



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISA NILAI PUTARAN
KRITIS PADA POROS YANG BERPUTAR
AKIBAT *WHIRLING* DENGAN
METODE EKSPERIMEN DAN SIMULASI**

NICO DICKY
NRP. 2114105015

Dosen Pembimbing:
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



FINAL PROJECT – TM141585

**ANALYSIS OF CRITICAL SPEED VALUE ON
ROTATING SHAFT DUE TO THE *WHIRLING*
WITH EXPERIMENT AND SIMULATION
METHOD**

NICO DICKY
NRP. 2114105015

Advisory Lecturer
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016

**ANALISA NILAI PUTARAN KRITIS PADA POROS YANG
BERPUTAR AKIBAT *WHIRLING* DENGAN METODE
EKSPERIMEN DAN SIMULASI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Vibrasi Dan Sistem Dinamis

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NICO DICKY

NRP. 2114 105 015

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST, MT (Pembimbing)
NIP. 197004121997032003
2. Moch. Solichin, ST, MT (Penguji I)
NIP. 198908172015041003
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT (Penguji II)
NIP. 198604012015041001
4. Aida Annisa Amin D., ST, MT (Penguji III)
NIP. 198907052015042005

**SURABAYA
JULI, 2016**

ANALISA NILAI PUTARAN KRITIS PADA POROS YANG BERPUTAR AKIBAT WHIRLING DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN SIMULASI

Nama Mahasiswa : Nico Dicky
NRP : 2114105015
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati S.T., M.T

Abstrak

Komponen – komponen mesin yang mempunyai sistem berputar biasanya mengalami fenomena whirling effect, yaitu fenomena sebuah poros yang berputar akan mengalami defleksi yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan dari massa poros ataupun beban yang ada pada poros. Putaran kritis (critical speed) dapat menyebabkan lendutan pada poros mencapai harga maksimum. Dalam dunia industri sering ditemui kejadian putaran kritis yang harus dihindari karena dapat menyebabkan mesin pada industri tersebut mengalami kerusakan bahkan kegagalan. Oleh karena itu mengetahui putaran kritis sangat diperlukan, sehingga harga dari putaran tersebut dapat dicegah untuk memperpanjang umur suatu mesin. Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian tentang putaran kritis secara eksperimen dan simulasi. Metode yang dilakukan pada simulasi yaitu membuat pemodelan sistem dari mesin menggunakan aplikasi Matlab dengan menentukan parameter-parameter, sedangkan untuk eksperimen dengan membuat pemodelan kecil dari mesin. Untuk simulasi dan eksperimen variasi berupa massa dari masing- masing disk yang digunakan 0,058 kg dan 0,08 kg, diameter poros 64mm dan 93mm, posisi peletakan disk yang akan diputar sejauh 0,2L; 0,3L; 0,4L, ataupun ditengah poros, kemudian panjang poros 750mm dan 950mm. Dari tugas akhir ini didapat nilai putaran kritis pada

perbedaan massa, penambahan panjang poros, perubahan diameter poros, dan posisi disk. Nilai putaran kritis pada penambahan panjang poros sama dengan posisi peletakan disk ditengah yaitu semakin tinggi. Hasil dari simulasi dan ekperimen mempunyai trendline yang sama dan terdapat kesesuaian antara eksperimen, simulasi dan perhitungan untuk semua jenis variasi. Nilai putaran kritis tersebut kerusakan pada mesin dapat dihindari guna memperpanjang umur mesin.

Kata kunci --whirling shaft, putaran kritis, lendutan.

