

**KARAKTERISTIK GETARAN *SINGLE LINK* MANIPULATOR ROBOT
BERPENGGERAK SILINDER PNEUMATIK**

*VIBRATION CHARACTERISTICS OF SINGLE LINK PNEUMATIC
CYLINDER MOVING ROBOT MANIPULATOR*

LA ODE ABDUL GAMSIR

(D022171002)



PROGRAM STUDI S2 TEKNIK MESIN

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

**KARAKTERISTIK GETARAN SINGLE LINK MANIPULATOR ROBOT
BERPENGGERAK SILINDER PNEUMATIK**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin/ Konstruksi Mesin

Disusun dan diajukan oleh

LA ODE ABDUL GAMSIR

Kepada

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

TESIS

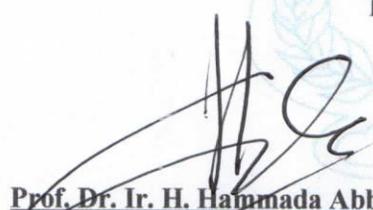
**KARAKTERISTIK GETARAN SINGLE LINK
MANIPULATOR ROBOT BERPENGERAK SILINDER
PNEUMATIK**

Disusun dan diajukan oleh

La Ode Abdul Gamsir
Nomor Pokok D022171002

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 24 November 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,


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

Ketua


Dr. Ir. Zulfli Djafar, MT

Anggota


Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin

Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.


Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : La Ode Abdul Gamsir
Nomor mahasiswa : D022171002
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 atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 November 2020

Yang menyatakan



La Ode Abdul Gamsir
La Ode Abdul Gamsir

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan perkenaan-Nya sehingga karya tulis tesis yang berjudul Karakteristik Getaran Single Link Manipulator Robot Berpenggerak Silinder Pneumatik ini dapat diselesaikan.

Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. H. Hammada Abbas, MSME. dan Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT. atas segala pengorbanan waktu, tenaga dan pikiran yang begitu besar dalam sumbangsih terhadap penelitian ini.

Tulisan ini menyangkut tentang Karakteristik Getaran Single Link Manipulator Robot Berpenggerak Silinder Pneumatik. Saya berharap dari penelitian ini dapat diperoleh pengetahuan baru tentang menganalisa getaran terutama dalam mengetahui karakteristik getaran single link robot.

Saya sadar bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran demi perkembangan ilmu pengetahuan .Semoga tulisan saya ini dapat bermanfaat untuk kita terutama demi kemajuan ilmu pengetahuan.

Makassar, 24 November 2020

LA ODE ABDUL GAMSIR

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
PENGAJUAN TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Batasan Masalah.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II. LANDASAN TEORI	
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Dasar Teori	9
C. Karakteristik Getaran.....	9

D. Gerak Translasi	12
E. Frekuensi Getaran	14
F. Domain Waktu dan Domain Frekuensi	15
1. Domain Waktu.....	15
2. Domain Frekuensi.....	17
G. <i>Degree of Freedom Cantilever Beam</i>	19
1. Momen.....	20
2. Gerakan memanjang dari sebuah beam	18
3. Defleksi dan Rotasi	24
H. Fas Fourier Transform	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	30
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
B. Alat dan Bahan Penelitian	31
C. Tahapan Penelitian.....	36
D. Mode Skematik Sistem Pneumatik dan Sensor.....	38
E. Model Rancangan Robot Manipulator	40
F. Diagram Alur Penelitian	40
G. Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Rancangan.....	43
B. Eksperimen Getaran.....	44

C. Eksperimen Getaran Bebas.....	45
1. <i>Time Hystory Respon</i> (THR) Getaran bebas.....	49
2. <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> Getaran Bebas	50
D. Eksperimen Getaran dengan Gerak Translasi.....	51
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	54
B. Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

ABSTRAK

LA ODE ABDUL GAMSIR. Karakteristik Getaran *Singe Link* Manipulator Robot Berpenggerak Silinder Pneumatik (Dibimbing oleh **Hammada Abbas**, dan **Zulkifli Djafar**).

Penelitian ini bertujuan tujuan dari penelitian ini adalah membuat prototype Robot Manipulator Fleksibel dengan penggerak silinder pneumatic, membuat experiment getaran, mengukur frekuensi pada Robot Manipulator Fleksibel dan memvalidasi hasil analisis dengan gerak translasi dan eksperimen. Manipulator fleksibel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari silinder pneumatik dan tabung udara yang berkapasitas 3 sampai 6 bar sebagai penggerak link secara translasi,, plat aluminium sebagai link fleksibel manipulator dengan ukuran 33x2,5 cm dengan ketebalan plat 1,5 mm. Slider sebagai dudukan klem dari link dan accelerometer ADXL 335 sebagai alat ukur getaran. Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah metode *Fas Furier Transform* (FFT) yang ditampilkan dalam bentuk grafik akselerasi frekuensi dan akselerasi waktu dengan menggunakan software spyder. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil analisis getaran memiliki nilai hasil yang sama dengan hasil eksperimen.

Kata kunci: Single-link manipulator fleksibel, time history response, gerak translasi, getaran, frekuensi natural.

ABSTRAK

LA ODE ABDUL GAMSIR. Vibration Characteristics of Single Link Robot Manipulator with Pneumatic Cylinder (Supervised by Hammada Abbas and Zulkifli Djafar).

