

**ANALISIS EKSPERIMENTAL DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI
ARAH SERAT TERHADAP GETARAN BALOK KOMPOSIT SERAT
AGAVE BERMATRIKS EPOKSI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

SYAIFUL



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**ANALISIS EKSPERIMENTAL DAN NUMERIK PENGARUH VARIASI
ARAH SERAT TERHADAP GETARAN BALOK KOMPOSIT SERAT
AGAVE BERMATRIKS EPOKSI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Derajat Magister

Program Studi

Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Disusun dan diajukan oleh

SYAIFUL

KEPADA

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Eksperimental Dan Numerik Pengaruh Variasi Arah Serat Terhadap Getaran Balok Komposit Serat Agave Bermatriks Epoksi Dengan Metode Elemen Hingga

Nama Mahasiswa : Syaiful

Nomor Pokok : P2202211003

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Konstruksi Mesin

Menyetujui,
Komisi Penasehat

Prof. Dr . Ir. H. Hammada Abbas, MSME
Ketua

Dr. Ir. Johannes Leonard, DEA
Anggota

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, P.hD
NIP. 197203301995121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : SYAIFUL

NOMOR POKOK : P2202211003

PROGRAM STUDI : TEKNIK MESIN / KONSTRUKSI MESIN

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 10 Oktober 2013

Yang menyatakan,

SYAIFUL

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Oleh karena atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Salam dan shalawat kepada Rasulullah Muhammad SAW yang menjadi teladan kami dalam mengantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal akhirat dan duniawi.

Tesis yang berjudul ***“Analisis Eksperimental Dan Numerik Pengaruh Variasi Arah Serat Terhadap Getaran Balok Komposit Serat Agave Bermatriks Epoksi Dengan Metode Elemen Hingga”*** ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar magister pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Prof. Dr. Ir. H. Hammada Abbas, MSME, selaku ketua komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
2. Dr. Ir. Johannes Leonard, DEA, selaku anggota komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
3. Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin sekaligus sebagai Ketua Tim Penguji atas segala kemurahan dan waktunya dalam penyelesaian tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. H.A Syamsul Arifin P,ME, selaku Sekretaris Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini.
5. Dr. Rustan Tarakka, ST.,MT, selaku Anggota Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini.
6. Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya.

8. Bapak Rektor Universitas Hasanuddin

Semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua dan oleh karena itu, masukan dan kritikan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Makassar, Agustus 2013

Syaiful

ABSTRAK

Syaiful, “*Analisis Eksperimental Dan Numerik Pengaruh Variasi Arah Serat Terhadap Getaran Balok Komposit Serat Agave Bermatriks Epoksi Dengan Metode Elemen Hingga* “ (dibimbing oleh **Hammada Abbas** dan **Johannes Leonard**).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis frekuensi pribadi (ω_n) dan kekakuan (k) akibat pengaruh arah serat dan variasi penempatan penggetar pada balok komposit serat agave bermatriks epoksi dan Membandingkan antara analisis secara eksperimental dengan numerik terhadap pengaruh variasi arah serat dari hasil uji getaran dengan menggunakan metode elemen hingga.

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga untuk analisis numerik dan metode spektrum untuk analisis eksperimental. Untuk metode elemen hingga pada analisis numerik, batang dibagi 5 elemen sedangkan untuk analisis eksperimental dilakukan variasi penempatan eksiter sebanyak 4 posisi, tumpuan yang digunakan adalah sederhana dengan bahan komposit epoksi yang diperkuat serat agave berbentuk balok dengan dimensi panjang 50 cm, lebar 3 cm, dan tebal 2 cm. bahan komposit terdiri dari komposit serat yaitu komposit serat agave, tiap komposit terdiri dari tiga jenis laminasi yaitu : $0^0/0^0/0^0$, $-45^0/0^0/45^0$, dan $-90^0/90^0/0^0$.

Hasil penelitian menunjukkan nilai frekuensi pribadi (ω_n), kekuatan (k) dan modulus elastisitas (E) komposit dipengaruhi oleh arah serat, maksimum pada arah serat agave $0^0/0^0/0^0$ dan minimum pada arah serat agave $90^0/90^0/0^0$. Nilai frekuensi pribadi (ω_n) dan kekuatan (k) mengalami penurunan dengan posisi eksiter yang berbeda dari tumpuan jepitan ke roll. Nilai frekuensi pribadi (ω_n) dan kekakuan (k) yang diperoleh secara eksperimental lebih besar jika dibandingkan dengan nilai numerik.

Kata Kunci : getaran, frekuensi pribadi, kekakuan, komposit

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Getaran	7
1. Getaran bebas	7
2. Getaran paksa	8
B. Derajat kebebasan	9
C. Persamaan Differensial Gerak (PDG)	9
D. Material Komposit	12
E. Komponen Komposit	15
1. Matriks	15
2. Resin Epoksi	17
3. Serat Sebagai Penguat	17
4. Serat Agave	18
F. Kaidah Campuran pada Komposit	20
G. Penentuan Komposisi Volume Komposit	22
H. Pengujian Tarik	23
I. Konsep Dasar Elemen Hingga	25

	1. Persamaan gerak balok	26
	2. Transformasi koordinat	32
	3. Proses penggabungan (assemblage)	36
	4. Kondisi batas geometrik	38
	5. Frekuensi pribadi dan nilai eigen	40
	6. Prosedur penentuan frekuensi pribadi dan kekuatan Dengan MEH	41
	J. Faktor Kesalahan untuk frekuensi pribadi dan kekuatan	43
BAB III	METODELOGI Penelitian	44
	A. Tempat dan Waktu Penelitian	44
	B. Alat dan Bahan	44
	1. Alat	44
	2. Bahan	46
	C. Skema Pengambilan Data	48
	1. Prosedur Pembuatan Spesimen	48
	2. Prosedur Pengujian Tarik	50
	3. Prosedur Pengujian Getaran	50
	D. Teknik Analisa Data	51
	E. Diagram Alir Penelitian	52
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	53
	A. Hasil Penelitian	53
	1. Pengujian secara eksperimental	53
	a. Hasil pengujian tarik	53
	1) Perhitungan tegangan dan regangan komposit	53
	2) Perhitungan modulus elastisitas komposit ...	55
	b. Hasil pengujian getaran	55
	2. Hasil perhitungan getaran secara numerik	59
	3. Hasil perhitungan presentase kesalahan	68
	B. Pembahasan	75
	Komposit serat agave-epoksi	75

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	80
	A. Kesimpulan	80
	B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Sifat-sifat matriks polimer	16
2. Hasil pengujian dan perhitungan tegangan dan regangan komposit serat agave-matriks epoksi	54
3. Hasil pengujian dan perhitungan modulus elastisitas komposit Serat-matriks epoksi.....	56
4. Hasil pengujian frekuensi pribadi dan kekakuan untuk komposit Serat agave-matriks epoksi dengan variasi arah serat.....	58
5. Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan dengan MEH (Komposit serat agave-matriks epoksi)	67
6. Presentase kesalahan untuk frekuensi pribadi dan kekakuan (komposit serat agave-matriks epoksi).....	69

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Sistem pegas – massa dan diagram benda bebas.....	7
2. Getaran paksa dengan gaya-gaya luar dan inersia	8
3. Diagram benda bebas getaran 1 derajat kebebasan	10
4. Klasifikasi komposit secara umum.....	14
5. Nanas dan agave	20
6. Serat agave	20
7. Bentuk kurva tegangan-regangan	24
8. Segmen balok dengan gaya-gaya serta perpindahan pada Koordinat lokal	26
9. Transformasi koordinat lokal menjadi koordinat global	33
10. Pembagian elemen dan titik nodal balok komposit	41
11. Analyzer Vibration	45
12. Thacometer.....	46
13. Motor Penggetar (eksiter)	46
14. Bentuk bahan dimensinya untuk uji getaran	47
15. Bentuk bahan dan dimensinya untuk uji tarik	48
16. Skema pengambilan data getaran.....	51
17. Diagram alir penelitian.....	52
18. Grafik hubungan tegangan Vs regangan agave-epoksi.....	55
19. Grafik hubungan modulus elastisitas Vs arah serat.....	57
20. Grafik hubungan frekuensi pribadi serat agave Vs posisi penggetar	70
21. Grafik hubungan frekuensi pribadi arah serat 0 ⁰ /0 ⁰ /0 ⁰ Vs posisi Penggetar	71
22. Grafik hubungan frekuensi pribadi arah serat 45 ⁰ /0 ⁰ /45 ⁰ Vs Posisi penggetar.....	71
23. Grafik hubungan frekuensi pribadi arah serat 90 ⁰ /90 ⁰ /90 ⁰ Vs Posisi penggetar	72

24. Grafik hubungan kekuatan serat agave Vs posisi penggetar.....	72
25. Grafik hubungan kekuatan arah serat $0^0/0^0/0^0$ Vs posisi Penggetar.....	73
26. Grafik hubungan kekuatan arah serat $-45^0/0^0/45^0$ Vs posisi Penggetar.....	73
27. Grafik hubungan kekuatan arah serat $-90^0/90^0/90^0$ Vs Posisi Penggetar.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Diagram alir program matlab frekuensi pribadi dan kekuatan Balok komposit	83
2. Program komputasi numerik frekuensi pribadi dan kekakuan Balok komposit	87
3. Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan pada balok Komposit dengan matlab	94
Grafik frekuensi pribadi hasil pengujian getaran	101
4. Tabel hasil pengujian tarik dan pengujian getaran	113
5. Perhitungan fraksi volume	117
6. Gambar alat dan spesimen pengujian	124

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
A	Luas	m^2
b	Lebar penampang bahan	m
E	Modulus elastisitas bahan	N/m^2
ε	Regangan	
f	Fraksi volume	%
F	Gaya	N
h	Tebal penampang bahan	m
I	Momen inersia bahan	m^4
Je	Jumlah elemen	
k	Kekakuan	N/m
[k]	Matriks kekakuan lokal	
[K]	Matriks kekakuan global	
l	Panjang tiap elemen	m
L	Panjang balok	m
m	Massa elemen	kg
M	Massa balok	kg
[m]	Matriks massa lokal	
[M]	Matriks massa global	
ρ	Massa jenis balok	Kg/m^3
t	Tebal penampang bahan	m
σ	Tegangan	N/m^2
V	Volume	m^3
ω_v	Frekuensi pribadi	Rad/s

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan material komposit serat di bidang rekayasa sangat pesat. Pemanfaatannya sebagai bahan pengganti logam maupun pengganti bahan alternatif komposit sintetis sudah semakin luas dikembangkan. Kemajuan teknologi mendorong peningkatan dalam hal permintaan terhadap bahan komposit, bidang industri pesawat terbang, otomotif, olahraga, industri minyak dan gas telah memakai komposit untuk membangun infrastrukturnya. Pada aplikasi di atas struktur komposit menjanjikan keuntungan khusus, selain kekuatan, ringan dan ketahanan terhadap korosi (Vlack, 1990).

Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat istimewa yang sulit didapat seperti logam. Komposit merupakan material alternative yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, material adalah gabungan dari penguat dan maktriks. Pemanfaatan serat alam dewasa ini banyak digunakan dikarenakan sifatnya yang *renewable* sehingga mengurangi gangguan lingkungan hidup juga harganya yang relatif murah.

Serat agave adalah serat alam yang berasal dari pohon nenas, dimana pohon nenas merupakan tumbuhan yang tumbuh menyebar disejumlah wilayah Indonesia. Pada penelitian ini, kami mengangkat komposit dengan

serat agave sebagai serat penguatnya. Pertimbangan menggunakan serat agave sebagai alternative bahan penguat pada material komposit karena ketersediaan bahan ini cukup banyak, harganya murah, kuat, ringan, dan tidak mudah rusak. Pembuatan komposit yang diperkuat serat alami (serat agave) dimaksudkan untuk mencari alternatif material komposit yang tidak terlalu tergantung pada serat sintetis (Santoso, 2008).

Dalam menentukan sifat-sifat mekanik struktur komposit, ada beberapa faktor yang mempengaruhi, diantaranya adalah orientasi arah serat dalam material komposit sebagai penguatnya dan fraksi volume serat yang digunakan. Penempatan serat dengan sudut arah tertentu dalam maktriks komposit, dimaksudkan agar tegangan yang terjadi dapat didistribusikan merata pada bagian-bagian serat sehingga memberikan kekakuan yang baik. Salah satu keuntungan bahan komposit adalah dapat menerima beban dalam arah tertentu, artinya bahan tersebut hanya kuat dan kaku pada arah tertentu dan lemah dalam arah-arrah yang tidak dikehendaki. Kemampuan ini jelas tidak dipunyai oleh bahan *isotropic* yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang sama dalam segala arah (Smallman dkk.,1999).

Getaran merupakan salah satu masalah yang sangat penting dalam perencanaan konstruksi mesin. Ketika frekuensi gaya eksitasi bersamaan dengan salah satu frekuensi pribadi sistem, maka kondisi resonansi terjadi dan menghasilkan simpangan yang besar. Kerusakan pada struktur utama seperti jembatan konstruksi beton atau baja, gedung atau sayap pesawat terbang dapat terjadi pada kondisi resonansi. Olehnya itu penentuan

frekuensi pribadi sangat penting pada suatu sistem yang mengalami getaran. Untuk menganalisa getaran yang terjadi pada batang dengan tumpuan tertentu, ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan karakteristik getaran, salah satunya adalah metode elemen hingga.

Karakteristik getaran pada batang komposit dipengaruhi oleh dimensi dan modulus elastisitasnya. Dimana, diketahui bahwa nilai frekuensi pribadi berbanding lurus dengan modulus elastisitas, momen inersia material dan berbanding terbalik dengan panjang dan massa persatuan panjangnya. Modulus elastisitas yang besar akan menghasilkan frekuensi natural material dan kekakuan material yang besar. Pengaruh penempatan posisi penggetar akan berdampak pada nilai frekuensi dan kekakuan material, semakin dekat dengan posisi penggetar pada tumpuan jepit akan memberikan kekakuan dan frekuensi natural yang besar (Endrianto, 2012).

Pada penelitian ini akan dikembangkan penggunaan material komposit polimer yang diperkuat serat agave pada sistem tumpuan sederhana (jepit-roll). Sebagai solusi analisis numerik digunakan metode elemen hingga dengan bantuan program komputasi numerik Matlab (Matriks Laboratory), dan analisa spectrum getaran yang digunakan untuk menganalisis getaran balok komposit dengan metode eksperimental.

Berdasarkan pemikiran dan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul : **Analisis Eksperimental dan Numerik Pengaruh**

Variasi Arah Serat Terhadap Getaran Balok Komposit Serat Agave Bermatriks Epoksi Dengan Metode Elemen Hingga.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi arah serat ($0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$), ($-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$), dan ($-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$) terhadap frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit serat agave ?
2. Bagaimana pengaruh variasi penempatan penggetar terhadap frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit serat agave?
3. Bagaimana perbandingan antara analisis secara eksperimental dengan numerik terhadap pengaruh variasi arah serat dari hasil uji getaran dengan menggunakan metode elemen hingga ?

C. Batasan Masalah Penelitian

Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

1. Difokuskan pada analisis kekuatan tarik, frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit yang diperkuat serat agave.
2. Polimer yang digunakan jenis resin epoksi.
3. Material bahan uji adalah balok komposit polimer yang diperkuat serat agave dengan panjang 50 cm, lebar 3 cm, tebal 2 cm.

4. Tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit-roll.
5. Penempatan eksiter bervariasi dari 10cm, 20cm, 30cm dan 40cm.
6. Komposit persentase volume serat agave 40 % dan volume makrtiks 60% bentuk susunan discontinuous fiber composite dengan arah serat ($0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$), ($-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$), dan ($-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$).
7. Analisis numerik menggunakan metode elemen hingga dengan program MATLAB dan analisis secara eksperimental menggunakan spektrum getaran.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh variasi arah serat ($0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$), ($-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$), dan ($-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$) terhadap frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit serat agave.
2. Menganalisis pengaruh variasi penempatan penggetar terhadap frekuensi pribadi dan kekakuan balok komposit serat agave.
3. Membandingkan antara analisis secara eksperimental dengan numerik terhadap pengaruh variasi arah serat dari hasil uji getaran dengan menggunakan metode elemen hingga.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Bagi Penulis : Menjadi referensi pembanding dalam menghitung dan menganalisis getaran balok polimer diperkuat serat agave dengan metode elemen hingga.
2. Bagi Akademisi : Menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian balok polimer diperkuat serat alam jenis lain.
3. Bagi Industri : Melalui penelitian ini, pihak industri dapat mengetahui seberapa besar kekuatan tarik serat agave yang dapat digunakan agar dapat diaplikasikan guna dapat memaksimalkan penggunaannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

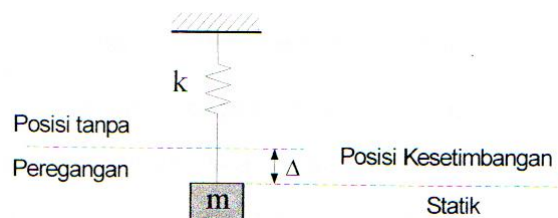
A. Getaran

Getaran adalah getaran bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya (Krodkiewski, 2008).

Ada dua kelompok getaran yang umum yaitu :

1. Getaran Bebas.

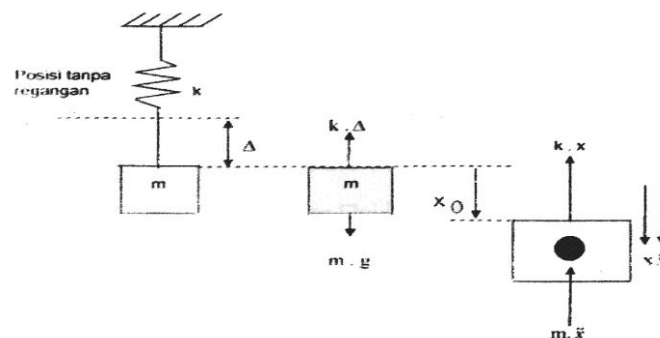
Getaran bebas terjadi jika sistem beresilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya.



Gambar 1. Sistem pegas – massa dan diagram benda bebas

2. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem paksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Getaran tersebut mengakibatkan terjadinya kerusakan pada suatu bagian tertentu sistem tersebut. Oleh karena itu, kita berusaha untuk mengurangi efek-efek merugikan dari getaran dengan jalan mengisolasi, meredam dan lain sebagainya.



Gambar 2. Getaran paksa dengan gaya-gaya luar dan inersia

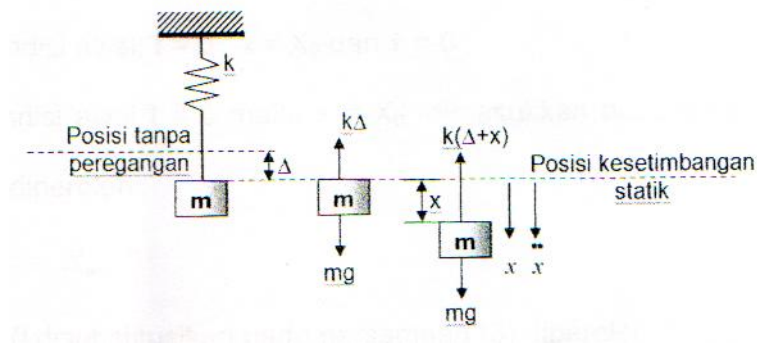
Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena gesekan dan tahanan lain. Jika redamannya kecil, maka pengaruhnya sangat kecil pada frekuensi natural sistem. Olehnya itu perhitungan frekuensi natural biasanya dilaksanakan atas dasar tidak ada redaman.

B. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah jumlah koordinat bebas (*independent coordinates*) yang diperlukan untuk menetapkan susunan atau posisi sistem pada setiap saat. Sistem dengan multi derajat kebebasan adalah system dengan derajat kebebasan yang banyak. Sistem dengan distribusi massa yang kontinyu, seperti bam atau batang mempunyai jumlah derajat kebebasan yang banyak. Pada umumnya struktur berkesinambungan mempunyai jumlah derajat kebebasan tak terhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi sebuah model matematis yang tepat dapat memproduksi jumlah derajat kebebasan menjadi jumlah distrik dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal. Ini dilakukan agar persoalan getaran dapat menjadi lebih sederhana untuk dianalisis (Kelly, 1996).

C. Persamaan Differensial Gerak (PDG)

Untuk memperoleh frekuensi pribadi, maka terlebih dahulu menentukan persamaan differensial gerak suatu sistem (Thomson, 1986). Untuk kasus pada gambar (1). Diagram benda bebasnya adalah:



Gambar 3. Diagram benda bebas sistem getaran 1 derajat kebebasan.

Dengan memberikan perpindahan awal X kemudian dilepaskan maka sistem bergetar bebas. Dari diagram benda bebas di atas dan Hukum II Newton, diperoleh persamaan differensial geraknya (PDG) adalah :

$$\sum F = m.a \gg m.a = \sum F$$

$$m \ddot{x} = mg - k(\Delta + x) \quad mg = k\Delta$$

$$m \ddot{x} + kx = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$$

Persamaan ini merupakan persamaan diferensial gerak dari getaran bebas tanpa peredam, yang merupakan persamaan diferensial homogen orde dua. Penyelesaian umum secara matematis persamaan tersebut adalah:

$$x = A.\cos \omega_n t + B.\sin \omega_n t \quad \dots\dots\dots(2)$$

A dan B adalah konstanta yang bergantung pada kondisi awal gerak ω_n adalah besaran yang menyatakan frekuensi natural system. Persamaan (2) dideferensialkan dan diperoleh :

$$\dot{x} = -A.\sin.\omega_n t + B.\omega_n \cos \omega_n t \quad \dots\dots\dots(3)$$

Syarat kondisi awal, $t = 0 ; x = X_0$ dan $\dot{x} = 0$

Untuk kondisi awal $t = 0$ maka $x = X_0$ dimasukkan pada persamaan (2) sehingga diperoleh :

$$A = X_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Untuk $t = 0$ disubstitusikan pada persamaan (3) diperoleh :

$$B = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Nilai koefisien A dan B disubstitusikan kembali ke persamaan (2) dan diperoleh :

$$x = X_0.\cos \omega_n t \quad \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan ini merupakan persamaan yang menunjukkan simpangan setelah t detik :

$$\dot{x} = -X_0.\omega_n \sin \omega_n t$$

$$\ddot{x} = -X_0.\omega_n^2 \cos \omega_n t \quad \dots\dots\dots(7)$$

Persamaan (6) dan (7) disubstitusikan ke persamaan (1) maka diperoleh :

$$-m \cdot X_0 \cdot \omega_n^2 \cdot \cos \omega_n t + k \cdot X_0 \cdot \cos \omega_n t$$

$$(-m \cdot \omega_n^2 + k) \cdot X_0 \cdot \cos \omega_n t = 0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

Jika persamaan (8) memenuhi untuk setiap besaran waktu, maka faktor $(-m \cdot \omega_n^2 + k)$ sama dengan 0 dan frekuensi naturalnya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$-m \cdot \omega_n^2 + k = 0$$

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

D. Material Komposit

Secara umum material komposit didefinisikan sebagai campuran makroskopik antara serat dan matriks. Serat berfungsi memperkuat matriks karena umumnya serat jauh lebih kuat dari matriks.

Berdasarkan jenis matriks, material komposit secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu :

- a. *Metal Matriks Composites* (MMC) yaitu komposit dengan matriks logam.
- b. *Ceramic Matriks Composites* (CMC) yaitu komposit dengan matriks keramik.

- c. *Polymer Matrix composites (PMC)* yaitu komposit dengan matriks polimer.

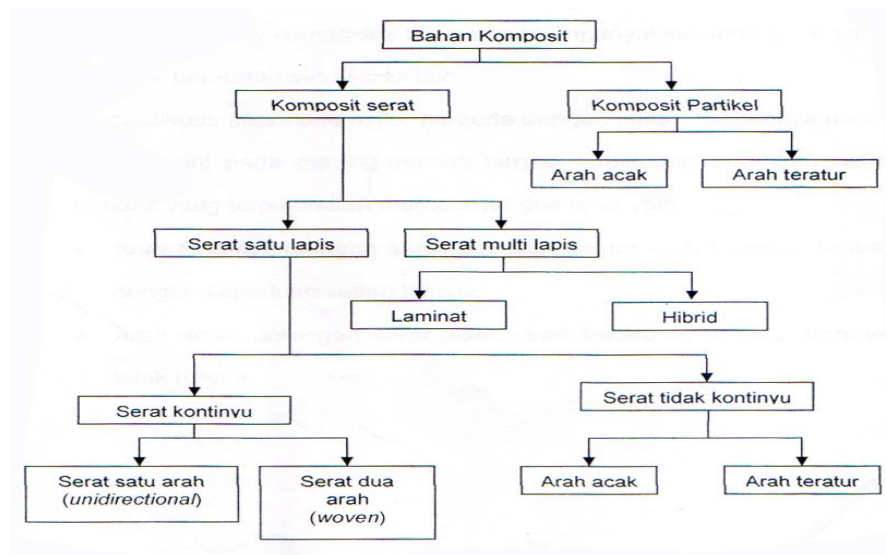
Komposit merupakan bahan padatan yang dihasilkan dari dua gabungan atau lebih bahan yang berlainan untuk mendapatkan ciri-ciri yang lebih baik yang tidak dapat diperoleh dari setiap komponennya. Komposit yang dihasilkan bukan saja memiliki sifat mekanik yang lebih baik tetapi juga sifat kimia, sifat panas dan berbagai sifat yang lain.

Salah satu keuntungan bahan komposit adalah kemungkinan bahan tersebut diarahkan dalam arah tertentu, artinya bahan tersebut hanya kuat dan kaku pada arah tertentu dan lemah dalam arah-arahan yang tidak dikehendaki. Kemampuan ini jelas tidak dipunyai oleh bahan *isotropic* yang berarti mempunyai kekuatan dan kekakuan yang sama dalam segala arah.

Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan *komposit partikel (particulate composite)* dan bahan *komposit serat (fiber composite)*.

- Bahan komposit partikel terdiri dari partikel-partikel yang diikat oleh matriks. Bentuk partikel ini terdapat bermacam-macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak.
- Bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik yang saling berhubungan. Bahan komposit serat ini

terdiri dari dua macam, yaitu serat satu lapis dan serat multi lapis.