**ANALYSIS OF CRITICAL SPEED VALUE
ON ROTATING SHAFT DUE TO THE WHIRLING
WITH EXPERIMENT AND SIMULATION METHOD**

Nama Mahasiswa : Nico Dicky
NRP : 2114105015
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati S.T., M.T

Abstract

Machine components that have a rotating system is usually experiencing the phenomenon of Whirling Effect, that the phenomenon of a rotating shaft will experience deflection caused by the force of centrifugal force that is produced from the mass of the shaft or the burden that is on the shaft. Critical speed can cause deflection on the shaft reaches the maximum. In the industrial world is often found occurrence of critical speed that must be avoided, because it can cause the damaged or even failure to the industrial machine. Therefore, knowing the critical speed is necessary, so the speed value can be prevented to extend the life of a machine. Researches on critical speed in experiment and simulation for this thesis. The method that used on the simulation is by created a system model of the machine using Matlab application by specifying parameters, while for experiment by creating a small model of the machine. For the simulation and experiment researcher diversify the mass for each disk is used 0,058kg and 0,08kg, diameter shaft 64mm and 93mm, position of the disc placement that being rotated as far as 0,2L; 0,3l; 0,4l, or middle of the shaft, and for shaft length 750mm and 950mm. From this research gained the value of critical speed on the difference mass, the addition of long shaft, diameter shaft and position disk. The critical speed value on addition of long shaft equal with the position disk i.e. higher. The results of simulation and experiment have the same trendline and conformity between experiment, simulation and calculations for all kinds of variations. The critical

speed value machine damage is avoidable to extend the machine life.

Keywords --whirling shaft, critical speed, deflection.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, Bapak Dr. Jannes Simangunsong dan Ibu Ellen Varina Gultom yang senantiasa mendoakan, dan menyemangati penulis. Terimakasih karena telah menjadi motivasi bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Serta saudara kandung penulis, Natasha Diofanny dan Donovan Asriel yang juga selalu mendoakan dan menjadi semangat penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
2. Bapak Moch.Solichin, ST, MT yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST, MT., Ibu Aida Annisa Amin D. ST, MT., dan Bapak Ari Kurniawan Saputra. ST. MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
4. Bapak Faisal Ibrahim ST. yang membantu penulis menyelesaikan alat Tugas Akhirnya, serta segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
5. Sdri. Nikmatul Iza yang telah menjadi rekan seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman angkatan Lintas Jalur yang senantiasa memberi motivasi, menemani, dan meninggalkan banyak cerita indah bagi penulis selama 2 tahun ini.

7. Teman-teman dekat penulis, Awan Satya (OM), Fajri Chairbowo (CUPAW), Awan Nugroho (MASTER) , Fariz Ibrohim (ENJINER), Aprilia C.L.F (MANCUNG) yang selalu menghibur penulis saat sedang penat.
8. Teman-teman Lab. Vibrasi dan Sistem Dinamis dan Lab Desain yang senantiasa menemani dan menghibur penulis saat sedang penat serta memberikan dukungan kepada penulis.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

Daftar Isi

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Daftar Isi	ii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xii
Bab I. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
Bab II. Dasar Teori & Tinjauan Pustaka	5
2.1 Getaran	5
2.1.1 Frekuensi dan Periode Getaran	6
2.1.2 Kecepatan dan Kecepatan Sudut	7
2.2 Putaran Kritis Akibat <i>Whirling</i>	8
2.3 Metode-metode Perhitungan Lendutan	9
2.4 Poros dengan Sebuah Lempeng Tunggal	14
2.4.1 Berat Poros Diabaikan, Disk dipasang Ditengah	18
2.4.2 Disk Dipasang Tidak Ditengah	20
2.4.3 Berat Poros Diperhitungkan Tanpa Disk ...	21
2.4.4 Berat Poros Diperhitungkan, Disk ditengah Poros	22
2.5 Sistem Derajat Kebebasan (DOF)	24
2.6 Prediksi Putaran dengan Geometri Poros	26
2.7 Perubahan Bentuk Rotor pada Sistem Generator	27
Bab III. Metodologi Penelitian	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Tahap Studi Literatur	30
3.3 Tahap Pembuatan Alat dan Penentuan Parameter Sistem	31