The purpose of this research is to make a prototype of a Flexible Manipulator Robot with a pneumatic cylinder drive, to make vibration experiments, to measure the frequency of the Flexible Manipulator Robot and to validate the results of the analysis with translational motion and experiments. The flexible manipulator used in this study consisted of a pneumatic cylinder and an air tube with a capacity of 3 to 6 bars as a translational link drive, aluminum plate as a flexible link manipulator with a size of 35x2.5 cm with a plate thickness of 1.5 mm. Cylinder as a clamp holder from the link and accelerometer ADXL335 as a vibration measurement tool. The method used in data collection is the Fast Fourier Transform (FFT) method which is displayed in the form of a graph of frequency acceleration and time acceleration using spyder (software). Based on the results of the analysis and experiments, the simulation results show the dynamic behavior of the system in free vibration and vibration with the translational motion of the single link manipulator system

Keywords: Single-link flexible manipulator, time history response, translational motion, vibration, natural frequency.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Karakteristik Getaran.....	12
Gambar 2. Getaran Translasi Lurus dan Melengkung	13
Gambar 3. Arah gerak translasi pada manipulator.....	13
Gambar 4. Gelombang frekuensi dari dua buah gelombang sinus	16
Gambar 5. Sinyal dalam domain waktu dan fekuensi.....	17
Gambar 6. <i>Degree of Freedom cantilever beam</i>	19
Gambar 7. ilustrasi momen pada batang 2 dimensi	21
Gambar 8. Identifikasi arah momen dengan prinsip tangan kanan.....	22
Gambar 9. Efek pembebanan gaya pada batang	22
Gambar 10. Diagram benda bebas <i>Cantilever Beam</i>	23
Gambar 11. Gaya yang bekerja ketika dilakukan pemotongan batang	24
Gambar 12. Diagram momen bending <i>Cantilever Beam</i>	24
Gambar 13. Penampang batang.....	26
Gambar 14. Mode lentur balok dengan berbagai kondisi batas	27
Gambar 15. Sensor <i>Accelerometer</i> ADXL335	32
Gambar 16. solenoid valve Pneumatic.....	33
Gambar 17, Silinder Piston Pneumatik	33
Gambar 18. Komputer.....	34
Gambar 19. Tabung udara dan selang udara	35
Gambar 20. <i>pressure gauge</i> dan Fitting selang	35
Gambar 21. Clamp dan Link Manipulator	36

Gambar 22. Diagram Fishbone tahapan Penelitian.....	38
Gambar 23. Skema aliran proses getaran gerak tranlasi SLMF	38
Gambar 24. Model rancangan 3D Single-link manipulator.....	38
Gambar 25. Diagram Alir Proses Penelitian.....	41
Gambar 26. Robot Manipulator Fleksibel.....	43
Gambar 27. Grafik frekuensi analisis dan eksperimen.....	49
Gambar 28. Time history respon getara bebas.....	50
Gambar 29. FFT getaran bebas.....	51
Gambar 30. FFT Getaran Gerak Translasi.....	52
Gambar 31. THR getaran gerak translasi.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Numerik (X_n^2) untuk keadaan ujung balok tertentu.....	27
Tabel 2. Parameter fisik dari link.....	40
Tabel 3. Data hasil pengujian kalibrasi alat ukur getaran	49

BAB 1

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dengan berkembang pesatnya era digital sekarang ini, banyak bermunculan teknologi-teknologi terbaru maupun terbarukan. Perkembangan ini ditunjang dengan semakin meningkatnya SDM (*Sumber Daya Manusi*) yang ada. Salah satu perkembangan teknologi terkemuka adalah bermunculan berbagai macam jenis robot modern. Salahsatunya adalah robot manipulator fleksibel. Menurut Rafiuddin, (2015) Robot manipulator adalah Robot manipulator adalah sistem mekanik yang menunjukkan pergerakan dari robot yang meliputi susunan link (rangka) dan join, jumlah sendi yang menghasilkan gerakan terkontrol. Penggunaan robot manipulator fleksibel dapat dijumpai pada pemindahan bahan yang sederhana, kerja robot pada skala mikro, pemeliharaan peralatan nuklir dan pesawat ruang angkasa. Dari segi material yang digunakan robot manipulator fleksibel terbuat dari material yang lebih ringan sehingga konsumsi energi yang digunakan lebih kecil. Dalam pengoperasiannya fleksibel manipulator mampu mencapai kinerja yang lebih baik, ekonomis dan efisien seperti

kecepatan tinggi dengan pengoperasian yang aman, akurasi posisi yang tepat, bobot yang lebih ringan sehingga mudah mobilisasi, serta konsumsi energi yang rendah.

Karakteristik dari sistem manipulator adalah memiliki kelenturan, kompleksitas dan dinamika non linear sehingga memiliki kelemahan yang perlu diatasi. Akibat dari fleksibilitas dari manipulator menyebabkan terjadinya getaran dan fleksibel statis pada sistem sehingga mengganggu akurasi posisi titik akhir, serta kesulitan dalam mengatasi getaran yang muncul

Menuru Ismaill dkk, (2012), salah satu fitur yang tidak diinginkan pada perkembangan robot moderen khususnya pada robot manipulator adalah fleksibilitas yang bisa mengakibatkan getaran/vibrasi dan defleksi statis akibat dari efek eksternal. Dampak yang ditimbulkan dengan adanya fibrasi yaitu skema desain kontroler yang rumit, menurunkan akurasi titik akhir, dan waktu penyelesaian lebih lama dan meningkat.

Dalam perkembangan penelitian, para peneliti telah melakukan berbagai riset dalam penanganan persoalan yang ditimbulkan oleh manipulator fleksibel. Bin Wei, (2018). Melakukan riset dengan membuat desain control adaptif dan stabilitas analisis berdasarkan dua pendekatan utama yaitu teori stabilitas lyapunov, dan teori analisis hiperstabilitas. Untuk pendekatan Lyapunov, penulis menyajikan

kontrol adaptif dari manipulator robot 2-DOF (derajat kebebasan). Selanjutnya, teknik kontrol adaptif dan teori Lyapunov selanjutnya diterapkan pada kontrol gerakan end-effector dan kontrol gaya. Untuk membuat robot berinteraksi dengan manusia atau lingkungan, kontrol gaya harus dipertimbangkan juga untuk mencapai lingkungan kerja yang aman. Untuk pendekatan hiperstabilitas, sistem kontrol dikembangkan melalui pengintegrasian sistem kontrol PID (proporsional-integral-derivatif) dan sistem kontrol referensi model (MRAC), dan juga perilaku konvergen dan karakteristik di bawah situasi sistem PID, model sistem kontrol adaptif referensi, dan sistem kontrol PID + MRAC dibandingkan

Permasalahan yang sering muncul dari manipulator fleksibel adalah getaran yang ditimbulkan akibat dari gerakan yang dilakukan oleh manipulator fleksibel, sehingga mendorong para peneliti untuk mencari solusi agar mampu mengendalikan getaran yang ditimbulkan oleh manipulator fleksibel. (Nishidome dan Kajiwara, 2003) menyelidiki suatu cara untuk meningkatkan kinerja gerakan dan getaran dari mekanisme link fleksibel. Mereka menggunakan metode pemodelan berdasarkan analisis modal menggunakan metode elemen hingga. Model digambarkan sebagai bentuk keadaan ruang. Sistem kontrol mereka dibangun dengan kompensator dinamis yang dirancang

berdasarkan campuran H_2/H_∞ . Hasil riset merekomendasikan memisahkan kontrol gerak dan getaran sistem.