Gambar 4. Klasifikasi komposit secara umum

Sedangkan untuk susunan serat komposit dapat dilihat dalam beberapa bentuk antara lain, yaitu :

1. *Continous fiber laminate*, lamina jenis ini mempunyai lamina penyusun dengan serat yang tidak terputus hingga mencapai ujung-ujung lamina.

Continous fiber laminate terdiri dari :

- *Unidirectional* (satu arah), yaitu bentuk *lamina* dengan arah serat yang sama.
- *Crossplien quasi-isotropic* (silang), lamina ini mempunyai susunan serat yang saling silang tegak lurus satu sama lain antara lamina.

- *Random fiber composite*, lamina ini mempunyai susunan serat tidak beraturan satu sama lain.
2. *Discontinuous fiber composite*, berbeda dengan jenis sebelumnya maka *laminata* ini pada masing-masing lamina terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dan mempunyai dua jenis yaitu :
- *Arah teratur*, potongan serat tersusun dalam arah tertentu, sesuai dengan keperluan setiap lamina.
 - *Arah acak*, potongan serat disebarakan secara acak atau arahnya tidak teratur.

E. Komponen Komposit

1. Matriks

Matriks adalah bahan yang diperkuat oleh serat penguat yang berfungsi mengikat serat yang satu dengan yang lainnya. Bahan yang paling umum dipakai sebagai matriks adalah metal atau polimer. Pada saat ini polimer paling sering dipergunakan karena lebih ringan dan tidak korosif. Matriks berfungsi melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan (Vlack, 1989).

Meskipun serat merupakan ciri khas komposit, Pertama-tama kita memperhatikan fungsi matriks. Secara ideal, matriks seharusnya mampu untuk :

- Menginfiltrasi serat dan cepat membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar.
- Membentuk suatu ikatan yang umumnya dalam bentuk ikatan kimia disemua antara permukaan serat/matriks.
- Menyelubungi serat yang biasanya sangat peka-takik, dan melindunginya dari kerusakan dan melindungi serat terhadap lingkungan.
- Mentransfer tegangan kerja ke serat.
- Memisahkan serat sehingga kegagalan serat-individu dibatasi dan tidak merugikan integritas komponen secara keseluruhan.

Tabel 1 sifat – sifat matriks Balok Komposit

Jenis Polymer	Modulus Elastisitas (GPa)	Densitas (g/cm ³)
Epoxy	2.41	1.11 – 1.40
Nylon	1.59–3.79	1.14
Phenolic	2.76–4.83	1.28
Polybutylene terephthalate (PBT)	1.93–3.00	1.34
Polycarbonate (PC)	2.38	1.20
Polyester (thermoset)	2.06–4.41	1.04-1.46
Polyetheretherketone (PEEK)	1.10	1.31
Polyethylene		
• Low density (LDPE)	0.172–0.282	0.925
• High density (HDPE)	1.08	0.959
• Ultrahigh molecular weight (UHMWPE)	0.69	0.94
Polyethylene terephthalate (PET)	2.76–4.14	1.35
Polymethyl methacrylate (PMMA)	2.24–3.24	1.19
Polypropylene (PP)	1.14–1.55	0.905
Polystyrene (PS)	2.28–3.28	1.05
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	0.40–0.55	2.17
Polyvinyl chloride (PVC)	2.41–4.14	1.3-1.58

2. Resin Epoksi

Thermosetting plastik merupakan bahan plastik yang telah mengalami reaksi kimia oleh reaksi panas atau katalis. Plastik ini tidak dapat dicairkan kembali dan diproses kembali jika dipanasi pada suhu tinggi akan terurai dan rusak, plastik termoset ini salah satunya adalah epoksi.

Keuntungan plastik termoset ini dalam aplikasi perencanaan teknik adalah kekakuan tinggi, kesetabilan suhu tinggi, kestabilan dimensi tinggi, resistensi terhadap mulur dan deformasi di bawah pembebanan, ringan dan sifat isolasi termal dan listrik yang tinggi.

3. Serat Sebagai Penguat

Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat-sifat mekaniknya lebih baik bila dibandingkan dengan tanpa serat penguat, selain itu serat juga menghemat penggunaan resin. Beberapa syarat untuk dapat memperkuat matriks antara lain serat mempunyai Modulus Elastisitas yang tinggi dan mampu menerima perubahan gaya yang bekerja padanya.

Arah serat mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan kedalam matriks. Makin cermat penataannya, makin banyak penguat yang dapat dimasukkan. Arah serat penguat menentukan kekuatan komposit, sesuai dengan arah kekuatan maksimum (Smallman dkk., 1999).

4. Serat Agave

Dalam penelitian ini serat agave dikombinasikan dengan resin sebagai matriksnya untuk mendapatkan komposit alternatif. Serat agave adalah serat alam yang berasal dari buah nanas (*Ananas comosus*). Serat agave merupakan tanaman penghasil serat alam potensial dengan keunggulan serat kuat, tahan terhadap kadar garam tinggi, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan.

Buah nanas (Ananas comosus) ialah sejenis tumbuhan tropikal. *Buah nanas* adalah tumbuhan asli berasal dari Brazil, Bolivia, dan Paraguay. *Buah nanas* adalah buah yang memiliki mata yang banyak dan memiliki warna kuning keemasan. Di Indonesia tanaman ini banyak terdapat hampir diseluruh wilayah Nusantara. Buah nanas dapat menghasilkan serat agave setelah berumur lebih dari 1 tahun. Dari fase tersebut dapat dipastikan akan menghasilkan serat agave lebih dari 25 lebih daun yang panjang, berujung tajam, tersusun dalam bentuk roset mengelilingi batang yang tebal. Tingkat kematangan buah nanas yang baik untuk dikonsumsi dapat dilihat dari warna buahnya yaitu bila warna kuning telah mencapai 25 % (dari total permukaan buah). Pada tingkat ini buah mempunyai total padatan terlarut yang tinggi dan keasamannya rendah. Demikian pula tingkat kematangan buah dapat dilihat dari warna pada mata dan kulit buah yaitu tidak kurang dari 20 % tetapi tidak lebih dari 40 % mata mempunyai bercak kuning. Dengan demikian serat agave dapat dihasilkan 25 lebih serat daun dalam setiap pembuahannya.

Agave merupakan serat dari daun dan batang buah nanas, yang memiliki panjang ± 1 m, dan bersifat kaku. agave merupakan tanaman tahunan, maka perlu ada tambahan pendapatan petani sebelum komoditas tersebut berproduksi. Serat agave mulai berproduksi setelah umur 2 tahun, daun agave dapat diproses untuk diambil seratnya. Agave ini tidak mudah rapuh, sangat tahan dalam genangan air yang asam, termasuk genangan air laut yang mengandung garam.

Serat-serat agave ini dapat digunakan untuk pembuatan berbagai peralatan rumah tangga, bahan baku kerajinan tas, dompet, kuas, interior mobil, pemoles mesin, dan industri tali kapal laut. Beberapa negara maju sudah mampu meningkatkan kekuatan tarik serat alamnya, baik secara kimiawi maupun dari metode penanaman.

Akan tetapi untuk penggunaan serat pada komponen yang tidak memerlukan spesifikasi kekuatan yang tinggi, seperti kursi, meja, dashboard, dinding kereta api. Serat ini masih bisa digunakan dan mampu menahan beban yang bekerja padanya. Dari segi biayanya pun, harga serat ini hanya sekitar 1/6 dari harga fiberglass. Jadi sangat jauh dibandingkan dengan fiberglass. Untuk pemakaian pada resin jenis termoset, komposit serat ini memiliki tampilan yang lebih menarik (urat-urat serat dapat terlihat) dan mudah dibuat. Hal ini disebabkan karena resin dapat masuk didalam serat dengan baik dan tidak menimbulkan reaksi maupun gelembung udara yang berlebihan (Santoso, 2008).



Gambar 5. Buah nanas dan agave



Gambar 6. Serat Agave

F. Kaidah Campuran Pada Komposit

Sifat material komposit dipelajari dari analisis berdasarkan sifat mekanik konstituennya masing-masing. Karena itu dikenal kaidah campuran untuk menghitung kekuatan 'tegangan tarik dan modulus elastisitas komposit (Vlack, 1990):

Untuk komposit dengan serat kontinu, dimana susunan serat berlapis dan pembebanan searah dengan seratnya (*iso strain condition*), tegangan tariknya dapat dituliskan :

$$\sigma_k = \sigma_x f_s + \sigma_m f_m \quad \dots\dots\dots(10a)$$

Untuk pembebanan yang searah dengan arah serat dan matriks (pembebanan longitudinal), regangan kedua komponen tersebut sama, sehingga modulus elastisitasnya adalah :

$$E_k = E_s f_s + E_m f_m \quad \dots\dots\dots(10b)$$

Dimana : $f_s + f_m = 1$

f_s = fraksi volume serat (%)

f_m = fraksi volume matriks (%)

E_s = modulus elastisitas serat (N/m^2)

E_m = modulus elastisitas matriks (N/m^2)

E_k = modulus elastisitas komposit (N/m^2)

G. Penentuan Komposisi Volume Komposit

Salah satu faktor . yang sangat penting dalam menentukan karakteristik material komposit adalah kandungan/persentase antara matriks dan serat. Sebelum melakukan proses pencetakan komposit, terlebih dahulu dilakukan penghitungan mengenai volume komposit (V_c), volume serat (V_s), massa serat (m_s) sebelum komposit dicetak.

A. Volume Komposit (V_c), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_c = P.L.T \quad \dots\dots\dots(10c)$$

di mana:

V_c = Volume komposit sebelum dicetak (m^3)

P = Panjang komposit sebelum dicetak (m)

L = Lebar komposit sebelum dicetak (m)

T = Tinggi komposit sebelum dicetak (m)

B. Volume Serat (V_s) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_s = \frac{f_{vs} x V_c}{100 \%} \quad \dots\dots\dots(10d)$$

di mana:

V_c = Volume komposit sebelum dicetak (m^3)

V_s = Volume serat sebelum dicetak (m^3)

F_{vc} =Fraksi volume serat yang digunakan (%)

C. Massa Serat (m_s) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$m_s = \rho_s + V_s \quad \dots\dots\dots(10e)$$

di mana:

m_s = Massa serat sebelum dicetak (kg)

ρ_s = Massa jenis serat sebelum dicetak (kg/m^3)

V_s = Volume serat sebelum dicetak (m^3)

H. Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan dengan cara. menarik spesimen sampai putus (Vlack, 1989). Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik.

Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan dengan rumus sebagai berikut .

$$\sigma = \frac{f}{A} \quad \dots\dots\dots(10f)$$

di mana:

F = beban (N)

A = luas penampang (m^2)

σ = tegangan (N/m^2)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan daerah ukur (*gage length*), yang dapat dihitung dengan persamaan :

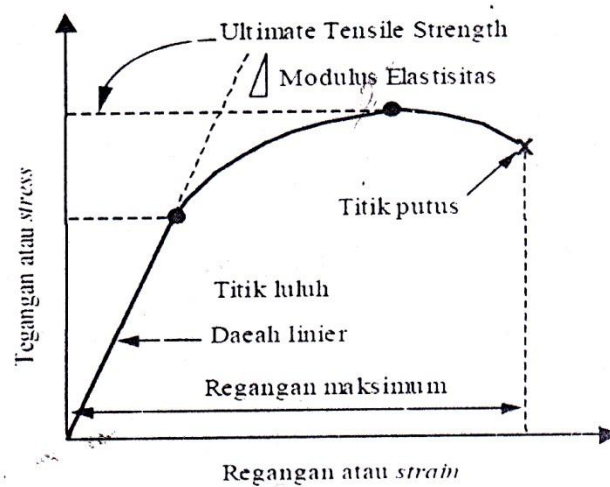
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \dots\dots\dots(10g)$$

di mana:

ε = Regangan (m/m)

Δl = pertambahan panjang (m)

l_0 = panjang daerah ukur (m)



Gambar 7. Bentuk kurva tegangan-regangan

Besarnya nilai modulus elastisitas komposit merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots\dots\dots (10h)$$

di mana:

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

I. Konsep Dasar Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu bentuk metode yang digunakan sebagai salah satu solusi pendekatan untuk memecahkan berbagai permasalahan fisik, berupa analisis numerik teknik (Krodkiwski, 2008).

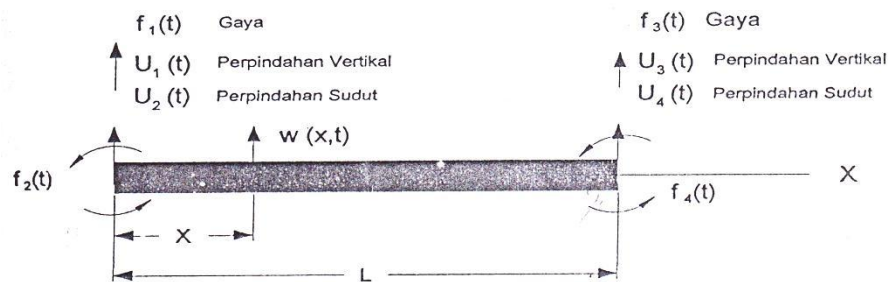
Adapun dasar dari metode elemen, hingga adalah membagi benda kerja-kerja elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (*load*) pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matriks yang biasa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut.

Metode elemen hingga (MEH) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses1

pemecahannya lebih sederhana. Dalam beberapa hal metode ini merupakan metode computer oriented yang harus dilengkapi dengan program-program komputer digital yang tepat (Karis, 2007).

1. Persamaan Gerak Balok

Yang dimaksud dengan balok adalah batang yang mengalami pembebanan gaya $f_1(t)$ dan $f_3(t)$, momen lentur $f_2(t)$ dan $f_4(t)$ pada kedua ujungnya dan perpindahan transversal $U_1(t)$ dan $u_3(t)$ dan perpindahan sudut $u_2(t)$ dan $u_4(t)$ pada kedua ujungnya sebagai akibat dari pembebanan gaya dan momen lentur tersebut tadi.



Gambar 8. Segmen balok dengan gaya-gaya serta perpindahan pada koordinat lokal

Pada gambar 8 dapat dituliskan bahwa perpindahan transversal titik-titik pada potongan balok dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$w(x, t) = \phi_1(x)u_1(t) + \phi_2(x)u_2(t) + \phi_3(x)u_3(t) + \phi_4(x)u_4(t) \dots\dots\dots(11)$$

Atau dengan singkat :

$$w(x, t) = \sum_{i=1}^4 \phi_i(x)u_i(t) \dots\dots\dots(12)$$

Sedangkan perpindahan sudutnya adalah

$$\varphi(x, t) = \frac{\partial w(x, t)}{\partial w} = \sum_{i=1}^4 u_i(t) \frac{\partial \phi_i(x)}{\partial x} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Perpindahan transversal (w) dan perpindahan sudutnya (φ) pada persamaan (12) dan (13) harus memenuhi kondisi batas sebagai berikut:

$$w(0, t) = u_1(t) \quad \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = u_2(t)$$

$$w(L, t) = u_3(t) \quad \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = u_4(t) \quad \dots\dots\dots(14)$$

Berdasarkan kondisi batas tersebut di atas, maka persamaan lengkung lentur sendiri, $\phi_i(x)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

Pada $i = 1$ yang terjadi perpindahan vertikal pada $x = 0$, sementara perpindahan lainnya adalah nol, sehingga.

$$\phi_1(0) = 1, \quad \phi_1(L) = 0, \quad \frac{d\phi_1}{dx} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d\phi_1}{dx} \Big|_{x=L} = 0 \quad \dots\dots\dots(15a)$$

Pada $i = 2$ yang terjadi perpindahan sudut pada $x = 0$, sementara perpindahan lainnya adalah nol, sehingga.

$$\phi_2(0) = 0, \quad \phi_2(L) = 0, \quad \frac{d\phi_2}{dx} \Big|_{x=0} = 1, \quad \frac{d\phi_2}{dx} \Big|_{x=L} = 0 \quad \dots\dots\dots(15b)$$

Pada $i = 3$ yang terjadi perpindahan vertikal pada $x = L$, sementara perpindahan lainnya adalah nol, sehingga

$$\phi_3(0) = 0, \quad \phi_3(L) = 1, \quad \left. \frac{d\phi_3}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{d\phi_3}{dx} \right|_{x=L} = 0 \quad \dots\dots\dots(15c)$$

Pada $i = 4$ yang terjadi perpindahan sudut pada $x = L$, sementara perpindahan lainnya adalah nol, sehingga

$$\phi_4(0) = 0, \quad \phi_4(L) = 0, \quad \left. \frac{d\phi_4}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{d\phi_4}{dx} \right|_{x=L} = 1 \quad \dots\dots\dots(15d)$$

Dengan mengabaikan efek deformasi geser, persamaan diferensial lenturan untuk kondisi statik terhadap batang *uniform* diperoleh dengan menentukan nilai inersia menjadi nol, dan menggantikan y dengan ϕ , yaitu:

$$\frac{d^4\phi_1(x)}{dx^4} = 0, \quad 0 < x < L \quad \dots\dots\dots(16)$$

integrasi persamaan diatas sebanyak 4 kali menghasilkan solusi umum menjadi:

$$\phi_1(x) = \frac{1}{6}c_1x^3 + \frac{1}{2}c_2x^2 + c_3x + c_4 \quad \dots\dots\dots(17)$$

memasukkan kondisi batas pada persamaan (15 a,b,c,d), diperoleh nilai konstanta C adalah

$$C_1 = \frac{12}{L^3}, C_2 = -\frac{6}{L^2}, C_3 = 0 \text{ dan } C_4 = 1$$

Kemudian nilai konstanta C ke persamaan (17) kita dapatkan persamaan lengkung lenturnya:

$$\phi_1(x) = 1 - 3\frac{x^2}{L^2} + 2\frac{x^3}{L^3} \quad \dots\dots\dots(18)$$

Dengan cara yang sama, kita dapatkan persamaan-persamaan *shape function* (lengkung lentur) yang lain dengan syarat batas yang lainnya yaitu :

$$\phi_2(x) = x - 2\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^3}$$

$$\phi_3(x) = 3\frac{x^2}{L^2} - 2\frac{x^3}{L^3} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\phi_1(x) = -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^3}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (18) dan (19) ke dalam persamaan (11), menghasilkan :

$$w(x, t) = \left(1 - 3\frac{x^2}{L^2} + 2\frac{x^3}{L^3}\right)u_1(t) + \left(\frac{x}{L} - 2\frac{x^2}{L^2} + \frac{x^3}{L^3}\right)Lu_2(t) \\ + \left(3\frac{x^2}{L^2} - 2\frac{x^3}{L^3}\right)u_1(t) - \left(\frac{x^2}{L^2} - \frac{x^3}{L^3}\right)Lu_4(t) \quad \dots\dots\dots(20)$$

Persamaan dapat kita tuliskan sebagai berikut :

$$w(x, t) = \{H(X)\}^T u_1(t) \quad \dots\dots\dots(21)$$

Dimana :

$$\{H(x)\} = \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2L \\ H_3 \\ H_4L \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 \\ \left[\left(\frac{x}{L}\right) - 2\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^3\right]L \\ 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 \\ \left[-\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^3\right]L \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$u_i(t) = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(23)$$

Untuk memperoleh fungsi dan persamaan gerak elemen terlebih dahulu kita tuliskan persamaan kinetic,yaitu :

$$= \frac{1}{2} \{\dot{u}(t)\}^T \left(m \int_0^L \begin{bmatrix} H_1^2 & H_1H_2L & H_1H_3 & H_1H_4L \\ H_2H_1L & H_2^2L^2 & H_2H_3L & H_2H_4L^2 \\ H_3H_1 & H_3H_2L & H_3^2 & H_3H_4L \\ H_4H_1L & H_4H_2L^2 & H_4H_3L & H_4^2L^2 \end{bmatrix} dx \right) \{\dot{u}(t)\} \quad \dots\dots\dots(24)$$

Persamaan diatas adalah persamaan energi kinetik atau secara singkat dapat dituliskan sebagaiberikut.

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{u}\}^T [m] \{\dot{u}\} \quad \dots\dots\dots(25)$$

Sehingga dari persamaan diatas diperoleh matriks massa [m]:

$$= m \int_0^L \begin{bmatrix} H_1^2 & H_1H_2L & H_1H_3 & H_1H_4L \\ H_2H_1L & H_2^2L^2 & H_2H_3L & H_2H_4L^2 \\ H_3H_1 & H_3H_2L & H_3^2 & H_3H_4L \\ H_4H_1L & H_4H_2L^2 & H_4H_3L & H_4^2L^2 \end{bmatrix} dx \quad \dots\dots\dots(26)$$

Dengan mengintegalkan (26) diatas maka diperoleh

$$= mL \begin{bmatrix} \frac{13}{35} & \frac{11}{210}L & \frac{9}{70} & -\frac{13}{420}L \\ \frac{11}{210}L & \frac{1}{105}L^2 & \frac{13}{420}L & -\frac{1}{140}L^2 \\ \frac{9}{70} & \frac{13}{420}L & \frac{13}{35} & -\frac{11}{210}L \\ -\frac{13}{420}L & -\frac{1}{140}L^2 & -\frac{11}{210}L & \frac{1}{150}L^2 \end{bmatrix}$$

$$[m] = \frac{mL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ 22L & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -13L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(27)$$

Dan energi potensial adalah :

$$V(t) = \frac{1}{2} \int EL \left(\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^L EI \left(\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right) dx$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^L EI \left(\{u(t)\}^T \left\{ \frac{d^2 H(z)}{dx^2} \right\} \right) \left(\left\{ \frac{d^2 H(z)}{dz^2} \right\}^T \{u(t)\} \right) dz$$

$$= \frac{1}{2} \{u(t)\}^T \left[EI \int_0^L \left\{ \frac{d^2 H(z)}{dz^2} \right\} \left\{ \frac{d^2 H(z)}{dz^2} \right\}^T dz \right] \{u(t)\}$$

$$= \frac{1}{2} \{u(t)\}^T \left(EI \int_0^L \begin{bmatrix} (H_1'')^2 & H_1''H_2''L & H_1''H_3'' & H_1''H_4''L \\ H_2''HL & (H_2'')^2L^2 & H_2''H_3''L & H_2''H_4''L^2 \\ H_3''H_1'' & H_3''H_2''L & (H_3'')^2 & H_3''H_4''L \\ H_4''H_1''L & H_4''H_2''L^2 & H_4''H_3''L & (H_4'')^2L^2 \end{bmatrix} dz \right) \{u(t)\} \quad (28)$$

Persamaan diatas adalah persamaan energi potensial atau secara singkat dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{2} \{u\}^T [k] \{u\} \dots\dots\dots(29)$$

Sehingga dari persamaan diatas diperoleh matriks kekakuan [k]:

$$k = EI \int_0^L \begin{bmatrix} (H_1'')^2 & H_1''H_2''L & H_1''H_3'' & H_1''H_4''L \\ H_2''H_1''L & (H_2'')^2L^2 & H_2''H_3''L & H_2''H_4''L^2 \\ H_3''H_1'' & H_3''H_2''L & (H_3'')^2 & H_3''H_4''L \\ H_4''H_1''L & H_4''H_2''L^2 & H_4''H_3''L & (H_4'')^2L^2 \end{bmatrix} dz \dots\dots(30)$$

$$= \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan gerak untuk struktur kompleks pada getaran bebas adalah :

$$[m]\{\ddot{u}(t)\} + [k]\{u(t)\} = 0 \dots\dots\dots(31)$$

dengan matriks inersia adalah:

$$[m] = \frac{mL}{L^3} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & 13L \\ 22L & 6L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(32)$$

dan matriks kekakuan sebagai berikut:

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(33)$$

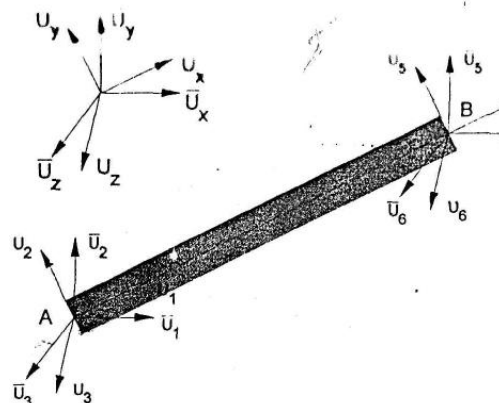
2. Transformasi Koordinat

Apabila susunan sumbu koordinat dari matriks kekakuan lokal, matriks massa lokal dan vektor gaya lokal pada masing-masing elemen tidak sejajar dengan sumbu koordinat pada sistem, maka dilakukan transformasi koordinat pada matriks lokal tersebut. Karena elemen

individu dibuat untuk masing-masing satu elemen hingga, maka mewakili perpindahan masing-masing elemen yang mana disebut koordinat sistem lokal (*local coordinat system*). Sedangkan untuk menggabungkannya agak kesulitan dengan perpindahan yang berbeda, sehingga diperlukan matriks transformasi untuk menyamakannya dalam satu koordinat sistem global (*global coordinat system*).

Pada gambar 8 sebuah batang dengan kedua ujungnya berupa titik a dan b dimana kedua ujung batang terdapat perpindahan yakni u_1, u_2, u_3 dan u_4, u_5, u_6 pada sumbu x, y, z disebut sebagai koordinat lokal sistem.

Perhitungan secara keseluruhan dari seluruh sistem dilakukan dengan mentransformasikan koordinat lokal menjadi koordinat global atau dapat ditulis pada titik a yaitu $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3$ dan pada titik b yaitu $\bar{u}_4, \bar{u}_5, \bar{u}_6$, pada sumbu koordinat global $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$.



Gambar 9. Transformasi koordinat lokal menjadi koordinat global

Transformasi koordinat tersebut di atas dapat dibuat dalam bentuk matriks, yaitu:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{l_{xx}} & \overline{l_{xy}} & \overline{l_{xz}} \\ \overline{l_{yx}} & \overline{l_{yy}} & \overline{l_{yz}} \\ \overline{l_{zx}} & \overline{l_{zy}} & \overline{l_{zz}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(34)$$

Dimana $\overline{l_{xx}}$ adalah cosinus sudut yang dibuat oleh sumbu x dan sumbu \bar{x} , dan seterusnya.