3.3.1 Tahap Pembuatan Alat	31
3.3.2 Tahap Penentuan Paramater Sistem	33
3.4 Analisa Pada Penelitian dengan Simulasi	35
3.4.1 Permodelan dengan Model Dinamis	35
3.4.2 Pembuatan <i>Free Body Diagram</i>	36
3.4.3 Permodelan dengan Model Matematis	36
3.4.4 Perubahan Model Matematis menjadi <i>State</i> <i>Variable Equations</i>	37
3.4.5 Simulasi dengan Matlab	37
3.4.6 Diagram Alir Simulasi	38
3.5 Tahap Eksperimen, Diagram Alir dan Perhitungan ..	39
3.5.1 Tahap Eksperimen	39
3.5.1.1 Eksperimen Pertama	39
3.5.1.2 Eksperimen Kedua.....	40
3.5.1.3 Eksperimen Ketiga.....	41
3.5.1.4 Eksperimen Keempat.....	42
3.5.2 Diagram Alir Eksperimen	43
3.5.3 Diagram Alir Perhitungan	45
3.5.3.1 Diagram Alir Perhitungan Eksperimen I.....	45
3.5.3.2 Diagram Alir Perhitungan Eksperimen II....	46
3.5.3.3 Diagram Alir Perhitungan Eksperimen III .	47
3.5.3.4 Diagram Alir Perhitungan Eksperimen IV ..	48
Bab IV. Analisa dan Data	49
4.1 Data Hasil Eksperimen	49
4.2 Contoh Perhitungan	49
4.2.1 Contoh Perhitungan Eksperimen	49
4.2.2 Contoh Perhitungan Eksperimen II	50
4.2.3 Contoh Perhitungan Eksperimen III	50
4.2.4 Contoh Perhitungan Eksperimen IV	51
4.3 Pembahasan Simulasi.....	52
4.4 Pembahasan Grafik	54
4.4.1 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa berbeda	54
4.4.2 Pembahasan Grafik NcS VS NcE diameter berbeda.....	55

4.4.2.1 Pembahasan Grafik NcS VS NcE diameter berbeda massa 0,08kg.....	55
4.4.2.2 Pembahasan Grafik NcS VS NcE diameter berbeda massa 0,058kg.....	57
4.4.3 Pembahasan Grafik NcS VS NcE panjang berbeda.....	58
4.4.3.1 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 64mm dengan panjang berbeda	58
4.4.3.2 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 93mm dengan panjang berbeda	60
4.4.3.3 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 64mm dengan panjang berbeda	61
4.4.3.4 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 93mm dengan panjang berbeda	63
4.4.4 Pembahasan Grafik NcS VS NcE posisi disk berbeda.....	64
4.4.4.1 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 64mm, panjang 750mm dengan posisi disk berbeda	66
4.4.4.2 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 64mm, panjang 750mm dengan posisi disk berbeda	67
4.4.4.3 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 64mm, panjang 950mm dengan posisi disk berbeda	69
4.4.4.4 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 64mm,	

panjang 950mm dengan posisi disk berbeda	69
4.4.4.5 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 93mm, panjang 750mm dengan posisi disk berbeda	70
4.4.4.6 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 93mm, panjang 750mm dengan posisi disk berbeda	72
4.4.4.7 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,058kg, diameter 93mm, panjang 950mm dengan posisi disk berbeda	73
4.4.4.8 Pembahasan Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg, diameter 93mm, panjang 950mm dengan posisi disk berbeda	75
Bab V Kesimpulan dan Saran	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	78
Daftar Pustaka	79
Lampiran	81

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Data Variasi Jarak Posisi Disk	33
--	----