Riset yang dilakukan oleh Dermawan dkk, meneliti tentang robot manipulator fleksibel yang bergerak secara transformasi dengan penggerak motor sebagai alat geraknya. Hal ini menjadi alasan utama untuk mengembangkan penelitian ini dengan membuat suatu model sistem dari manipulator fleksibel dengan bentuk manipulator fleksibel yang mengalami gerak translasi berpengerak silinder pneumatic. Gerak translasi pada sistem akan menggerakkan link dengan mekanisme silinder sebagai pendorong link dan solenoid valve sebagai perintah penggerakannya.

Subjek utama pada penelitian ini difokuskan pada getaran yang terjadi pada single-link manipulator fleksibel yang mengalami gerak translasi dengan menggunakan metode ekperimental dan matematik. Sistem manipulator dengan link yang fleksibel adalah sistem dinamika yang memiliki distribusi dari massa dan elastisitas. Oleh karena itu metode eksperimental dan matematik dalam permodelan dan perancangan manipulator fleksibel dalam penelitian ini. Penelitian ini terfokus pada pembuatan prototype robot manipulator yang berpengerak silinder pneumatik dengan arah gerak secara translasi.

B. RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana membuat *prototype* Robot Manipulator Fleksibel dengan penggerak silinder pneumatic
2. Bagaimana memvalidasi hasil analisis dengan gerak translasi dan eksperimen

C. TUJUAN PENELITIAN

1. Untuk membuat *prototype* Robot Manipulator Fleksibel dengan penggerak silinder pneumatic
2. Untuk memvalidasi hasil analisis dengan gerak translasi dan eksperimen

D. BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Permasalahan dibatasi pada getaran single-link fleksibel manipulator yang mengalami gerak translasi
2. Manipulator yang digunakan adalah manipulator fleksibel dengan satu link dengan menggunakan silinder dengan sistem pneumatic

E. MANFAAT PENELITIAN

1. Menunjang perkembangan ilmu robotika dalam hal robot single-link manipulator fleksibel.
2. Menunjang pengembangan dan penerapan single-link manipulator fleksibel sebagai robot ruang angkasa.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Abdul Kadir, dkk (2014), Meneliti tentang perbandingan kontrol proporsional dan kekuatan aktif pada getaran single link manipulator fleksible Menggunakan aktuator piezoelektrik melalui perhitungan dan eksperimen. Penelitian ini menggunakan dua strategi kontrol yaitu kontrol proporsional (P) dan kontrol *Active Force* (AF). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok aluminium sebagai link fleksibel, bagian penjepit (clam), motor servo untuk memutar link dan aktuator piezoelektrik untuk mengontrol getaran. Hasil dari perhitungan dan eksperimental menunjukkan bahwa keunggulan dari kontrol gaya aktif yang diusulkan dengan perbandingan yang proporsional untuk menekan getaran single link manipulator fleksibel.

Mihai Dupac dkk,2014. Meneliti tentang permodelan dan simulasi dari single-link robot manipulator yang berotasi dan dapat berhenti dengan cepat. Penelitian ini bertujuan meminimalkan link dinamis dan getaran ujung yang aktif serta mendapatkan akurasi

posisi yang tinggi selama gerakan dengan kecepatan tinggi. Untuk mencapai persyaratan ini perlu pemodelan matematika yang akurat dan simulasi desain awal. Dengan pertimbangan untuk meningkatkan stabilitas, presisi sistem dan untuk mendapatkan amplitudo getaran yang sangat kecil.

Darmawan, dkk (2017), Meneliti tentang Rancang Bangun Robot Manipulator yang Bergerak secara Translasi dan Rotasi. Dalam penelitian ini, menggunakan metode analisis dan eksperimental. Alat dan bahan yang digunakan berupa manipulator bahan aluminium dengan panjang 30 cm dan tebal 0,3 cm, klem, dan motor servo untuk memutar link. Dari hasil analisis dan eksperimen menunjukkan bahwa frekwensi yang dimiliki tdk jauh beda. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan robot single-link manipulator fleksibel berhasil dengan baik. Terbukti dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh frekuensi analisis sebesar 6,71 Hz. Sedangkan frekuensi eksperimental diperoleh sebesar 6,41 Hz.

Muhamad, dkk (2018), Meneliti tentang *Rancang Bangun Pengendalian Vibrasi pada Single Link Flexible Joint Manipulator Robot Berbasis Kontroler PID (Proporsional Integral Derivatif)*. Penelitian ini menggunakan software Arduino dan Matlab 2014a yang digunakan untuk merancang software dan menganalisis hasil

respon plant. Hardware dari robot menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler, MPU6050 sebagai sensor vibrasi, rotary encoder sebagai sensor posisi, motor DC sebagai actuator, dan power supply digunakan untuk menyediakan tegangan listrik ke semua rangkaian. Berdasarkan data hasil respon yang telah diperoleh dapat disimpulkan Menggunakan metode Ziegler Nichols tipe 2 untuk mencari parameter PID, sehingga didapat nilai PID pada plant dengan nilai $K_p = 162$, $K_i = 334$, dan $K_d = 19,44$. Sistem lebih baik menggunakan controller PID dari pada tidak menggunakan controller PID, karena dengan menggunakan controller PID vibrasi yang disebabkan oleh lengan robot lebih kecil dari pada tidak menggunakan controller PID.