Apabila sumbu z sejajar dengan sumbu \bar{z} pada koordinat global, maka matriks transformasinya adalah:

$$[I] = \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ \sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(35)$$

Transformasi perpindahan titik a dan b dapat ditulis dalam bentuk matriks

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = [I] \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{u}_3 \end{Bmatrix} \quad \begin{Bmatrix} u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{Bmatrix} = [I] \begin{Bmatrix} \bar{u}_4 \\ \bar{u}_5 \\ \bar{u}_6 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(36)$$

Atau untuk keseluruhan perpindahan elemen

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [L] & [0] \\ [0] & [L] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{u}_3 \\ \bar{u}_4 \\ \bar{u}_5 \\ \bar{u}_6 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(37)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk sederhana,

$$\{u\} = [I]\{\bar{u}\} \quad \text{dan} \quad \{\dot{u}\} = [I] \begin{bmatrix} \dot{\bar{u}} \\ -\bar{u} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(38)$$

Di mana transformasi matriks [L] adalah :

$$[L] = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(39)$$

Transformasi matriks inersia dan matriks kekakuan dapat dilakukandengan bantuan energi kinetik dan energi potensial. Untuk energi kinetik dapat diturunkan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{u}\}^T [m] \{\dot{u}\} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ u \end{matrix} \right\}^T [L]^T [m] [L] \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ u \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \{\bar{u}\}^T [\bar{k}] \{\bar{u}\} \quad \dots\dots\dots(40)$$

Dengan transformasi matriks inersia massa yaitu :

$$[\bar{m}] = [L]^T [m] [L] \quad \dots\dots\dots(41)$$

Melalui energi potensial dapat diperoleh transformasi matriks kekakuan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} \{u\}^T [k] \{u\} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} \bar{-} \\ u \end{matrix} \right\}^T [L]^T [k] [L] \left\{ \begin{matrix} \bar{-} \\ u \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \{\bar{u}\}^T [\bar{k}] \{\bar{u}\} \quad \dots\dots\dots(42)$$

Maka diperoleh transformasi matriks kekakuan sebagai berikut :

$$[\bar{k}] = [L]^T [k] [L] \quad \dots\dots\dots(43)$$

Sedangkan untuk penurunan kerja virtuil adalah :

$$\delta \bar{W} = \{\delta u\}^T [f] = \left\{ \begin{matrix} \bar{-} \\ \delta u \end{matrix} \right\}^T [L]^T [f] = \left\{ \begin{matrix} \bar{-} \\ \delta u \end{matrix} \right\}^T [\bar{f}] \quad \dots\dots\dots(44)$$

Dimana $[L]^T$ merupakan transpose dari matriks transformasi.

3. Proses Penggabungan (Assemblage)

Penggabungan dari elemen-elemen lokal menjadi suatu sistem global disebut *assemblage*. Penerapan metode elemen hingga pada struktur kontinyu dengan menyusun elemen lokal berdasarkan geometri dari sistem. Untuk keperluan penggabungan titik-titik simpul elemen lokal, maka perpindahannya untuk semua elemen harus sama, sehingga dilakukan transformasi matriks. Matriks lokal yang telah ditransformasikan digabungkan menjadi matriks global.

Matriks massa global diperoleh dari persamaan energi kinetik total, yaitu:

$$T(t) = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^p \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ U \end{matrix} \right\}_s^T [m]_s \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ u \end{matrix} \right\}_s = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^p \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ U \end{matrix} \right\}^T [A]_s^T [m]_s [A]_s \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ U \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots(45)$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ U \end{matrix} \right\}^T [m] \left\{ \begin{matrix} \dot{-} \\ U \end{matrix} \right\}$$

Di mana matriks massa global adalah :

$$[m] = \sum_{s=1}^p [A]_s^T [m]_s [A]_s \quad s = \text{nomor elemen} = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots(46)$$

$[A]_s$ adalah matriks transformasi koordinat lokal.

Demikian pula untuk matriks kekakuan global diperoleh dari persamaan energi potensial total:

$$V(t) = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^p \left\{ \begin{matrix} - \\ u \end{matrix} \right\}_s^T [k]_s \left\{ \begin{matrix} - \\ u \end{matrix} \right\}_s = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^p \left\{ \begin{matrix} - \\ U \end{matrix} \right\}^T [A]_s^T [k]_s [A]_s \left\{ \begin{matrix} - \\ U \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots(47)$$

$$= \frac{1}{2} \{\bar{U}\}^T [\bar{k}] \{\bar{U}\}$$

Di mana matriks kekakuan global adalah :

$$[\bar{k}] = \sum_{s=1}^p [A]_s^T [\bar{k}]_s [A]_s \quad s = \text{nomor elemen} = 1, 2, \dots, p \quad \dots\dots\dots(48)$$

Untuk vektor gaya global diperoleh dari persamaan kerja virtual total:

$$\delta W = \sum_{s=1}^p \{\delta u\}_s^T \{f\}_s = \sum_{s=1}^p \{\delta U\}_s^T [A]_s^T \{f\}_s [A]_s = \{\delta U\}^T \{F\} \quad \dots\dots\dots(49)$$

Maka vektor gaya global adalah :

$$[\bar{F}] = [A]_s^T \{f\}_s [A]_s \quad \dots\dots\dots(50)$$

Sehingga diperoleh persamaan gerak Lagrange untuk struktur kompleks pada getaran bebas adalah :

$$[\bar{M}] \left\{ \ddot{\bar{U}} \right\} + [\bar{k}] \{\bar{U}\} = 0 \quad \dots\dots\dots(51)$$

Dan untuk getaran paksa adalah :

$$[\bar{M}] \left\{ \ddot{\bar{U}} \right\} + [\bar{k}] \{\bar{U}\} = \{\bar{F}\} \quad \dots\dots\dots(52)$$

Sehingga persamaan diferensial gerak untuk sistem linier adalah :

$$[\bar{M}] \left\{ \ddot{\bar{U}} \right\} + [\bar{k}] \{\bar{U}\} = \{\bar{F}\} \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(53)$$

4. Kondisi Batas Geometrik

Pada sistem atau struktur biasanya didukung oleh beberapa jenis tumpuan sehingga sistem dalam bentuk *rigid body*. Beberapa jenis tumpuan ini menunjukkan kondisi batas dari geometrik. Berdasarkan pada kondisi batas geometrik, sebagian dari komponen matriks global akan dieliminasi sehingga akan terdapat matriks yang baru disebut matriks reduksi.

Cara mereduksi matriks adalah dengan menuliskan nol pada elemen vektor perpindahan $\{u\}$ yang sama dengan nol. Kemudian dilakukan pemindahan elemen nol tersebut ke baris atas, sehingga akan membawa pemindahan kolom dari vektor perpindahan. Untuk lebih jelas dapat dilihat perubahan yang terjadi pada vektor $\{u\}$ di bawah ini,

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ u_{v-1} \\ u_v \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} 0 \\ u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ u_{v-1} \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ u_{v-1} \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(54)$$

Dimana v adalah jumlah titik simpul.

Untuk mengilustrasikan matriks reduksi maka diasumsikan perpindahan $dix = 0$, maka perpindahan sudut adalah $\{\bar{U}\}_0 = \{0\}$. Sehingga vektor perpindahannya adalah :

$$\{\bar{U}\} = \begin{Bmatrix} \{\bar{U}\}_0 \\ \{\bar{U}\}_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\bar{U}\}_x \\ \{\bar{U}\}_1 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(55)$$

Analog dengan vektor kecepatan $\begin{Bmatrix} \dot{\bar{U}} \\ \dot{\bar{U}} \end{Bmatrix}$ dan vektor percepatan

$\begin{Bmatrix} \ddot{\bar{U}} \\ \ddot{\bar{U}} \end{Bmatrix}$. Dengan cara yang sama pula pada matriks massa $\{\bar{M}\}$, kekakuan

$\{\bar{K}\}$ dan vektor gaya $\{\bar{F}\}$,

$$[\bar{M}] = \begin{bmatrix} [\bar{M}]_{00} & [\bar{M}]_{01} \\ [\bar{M}]_{10} & [\bar{M}]_{11} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(56)$$

$$[\bar{K}] = \begin{bmatrix} [\bar{K}]_{00} & [\bar{K}]_{01} \\ [\bar{K}]_{10} & [\bar{K}]_{11} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(57)$$

$$\{\bar{F}\} = \begin{Bmatrix} \{\bar{F}\}_0 \\ \{\bar{F}\}_1 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(58)$$

Dengan memasukkan persamaan (55), (56) dan (57) ke persamaan (52),

maka diperoleh bentuk matriksnya :

$$[\bar{M}]_{11} \begin{Bmatrix} \ddot{\bar{U}} \\ \ddot{\bar{U}} \end{Bmatrix}_1 + [\bar{K}]_{11} \{\bar{U}\}_1 = \{\bar{F}\}_1 \quad \dots\dots\dots(59)$$

$$[\bar{M}]_{01} \begin{Bmatrix} \ddot{\bar{U}} \\ \ddot{\bar{U}} \end{Bmatrix}_1 + [\bar{K}]_{01} \{\bar{U}\}_1 = \{\bar{F}\}_0 \quad \dots\dots\dots(60)$$

5. Frekuensi Pribadi dan Nilai Eigen

Analisis sistem yang bergetar bebas memberikan nilai frekuensi pribadi. Pada getaran bebas vektor gaya sama dengan nol, maka persamaan gerak jika tidak mempertimbangkan faktor redaman adalah,

$$[M] \left\{ \begin{matrix} \ddot{\bar{u}} \\ \ddot{\bar{U}} \end{matrix} \right\} + [K] \left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots(61)$$

Dengan mengasumsikan solusi persamaan homogen persamaan adalah

$\left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} \sin \omega_n t$, maka persamaan menjadi:

$$-\omega_n^2 [M] \left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} \sin \omega_n t + [K] \left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} \omega_n t = 0 \quad \dots\dots\dots(62)$$

Atau dalam besaran matriks :

$$\left[[K] - \omega_n^2 [M] \right] \left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots(63)$$

Persamaan (63) adalah masalah matematis yang dikenal dengan masalah eigen, dimana tidak semua nilai dari $\left\{ \begin{matrix} \bar{u} \\ \bar{U} \end{matrix} \right\} = 0$, maka :

$$\left[[K] - \omega_n^2 [M] \right] = 0 \quad \dots\dots\dots(64)$$

Sehingga persamaan (64) dapat diubah menjadi:

$$\omega_n^2 = [M]^{-1} [K] \quad \dots\dots\dots(65)$$

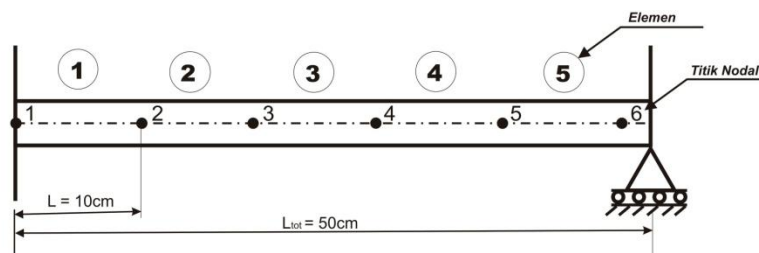
Pada umumnya jawaban dari persamaan (65) mempunyai bentuk persamaan polynomial derajat n dalam besaran ω_n^2 , yang

harus mempunyai n dan harga ω_n^2 yang memenuhi persamaan tersebut. *Polynomial* ini dikenal sebagai persamaan karakteristik.

6. Prosedur Penentuan Frekuensi Pribadi dan Kekakuan dengan Metode Elemen Hingga

Prosedur perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan dengan metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

1. Batang dibagi menjadi 5 elemen, masing-masing dengan panjang L . $L = L_{tot}/5$. Derajat kebebasan setiap titik nodalnya adalah dua, yaitu perpindahan transversal dan perpindahan sudut. Sehingga jumlah derajat kebebasan adalah 12, seperti pada gambar dibawah,



Gambar 10. Pembagian elemen dan titik nodal balok komposit

2. Menyusun matriks massa dan kekakuan lokal (elemen) dalam koordinat struktur.

$$[m] = \frac{mL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & 13L \\ 22L & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

dimana : m = masa per satuan panjang (kg/m),

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 22L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & -2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

dimana: $I = \frac{bh^3}{12}$; = lebar balok (m), h = tebal balok (m),

E = Modulus elastisitas (N/m^2), diperoleh dari uji tarik

I = momen inersia balok (m^4)

3. Mentransformasi, matriks massa dan matriks kekakuan dari koordinat elemen (lokal) ke koordinat sistem (global).

dengan transformasi matriks inersia massa yaitu :

$$[\bar{m}] = [L]^T [m] [L]$$

dan transformasi matriks kekakuan sebagai berikut:

$$[\bar{k}] = [L]^T [k] [L]$$

4. Menyusun matriks massa dan matriks kekakuan sistem, yang dikenal dengan pengglobalan matriks lokal.
5. Memasukkan syarat batas ke dalam persamaan matriks getaran batas kemudian mereduksi matriks
6. Menyusun persamaan matriks eigenvalue setelah kondisi batas dimasukkan ke dalam persamaan matriks getaran bebas.

$$([\bar{K}] - \omega_n^2 [\bar{M}]) \{ \bar{U} \} = 0$$

7. Menentukan harga frekuensi pribadi dari persamaan karakteristik eigenvalue.

$$\omega_n^2 = [M]^{-1} [K]$$

8. Menentukan nilai kekakuan dari frekuensi pribadi, dimana

$$k = m \cdot \omega_n^2$$

J.Faktor kesalahan untuk frekuensi pribadi dan kekakuan

Faktor kesalahan merupakan besarnya perbedaan hasil secara numerik (metode elemen hingga) dengan metode eksak dengan rumus yaitu,

$$|\text{Faktor kesalahan (\%)}| = \frac{|(\text{Hasil Numerik} - \text{Hasil Eksak})|}{\text{Hasil Eksak}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(66)$$

perhitungan faktor kesalahan hasil perhitungan getaran dengan metode elemen hingga dibandingkan hasil pengujian getaran secara eksak diperoleh tingkat ketelitian dan keakuratan perhitungan dengan metode elemen hingga (Fausan, 2008)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin untuk pembuatan komposit, di laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas UKIP untuk uji tarik dan di Biro Perencanaan Pabrik PT. Semen Tonasa Pangkep untuk pengujian getaran, eksperimen dari bulan Februari sampai Mei 2013.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Alat-alat pembuatan komposit yang terdiri dari :
 - Mistar baja, untuk mengukur dimensi dari spesimen.
 - Cetakan kaca, sebagai media pembuatan spesimen.
 - Gelas ukur, untuk mengukur volume resin dan serat.
 - Wadah, sebagai tempat pencampuran resin, serat, dan hardener (katalis)

- Timbangan digunakan untuk menimbang seberapa berat resin dan serat yang akan dicampur dalam proses pembuatan komposit sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan.
 - Lem kaca (silicone glass)
 - Gunting, silet, penggaris, dan jangka sorong.
 - Amplas dan gurinda potong, untuk meratakan dan memotong spesimen sesuai ukuran standar.
- b. Alat uji tarik, untuk mengetahui kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit.
- c. Alat uji getaran yang terdiri dari :
1. Alat pengukur getaran model VT-8204 *Analyzer Vibration*.



Gambar 11. Analyzer Vibration

2. *Thacometer* untuk mengukur kecepatan motor penggetar (eksiter) yang digunakan.



Gambar 12. Thacometer

3. Motor penggetar (eksiter).



Gambar 13. Motor Penggetar (eksiter)

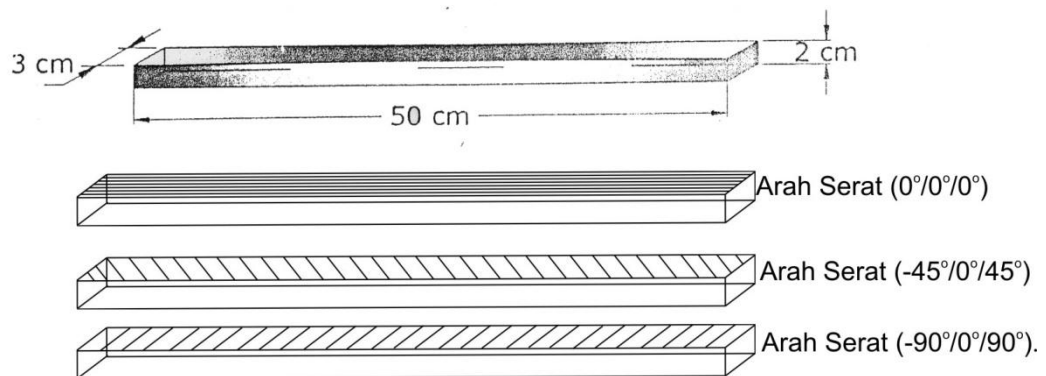
2. Bahan

Bahan dalam penelitian ini adalah balok komposit yang diperkuat serat agave (40% serat agave dan 60% matriks epoksi) dengan susunan arah serat ($0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$), ($-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$), dan ($-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$).

Adapun komposisi dari bahan komposit terdiri dari:

1. Serat agave, sebagai penguat matriks dalam komposit.
2. Matriks yang digunakan adalah resin epoksi, sebagai bahan utama komposit.
3. Hardener (katalis), sebagai pengeras matriks.

Bentuk bahan untuk uji getaran dengan dimensinya ditunjukkan pada gambar berikut:

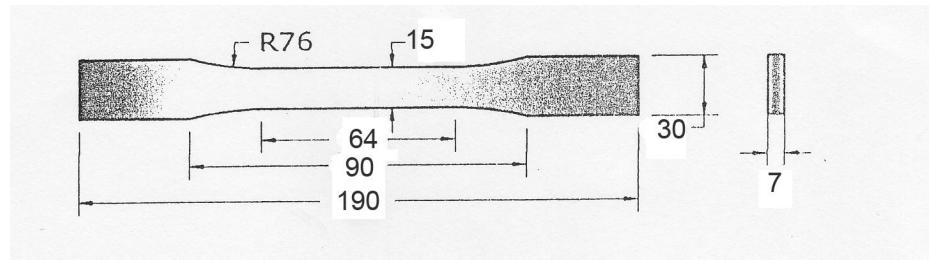


Gambar 14. Bentuk bahan dan dimensinya untuk uji getaran

Dimensi spesimen uji getaran :

- a. Panjang balok (L) = 0,5 m
- b. Lebar balok (b) = 0,03 m
- c. Tebal balok (t) = 0,02 m

Bentuk bahan untuk uji tarik dengan dimensinya ditunjukkan pada gambar berikut berdasarkan *American Society For Testing and Materials* (ASTM) D-790 :



Gambar 15. Bentuk bahan dan dimensinya untuk uji tarik

1. Dimensi Spesimen uji tarik :
 - a. Panjang : 190 mm
 - b. Lebar : 30 mm
 - c. Tebal : 7 mm
2. Panjang ukur
 - a. Panjang (L_0) : 64 mm
 - b. Lebar (l) : 15 mm
 - c. Tebal (t) : 7 mm

C. Skema Pengambilan Data

1. Prosedur Pembuatan Spesimen

1. Mempersiapkan bahan penyusun komposit, berupa serat agave, resin epoksi, larutan NaOH 5% (alkalisasi) dan hardener (katalis),
2. Proses Alkalisasi Serat, yaitu serat direndam dalam larutan NaOH 5% selama 4 jam untuk mengalami pembersihan lignin yang tersisa, serat dikeringkan kemudian,
3. Pemilihan dan persiapan serat agave dengan mengidentifikasi panjang dan diameter serat,

4. Menghitung fraksi volume komposit,
5. Membuat cetakan dari kaca untuk bahan uji tarik dan bahan uji getaran sesuai dengan dimensi yang diperlukan,
6. Menyiapkan resin dalam wadah kemudian katalis dicampurkan sebanyak 1% dari volume resin, kemudian diaduk secara merata dan didiamkan ± 5 menit agar gelembung udara terlepas,
7. Spesimen dicetak dengan menggunakan cetakan kaca yang telah dilapisi dengan wax/lem.
8. Susunan bahan komposit adalah lamina dengan arah serat $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$, $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$, dan $-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ terdiri dari matriks-serat-matriks-serat-matriks-serat-matriks dengan komposisi perbandingan peresentase fraksi volume antara serat dengan matriks epoksi masing-masing sebesar 40% : 60%.
9. Hasil pencampuran antara matriks dan hardener dituang kedalam cetakan. Banyaknya tuangan tergantung pada takaran atau total volume matriks.
10. Setelah bahan seluruhnya kering, kemudian dilepaskan spesimen dari cetak.
11. Melakukan pemotongan pada kedua ujung specimen sesuai dengan ukuran.
12. Melakukan pengamplasan untuk meratakan permukaan spesimen.
13. Melakukan uji tarik dan uji getaran.

2. Prosedur Pengujian Tarik

Prosedur pengujian tarik adalah :

- a. Mesin uji dihidupkan dan diset ke titik nol
- b. Specimen dipasang pada pencekam selanjutnya pencekam dikunci.
- c. Mengatur kecepatan aliran oli.
- d. Mencatat nilai beban yang terjadi pada spesimen setiap langkahnya atau setiap perpanjangannya, hingga spesimen itu patah.
- e. Mengeluarkan specimen yang telah patah dan mematikan mesin uji.
- f. Mengulangi prosedur a – e untuk spesimen yang lain.

3. Prosedur Penguji Getaran

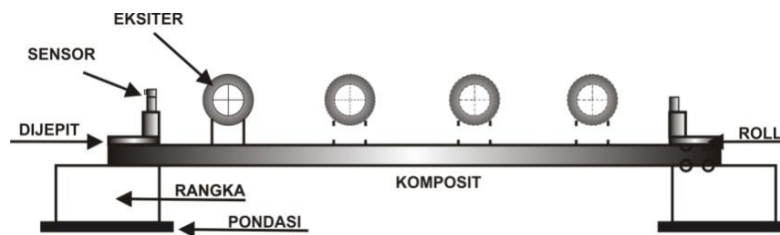
Balok komposit serat agave ditumpu pada kantilever, dimana motor penggetar (Eksiter) divariasikan pada posisi 10 cm, 20 cm, 30 cm dan 40 cm.

Tahap pelaksanaan pengujian getaran sebagai berikut :

- a. Memasang balok komposit pada jepitan dengan baik.
- b. Meletakkan sensor getaran pada ujung atas jepitan.
- c. Meletakkan eksiter (motor penggetar) pada benda uji sesuai dengan posisi yang diinginkan.
- d. Menghidupkan motor penggetar (ON).
- e. Mengambil data getaran dari alat sensor getaran

- f. Mengulangi langkah a-f untuk posisi eksiter dan komposisi arah serat yang lain.

Skema pengambilan data pengujian getaran dapat dilihat pada gambar berikut :

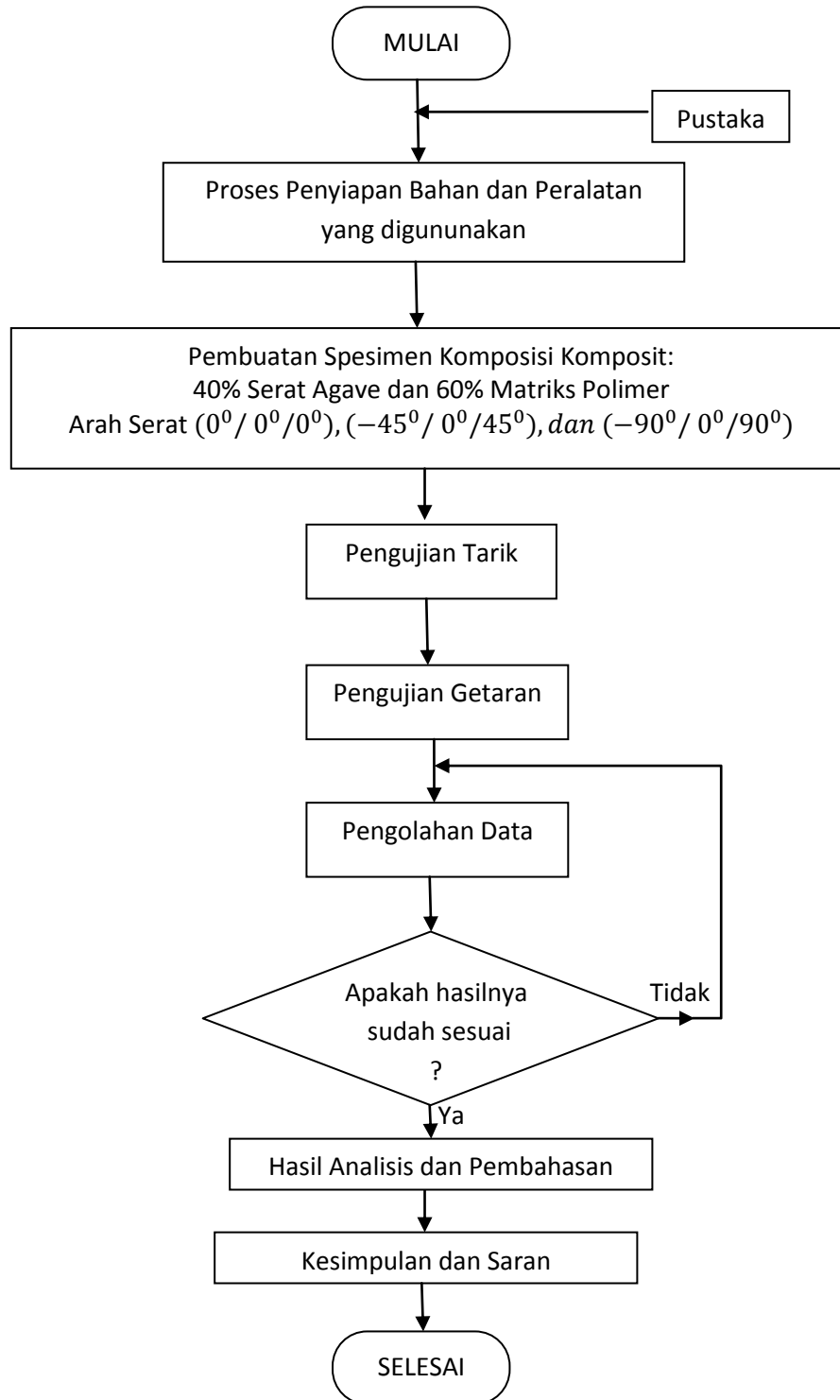


Gambar 16. Skema pengambilan data

D. Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini analisis secara numerik menggunakan metode elemen hingga, dengan membagi balok menjadi lima (5) elemen, dengan panjang setiap elemennya sama. Perhitungan untuk memperoleh frekuensi pribadi (ω_n) dan kekakuan (k) dieksekusi dengan program matlab. Analisis secara eksperimental menggunakan metode spectrum getaran, dimana hasil yang diperoleh adalah berupa grafik untuk frekuensi pribadi (ω_n), sedangkan kekakuan (k) bahan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan $k = m \cdot \omega_n^2$

E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 17. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengujian Secara Eksperimental

a. Pengujian Tarik.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui modulus elastisitas bahan komposit yang menjadi salah satu variabel dalam perhitungan penentuan frekuensi pribadi dan kekakuan dengan menggunakan metode elemen hingga. Dengan pengujian tarik akan diketahui seberapa besar modulus elastisitas dari komposit serat agave dengan variasi arah serat dengan matriks yang tentunya akan berpengaruh pada hasil pengujian getaran.

