.

INTI SARI

Metode spectral-analysis-of-surface-wave (SASW) sebagai metode pengukuran lapangan tanpa merusak (in situ non-destructive testing) untuk mengukur nilai modulus elastisitas dinamik slab beton perkerasan kaku. Metode ini merupakan metode baru yang menggunakan prinsip penyebaran gelombang permukaan sehingga dapat menilai kualitas bahan beton yang sudah terpasang. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan pemodelan data seismik gelombang permukaan pada lapisan permukaan perkerasan kaku menggunakan metode SASW. Penelitian ini mengkaji kuat tekan beton (f_c) pada variasi mutu beton dan modulus elastisitas dinamik (E_{dc}) slab beton.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat model fisik perkerasan kaku slab beton yang terdiri dari dua jenis mutu yaitu mutu K 175 dan mutu K 225, dan dengan variasi kedalaman 20 cm, 30 cm, 40 cm dan 45 cm. Untuk pengambilan data dari model fisik perkerasan slab beton dilakukan berdasarkan variasi perawatan umur slab beton tersebut yaitu 3 hari, 7 hari, 10 hari, 14 hari, 17 hari dan 21 hari. Analisis data gelombang seismik yang berdomain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) secara otomatis. Proses inversi yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser menggunakan simple inversion method.

Dari hasil analisis model fisik perkerasan kaku didapatkan nilai rata-rata modulus elastis dinamik mutu K 175 berturut-turut 18,923 Gpa, 22,146 Gpa, 23,524 Gpa, 24,458 Gpa, 24,929 Gpa, 26,703 Gpa untuk pengujian umur 3, 7, 10, 14, 17 dan 21 hari. Untuk mutu K225 berturut-turut 24,931 Gpa, 27,524 Gpa, 28,229 Gpa, 29,431 Gpa, 29,503 Gpa dan 30,819 Gpa untuk pengujian umur 3, 7, 10, 14, 17 dan 21 hari. Nilai rata-rata kuat tekan beton pada mutu K 175 berturut-turut 93,524 kg/cm², 132,869 kg/cm², 143,753 kg/cm², 169,840 kg/cm², 183,958 kg/cm², 189.233 kg/cm² untuk pengujian umur 3, 7, 10, 14, 17 dan 21 hari. Untuk mutu K 225 berturut-turut 152.045 kg/cm², 194.817 kg/cm², 207.767 kg/cm², 225.395 kg/cm², 234.639 kg/cm², 247 149