Abdul Kadir, dkk (2014). Meneliti tentang *Comparison of Proportional Derivative and Active Force Controls on Vibration of a Flexible Single Link Manipulator using Finite Element Method*. Tujuan dari penelitian ini salah satunya adalah untuk mendapatkan persamaan gerak dari sistem fleksibel single-link dengan metode elemen hingga. menggunakan dua strategi kontrol, yaitu kontrol proportional derivative (PD) dan active-force (AF). Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa getaran single link manipulator fleksibel dapat lebih efektif ditekan menggunakan Active Force (AF) dibandingkan dengan satu kontrol Proportional Derivative (PD).

B. Dasar Teori

getaran merupakan gerakan secara bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berkaitan dengan gerakan osilasi benda. sedangkan gaya berkaitan dengan gerak tersebut. kebanyakan mesin dan struktur rekayasa akan mengalami getaran dengan jumlah derajat tertentu dengan rancangan memerlukan pertimbangan sifat osilasinya, Sehingga bisa disimpulkan bahwa semua benda yang memiliki massa dan elastisitas mampu bergetar.

C. Karakteristik Getaran

Karakteristik utama getaran suatu benda adalah berupa kuantitas dengan signal pokok diantaranya amplitudo, frekuensi serta phase angle. kuantitas yang lainnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. *Amplitudo*, Ada beberapa Indikator yang ada pada amplitudo yaitu berupa perpindahan (displacement) , kecepatan (Velocity) atau percepatan (Acceleration) dengan kegagalan fibiasi dalam pengoprasian dapat digolongkan secara halus dan secara kasar.
2. *Frekuensi*, Vibrasi dalam satuan Hertz atau Cycle persecond, Gelombang perdetik. atau dalam satuan rps (rotation per second). Frekuensi yang ditimbulkan dari getaran bebas oleh

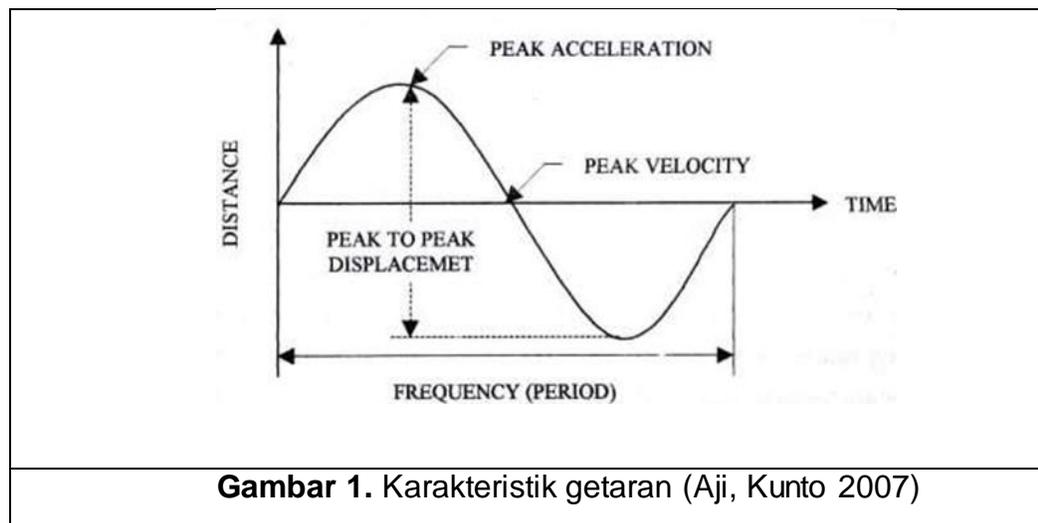
suatu benda yang bergetar secara natural (alami) disebabkan oleh massa benda dan elastisitas penjepit benda tersebut. Semakin besar elastisitasnya (pegas/kekakuan) dari suatu penjepit maka semakin besar pula frekuensi naturalnya dengan massa benda yang sama. begitupun sebaliknya semakin besar beban (massa) benda dengan kondisi elastisitas yang sama maka semakin kecil frekuensi naturalnya.

3. *Perpindahan (displacement)*, Adalah besarnya simpangan benda yang bergerak secara osilasi (bergetar) dalam berbagai kondisi waktu dengan satuan jarak,
4. Kecepatan (*Velocity*) Adalah kecepatan perubahan posisi pada suatu benda dengan suatu arah yang memiliki satuan jarak persatuan waktu.
5. *Derajat kebebasan getaran (Degree of Freedom) adalah banyaknya kemungkinan gerakan osilasi yang terjadi pada suatu benda kaku (rigid body) atau benda tidak kaku (non rigid body) elastis atau plastic dalam suatu ruangan..*
6. *Phase Angle* adalah Perbedaan Simpangan dalam sudut antara dua benda yang bergetar yang digambarkan dalam gerakan keliling lingkaran (circle) atau perbedaan simpangan sudut antara gaya yang berosilasi dengan gerakan osilasi (getaran)

dari beban. Hal ini timbul kalau system getaran ini memakai damper.

7. *Time Priod* adalah waktu yang dibutuhkan untuk gerakan satu osilasi dalam getaran suatu benda.

Keadaan mesin atau masalah mekanik yang terjadi dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik getaran yang disebabkan oleh mesin tersebut. Karakteristik getaran yang terjadi pada suatu sistem massa pegas dapat dilakukan dengan memplot pergerakan massa terhadap waktu..

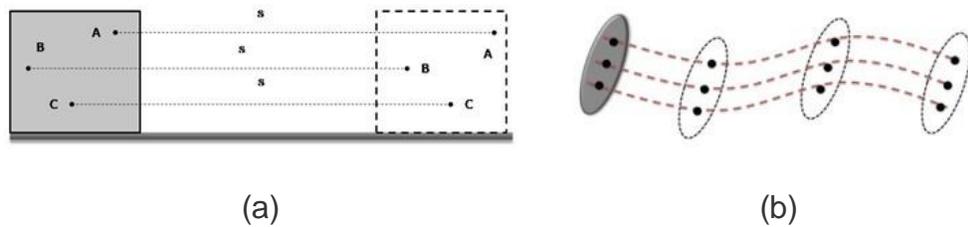


Berdasarkan gambar 1 diatas, Gerakan satu siklus dapat dilihat dengan gerak massa dari posisi netral ke batas atas setelah itu kembali ke posisi netral (keseimbangan) lalu bergerak lagi ke batas bawah kemudian kembali ke posisi kesetimbangan. sehingga

waktu untuk melakukan gerakan satu siklus disebut periode dan banyaknya siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Frekuensi sangat penting dalam hal analisis getaran mesin karena frekuensi berhubungan langsung dengan putaran (rpm) suatu mesin..