Sebagai contoh perhitungan diambil data untuk komposisi bahan : serat agave matriks epoksi dengan arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ sebagai berikut:

1) Perhitungan Tegangan dan Regangan Komposit

Contoh perhitungan tegangan dan regangan material komposit serat agave - epoksi dengan arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ dengan presentase serat 40 % dan matriks 60 % pada beban 700

N. Tegangan tarik yang terjadi :

Luas penampang awal, $A_0 = l \times t$

$$= 15 \times 7 = 105 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Tegangan yang terjadi :

$$F_m = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$$

$$\sigma = \frac{F_m}{A_0}$$

$$\sigma = \frac{700}{105} = 6,666 \text{ N/mm}^2$$

Regangan yang terjadi :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$= \frac{1}{64} = 0,015$$

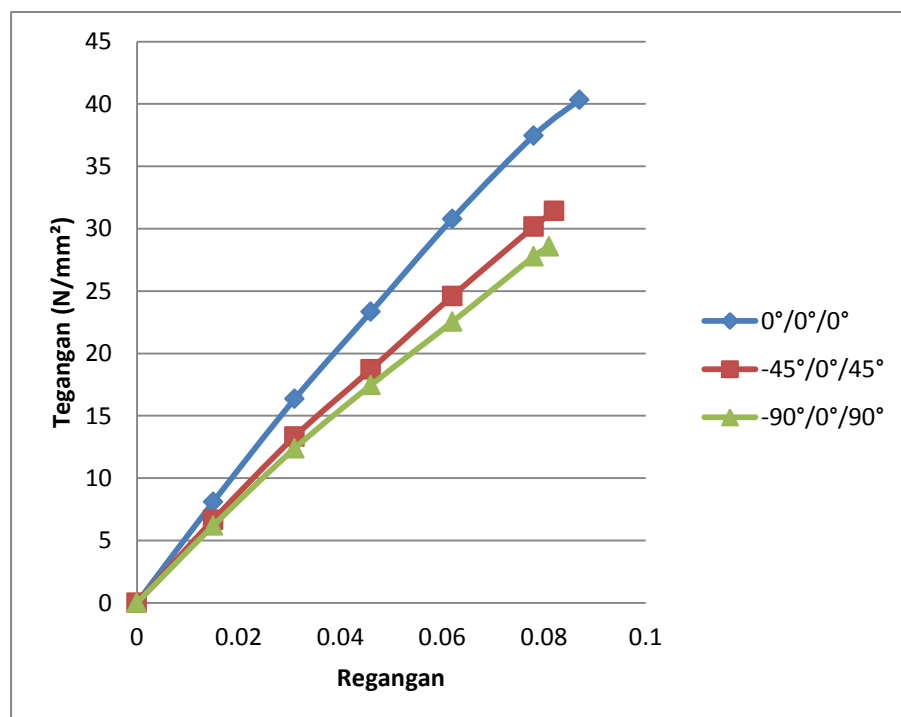
Hasil perhitungan tegangan dan regangan selengkapnya dari variasi arah serat dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2 .hasil Pengujian dan Perhitungan Tegangan Regangan Komposit Serat Agave – matriks Epoksi.

Arah serat Agave	ΔL (mm)	F (N)			F_m (N)	A_0 (mm ²)	σ rata-rata (N/mm ²)	ε Rata-rata
		F1	F2	F3				
0°/0°/0°	0	0	0	0	0.00	105	0	0
	1	850	850	850	850.00	105	8,095	0,015
	2	1700	1700	1750	1716.67	105	16,349	0,031
	3	2450	2450	2450	2450.00	105	23,333	0,046
	4	3200	3300	3200	3233.33	105	30,793	0,062
	5	3900	3900	4000	3933.33	105	37,460	0,078
	5.6	4300	4200	4200	4233.33	105	40,317	0,087
-45°/0°/45°	0	0	0	0	0	105	0	0
	1	700	700	700	700.00	105	6,666	0,015
	2	1400	1400	1400	1400.00	105	13,333	0,031
	3	1950	1950	2000	1966.67	105	18,730	0,046
	4	2600	2600	2550	2583.33	105	24,603	0,062

	5	3100	3200	3200	3166.67	105	30,158	0,078
	5.3	3300	3300	3300	3300.00	105	31,428	0,082
-90°/0°/90°	0	0	0	0	0	105	0	0
	1	650	650	650	6500.00	105	6,190	0,015
	2	1300	1300	1300	1300.00	105	12,380	0,031
	3	1900	1800	1800	1833.33	105	17,460	0,046
	4	2400	2350	2350	2366.67	105	22,539	0,062
	5	2900	2950	2900	2916.67	105	27,777	0,078
	5.2	3000	3000	3000	3000.00	105	28,571	0,081

Hubungan Tegangan Regangan Terhadap Arah Serat dapat dilihat pada gambar 18



Gambar 18. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Terhadap Arah Serat
 Dari gambar 18, terlihat bahwa secara umum terjadi pertambahan nilai tegangan dan regangan terhadap arah serat, dimana pada arah serat 0°

$/0^{\circ}/0^{\circ}$, kemudian menurun pada arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ dan terendah pada arah serat agave $-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$.

2) Perhitungan Modulus Elastisitas Komposit

Contoh perhitungan modulus elastisitas material komposit yang diperkuat serat agave-epoksi dengan arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$. Dari grafik terlihat bahwa garis linear (daerah proporsional) terjadi pada titik 1 dan 2 sehingga modulus elastisitas komposit :

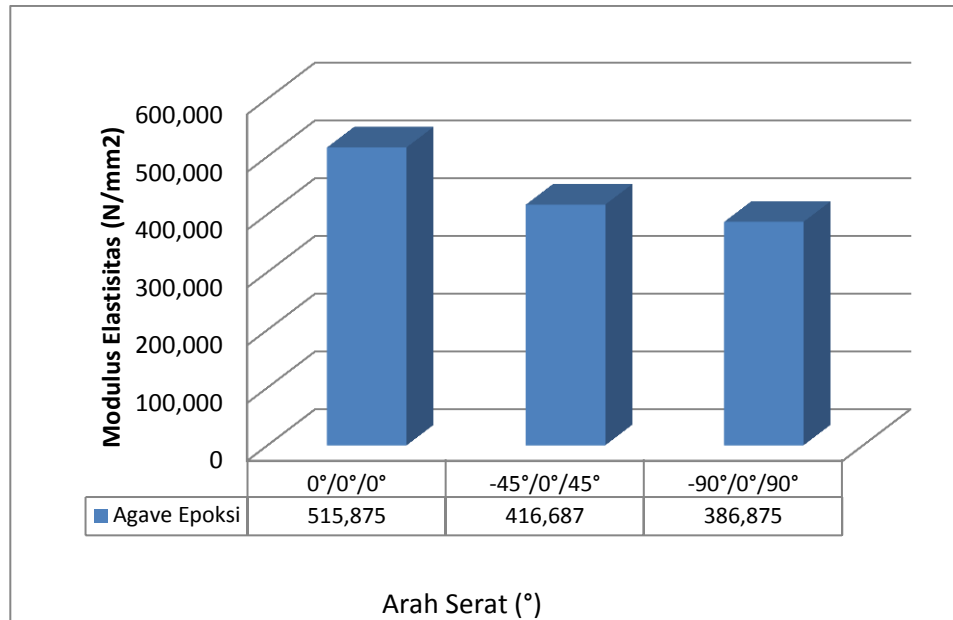
$$E = \frac{\sigma_P}{\varepsilon_P} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{13,333 - 6,666}{0,031 - 0,015} = 416,687 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan modulus elastisitas selengkapnya dari komposit serat agave dengan variasi arah serat dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. hasil pengujian dari perhitungan Modulus elastisitas komposit serat agave Matriks Epoksi.

Jenis Komposit	Arah serat	E (N/mm ²)
Serat Agave - Epoksi	$0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$	515,875
	$-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$	416,687
	$-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$	386,875

Hubungan modulus elastisitas komposit terhadap arah serat



Gambar 19. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Terhadap Arah Serat

Dari Gambar 19, menggambarkan bahwa secara umum terjadi kenaikan modulus elastisitas komposit serat agave tertinggi pada arah serat $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$, kemudian menurun pada arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ dan terendah pada arah serat agave $-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$.

b. Pengujian Getaran

Dalam pengujian getaran secara eksperimental, diketahui data-data Alat penguji getaran sebagai berikut :

- Panjang balok (L) = 0,5 m
- Lebar balok (b) = 0,03 m, tebal balok (t) = 0,02 m
- Modulus Elastisitas (E) = $416,687 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

- Massa balok komposit (m) = $0,37 \text{ Kg} = \frac{w}{g} = \frac{0,37}{9,81} = 0,037 \text{ Kg}$
- Massa motor (Mm) = 218 gr
- Massa diks (Md) = 30 gr
- Massa dudukan eksiter = 122 gr

Dari grafik spektrum getaran pada lampiran D diperoleh frekuensi pribadi dan kekakuan secara eksperimental ditunjukkan pada tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil pengujian frekuensi pribadi dan kekakuan untuk komposit serat agave matriks epoksi dengan variasi arah serat.

NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (rad/s)	K (kg/m)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		4870,21	877600,98
		20		4663,13	804556,91
		30		4593,71	780780,34
		40		4802,04	853204,76
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		4705,42	819216,16
		20		4496,18	747978,48
		30		4420,27	722935,11
		40		4635,15	794930,77
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		4611,73	786917,98
		20		4386,61	711966,85
		30		4305,19	685782,45
		40		4523,82	757203,05
		50		0	0

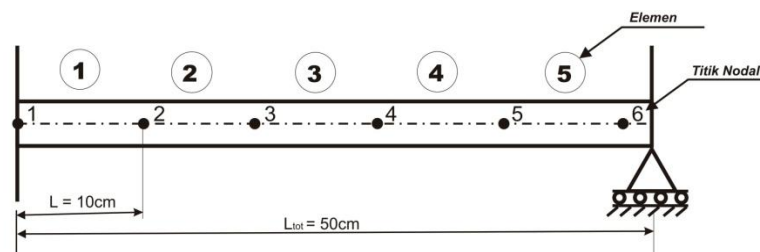
2. Perhitungan Getaran Secara Numerik

Analisis getaran untuk mengetahui frekuensi pribadi dan kekakuan secara numeric pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga yang dieksekusi melalui program matlab.

Prosedur perhitungan analisis secara numerik dengan menggunakan metode elemen hingga yang dieksekusi melalui program matlab adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah elemen, titik nodal, dan derajat kebebasan.

Pada penelitian ini balok dibagi menjadi 5 elemen, dengan panjang setiap elemen adalah $l = \frac{L}{j_e}$, titik nodalnya adalah 6 dan jumlah derajat kebebasan adalah 12, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



2. Matriks massa dan matriks kekakuan.

Matriks massa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (32)

yaitu :

$$[m] = \frac{mL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ 22L & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Dimana : m massa persatuan panjang (kg/m)

Matriks kekakuan lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (33) yaitu :

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 22L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & -2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

dimana: $I = \frac{bh^3}{12}$; = lebar balok (m), h = tebal balok (m),

E = Modulus elastisitas (N/m^2), diperoleh dari uji tarik

I = momen inersia balok (m^4)

3. Transformasi matriks massa dan matriks kekakuan dalam koordinat lokal ke koordinat global.
4. Matriks massa dan matriks kekakuan global (sistem).

Matriks massa global (sistem) dapat dihitung dengan persamaan (41)

$$\text{yaitu : } [\bar{m}] = [L]^T [m] [L]$$

Matriks kekakuan global (sistem) dapat dihitung dengan persamaan

$$(43) \text{ yaitu : } [\bar{k}] = [L]^T [k] [L]$$

5. Memasukkan kondisi batas ke matriks massa dan matriks kekakuan global (sistem).

Kondisi batas pada tumpuan sederhana dengan pembebanan secara transversal adalah sebagai berikut :

- a. Pada tumpuan jepit dan Roll (titik nodal 1 dan 6) nilai v_1 dan v_6 adalah nol
- b. Perpindahan sudut θ_1 dan θ_6 bernilai nol
6. Menyusun persamaan matriks eigenvalue.

Matriks eigenvalue persamaan (63) adalah :

$$\left[\begin{matrix} \bar{K} \\ \bar{K} \end{matrix} - \omega_n^2 \right] \begin{bmatrix} \bar{M} \\ \bar{M} \end{bmatrix} \{ \bar{U} \} = 0$$

Perhitungan dalam menyusun matriks eigenvalue dapat dilihat pada lampiran :

7. Perhitungan frekuensi pribadi menggunakan persamaan (65) yaitu :

$$\omega_n^2 = \begin{bmatrix} \bar{K} \\ \bar{M} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{K} \\ \bar{K} \end{bmatrix}$$

8. Menentukan nilai kekakuan dari frekuensi pribadi, dimana

$$k = m \cdot \omega_n^2$$

Untuk menghitung frekuensi pribadi dan kekakuan yang terjadi pada setiap elemen berdasarkan langkah 1 sampai 7, maka dibuat program Matlab seperti yang tercantum pada lampiran 2.

Sebagai contoh perhitungan diambil data : komposit serat Agave – Matriks epoksi arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ dengan data input sebagai berikut :

- ❖ Jumlah elemen (j_e) = 5
- ❖ Panjang balok (L) = 0,5 m
- ❖ Lebar balok (b) = 0,03 m
- ❖ Tebal balok (t) = 0,02 m
- ❖ Modulus Elastisitas (E) = $416,687 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- ❖ Massa balok komposit (M) = 0,37 kg

1. Menentukan jumlah elemen, titik nodal, dan derajat kebebasan.

Pada penelitian ini balok dibagi menjadi 5 elemen, dengan panjang setiap elemen adalah $l = \frac{L}{j_e}$, titik nodalnya adalah 6 dan jumlah derajat kebebasan adalah 12.

2. Matriks massa dan matriks kekakuan.

$$[m] = \frac{mL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ 221 & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$m = \frac{M}{l} = \frac{0,37}{0,5} = 0,74 \text{ kg / m}$$

$$l = \frac{L}{j_e} = \frac{0,5}{5} = 0,1 \text{ m}$$

$$[m] = \begin{bmatrix} 27.486 & 0.388 & 9.514 & -0.229 \\ 0.388 & 0.007 & 0.229 & -0.005 \\ 9.514 & 0.229 & 27.486 & -0.388 \\ -0.229 & -0.005 & -0.388 & 0.007 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lokal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (33) yaitu :

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 22L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & -2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{Dimana : } I = \frac{bh^3}{12} = 2 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$E = 416,687 \times 10^{-8} \text{ N/m}^2$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 100.005 & 5.000 & -5.000 & 5.000 \\ 5.000 & 0.333 & -5.000 & 0.167 \\ -5.000 & -5.000 & 100.005 & -5.000 \\ 5.000 & 0.167 & -5.000 & 0.333 \end{bmatrix} \times 10^3$$

3. Transformasi matriks massa dan matriks kekakuan dalam koordinat lokal ke koordinat global.

Matriks massa dan matriks kekakuan global (sistem).

Matriks massa global (sistem) dapat di hitung dengan persamaan (41)

$$\text{yaitu : } \overline{[m]} = [L]^T [m] [L]$$

27.486	0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	0	0	0	0	v1
0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	th1
9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	0	0	v2
-0.229	-0.005	0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	0	0	Th2
0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	v3
0	0	-0.229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	th3
0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	v4
0	0	0	0	-0.229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	th4
0	0	0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	v5
0	0	0	0	0	0	-0.229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	th4
0	0	0	0	0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	v6

0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0229	-0.005	-0.388	0.007	th6
v1	th1	v2	th2	v3	th3	v4	th4	v5	th5	v6	th6		

Matriks kekakuan global (sistem) dapat dihitung dengan persamaan (43)

$$\text{yaitu : } [\bar{k}] = [L]^T [k] [L]$$

1×10^3

100.005	5.000	-5.000	5.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	v1
5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	th1
-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	0	0	0	0	0	v2
5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	0	0	0	Th2
0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	0	0	0	v3
0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	0	th3
0	0	0	0.00	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	0	v4
0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	th4
0	0	0	0	0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	v5
0	0	0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	1.167	0	th4
0	0	0	0	0	0	0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	0	v6
0	0	0	0	0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	0	th6
v1	th1	v2	th2	v3	th3	v4	th4	v5	th5	v6	th6		

4. Memasukkan kondisi batas ke matriks massa dan matriks kekakuan

global (sistem).Kondisi batas matriks massa reduksi

27.486	0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	v1
0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	th1
9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	0	0	0	v2
-0.0229	-0.005	0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	0	0	0	Th2
0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	0	0	0	v3
0	0	-0.0229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	0	0	th3
0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	0	0	0	v4
0	0	0	0	-0.0229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	0	0	0	th4

0	0	0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	9.514	0.229	v5
0	0	0	0	0	0	-0.0229	-0.005	-0.388	0.007	0.229	-0.005	th4
0	0	0	0	0	0	0	0	9.514	0.229	27.486	-0.388	v6
0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0229	-0.005	-0.388	0.007	th6
v1	th1	v2	th2	v3	th3	v4	th4	v5	th5	v6	th6	

Sehingga matriks massa reduksi menjadi :

$$\begin{bmatrix} 54.971 & 9.514 & 0 & 0 \\ 9.514 & 54.971 & 9.514 & 0 \\ 0 & 9.514 & 54.971 & 9.514 \\ 0 & 0 & 9.514 & 54.971 \end{bmatrix}$$

Kondisi batas matriks kekakuan reduksi

1×10^3

100.005	5.000	-5.000	5.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	v1
5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	0	0	0	0	th1
-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	0	0	0	0	v2
5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	0	0	Th2
0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	0	0	v3
0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	0	0	th3
0	0	0	0.00	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	0	0	v4
0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	0.167	0	0	th4
0	0	0	0	0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	-5.000	5.000	v5
0	0	0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	-5.000	1.167	th4
0	0	0	0	0	0	0	0	-5.000	-5.000	100.005	-5.000	v6
0	0	0	0	0	0	0	0	5.000	0.167	-5.000	0.333	th6
v1	th1	v2	th2	v3	th3	v4	th4	v5	th5	v6	th6	

Sehingga matriks kekakuan reduksi menjadi

:

$$\begin{bmatrix} 200.010 & -100.005 & 0 & 0 \\ -100.005 & 200.010 & -100.005 & 0 \\ 0 & -100.005 & 200.010 & -100.005 \\ 0 & 0 & -100.005 & 200.010 \end{bmatrix}$$

5. Menyusun persamaan matriks eigenvalue.

matriks eigenvalue adalah :

$$\omega_n^2 = [\bar{M}]^{-1} [\bar{K}]$$

$$[\bar{M}]^{-1} [\bar{K}] = \begin{bmatrix} 4089743.028 & -2607579.538 & 465248.656 & -80523.806 \\ -2607579.538 & 4554991.684 & -2688103.344 & 465248.656 \\ 465248.656 & -2688103.344 & 4554991.684 & -2607579.538 \\ -80523.806 & 465248.656 & -2607579.538 & 4089743.028 \end{bmatrix}$$

6. Perhitungan frekuensi pribadi menggunakan persamaan (65) yaitu :

$$\omega_n^2 = [\bar{M}]^{-1} [\bar{K}]$$

Sehingga ω_n

$$\omega_1 = 4623,25 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = 4370,76 \text{ rad/s}$$

$$\omega_3 = 4304,52 \text{ rad/s}$$

$$\omega_4 = 4560,11 \text{ rad/s}$$

7. Menentukan nilai kekakuan dari frekuensi pribadi, dimana

$k = m \cdot \omega_n^2$, Sehingga kekakuan balok :

$$K_1 = 7908543,00 \text{ Kg/m}$$

$$K_2 = 7068310,90 \text{ Kg/m}$$

$$K_3 = 6855690,19 \text{ Kg/m}$$

$$K_4 = 7694003,18 \text{ Kg/m}$$

Data-data input yang lain serta hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran3, Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan secara numerik dapat dilihat pada tabel 5 berikut :

Tabel 5. Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan dengan MEH (Komposit serat Agave – matriks epoksi).

NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (rad/s)	K (kg/m)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		4758,28	8377254,56
		20		4523,58	7571227,12
		30		4476,83	7415542,53
		40		4719,80	8242309,45
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		4623,25	7908543,00
		20		4370,76	7068310,90
		30		4304,52	6855690,19
		40		4635,15	7694003,18
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		4532,43	7600881,02
		20		4296,23	6829309,11
		30		4211,12	6561406,71
		40		4451,94	7333314,81
		50		0	0

3. Hasil Perhitungan Presentase Kesalahan (PK)

Hasil kesalahan merupakan besarnya perbedaan hasil secara numerik (Metode Elemen Hingga) dengan metode eksak dengan rumus yaitu,

$$| \text{Faktor kesalahan (\%)} | = \frac{|(\text{Hasil Numerik} - \text{Hasil Eksak})|}{\text{Hasil Eksak}} \times 100\%$$

Sebagai contoh perhitungan diambil data : Komposit serat Agave – matriks epoksi arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ pada posisi 10 cm dari jepitan dengan data input sebagai berikut :

Hasil Numerik :

$$\omega_{n \text{ num}} = 4623,25 \text{ rad/s}$$

$$K_{\text{num}} = 7908543,00 \text{ Kg/m}$$

Hasil Eksperimental :

$$\omega_{n \text{ eks}} = 4705,42 \text{ rad/s}$$

$$K_{\text{eks}} = 8028318,368 \text{ Kg/m}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} | \text{Faktor kesalahan } \omega_n (\%) | &= \frac{|(\text{Hasil Numerik} - \text{Hasil Eksak})|}{\text{Hasil Eksak}} \times 100\% \\ &= \frac{|(4623,25 - 4705,42)|}{4705,42} \times 100\% = 1,74\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} | \text{Faktor kesalahan } K (\%) | &= \frac{|(\text{Hasil Numerik} - \text{Hasil Eksak})|}{\text{Hasil Eksak}} \times 100\% \\ &= \frac{|(7908543,00 - 8028318,36)|}{8028318,36} \times 100\% = 1,49\% \end{aligned}$$

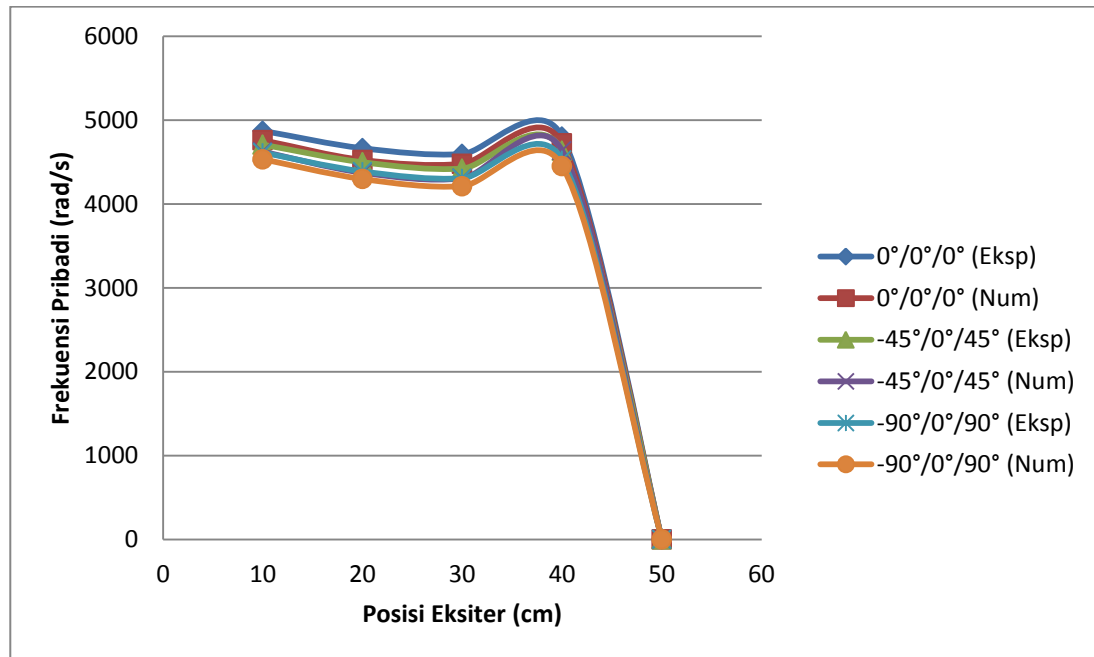
Persentase kesalahan untuk frekuensi Pribadi dan kekakuan dapat dilihat pada tabel 8 sebagai berikut :

Tabel 6. Persentase kesalahan untuk frekuensi Pribadi dan kekakuan
(Komposit serat Agave – matriks epoksi).

NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (%)	K (%)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		2,32	2,59
		20		3,05	3,97
		30		2,58	3,08
		40		1,73	1,42
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		1,74	1,49
		20		2,83	3,57
		30		2,65	3,25
		40		1,61	1,23
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		1,71	1,43
		20		2,07	2,12
		30		2,20	2,36
		40		1,58	1,17
		50		0	0

Dari tabel 6, diperoleh informasi secara umum bahwa perbandingan nilai yang diperoleh secara eksperimental lebih besar dari pada yang diperoleh secara numerik, Akan tetapi hasil yang diperoleh antara analisis secara eksperimental dan secara numerik tidak terlalu jauh berbeda.