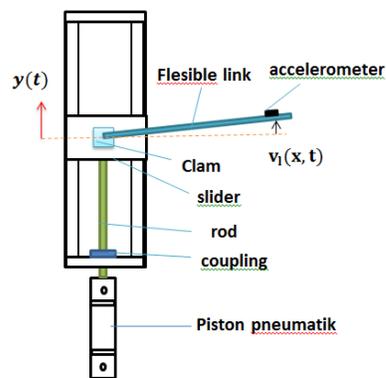
D. Gerak Translasi

Gerak translasi adalah gerakan suatu benda dimana pada setiap titik benda tersebut memiliki bentuk dan menempuh lintasan yang sama. Pada gerak translasi jenis lintasan lintasan dapat berupa garis lurus atau bukan berupa garis lurus. Hal ini merupakan salah satu syarat sebuah benda dikatakan bergerak secara translasi yaitu pada setiap titik benda tersebut memiliki bentuk dan menempuh lintasan yang sama. Hal ini dapat dilihat seperti pada ilustrasi gerak translasi gambar 2 dibawah ini



Gambar 2. Gerak translasi dengan Lintasan Lurus (a) dan gerak translasi dengan lintasan melengkung (b)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap benda dapat dikatakan mengalami gerakan translasi (pergeseran) apabila setiap titik pada benda itu menempuh lintasan yang panjang dan bentuknya sama. Berikut adalah gambar Manipulator yang menggunakan gerak translasi.



Gambar 3. Arah gerak translasi pada manipulator

E. Frekuensi Getaran (*Vibration Frequency*)

Frekuensi adalah banyaknya siklus yang terjadi pada setiap satuan waktu dengan besarnya dapat dinyatakan dalam siklus perdetik (cycles/second) atau siklus permenit (cycles/minute).

$$frekuensi = 1/periode$$

Dalam analisa getaran mesin frekuensi getaran sangat penting unuk diketahui guna mengetahui penyebab masalah yang muncul pada mesin tersebut. Dengan mengetahui frekuensi getaran yang terjadi pada mesin tersebut maka dengan mudah

untuk dapat mengidentifikasi bagian-bagian mesin yang mengalami kerusakan dan sekaligus dapat menentukan penyebab dari kerusakan mesin tersebut..

Gaya yang menyebabkan getaran, disebabkan karena adanya gerakan berputar salah satu lemen mesin. Sehingga gaya yang terjadi mengalami perubahan arah dan besar sebagaimana posisi elemen putar berubah terhadap titik netral (setimbang). Akibatnya menghasilkan getaran yang memiliki frekuensi bergantung terhadap pada kecepatan putar elemen yang telah mengalami kerusakan. Oleh sebab itu, agar dapat mengidentifikasi bagian-bagian mesin yang mengalami kerusakan maka perlu untuk mengetahui frekuensi getaran mesin tersebut..

Perlu diketahui juga bahwa setiap mesin yang mengalami problem yang berbeda-beda akan mengalami frekuensi getaran yang berbeda pula. Sehingga permasalahan dasar yang terjadi dapat dengan mudah diidentifikasi. Contoh kasus, rusaknya bantalan pada suatu mesin akan

mengakibatkan elemen rotasi akan menghasilkan frekuensi getaran sama dengan kecepatan putar (1X RPM) elemen tersebut, unbalance, dan tingginya frekuensi yang terjadi pada komponen getarannya. Contoh lain, kelonggaran mekanis (Mechanical Loosenes) yang akan mengakibatkan kerusakan gear, frekuensi

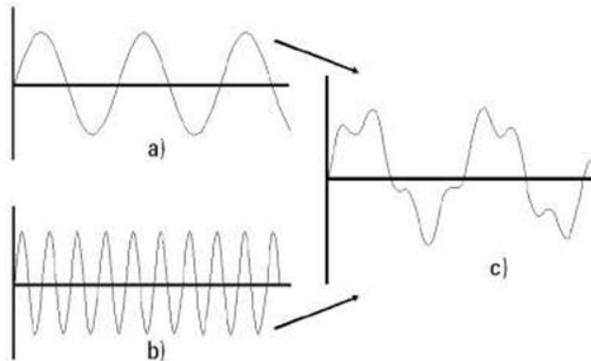
getaran sama dengan dua kali kecepatan putar ($2 \times \text{rpm}$) dan frekuensi getaran tinggi yang biasanya frekuensi sama dengan jumlah gigi dikali rpm nya..

F. Domain Waktu dan Domain Frekuensi

1. Domain Waktu

Dengan grafik domain waktu perubahan simpangan suatu getaran yang terjadi terhadap waktu dapat diamati secara terinci. Pada gambar 4(a) menunjukkan gambar frekuensi terhadap domain waktu, yang merupakan tidak balancenya simpangan rotor terhadap waktu. Signal amplitudo sebanding dengan siklus berulang yang seiring dengan putaran dan massa tak balance. Signal ini sangat mudah untuk dianalisa dan sangat sederhana. Dalam kegiatan praktek yang dilakukan, signal yang diperoleh akan sangat rumit.

Apabila getaran yang diperoleh lebih dari satu komponen, maka untuk menganalisanya seperti yang terlihat pada gambar 4 (c) dengan mewakili dua buah getaran sinus sebagai komponennya.