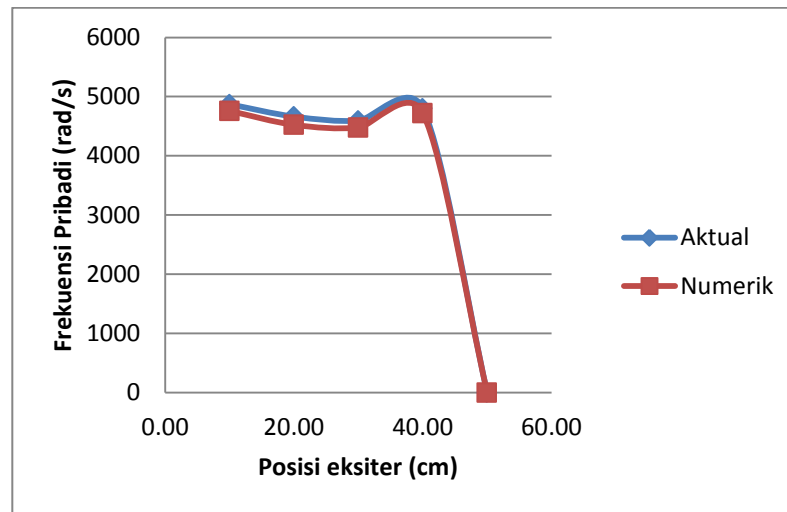
Hubungan frekuensi pribadi serat agave terhadap posisi eksiter.



Gambar 20. Grafik Hubungan Frekuensi Pribadi Serat Agave Terhadap Posisi Eksiter.

Dari gambar 20, menunjukkan bahwa nilai frekuensi pribadi (ω_n) maksimum pada arah serat agave $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$ kemudian menurun pada arah serat agave $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ dan minimum pada arah serat agave $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ baik untuk analisis secara eksperimental maupun analisis secara numerik.

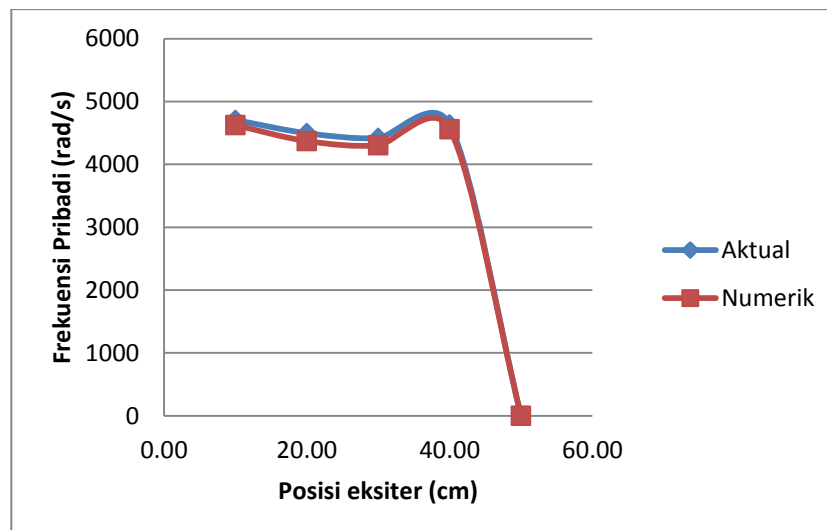
Hubungan frekuensi pribadi arah serat $0^0/0^0/0^0$ terhadap posisi eksiter



Gambar 21. Grafik Hubungan Frekuensi Pribadi Arah Serat $0^0/0^0/0^0$ Terhadap Posisi Eksiter

Dari Gambar 21, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

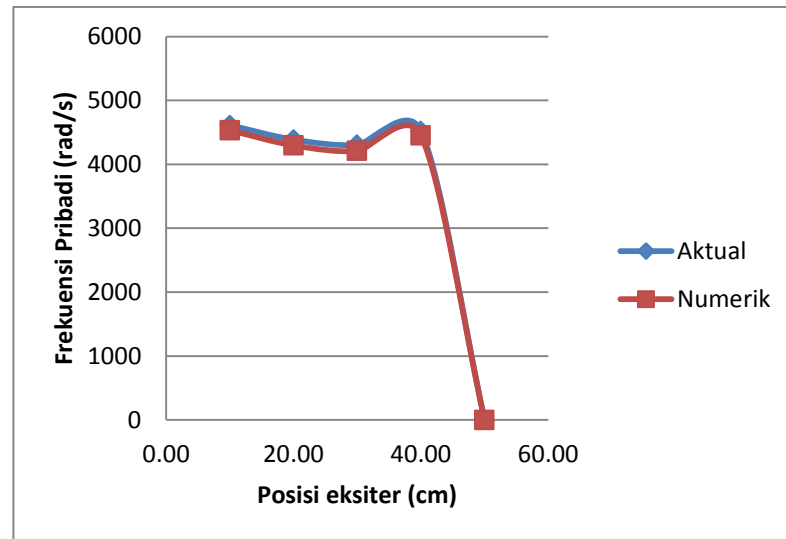
Hubungan frekuensi pribadi arah serat $-45^0/0^0/45^0$ terhadap posisi eksiter



Gambar 22. Grafik Hubungan Frekuensi Pribadi Arah Serat $-45^0/0^0/45^0$ Terhadap Posisi Eksiter.

Dari Gambar 22, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

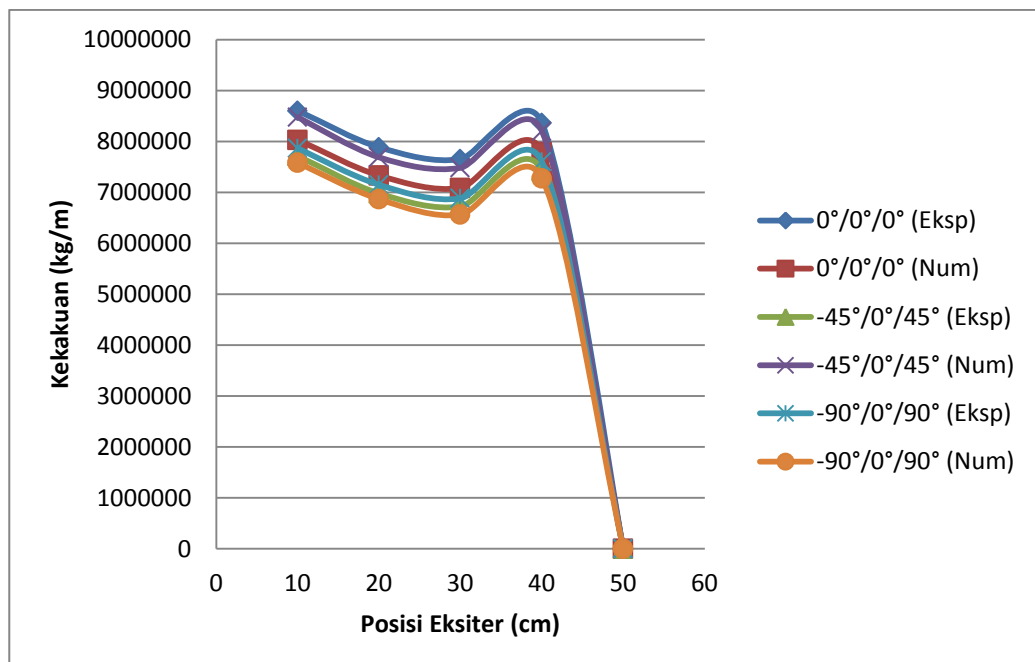
Hubungan frekuensi pribadi arah serat $-90^0/90^0/90^0$ terhadap posisi eksiter



Gambar 23. Grafik Hubungan Frekuensi Pribadi Arah Serat $-90^0/90^0/90^0$ Terhadap Posisi Eksiter.

Dari Gambar 23, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

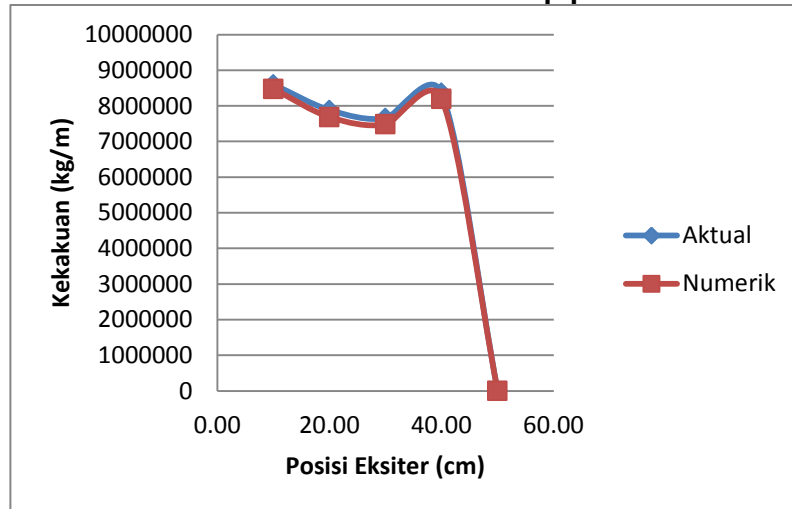
Hubungan kekakuan serat agave terhadap posisi eksiter



Gambar 24. Grafik Hubungan Kekakuan Serat Agave Terhadap Posisi Eksiter.

Dari gambar 24, menunjukkan bahwa nilai kekakuan (k) maksimum pada arah serat agave $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ kemudian menurun pada arah serat agave $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ dan minimum pada arah serat agave $-90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ baik untuk analisis secara eksperimental maupun analisis secara numerik.

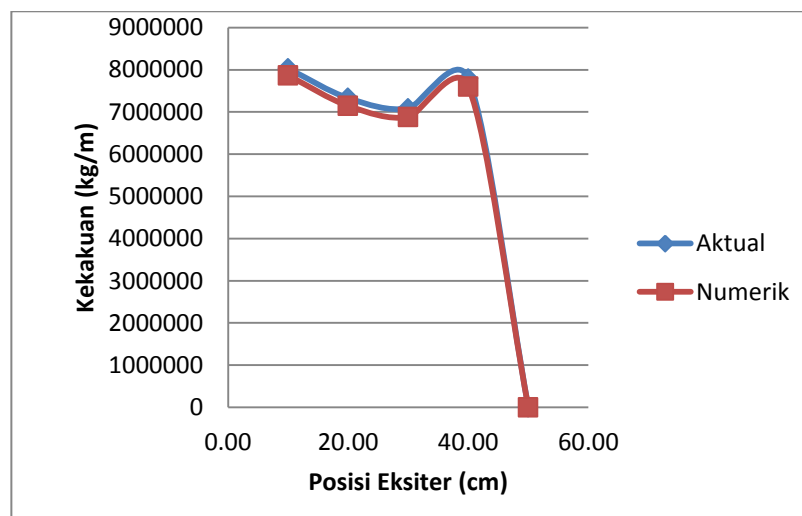
Hubungan kekakuan arah serat $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ terhadap posisi eksiter.



Gambar 25. Grafik Hubungan Kekakuan Arah Serat $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ Terhadap Posisi Eksiter.

Dari Gambar 25, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

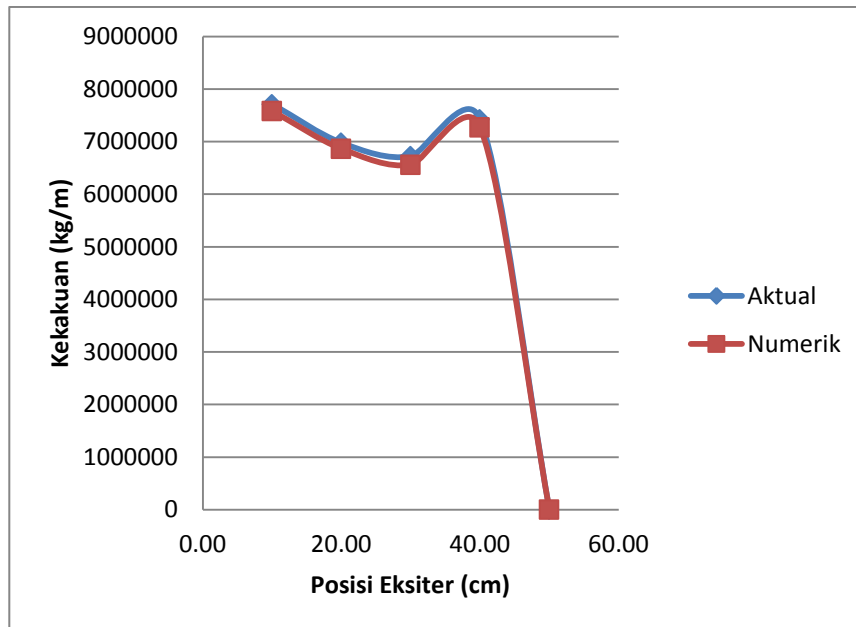
Hubungan kekakuan arah serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ terhadap posisi eksiter



Gambar 26. Grafik Hubungan Kekakuan Arah Serat $-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ Terhadap Posisi Eksiter.

Dari Gambar 26, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

Hubungan kekakuan arah serat $-90^0/90^0/90^0$ terhadap posisi eksiter.



Gambar 27. Grafik Hubungan Kekakuan Arah Serat $-90^0/90^0/90^0$ Terhadap Posisi Eksiter.

Dari Gambar 27, menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari analisis secara eksperimental (aktual) lebih besar daripada nilai secara numerik.

B. Pembahasan

Berdasarkan data-data hasil pengujian dan perhitungan yang diperoleh, maka disajikan pembahasannya sebagai berikut

Komposit Serat Agave – Epoksi

Gambar 19 menunjukkan modulus elastisitas komposit serat agave tertinggi yaitu $515,875 \text{ N/mm}^2$ pada arah serat $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$, kemudian menurun pada arah serat $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ yaitu $416,687 \text{ N/mm}^2$ dan terendah pada arah serat agave $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ yaitu $386,875 \text{ N/mm}^2$. Penurunan modulus elastisitas pada arah serat $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ dan $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ disebabkan karena hanya satu lamina yaitu arah 0° yang mendistribusikan gaya tarik secara penuh. Modulus elastisitas komposit serat agave terendah pada arah serat $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ disebabkan karena $2/3$ lamina pada arah 90° sehingga sebagian besar serat tidak dapat mendistribusikan tegangan ke arah longitudinal. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa modulus elastisitas serat agave lebih tinggi dibanding dengan modulus elastisitas serat abaca tertinggi yaitu $463,749 \text{ N/mm}^2$ pada arah serat $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$ dari penelitian sebelumnya.

Gambar 20 menunjukkan bahwa nilai frekuensi pribadi (ω_n) maksimum pada arah serat agave $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$ kemudian menurun pada arah serat agave $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ dan minimum pada arah serat agave $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ baik untuk analisis secara eksperimental maupun analisis

secara numerik. Untuk analisis secara numerik nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4758,28 rad/s pada arah serat agave $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4211,12 rad/s pada arah serat agave $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. Untuk analisis secara eksperimen nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4870,21 rad/s pada arah serat agave $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4305,19 rad/s pada arah serat agave $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. Peningkatan nilai frekuensi pribadi (ω_n) komposit serat agave dipengaruhi oleh arah serat dan modulus elastisitas bahan.

Gambar 20 menunjukkan bahwa nilai frekuensi pribadi (ω_n) akan menurun seiring dengan peletakan posisi penggetar mulai 10 cm, 40 cm, 20 cm, dan 30 cm, dari jepitan untuk ketiga jenis laminasi komposit dengan arah serat agave, $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, $-45^{\circ} / 0^{\circ} / 45^{\circ}$, dan $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. pada arah serat agave $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, untuk analisis secara numerik nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4758,28 rad/s (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4476,83 rad/s (posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4870,21 rad/s (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4593,71 rad/s (posisi penggetar 30 cm). pada arah serat agave $-45^{\circ} / 0^{\circ} / 45^{\circ}$ untuk analisis secara numerik nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4623,25 rad/s. (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4304,52 rad/s

(posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4705,42 rad/s (posisi penggetar 10 cm) sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4420,27 rad/s (posisi penggetar 30 cm). pada arah serat agave $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$ untuk analisis secara numerik nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4532,43 rad/s (posisi penggetar 10 cm), sedangkan frekuensi pribadi minimum adalah 4211,12 rad/s (posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai frekuensi pribadi maksimum adalah 4611,73 rad/s (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai frekuensi pribadi minimum adalah 4305,19 rad/s (posisi penggetar 30 cm).

Gambar 24 menunjukkan bahwa nilai kekakuan (k) maksimum pada arah serat agave $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$ kemudian menurun pada arah $-45^{\circ} / 0^{\circ} / 45^{\circ}$ dan $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. Baik untuk analisis secara eksperimental maupun analisis secara numerik. Untuk analisis secara numerik nilai kekakuan komposit maksimum adalah 8377254,56 kg/m pada arah serat agave $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 6561406,71 kg/m pada arah serat agave $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. Untuk analisis secara eksperimental nilai kekuatan komposit maksimum adalah 8600489,60 kg/m pada arah serat $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$, sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 6720668,01 kg/m pada arah serat $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$. Peningkatan nilai kekuatan komposit (k) komposit serat agave ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai frekuensi

pribadi (ω_n) akan meningkatkan pula nilai kekuatan komposit (k) getaran material komposit.

Gambar 24 menunjukkan bahwa nilai – nilai kekuatan komposit (k) akan menurun seiring dengan peletakan posisi penggetar mulai 10 cm, 40 cm, 20 cm, dan 30 cm dari jepitan untuk ketiga jenis laminasi komposit dengan arah serat agave $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$, $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ dan $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$. Pada arah serat agave $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$, untuk analisis secara numerik nilai kekakuan komposit maksimum adalah 8377254,56 kg/m (posisi penggetar 10 cm) sedangkan nilai kekuatan komposit minimum adalah 7415542,53 kg/m (posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai kekuatan komposit maksimum adalah 8600489,60 kg/m (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 7651647,33 kg/m (posisi penggetar 30 cm). pada serat $-45^\circ / 0^\circ / 45^\circ$ untuk analisis secara numerik nilai kekakuan komposit maksimum adalah 7908543,00 kg/m (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 6855690,19 kg/m (posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai kekakuan komposit maksimum adalah 8028318,36 kg/m (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 7084764,07 kg/m (posisi penggetar 30 cm). pada arah serat $-90^\circ / 0^\circ / 90^\circ$ untuk analisis secara numerik nilai kekakuan komposit maksimum adalah 7600881,02 kg/m (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 6561406,71

kg/m (posisi penggetar 30 cm). untuk analisis secara eksperimental nilai kekakuan komposit maksimum adalah 7711796,20 kg/m (posisi penggetar 10 cm), sedangkan nilai kekakuan komposit minimum adalah 6720668,01 kg/m (posisi penggetar 30 cm).

Pada gambar 20 frekuensi pribadi (ω_n) dan gambar 24 kekakuan (k) komposit ditunjukkan bahwa nilai yang diperoleh secara eksperimental lebih besar dari pada yang diperoleh secara numerik. Hal ini dipengaruhi oleh peralatan yang digunakan, kepekaan instrumen yang digunakan, serta ketelitian dalam pengambilan data, terutama pada saat pemasangan material uji pada tumpuan jepit dan roll. Akan tetapi hasil yang diperoleh antara analisis secara eksperimental dan secara numerik tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat persentasenya seperti yang ditunjukkan pada tabel 9.

Dari hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa komposit serat agave memiliki nilai frekuensi pribadi (ω_n) dan kekakuan (k) tinggi. Hal ini menunjukkan penggunaan serat agave untuk komposit lebih baik daripada komposit serat abaca.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan, baik secara eksperimental maupun secara numerik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai frekuensi pribadi dan kekakuan komposit dipengaruhi oleh arah serat, maksimum pada komposit serat agave – epoksi arah $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$ dengan nilai $\omega_{nmx} = 4870,2$ rad/s, $k_{max} = 8600489,6$ kg/m dan minimum pada komposit serat agave – epoksi arah $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$ dengan nilai $\omega_{nmin} = 4211,12$ rad/s, $k_{min} = 6561406,71$ kg/m.
2. Nilai frekuensi pribadi dan kekakuan komposit mengalami penurunan dengan posisi eksiter yang berbeda dari tumpuan jepitan ke roll, maksimum pada komposit serat agave-epoksi arah $0^{\circ} / 0^{\circ} / 0^{\circ}$ untuk posisi eksiter 10 cm dengan nilai $\omega_{nmx} = 4870,2$ rad/s, $k_{max} = 8600489,6$ kg/m dan minimum pada komposit serat agave – epoksi arah $-90^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ}$ untuk posisi eksiter 30 cm dengan nilai $\omega_{nmin} = 4211,12$ rad/s $k_{min} = 6561406,71$ kg/m.
3. Hasil perhitungan frekuensi pribadi (ω_n) dan kekakuan (k) komposit. Ditunjukkan bahwa nilai yang diperoleh secara eksperimental lebih besar dari pada yang diperoleh secara

numerik. Akan tetapi hasil yang diperoleh antara analisis secara eksperimental dan secara numerik tidak terlalu jauh berbeda, hal ini dapat diketahui dari persentase kesalahannya.

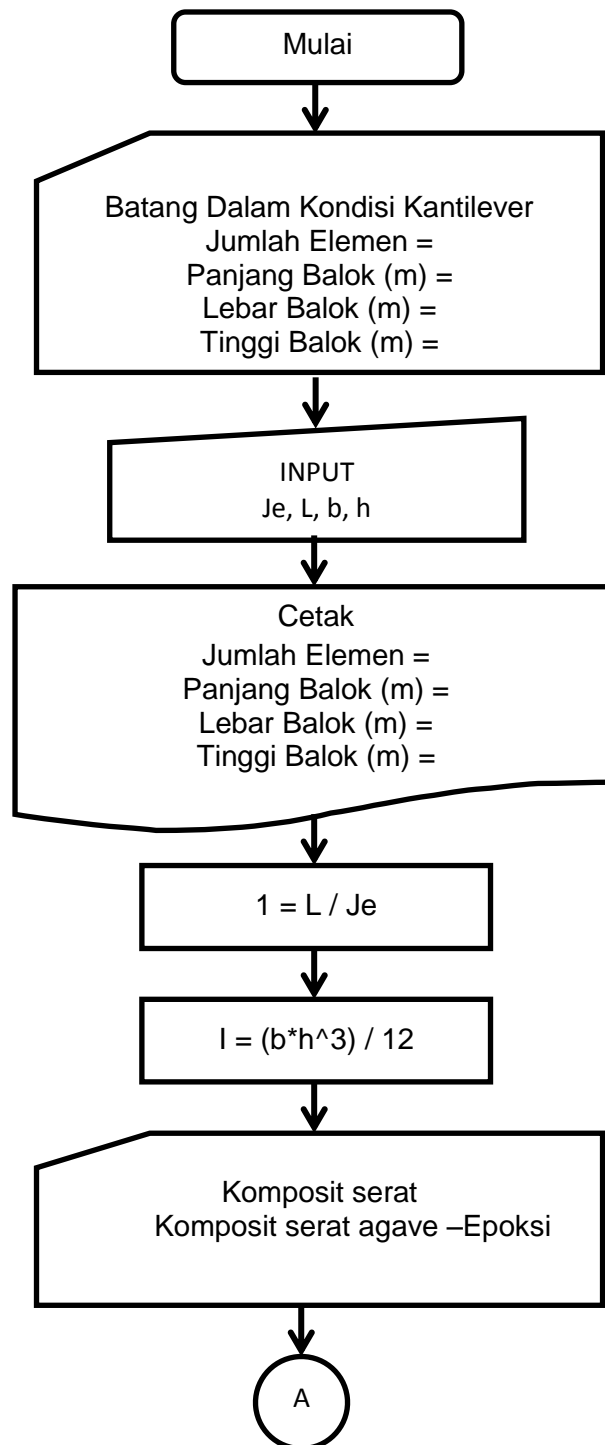
B. Saran

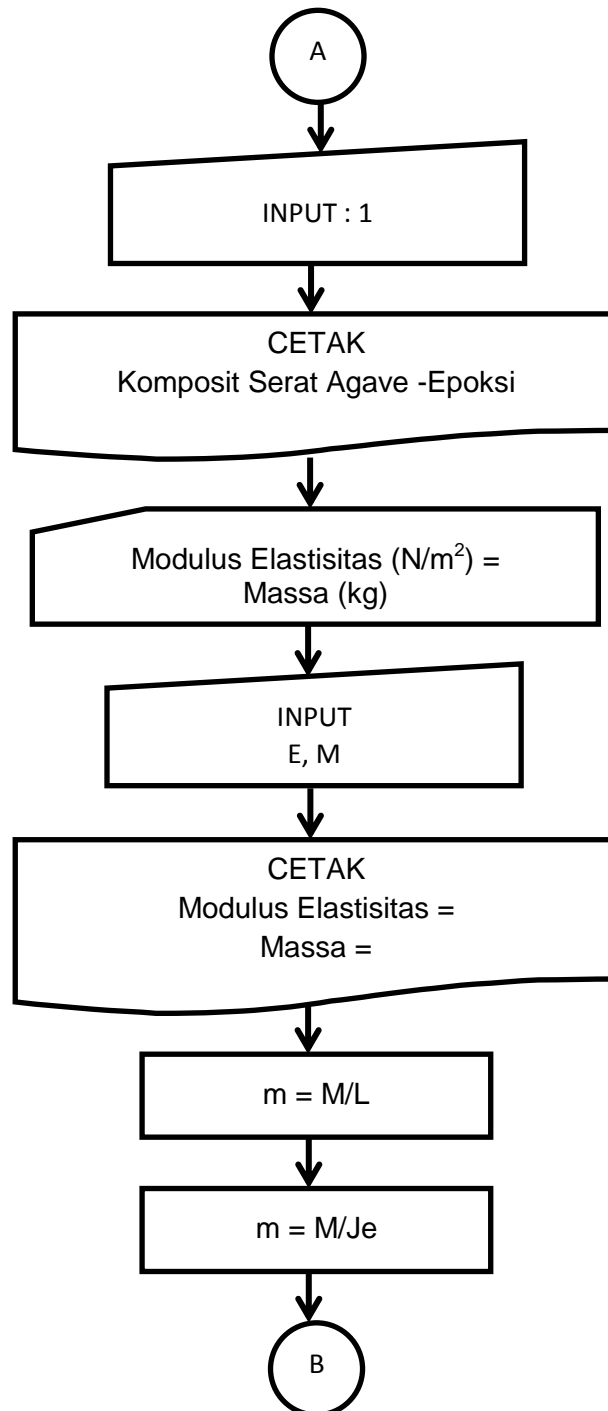
1. Proses laminasi serat hanya menggunakan cara manual, olehnya itu diharapkan untuk penelitian mendatang lebih bisa menggunakan proses laminasi serat yang lebih baik.
2. Perhitungan metode elemen hingga ini dapat dikembangkan dengan menggunakan simulasi program yang lebih kompleks
3. Penelitian selanjutnya sangat baik jika dianalisa faktor-faktor atau variabel-variabel lain, misalnya impak; kekerasan dan lain-lain untuk mendapat sifat-sifat mekanik yang diharapkan.