Gambar 4. Gelombang frekuensi dari dua buah gelombang sinus (Hawlet Packard Application Note 243-1)

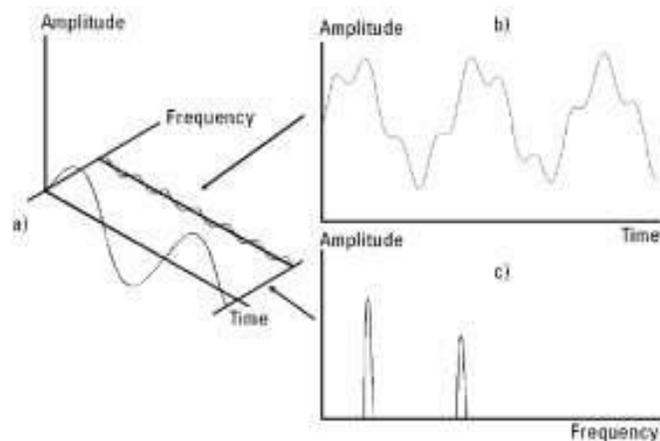
Berdasarkan gambar 4 diatas, dengan melihat signal yang terjadi dalam domain waktu masing-masing komponennya akan sulit diturunkan. Kegunaan dari domain waktu yaitu untuk menentukan fase antara satu signal dengan signal yang lainnya. Dari fenomena getaran domain waktu menunjukan gambaran alamiah yang berfungsi untuk menganalisa roda gigi yang rusak, signal dari mesin yang longgar, atau menganalisa signal impuls yang dihasilkan oleh bantalan..

Walaupun Berbagai sinyal getaran untuk menganalisa signal terhadap domain waktu, sulit untuk dilakukan dalam praktek namun dalam domain waktu terdapat beberapa gejala getaran yang bermanfaat untuk diamati. Gejala tersebut yaitu analisa signal getaran yang terdapat pada bagian struktur yang mengalami kelonggaran misalnya tutup bantalan dan kedua

analisa signal impuls yang terdapat pada cacat gigi ataupun bantalan.

2. Domain Frekuensi

Pada hakikatnya signal getaran dalam praktek tidak ada yang keberadaannya langsung dalam domain frekuensi. Dalam domain waktu signal getaran selalu terjadi guna untuk menganalisa signal getaran terhadap domain waktu dan dapat dikonfersi kedalam domain frekuensi. Berikut adalah konsep data dalam domain frekuensi dan dalam domain waktu yang dapat ditunjukn pada gambar 5 di bawah ini.



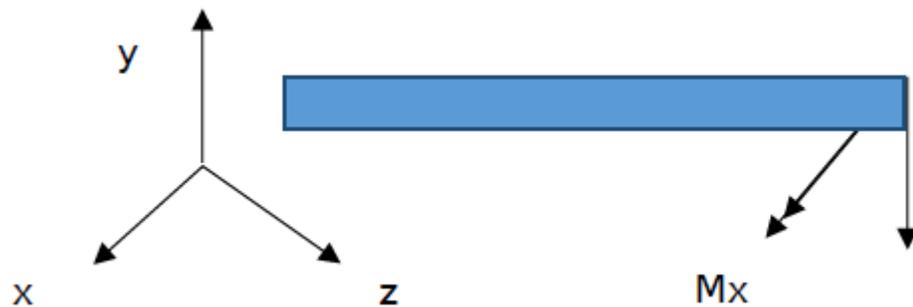
Gambar 5. Sinyal dalam domain waktu dan fekuensi (Hawlet Packard Application Note 243-1)

Berdasarkan gambar diatas, Pada gambar 5 (a) merupakan gambar isometri dari signal yang memiliki tiga sumbu yaitu sumbu frekuensi, sumbu waktu dan sumbu

amplitudo. dengan adanya sumbu frekuensi komponen getaran dapat digambarkan secara terpisah seperti yang terlihat pada gambar 5(b) dan 5 (c) dibawah ini. Pada gambar 5(b) menunjukkan kurva signal dalam domain waktu dimana posisi pandangan mata berada searah dengan sumbu frekuensi. Sedangkan pada gambar 5(c) menunjukkan kurva signal terhadap domain frekuensi dimana posisi mata diarahkan sesuai dengan sumbu waktu maka akan tampak amplitudo beserta komponen getaran sebagai garis vertikal. Spektrum signal merupakan pernyataan signal terhadap domain frekuensi. Salah satu prinsip dari domain frekuensi bahwa dengan penjumlahan gelombang sinus semua signal (bukan signal ideal) dapat dibangkitkan. Pedoman ini dirumuskan oleh J.B. Fourier pada satu abad yang dulu. Sebaliknya gelombang sinus berupa komponen-komponen dapat diuraikan di sembarang signal. Sangat penting untuk diketahui bahwa signal getaran sepenuhnya diwakili oleh spektrum frekuensi. Tidak ada penghilangan informasi sebab konfersi dari domain waktu ke domain frekuensi apabila antar komponen berbeda fase juga akan disertakan.

G. Degree of Freedom Cantilever Beam

Degree of Freedom (DOF), adalah jumlah minimal suatu arah gerak yang dapat menggambarkan kebebasan suatu benda untuk bergerak. Contoh kasus pada batang kantilever, DOF pada nodal tumpuan sama dengan nol. Karena posisi tumpuan geraknya semua dibatasi sedangkan posisi ujung yang bebas bisa bergerak secara translasi dan rotasi pada posisi tiga sumbu utama yaitu x, y, dan z. Namun untuk memudahkan dalam menganalisa, batang kantilever (cantilever beam) hanya terfokus pada dua dimensi bidang yaitu sumbu x dan y dengan tidak terfokus pada gaya axial sehingga posisi ujung bebas hanya mempunyai dua gerakan saja yaitu gerakan translasi pada arah sumbu y dan gerak rotasi pada sumbu x dan y. berikut adalah gambar DOF pada batang kantilever di bawah ini..



Gambar 6 . Degree of Freedom Cantilever Beam

Secara teoritik teori dasar batang kantilever menggunakan Hukum Newton 1. Secara teori dalam menganalisa batang kantilever tidak memperhitungkan beban sendiri dan juga meninjau secara dua dimensi. Perhitungan menggunakan Hukum Newton 1 dengan menentukan gaya geser, momen dan gaya reaksi. Sedangkan dalam menentukan rotasi dan defleksi menggunakan perhitungan metode integrasi..