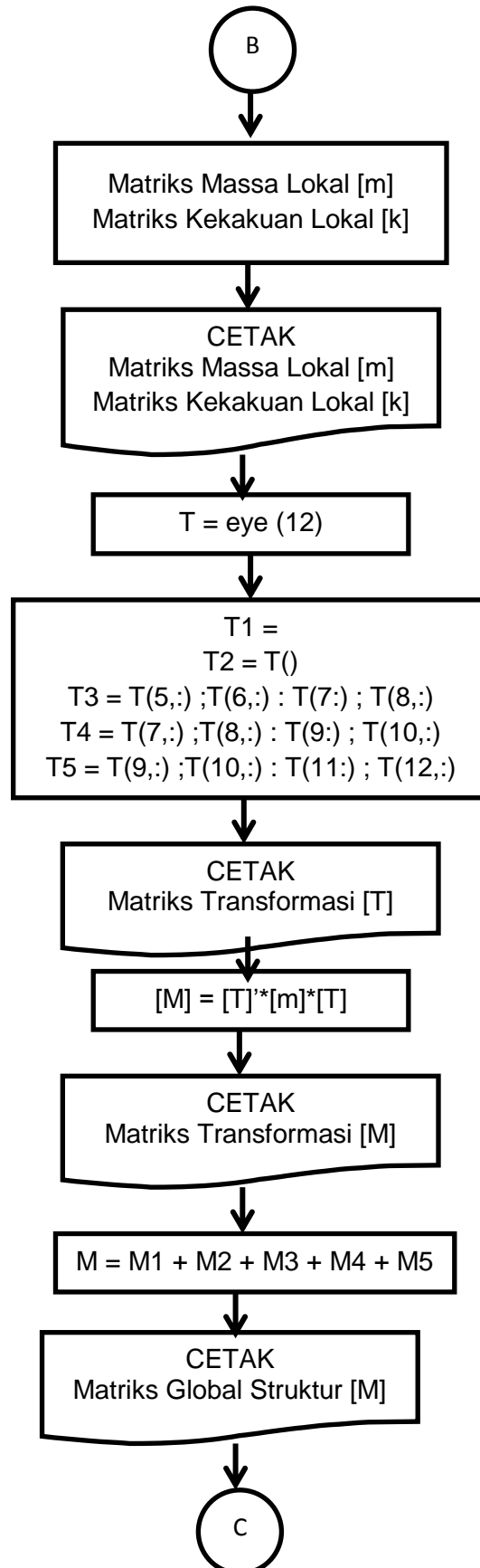
DAFTAR PUSTAKA

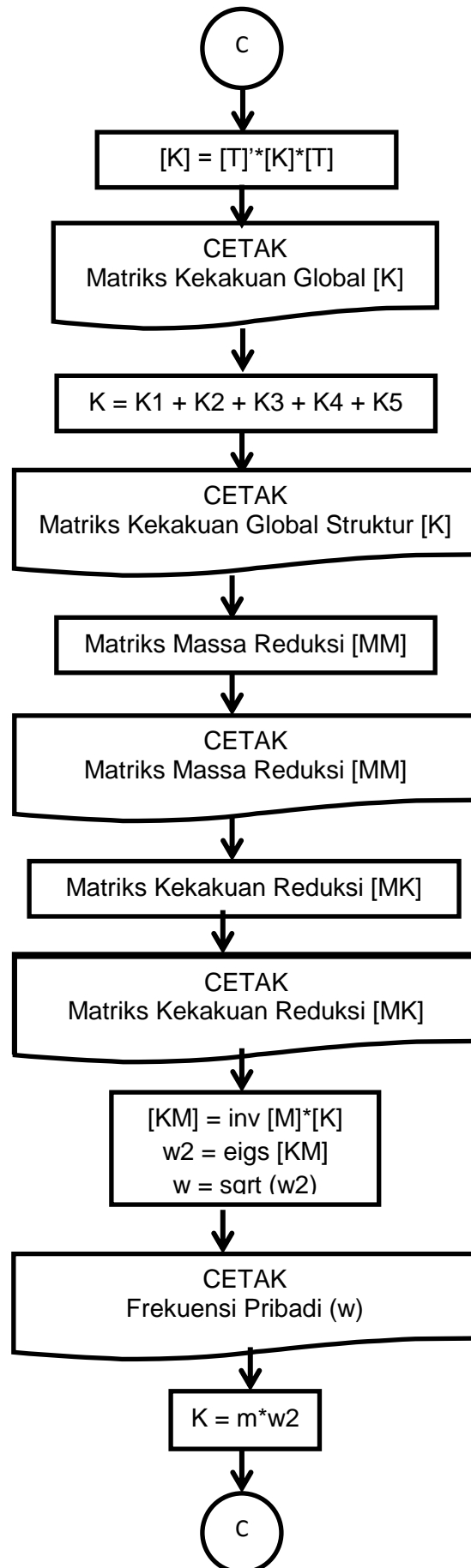
- [1] Fausan. 2007. **“Analisis Getaran Torsional Pada Poros Bulat dengan Metode elemen Hingga Berbasis Matlab”**. Tesis tidak dipublikasikan, Makassar.
- [2] Lizda Johar, 2005 **“ Karakteristik Bahan Komposit Berpenguat Serat Bambu ”**.Tesis tidak dipublikasikan, Makassar.
- [3] J.M. Krodkiewski. 2008. **“Mechanical Vibration”**. The University of Melbourne, Departemen of mechanical and manufacturing engineering.
- [4] Nanang Endrianto . 2012. **“Analisis Numerik dan Eksperimental Getaran Balok Komposit yang diperkuat Serat Abaca”**. Tesis tidak dipublikasikan, Makassar.
- [5] R.E Smallman, R.J Bishop. 1999. **“Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material”**. PT. Erlangga , Jakarta.
- [6] Santoso. 2008, **“ Potensi Bahan Baku Komposit Serat Agave Dalam Ruang Lingkup Industri”** Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (LP3M) Institut Pertanian, Malang.
- [7] Steven T. Karis. 2007. **“Numerical Analysis Using Matlab and Excel”**. Orchard Publications, USA.
- [8] S.Gaham Kelly, Ph.D. 1996. **“ Fundamentals of Mechanical Vibrations” 2nd edition**.McGraw-Hill, Inc, United states of America.
- [9] Van Vlack . 1989. **“Elemen-elemen Ilmu Dan Rekayasa Material”**.PT. Erlangga, Jakarta.
- [10] Van Vlack . 1990. **“Ilmu Dan Teknologi Bahan”**. PT.Erlangga , Jakarta.
- [11] Victor Wowk. 1991. **Macdhinery Vibration Measurement and Analysis”**. M.C Graw Hill, USA.
- [12] William T. Thomson . 1986. **“ Teory Getaran Dengan Penerapan”**. PT.Erlangga, Jakarta.

Lampiran 1. Diagram Alir Program Matlab Frekuensi Pribadi dan Kekakuan Balok Komposit.









Lampiran 2. Program Komputasi Numerik Frekuensi Pribadi dan Kekakuan Balok Komposit

1. PROGRAM UTAMA :

```

% Program      : matlab
% Programmer   : syaiful
% Tanggal      : 24 Juni 2013

clc% clear command window
close all% menutup all figure
clear

global T m k Form

Form1 = '% 8.4e';
Form2 = '% 8.4f';
Form3 = '% 12.4f';

% Data-data yang diketahui :
J_e = 5;
M = 0.37;           % massa balok Agave [kg]
L = 50/100;        % panjang balok [m]

b = 3/100;         % lebarbalok [m]
h = 2/100;         % tebalbalok [m]

T = eye(12);       % Matriks identitas (12 x 12)

E1 = 515.875*10^6; % serat Agave 0°/0°/0°
E2 = 416.687*10^6; % serat Agave -45°/0°/45°
E3 = 386.875*10^6; % serat Agave -90°/0°/90°
% Data hasil pengujian :
wn_act1 = [4870.21 4663.13 4593.71 4802.04]; % 0°/0°/0°
wn_act2 = [4705.42 4496.18 4420.27 4635.15]; % -45°/0°/45°
wn_act3 = [4611.73 4386.61 4305.19 4523.82]; % -90°/0°/90°

k_act1 = [877600.98 804556.91 780780.34 853204.76]*9.8;
k_act2 = [819216.16 747978.48 722935.11 794930.77]*9.8;

```

```

k_act3 = [786917.98 711966.85 685782.45 757203.05]*9.8;

Pilihan serat
% E = E1; wn_act = wn_act1'; k_act = k_act1';
% E = E2; wn_act = wn_act2'; k_act = k_act2';
% E = E3; wn_act = wn_act3'; k_act = k_act3';

% Perhitungan Awal
I = b*h^3/12; % Momen Inersia penampangbalok

m_L = M/L; % Massa persatuan panjang balok [kg/m]

l = L/J_e; % Panjang segmen balok [m]

disp ('- Matriks Kekakuan Aktual : ')
disp (' ')
disp ([' wn_act1 = ', sprintf(Form3,wn_act1), ' ] rad/s']);
disp ([' wn_act2 = ', sprintf(Form3,wn_act2), ' ] rad/s']);
disp ([' wn_act3 = ', sprintf(Form3,wn_act3), ' ] rad/s']);
disp (' ');

disp ('- Matriks Kekakuan Aktual : ')
disp (' ')
disp ([' k_act1 = ', sprintf(Form3,k_act1), ' ] N/m']);
disp ([' k_act2 = ', sprintf(Form3,k_act2), ' ] N/m']);
disp ([' k_act3 = ', sprintf(Form3,k_act3), ' ] N/m']);
disp (' ');

disp (['- Momen Inersia penampang balok, I = ', sprintf(Form1,I), ' m^4']);
disp (['- Massa persatuan panjang balok, m_L = ', sprintf(Form2,m_L), ' kg/m']);
disp (['- Panjang segmen balok, l = ', sprintf(Form2,l), ' m']);
disp (' ');

% Rumus Matriks Massa segmen balok
m = [ 156 22*1 54 -13*1; 22*1 4*1^2 13*1 -3*1^2;
      54 13*1 156 -22*1; -13*1 -3*1^2 -22*1 4*1^2];

m = m * (m_L*1/420);

```

```

% Rumus Matriks Kekakuan segmen balok
k = [ 12 6*1 -12 6*1; 6*1 4*1^2 -6*1 2*1^2;
      -12 -6*1 12 -6*1; 6*1 2*1^2 -6*1 4*1^2];
k = k * (E*I/l^3);

% Matriks Transformasi tiap segmen balok (4 x 12)
T1 = fT(1);           % (1,1) sampai ( 4,12)
T2 = fT(2);           % (3,1) sampai ( 6,12)
T3 = fT(3);           % (5,1) sampai ( 8,12)
T4 = fT(4);           % (7,1) sampai (10,12)
T5 = fT(5);           % (9,1) sampai (12,12)

disp ('- Matriks Transformasi tiap segmen balok (4 x 12) :')
disp (' ');
Form = '% 2.0f';

fdisp_Matriks (' T1',T1,4);
fdisp_Matriks (' T2',T2,4);
fdisp_Matriks (' T3',T3,4);
fdisp_Matriks (' T4',T4,4);
fdisp_Matriks (' T5',T5,4);

% Matriks Massa untuk tiap segmen balok (12 x 12)
M1 = fM(T1);
M2 = fM(T2);
M3 = fM(T3);
M4 = fM(T4);
M5 = fM(T5);

disp ('- Matriks Massa untuk tiap segmen balok (12 x 12)');
disp (' ');
Form = '% 8.3f';

fdisp_Matriks (' M1[.10~3 kg]', M1*10^3, 12);
fdisp_Matriks (' M2[.10~3 kg]', M2*10^3, 12);
fdisp_Matriks (' M3[.10~3 kg]', M3*10^3, 12);
fdisp_Matriks (' M4[.10~3 kg]', M4*10^3, 12);
fdisp_Matriks (' M5[.10~3 kg]', M5*10^3, 12);

```



```

% Matriks massa global (12 x 12)
M = M1 + M2 + M3 + M4 + M5;

disp ('- Matriks massa global (12 x 12)');
disp (' ');
fdisp_Matriks ('M[.103 kg]', M*103, 12);

% Matriks kekakuan tiap segmen balok (12 x 12)
K1 = fK(T1);
K2 = fK(T2);
K3 = fK(T3);
K4 = fK(T4);
K5 = fK(T5);

disp ('- Matriks kekakuan tiap segmen balok (12 x 12)');
disp (' ');
Form = '%11.3f';

fdisp_Matriks (' K1[.103 N/m]', K1/103, 12);
fdisp_Matriks (' K2[.103 N/m]', K2/103, 12);
fdisp_Matriks (' K3[.103 N/m]', K3/103, 12);
fdisp_Matriks (' K4[.103 N/m]', K4/103, 12);
fdisp_Matriks (' K5[.103 N/m]', K5/103, 12);

% Matriks kekakuan global balok keseluruhan (12 x 12)
K = K1 + K2 + K3 + K4 + K5;

disp ('- Matriks kekakuan global balok (12 x 12)');
disp (' ');

fdisp_Matriks (' K[.103 N/m]', K/103, 12);

% Matriks Reduksi Massa & Kekakuan (4 x 4)
% tergantung perpindahan translasi v & rotasi theta di tiap titik !!!

MR = fR2(M, 3,5,7,9);           % 4 node
KR = fR2(K, 3,5,7,9);

```

```

disp ('- Matriks Reduksi Massa dan Kekakuan (4 x 4)');
disp (' ');

Form = '% 8.3f';
fdisp_Matriks (' MR[.10-3 kg]', MR*103, 4);

Form = '%11.3f';
fdisp_Matriks (' KR[.103 N/m]', KR/103, 4);

% Matriks frekwensi natural (4 x 4)
Mwn_2 = inv(MR) * KR;           % Matriks w2
wn_2 = eigs(Mwn_2);             % (4 x 1)
wn = sqrt(wn_2);                % (4 x 1) p.69

disp ('- Matriks frekwensi natural dan kekakuan(4 x 1) :');
disp (' ');
Form = '% 13.3f';

fdisp_Matriks (' MR'' x KR', Mwn_2,4);
fdisp_Matriks (' wn2 ', wn_2, 4);
fdisp_Matriks (' wn [rad/s]', wn, 4);

% Matriks Kekakuan dari frekwensi pribadi (4 x 1) p.68
k = m_L * wn_2;

fdisp_Matriks (' k [N/m]', k, 4);

% Kesalahan w_n
for i = 1 : 4
wn_err(i) = abs(wn(i) - wn_act(i))*100/wn_act(i);

k_err(i) = abs(k(i) - k_act(i)) * 100/k_act(i);
end

wn_err;
k_err;

```

```

disp ('- % Kesalahanw_n dan k (4 x 1) :');
disp (' ');
Form = '% 8.3f';
fdisp_Matriks (' wn_err [%]', wn_err', 4);
fdisp_Matriks (' k_err [%]', k_err', 4)

```

2. SUB PROGRAM :

```

Function K_i = fK(T_i)
global k % Matriks kekakuan segmen (4 x 4)
K_i = T_i' * k * T_i;
end
function [k K] = fKaku(n)
global E I l

K = zeros(12);

k = [12 6*1 -12 6*1; 6*1 4*1^2 -6*1 2*1^2;
     -12 -6*1 12 -6*1; 6*1 2*1^2 -6*1 4*1^2];

k = k * (E*I/l^3);

for i = 1:4
for j = 1:4
ii = i + (2*n - 2); jj = j + (2*n - 2);

K(ii,jj) = k(i,j);
end
end

end

functionM_i = fM(T_i)
global m % Matriks Massa (4 x 4)

M_i = T_i' * m * T_i;
end

function [m M] = f Massa(n)

```

```

global E I l m_L

M = zeros(12);

m = [156 22*1  54 -13*1;  22*1  4*1^2  13*1 -3*1^2;
      54 13*1 156 -22*1; -13*1 -3*1^2 -22*1  4*1^2];

m = m * (m_L*1/420);

for i = 1:4
for j = 1:4
ii = i + (2*n - 2); jj = j + (2*n - 2);

M(ii,jj) = m(i,j);
end
end
end

function R = fR(M, n1,n2,n3,n4)
n(1) = n1; n(2) = n2; n(3) = n3; n(4) = n4;

for i = 1:4
for j = 1:4
R(i,j) = M(n(i),n(j));
end
end
end

function T_i = fT(i)
global T          % Matriks Identitas (12 x 12)

n = 2*i - 1;      % nilai ganjil

T_i = [T(n,:); T(n+1,:); T(n+2,:); T(n+3,:)]; % kolom tetap dr 1 - 12
end

```

Lampiran 3. Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan kekakuan pada balok komposit dengan matlab

Perhitungan Serat $-45^\circ/0^\circ/45^\circ$

 - Matriks Kekakuan Aktual :

$$\begin{aligned} \text{wn_act1} &= [4870.2100 & 4663.1300 & 4593.7100 & 4802.0400] \text{ rad/s} \\ \text{wn_act2} &= [4705.4200 & 4496.1800 & 4420.2700 & 4635.1500] \text{ rad/s} \\ \text{wn_act3} &= [4611.7300 & 4386.6100 & 4305.1900 & 4523.8200] \text{ rad/s} \end{aligned}$$

- Matriks Kekakuan Aktual :

$$\begin{aligned} \text{k_act1} &= [8600489.6040 & 7884657.7180 & 7651647.3320 & 8361406.6480] \text{ N/m} \\ \text{k_act2} &= [8028318.3680 & 7330189.1040 & 7084764.0780 & 7790321.5460] \text{ N/m} \\ \text{k_act3} &= [7711796.2040 & 6977275.1300 & 6720668.0100 & 7420589.8900] \text{ N/m} \end{aligned}$$

- Momen Inersia penampang balok, $I = \text{m}^4$
- Massa persatuan panjang balok, $m_L = \text{kg/m}$
- Panjang segmen balok, $l = \text{m}$

- Matriks Transformasi tiap segmen balok (4 x 12) :

$$\text{T1} = \begin{array}{c} | 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \end{array}$$

$$\text{T2} = \begin{array}{c} | 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \end{array}$$

$$\text{T3} = \begin{array}{c} | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 | \end{array}$$

$$| 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 |$$

	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

K4 [$\cdot 10^3$ N/m] =

	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.005	5.000	-100.005	5.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.333	-5.000	0.167	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.005	-5.000	100.005	-5.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.167	-5.000	0.333	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

K5 [$\cdot 10^3$ N/m] =

	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.005	5.000	-100.005	5.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.333	-5.000	0.167
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.005	-5.000	100.005	-5.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.167	-5.000	0.333

- Matrikskekakuan global balok (12 x 12)

	100.005	5.000	-100.005	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.000	0.333	-5.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	-100.005	-5.000	200.010	0.000	-100.005	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.000	0.167	0.000	0.667	-5.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	-100.005	-5.000	200.010	0.000	-100.005	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	5.000	0.167	0.000	0.667	-5.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000

K [$\cdot 10^3$ N/m] =

	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.005	-5.000	200.010	0.000	-100.005	5.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.167	0.000	0.667	-5.000	0.167	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.005	-5.000	200.010	0.000	-100.005	5.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.167	0.000	0.667	-5.000	0.167
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.005	-5.000	100.005	-5.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.167	-5.000	0.333

- Matriks Reduksi Massa dan Kekakuan (4 x 4)

	54.971	9.514	0.000	0.000
	9.514	54.971	9.514	0.000

$$\begin{aligned}
 MR[.10^{-3} \text{ kg}] &= \begin{vmatrix} 0.000 & 9.514 & 54.971 & 9.514 \\ 0.000 & 0.000 & 9.514 & 54.971 \end{vmatrix} \\
 KR[.10^3 \text{ N/m}] &= \begin{vmatrix} 200.010 & -100.005 & 0.000 & 0.000 \\ -100.005 & 200.010 & -100.005 & 0.000 \\ 0.000 & -100.005 & 200.010 & -100.005 \\ 0.000 & 0.000 & -100.005 & 200.010 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

- Matriks frekwensi natural dan kekakuan(4 x 1) :

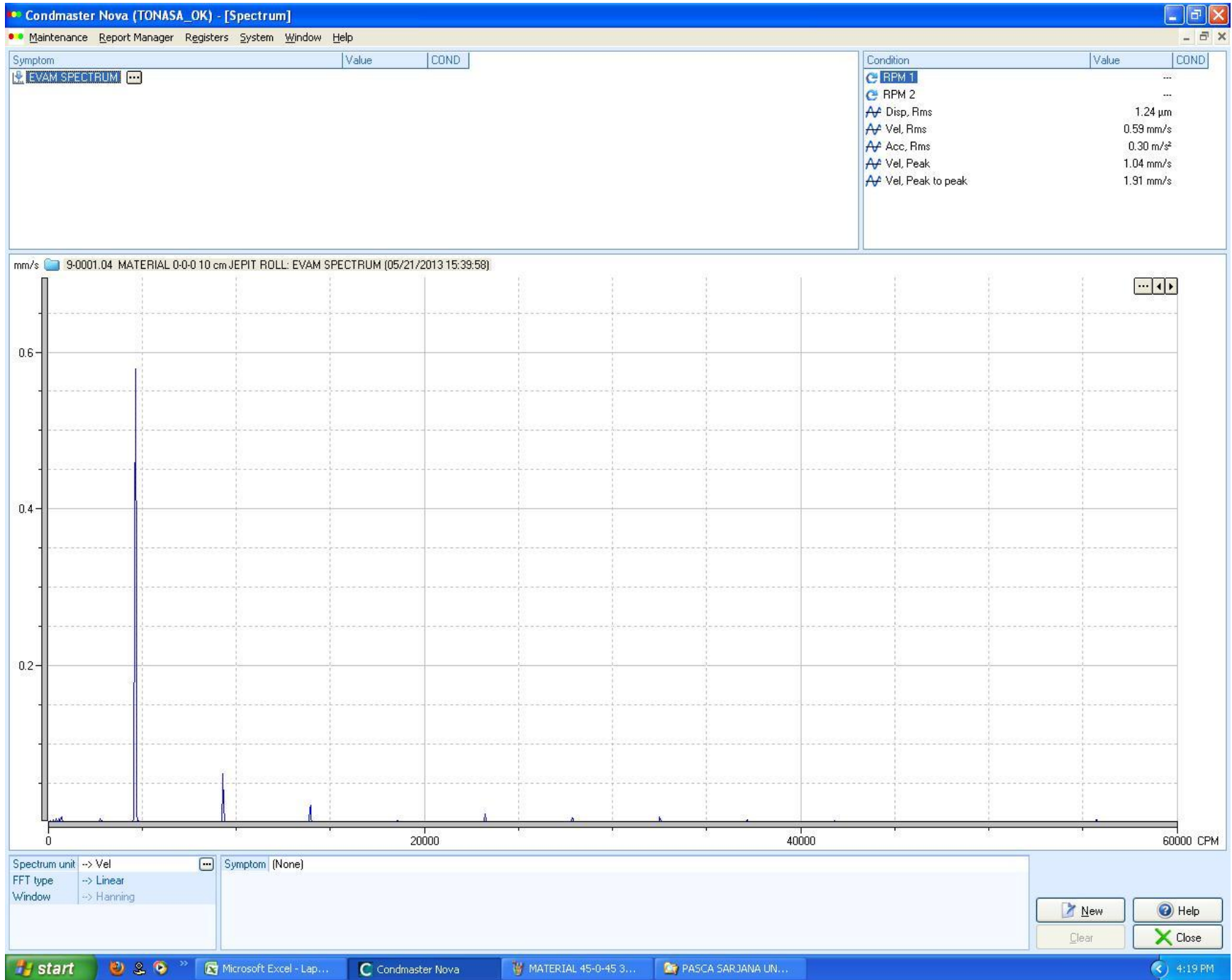
$$\begin{aligned}
 MR' \times KR &= \begin{vmatrix} 4089743.028 & -2607579.538 & 465248.656 & -80523.806 \\ -2607579.538 & 4554991.684 & -2688103.344 & 465248.656 \\ 465248.656 & -2688103.344 & 4554991.684 & -2607579.538 \\ -80523.806 & 465248.656 & -2607579.538 & 4089743.028 \end{vmatrix} \\
 wn^2 &= \begin{vmatrix} 21374440.56 \\ 19103542.98 \\ 18528892.43 \\ 20794603.21 \end{vmatrix} \\
 wn \text{ [rad/s]} &= \begin{vmatrix} 4623.25 \\ 4370.76 \\ 4304.52 \\ 4635.15 \end{vmatrix} \\
 k \text{ [N/m]} &= \begin{vmatrix} 7908543.007 \\ 7068310.903 \\ 6855690.199 \\ 7694003.188 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

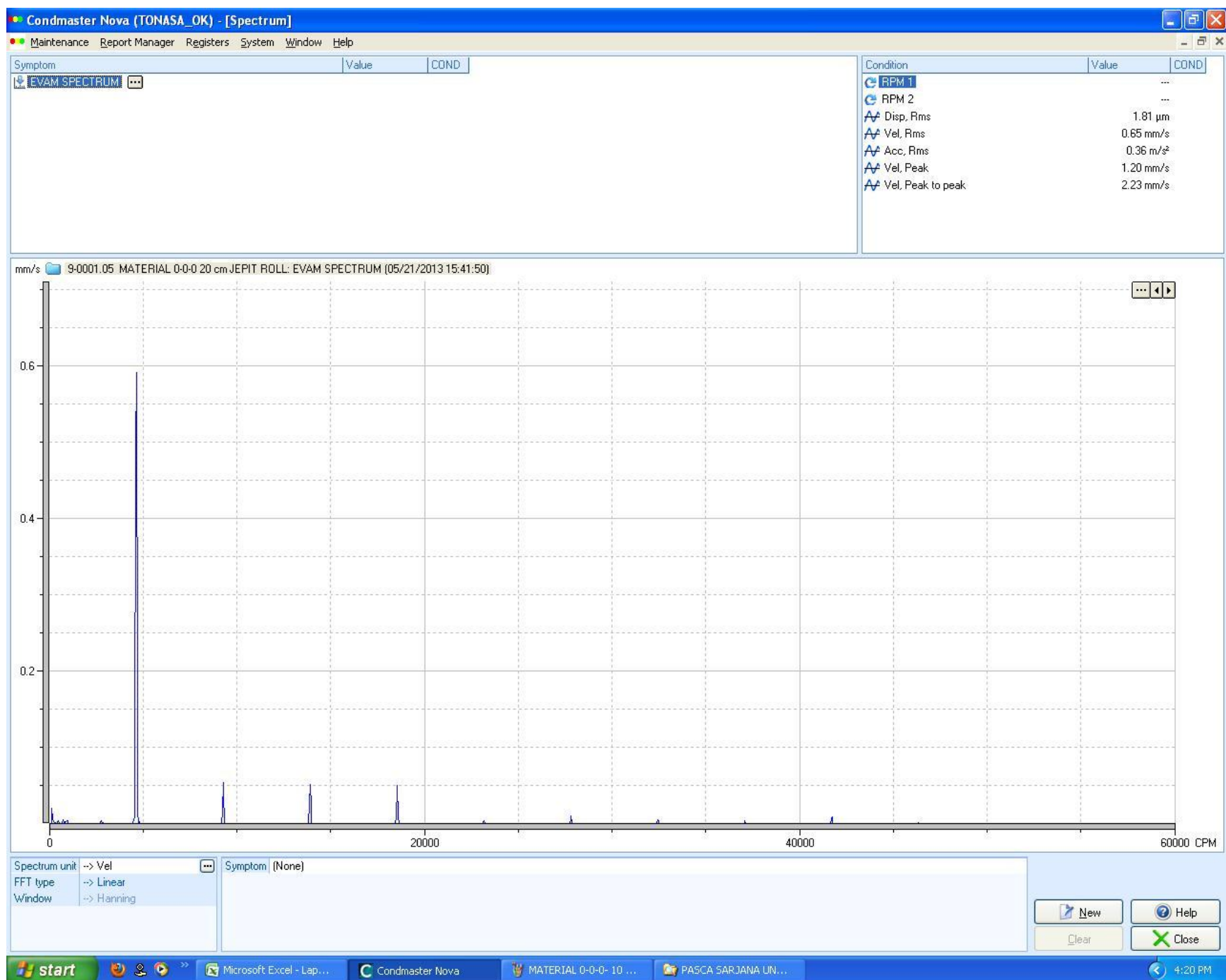
- % Kesalahan w_n dan k (4 x 1) :

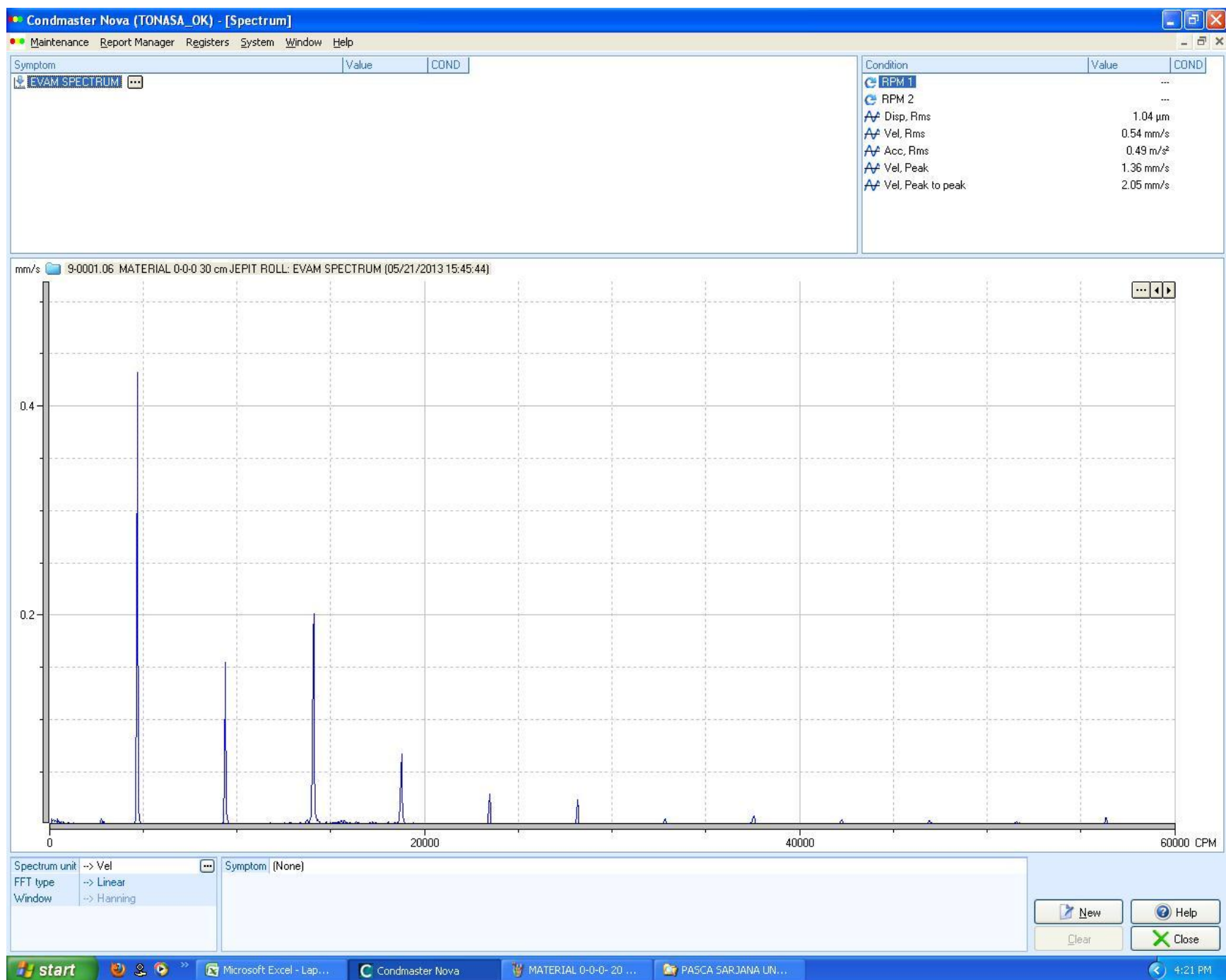
$$wn_err \text{ [%]} = \begin{vmatrix} 1.74 \\ 2.83 \\ 2.65 \\ 1.61 \end{vmatrix}$$

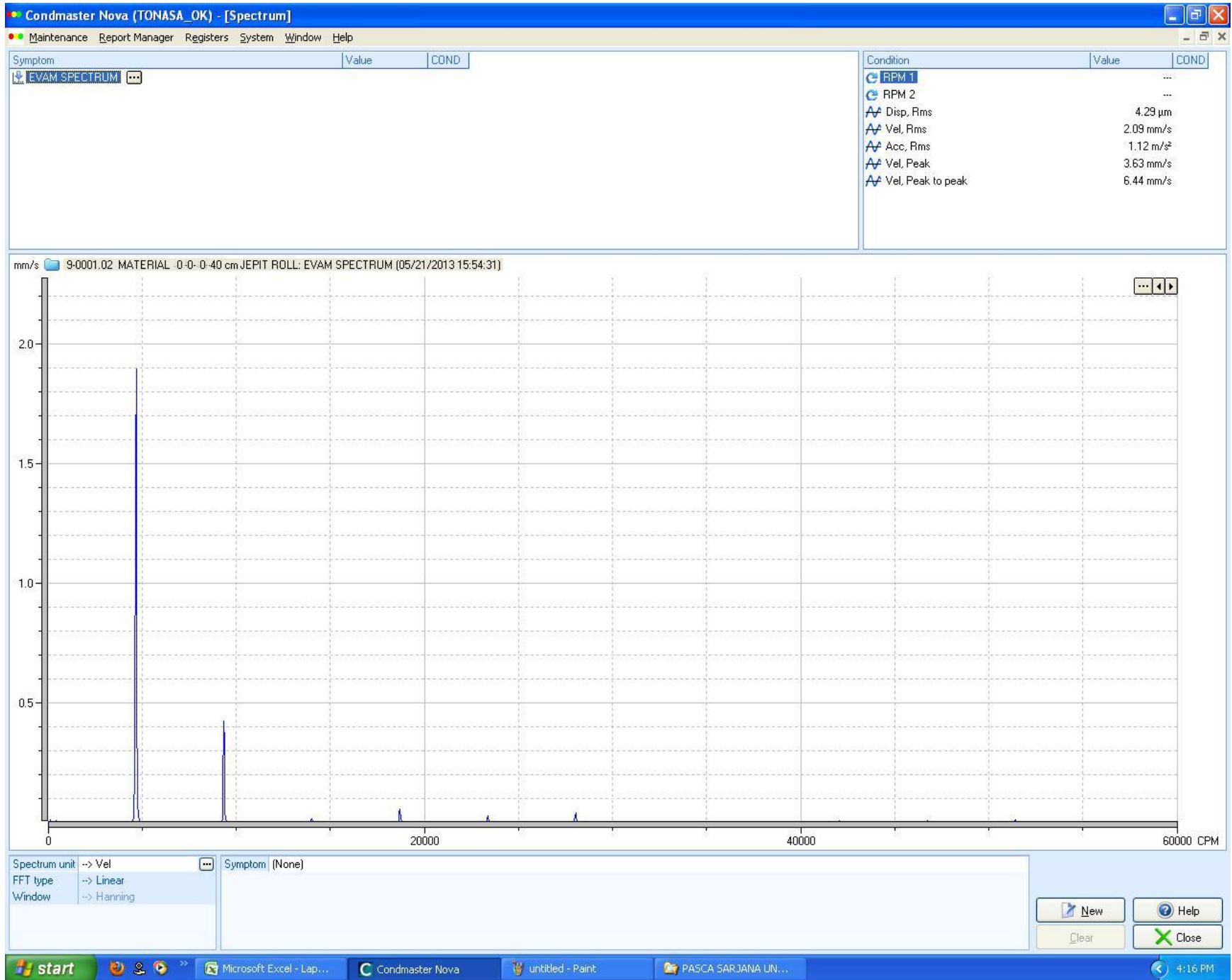
```
k_err [%] = | 1.49|  
            | 3.57|  
            | 3.25|  
            | 1.23|
```