Hukum Newto 1 menyatakan "setiap benda akan mempunyai kecepatan konstan kecuali posisi benda yang memiliki resultan bukan nol ada gaya yang bekerja". Hal ini dapat dikatakan bahwa gaya yang bekerja dalam benda tersebut sama dengan nol akan menyebabkan benda tersebut tidak akan mengalami pergerakan. Hukum Newton 1 dapat ditulis secara matematik sebagai berikut.

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad (2)$$

Dalam studi kasus, batang kantilever pada ujung yang bebas memiliki pembebanan gaya, sehingga terjadi momen terhadap tumpuan dan gaya-gaya reaksi..

1. Momen

Momen adalah sebuah benda yang memiliki gaya yang cenderung mengalami perputaran terhadap sebuah sumbu

tertentu. Dalam menghitung momen yang harus diketahui adalah dengan mengalikan gaya (F) terhadap gaya yang tegak lurus pada sumbu putar (d). Hal ini dapat ditulis secara matematis sebagai berikut.:

$$M = F \times d \quad (3)$$

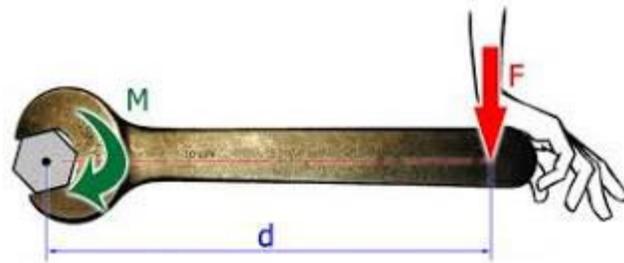
$$\sum M = \sum Fdn \quad (4)$$

Dimana:

M = Momen (Nm)

F = Gaya yang bekerja (N)

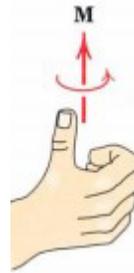
d = jarak (m)



Gambar 7. ilustrasi momen pada batang 2 dimensi

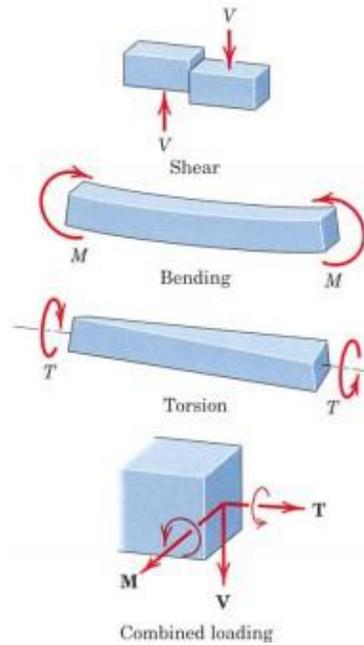
Pada Gambar 7 diatas menunjukan sebuah kunci (spanner) yang mengalami momen terhadap sebuah benda. Arah momen disebut juga clockwise dan counter clockwise. Pada umumnya arah momen apabila berlawanan dengan arah jarum jam dinyatakan sebagai positif. Untuk

memudahkan dalam membayangkan arah momen dapat dengan mudah menggunakan tangan kanan saja. Seperti yang terlihat pada gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Identifikasi arah momen dengan menggunakan tangan kanan

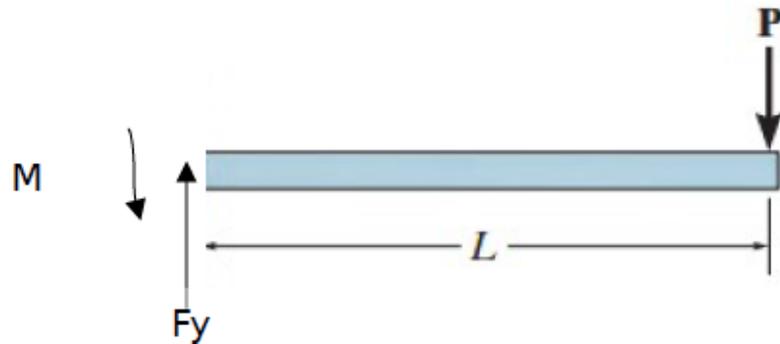
Gaya geser, bending dan torsi disebabkan oleh sebuah benda yang mengalami beban tekan dan beban tarik. seperti yang terlihat pada gambar 9 berikut sebuah benda yang mengalami sebuah pembebanan.



Gambar 9. Efek pembebanan gaya pada batang

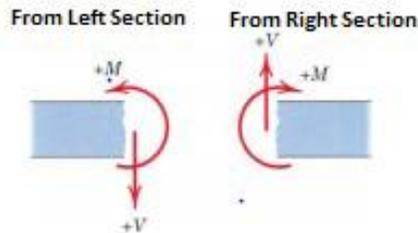
2. Diagram Benda Bebas dan Momen Lentur

Berbagai variasi gaya yang bekerja terhadap suatu benda yang digambarkan pada diagram benda bebas. Diagram yang memperlihatkan interaksi suatu benda terhadap lingkungannya disebut diagram benda bebas. Hal ini dapat di lihat pada gambar 10 diagram benda bebas dari sebuah batang kantilever dimana pada ujung batangnya bebas dan diberikan gaya transversal.



Gambar 10. Diagram benda bebas Cantilever Beam

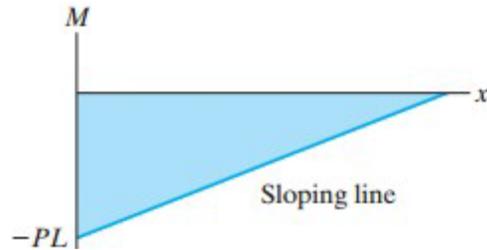
Distribusi momen terjadi pada batang apabila pemberian gaya pada suatu batang kantilever. Ketika batang tersebut diberikan gaya pembebanan dengan cara membelah (dipotong) batang, maka yang akan terjadi adalah benda tersebut akan mengalami momen dan gaya geser. seperti yang terlihat pada gambar 11 di bawah ini menunjukkan banyaknya gaya yang dihasilkan ketika benda dipotong.



Gambar 11. Gaya yang bekerja ketika dilakukan pemotongan batang

Sehingga untuk batang kantilever sederhana berdasarkan gambar 11 diatas akan berbentuk diagram momen benda

yang mengalami pemotongan seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Diagram momen bending Cantilever Beam

3. Defleksi dan Rotasi

Defleksi adalah merupakan suatu gerakan translasi suatu titik dari titik semula baik dari arah sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Hal ini diakibatkan oleh adanya gaya resultan yang bekerja terhadap suatu benda. Besarnya beban material, gaya yang bekerja dan geometri dari benda tersebut mempengaruhi nilai defleksi. Defleksi hanya akan terjadi pada dua dimensi saja yaitu sumbu x dan sumbu y untuk batang kantilever.

Rotasi merupakan perubahan sudut (posisi) suatu titik dari titik semula ke titik lain dan kembali lagi ke titik semula baik dalam arah sumbu x, sumbu y, maupun sumbu z. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya resultan yang bekerja pada

suatu batang untuk memutar batang. Besarnya beban material, gaya yang bekerja dan geometri dari benda tersebut dapat mempengaruhi nilai rotasi suatu benda. tidak beda dengan defleksi, rotasi juga hanya terjadi pada bidang sumbu x dan y dalam penggunaan batang kantilever..

Persamaan kecepatan sudut untuk beam adalah sebagai berikut:

$$\omega_n = \frac{X_n^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} \quad (5)$$

Dimana :

$$\omega_n = \text{Kecepatan sudut} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$X_n^2 = \text{Batas Kondisi pada Beam}$$

$$L = \text{Panjang Beam (m)}$$

$$E = \text{Elastisitas Beam} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$m = \text{Massa Beam (kg)}$$

$$I = \text{Inersia Beam (kgm}^2\text{)}$$

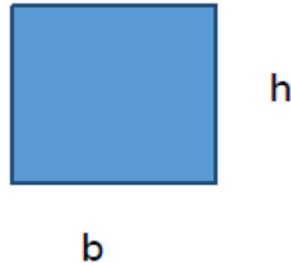
Dimana inersia sebua batang adalah :

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (6)$$

Dimana:

b = lebar batang (m)

h = tinggi batang (m)



Gambar 13. Penampang batang

Sehingga Persamaan yang digunakan untuk menentukan frekuensi sistem yang bergetar tanpa redaman adalah sebagai berikut:

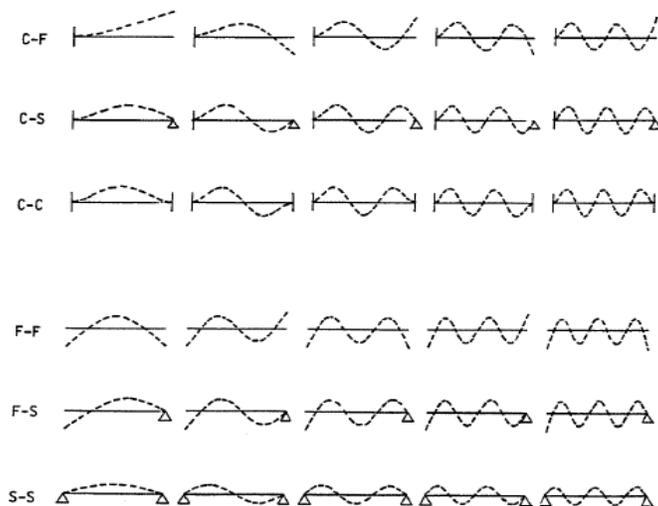
$$f_n = \frac{1}{2} \omega_n \quad (7)$$

Lima nilai terendah X_n^2 diberikan pada Tabel 2 untuk kondisi batas yang paling umum. Kecuali untuk kasus X_1^2 untuk berkas C-F, semua nilai X_n^2 ini dapat dengan mudah diperoleh. Selain itu, ada dua mode batang kaku untuk balok F-F dan satu mode batang kaku untuk balok S-F; frekuensi nol ini belum dimasukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Numerik (X_n^2) untuk keadaan ujung balok tertentu

		x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	x_5^2
C-F	$1 + \cos X \cos X = 0$	3.516	22.03	61.69	120.9	199.8
S-S	$\sin X = 0$	9.869	39.47	88.82	157.9	246.7
C-C F-F	$1 - \cos X \cos X = 0$	22.37	61.67	120.9	199.8	298.5
C-S F-S	$\tan X = \tan X$	15.41	49.96	104.2	178.2	272.0

Lima nilai terendah X diberikan pada Tabel 2 untuk kondisi batas yang paling umum. Kecuali untuk kasus X untuk berkas C-F, semua nilai X ini dapat dengan mudah diperoleh. Selain itu, ada dua mode tubuh kaku untuk balok F-F dan satu mode tubuh kaku untuk balok S-F; frekuensi nol ini belum dimasukkan dalam Tabel 2. Berikut adalah Lima mode lentur balok terendah dengan berbagai kondisi batas. Seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 14. Lima mode lentur balok terendah dengan berbagai kondisi batas

H. *Fast Fourier Transform (FFT)*

Fast Fourier Transform pertamakali ditemukan oleh J.W. Cooley dan John Tukey tahun 1965. Pada saat itu FFT dikenal sebagai algoritma Cooley-Tukey. FFT sebelumnya hampir dikemukakan oleh Gauss pada tahun 1805 namun diabaikan. FFT sangat berdampak pada berbagai macam kemungkinan dalam pengolahan gambar dan pemrosesan signal.

Kelebihan dan kekurangan yang dimiliki FFT (Jans Hendry, 2012) adalah sebagai berikut.

a. Kelebihan dari FFT

1. FFT bisa mendeteksi frekuensi yang berada di dalam isyarat stationer.
2. FFT bisa menunjukkan beberapa komponen frekuensi yang ada di dalam isyarat stationer.

b. Kekurangan dari FFT

1. Hanya memiliki kemampuan dalam menganalisis isyarat stasioner sementara isyarat non-stasioner sangat banyak.
2. Hanya mampu menyampaikann informasi berupa besarnya frekuensi yang terdapat pada isyarat stationer, tetapi tidak mampu memunculkan waktu terjadinya frekuensi tersebut secara bersamaa