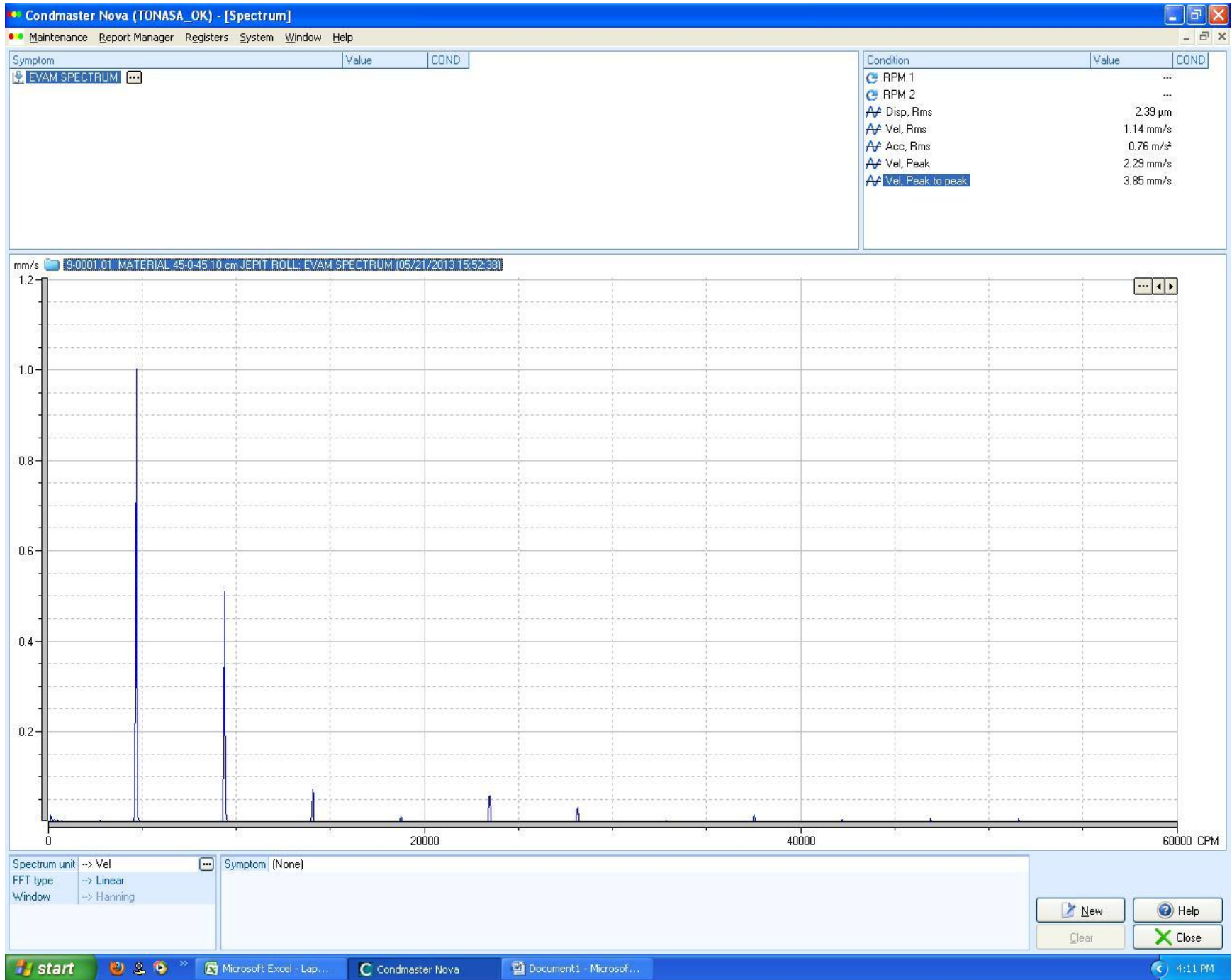
```
>>
```

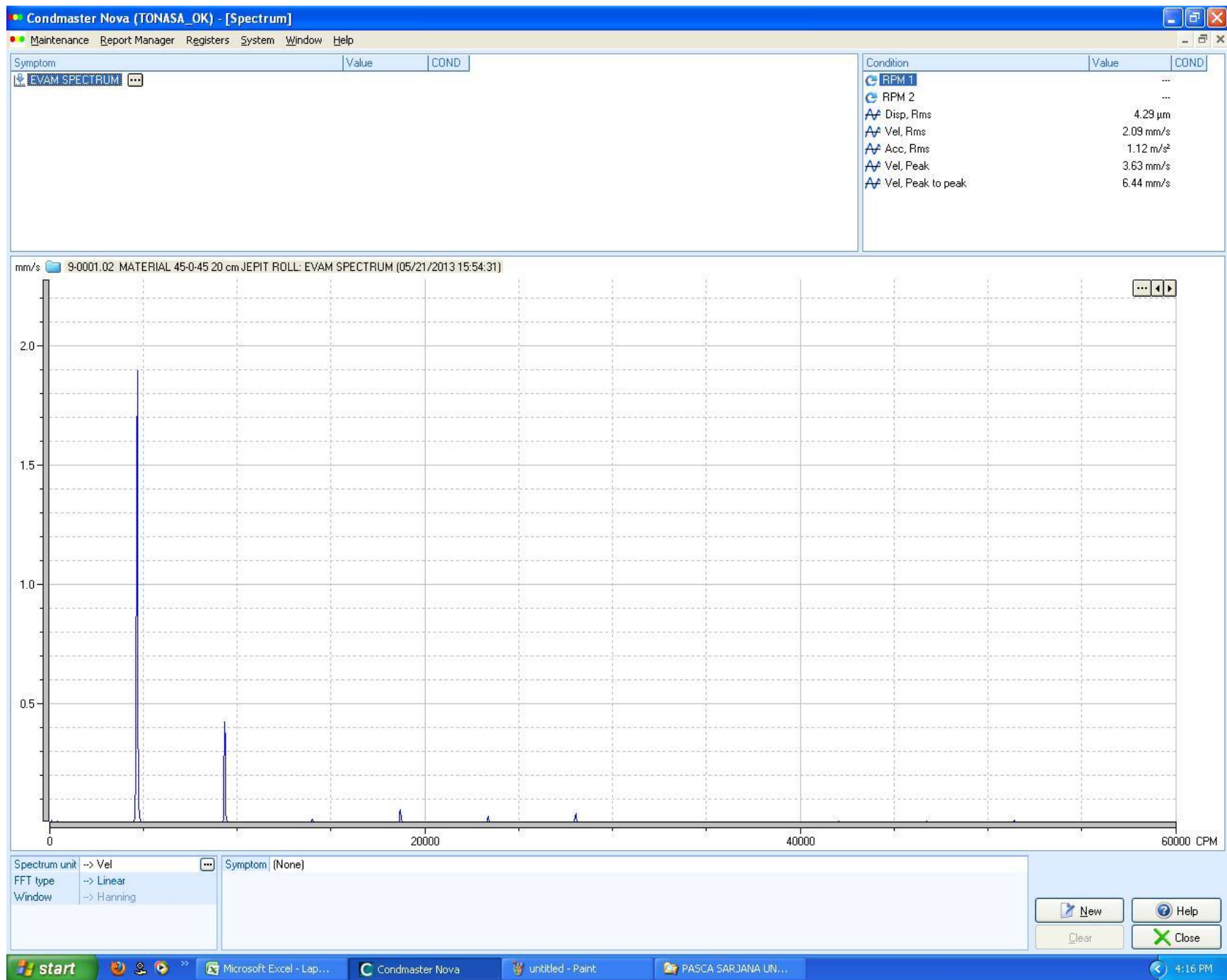


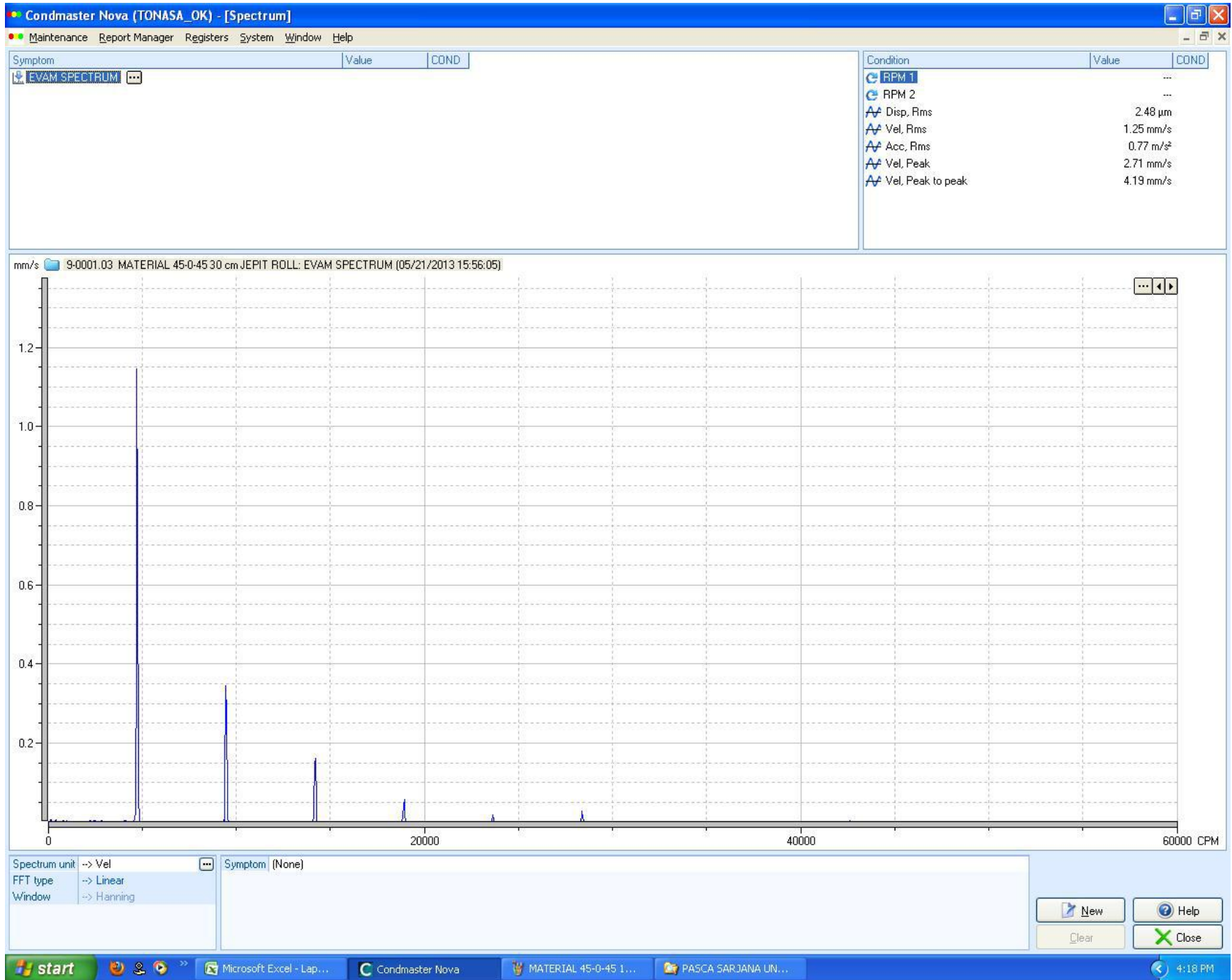


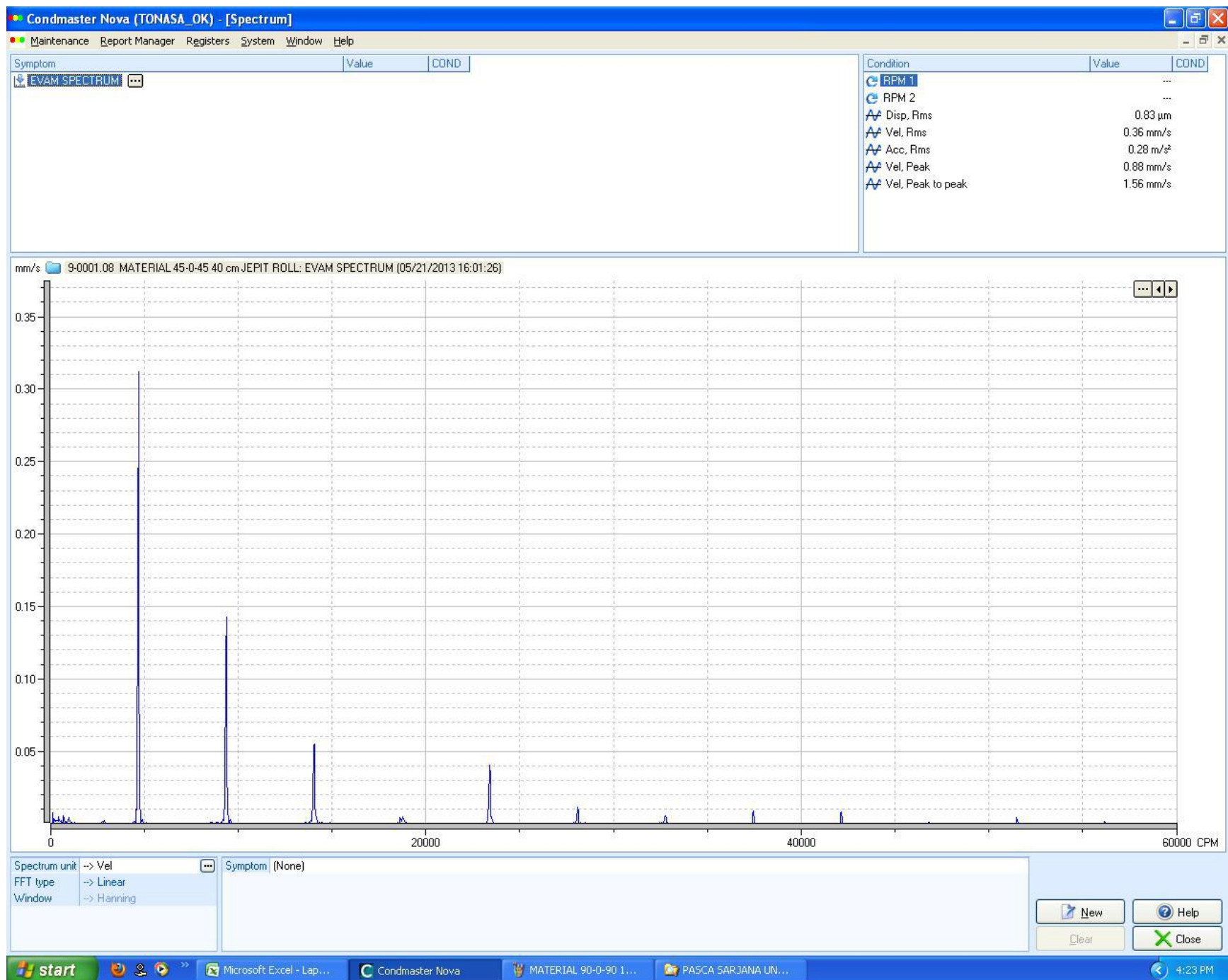


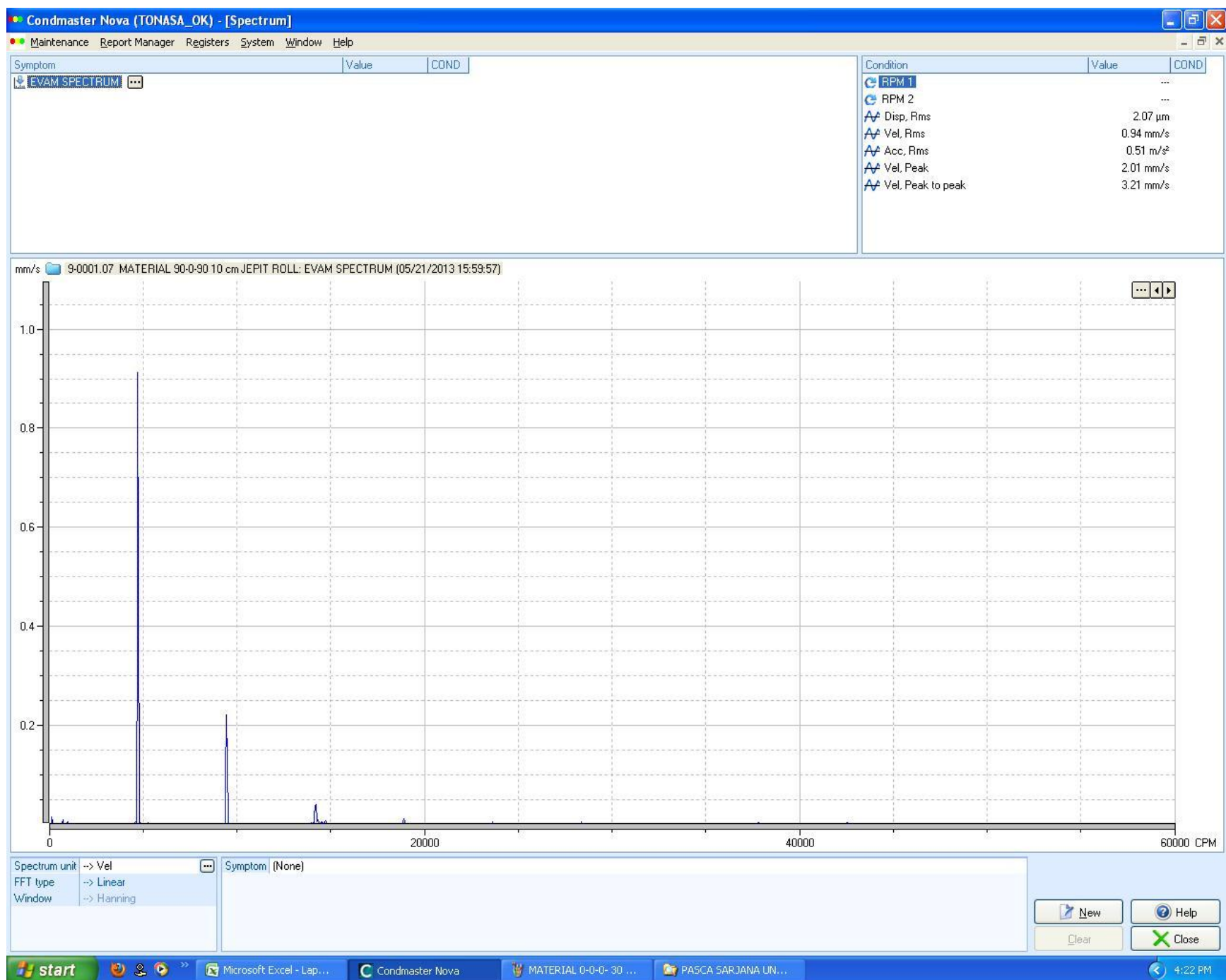


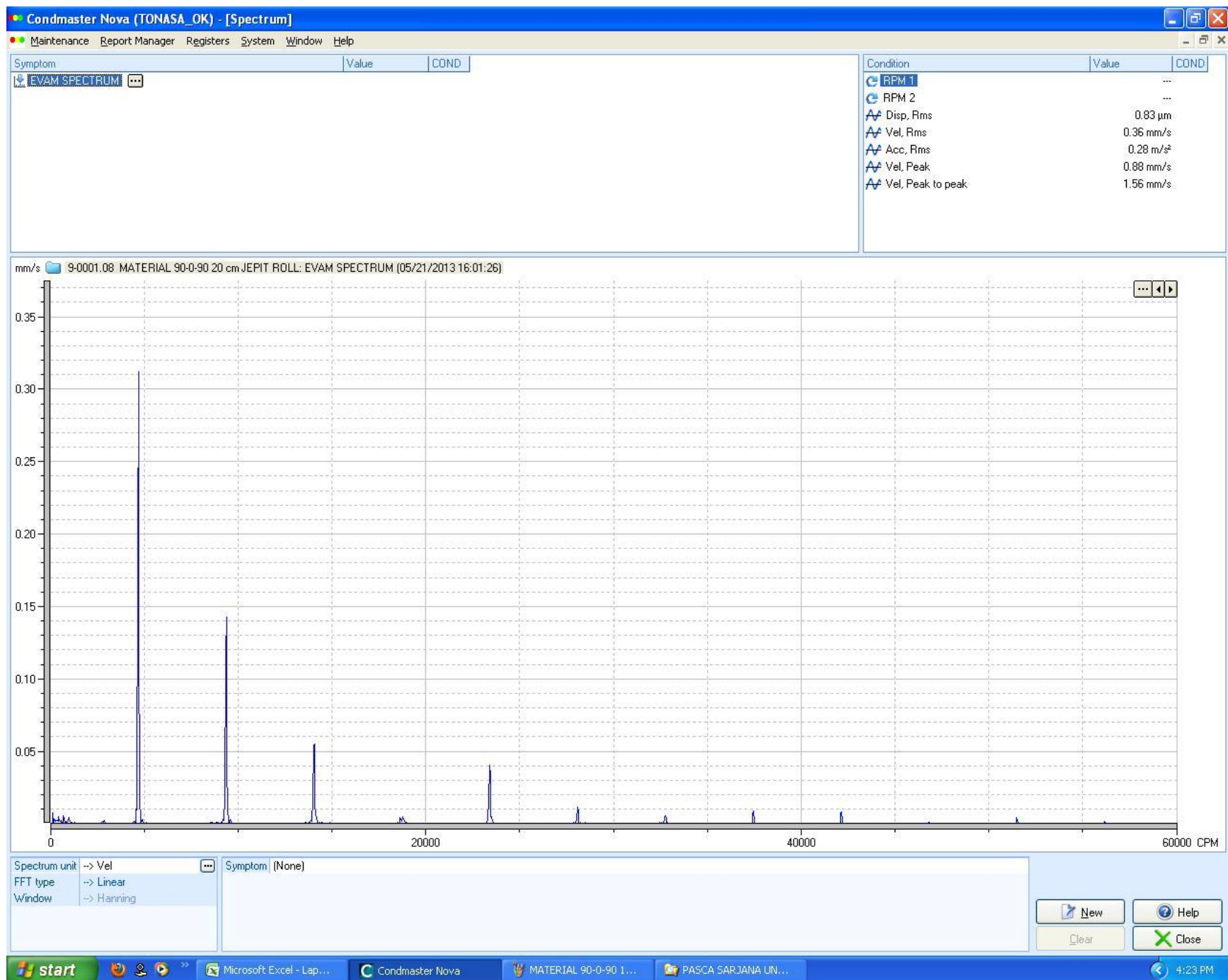


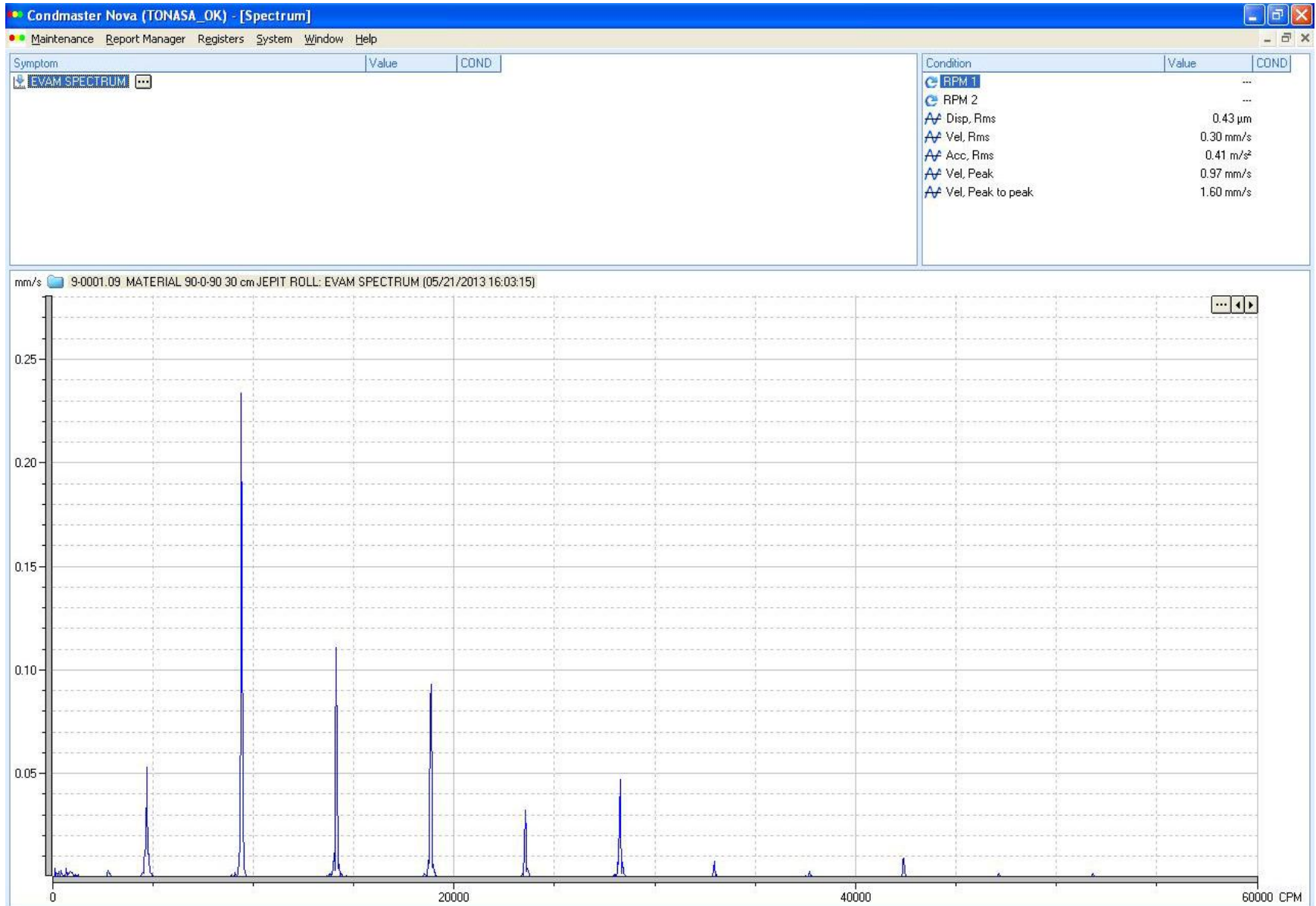


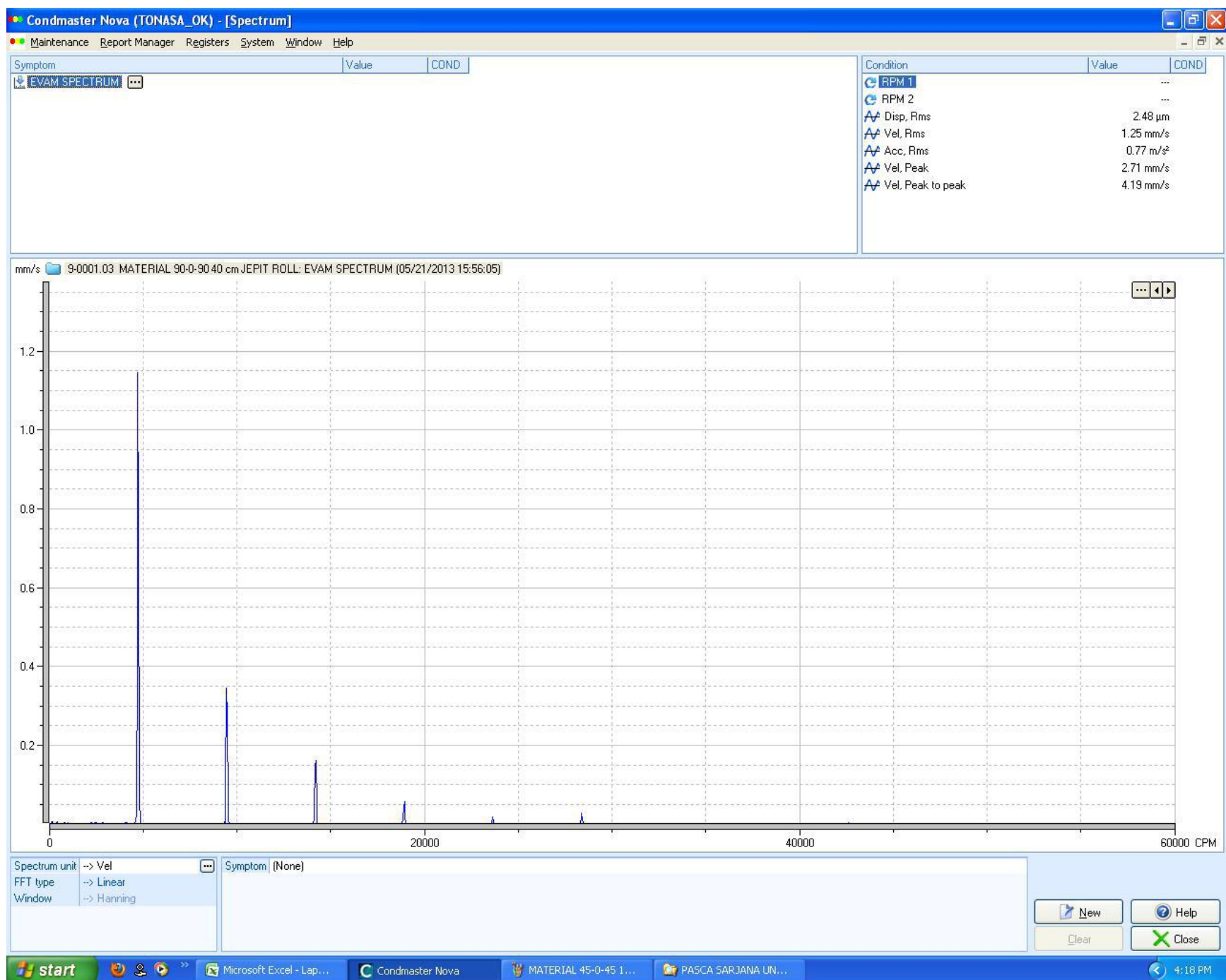












Lampiran 5. Tabel Hasil Pengujian Tarik dan Pengujian Getaran

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Tarik Serat Agave – Matriks Epoksi

Arah serat Agave	ΔL (mm)	F (N)			F_m (N)	A_0 (mm ²)	σ rata-rata (N/mm ²)	ε Rata-rata
		F1	F2	F3				
0°/0°/0°	0	0	0	0	0.00	105	0	0
	1	850	850	850	850.00	105	8,095	0,015
	2	1700	1700	1750	1716.67	105	16,349	0,031
	3	2450	2450	2450	2450.00	105	23,333	0,046
	4	3200	3300	3200	3233.33	105	30,793	0,062
	5	3900	3900	4000	3933.33	105	37,460	0,078
	5.6	4300	4200	4200	4233.33	105	40,317	0,087
-45°/0°/45°	0	0	0	0	0	105	0	0
	1	700	700	700	700.00	105	6,666	0,015
	2	1400	1400	1400	1400.00	105	13,333	0,031
	3	1950	1950	2000	1966.67	105	18,730	0,046
	4	2600	2600	2550	2583.33	105	24,603	0,062
	5	3100	3200	3200	3166.67	105	30,158	0,078
	5.3	3300	3300	3300	3300.00	105	31,428	0,082
-90°/0°/90°	0	0	0	0	0	105	0	0
	1	650	650	650	6500.00	105	6,190	0,015
	2	1300	1300	1300	1300.00	105	12,380	0,031
	3	1900	1800	1800	1833.33	105	17,460	0,046
	4	2400	2350	2350	2366.67	105	22,539	0,062
	5	2900	2950	2900	2916.67	105	27,777	0,078
	5.2	3000	3000	3000	3000.00	105	28,571	0,081

Tabel 5.2. Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Komposit Serat Agave – Matriks Epoksi.

Jenis Komposit	Arah serat	E (N/mm ²)
Serat agave - Epoksi	0°/0°/0°	515,875
	-45°/0°/45°	416,687
	-90°/0°/90°	386,875

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Frekuensi Pribadi Dan Kekakuan Untuk Elastisitas Komposit Serat Agave – Matriks Epoksi.

NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (rad/s)	K (kg/m)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		4870,21	8600489,60
		20		4663,13	7884657,71
		30		4593,71	7651647,33
		40		4802,04	8361406,64
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		4705,42	8028318,36
		20		4496,18	7330189,10
		30		4420,27	7084764,07
		40		4635,15	7790321,54
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		4611,73	7711796,20
		20		4386,61	6977275,13
		30		4305,19	6720668,01
		40		4523,82	7420589,89
		50		0	0

Tabel 5.4. Hasil Pengujian Frekuensi Pribadi Dan Kekakuan Dengan MEH Komposit Serat Agave – Matriks Epoksi.

NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (rad/s)	K (kg/m)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		4758,28	8377254,56
		20		4523,58	7571227,12
		30		4476,83	7415542,53
		40		4719,80	8242309,45
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		4623,25	7908543,00
		20		4370,76	7068310,90
		30		4304,52	6855690,19
		40		4635,15	7694003,18
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		4532,43	7600881,02
		20		4296,23	6829309,11
		30		4211,12	6561406,71
		40		4451,94	7333314,81
		50		0	0

Tabel 5.4. Presentase Kesalahan Untuk Frekuensi Pribadi Dan Kekakuan Komposit Serat Agave – Matriks Epoksi.

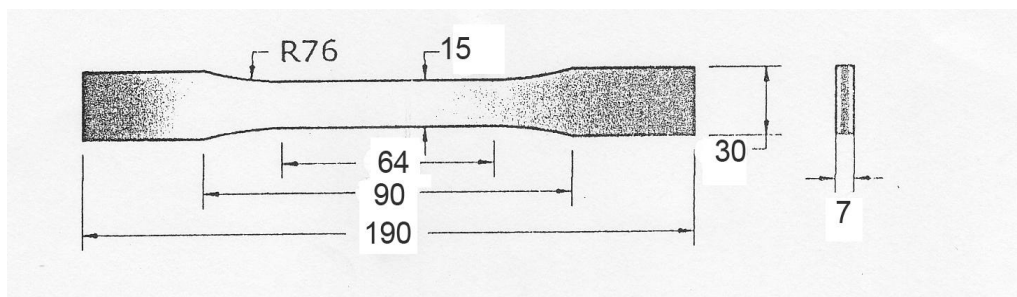
NO	ARAH SERAT AGAVE (°)	POSISI EKSITER (cm)	m (kg)	ω_n (%)	K (%)
1	0°/0°/0°	0	0,037	0	0
		10		2,32	2,59
		20		3,05	3,97
		30		2,58	3,08
		40		1,73	1,42
		50		0	0
2	-45°/0°/45°	0	0,037	0	0
		10		1,74	1,49
		20		2,83	3,57
		30		2,65	3,25
		40		1,61	1,23
		50		0	0
3	-90°/0°/90°	0	0,037	0	0
		10		1,71	1,43
		20		2,07	2,12
		30		2,20	2,36
		40		1,58	1,17
		50		0	0

Lampiran 6. Perhitungan Fraksi Volume

6.1. Spesimen Uji Tarik

- Perhitungan Fraksi Volume Untuk Spesimen Uji Tarik Komposit Serat Agave

Perhitungan fraksi volume pada komposisi fraksi volume 40% serat 60 % matriks.



Data awal pada spesimen pengujian tarik :

Dimensi Spesimen :

- Panjang (P) : 190 mm = 19 cm
- Lebar : 30 mm = 3 cm
- Tebal : 7 mm = 0,7 cm

Panjang ukur

- Panjang (Lo) : 64 mm
- Lebar (l) : 15 mm
- Tebal : 7 mm

Luas penampang awal, $A_0 = l \times t = 15 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} = 105 \text{ mm}^2$

Volume Komposit (Vc):

$$V_c = P.L.T$$

$$V_c = 19 \times 3 \times 0,7$$

$$= 39,9 \text{ cm}^3$$

$$= 39,9 \text{ ml}$$

Volume Serat (Vs), 40% :

$$V_s = \frac{f_{vs} \times V_c}{100\%}$$

$$V_s = \frac{40\% \times 39,9 \text{ cm}^3}{100\%}$$

$$= 15,96 \text{ cm}^3$$

$$= 15,96 \text{ ml}$$

Volume Matriks (Vm), 60% :

$$V_m = \frac{f_{vm} \times V_c}{100\%}$$

$$V_m = \frac{60\% \times 39,9 \text{ cm}^3}{100\%}$$

$$= 23,94 \text{ cm}^3$$

Berat Serat (m_s)

$$m_s = \rho_s \cdot V_s$$

$$m_s = 1 \text{ gr/cm}^3 / \times 15,96 \text{ cm}^3$$

$$= 15,96 \text{ gr}$$

Karena serat yang digunakan sebagai penguat komposit di buat dalam bentuk laminasi, maka langkah yang di ambil untuk mempermudah proses pembuatan laminasi adalah serat di buat dalam bentuk diameter panjang, dan untuk setiap diameter helai serat di ambil 0,5 mm sebagai ukuran diameter pada spesimen pengujian tarik. Dan perhitungannya sebagai berikut :

Untuk hitungan volume satu helai serat (Hs), maka persamaannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Hs &= \frac{\pi D^2}{4} \times P \\ &= \frac{3,14 \times (0,05)^2}{4} \times 19 \\ &= 0,0372 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Maka total helai dalam satu spesimen komposit uji tarik

$$\begin{aligned} \sum Hs &= \frac{Vs}{Hs} \\ &= \frac{15,96 \text{ cm}^3}{0,0372 \text{ cm}^3} = 429 \text{ helai (panjang 19 cm)} \end{aligned}$$

Data selengkapnya mengenai fraksi volume pada material komposit uji tarik dapat lihat pada tabel

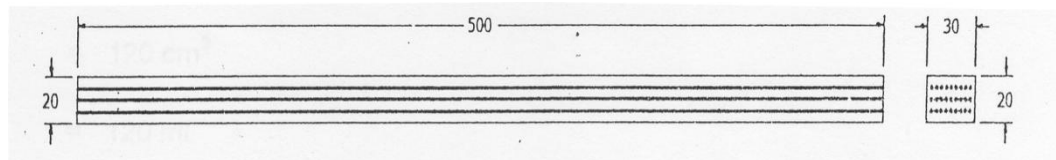
Label Data fraksi Fraksi Volume material komposit uji tarik

Jenis Serat	Volume Komposit (cm ³)	Volume Serat (cm ³)	Volume Matriks (cm ³)	Berat Serat (gr)	Helai Serat (cm ³) (Panjang = 19 cm)	Total Helai/ Spesimen
Agave	39,9	15,96	23,94	15,96	0,0372	429

6.2. Spesimen Uji Getaran

- **Perhitungan Fraksi Volume Untuk Spesimen Uji Getaran Komposit Serat Agave**

Perhitungan fraksi volume pada komposisi fraksi volume 40% serat 60 % matriks.



Data awal pada spesimen pengujian getaran :

Dimensi Spesimen :

- Panjang (P) : 50 cm
- Lebar : 3 cm
- Tebal : 2 cm

Massa Jenis Serat Agave = 1 gr/cm³

Volume Komposit (Vc):

$$V_c = P.L.T$$

$$V_c = 50 \times 3 \times 2$$

$$= 300 \text{ cm}^3$$

$$= 300 \text{ ml}$$

Volume Serat (Vs), 40% :

$$V_s = \frac{f_{vs} \times V_c}{100\%}$$

$$V_s = \frac{40\% \times 300 \text{ cm}^3}{100\%}$$

$$= 120 \text{ cm}^3$$

$$= 120 \text{ ml}$$

Volume Matriks (Vm), 60% :

$$V_m = \frac{f_{vm} \times V_c}{100\%}$$

$$V_m = \frac{60\% \times 300 \text{ cm}^3}{100\%}$$

$$= 180 \text{ cm}^3$$

Berat Serat (ms)

$$m_s = \rho_s \cdot V_s$$

$$m_s = 1 \text{ gr/cm}^3 / \times 120 \text{ cm}^3$$

$$= 120 \text{ gr}$$

Karena serat yang digunakan sebagai penguat komposit di buat dalam bentuk laminasi, maka langkah yang di ambil untuk mempermudah proses pembuatan laminasi adalah serat di buat dalam bentuk diameter panjang, dan untuk setiap diameter helai serat di ambil 0,5 mm sebagai ukuran diameter pada spesimen pengujian getaran. Dan perhitungannya sebagai berikut :

Untuk hitungan volume satu helai serat (Hs), maka persamaannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Hs &= \frac{\pi D^2}{4} \times P \\ &= \frac{3,14 \times (0,05)^2}{4} \times 50 \\ &= 0,098 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Maka total helai dalam satu specimen komposit uji tarik

$$\begin{aligned} \sum Hs &= \frac{Vs}{Hs} \\ &= \frac{120 \text{ cm}^3}{0,098 \text{ cm}^3} = 1224 \text{ helai (untuk panjang 50 cm)} \end{aligned}$$

Data selengkapnya mengenai fraksi volume pada material komposit uji getaran dapat lihat pada tabel

Label Data fraksi Fraksi Volume material komposit uji getaran

Jenis Serat	Volume Komposit (cm ³)	Volume Serat (cm ³)	Volume Matriks (cm ³)	Berat Serat (gr)	Helai Serat (cm ³) (Panjang = 50 cm)	Total Helai/ Spesimen
Agave	300	120	180	120	0,098	1224

Lampiran 7. Gambar Alat Dan Spesimen Pengujian.



Gambar 7.1. Pengambilan Serat Agave Pada Daunnya.



Gambar 7.2. Serat Agave



Gambar 7.3. Pembuatan Tumpuan Komposit



Gambar 7.4. Tumpuan Jepit Dan Tumpuan Roll



Gambar 7.5. Pembuatan Spesimen Uji Tarik Dan Getaran



Gambar 7.6. Pengambilan Data Uji Tarik



Gambar 7.7. Spesimen Uji Tarik Sebelum Dan Sesudah di Uji Tarik



Gambar 7.8. Pengambilan Data Uji Getaran Di PT. Semen Tonasa