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Aplikasi Sistem Poros Berputar dengan Beban Ditengah.....	5
Gambar 2.2 Diagram Benda Bebas Untuk Metode Integrasi Ganda.....	8
Gambar 2.3 Balok Sederhana dengan Beban Titik	10
Gambar 2.4 Gerak dan Gaya-gaya Untuk Sebuah Lempeng pada suatu Poros yang Berputar terhadap satu sumbu tetap.....	13
Gambar 2.5 Kecepatan kritis atau kecepatan olakan terjadi ketika sebuah poros mempunyai jari-jari lendutan yang secara teori besarnya tak hingga	14
Gambar 2.6 Disk dipasang ditengah poros.....	16
Gambar 2.7 Disk dipasang tidak ditengah poros, sejauh a dari bearing	18
Gambar 2.8 Poros yang tidak diberi disk atau beban	19
Gambar 2.9 Contoh sistem satu DOF translasi	22
Gambar 2.10 Contoh sistem satu DOF rotasi.....	23
Gambar 2.11 Contoh sistem dua DOF	23
Gambar 2.12 Contoh sistem multi DOF.....	23
Gambar 2.13 Cantilever pada rotor (R.Whalley 2008)	24
Gambar 2.14 Grafik hubungan antara lenturan dengan waktu ..	24
Gambar 2.15 Model generator (Niklas Lanstrom, Jan-Olov 2006)	25
Gambar 2.16 Bentuk Stator pada $\alpha^n=0, n=1, 2, 3, 4$	26
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir	28
Gambar 3.2 Skema mesin putaran kritis.....	29
Gambar 3.3 Poros	29
Gambar 3.4 Volt regulator.....	30
Gambar 3.5 Beban (disc).....	30
Gambar 3.6 Penyangga Poros	31
Gambar 3.7 Motor DC.....	31
Gambar 3.8 Ring pengaman	32
Gambar 3.9 Mode matematis sistem	33

Gambar 3.10 Free body diagram sistem	34
Gambar 3.11 Blokdiagram pada Matlab	35
Gambar 3.12 Diagram alir simulasi	36
Gambar 3.13 Meja eksperimen dengan posisi disk ditengah	37
Gambar 3.14 Meja ekeperimen dengan disk diatur sejauh a(mm).....	38
Gambar 3.15 Meja eksperimen dengan posisi disk tidak ditengah	39
Gambar 3.16 Meja eksperimen dengan panjang berbeda	30
Gambar 3.17 Flowchart eksperimen	42
Gambar 3.18 Diagram alir perhitungan I	43
Gambar 3.19 Diagram alir perhitungan II	44
Gambar 3.20 Diagram alir perhitungan III.....	45
Gambar 3.21 Diagram alir perhitungan IV.....	46
Gambar 4.1 Bode diagram pada simulasi	51
Gambar 4.2 Grafik Ncs VS Nce massa berbeda	52
Gambar 4.3 Grafik NcS VS NcE massa 0,08kg diameter berbeda.....	53
Gambar 4.4 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg diameter berbeda.....	53
Gambar 4.5 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg, diameter 64mm, panjang poros berbeda	55
Gambar 4.6 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg, d= 93mm dan panjang poros berbeda	56
Gambar 4.7 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08kg, d= 64mm dan panjang poros berbeda	58
Gambar 4.8 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08kg, d= 93mm dan panjang poros berbeda	59
Gambar 4.9 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg, d= 64mm, panjang 750mm, posisi disk berbeda.....	61
Gambar 4.10 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 64mm, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda.....	62
Gambar 4.11 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058 kg, d= 64mm, panjang poros 950mm, posisi disk berbeda	65

Gambar 4.12 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 64mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda.....	67
Gambar 4.13 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058 kg, d= 93mm, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda.....	68
Gambar 4.14 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 93mm, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda.....	70
Gambar 4.15 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058 kg, d= 93mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda.....	71
Gambar 4.16 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 93mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan yang semakin modern ini banyak komponen-komponen yang mendukung sebuah sistem permesinan itu agar berjalan dengan baik. Komponen-komponen tersebut ada yang tidak bergerak maupun komponen yang bergerak. Pergerakan tersebut dapat berupa translasi dan ada juga yang berupa putaran. Komponen yang berputar dapat berupa batang maupun poros. Peranan poros yaitu untuk meneruskan putaran mesin, dimana merubah momen menjadi sesuai kebutuhan.

Pada suatu kecepatan tertentu sebuah poros atau poros rotor dapat memberikan getaran yang sangat besar, meskipun poros dapat berputar dengan mulus pada kecepatan-kecepatan lainnya. Gejala ini biasa disebut dengan kecepatan kritis (*critical speed*) atau kecepatan pusaran kritis (*critical whirling speed*). Fenomena *whirling effect* yaitu fenomena dimana sebuah poros yang berputar akan mengalami defleksi yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal yang di hasilkan dari massa poros. *Whirling effect* tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin, seperti halnya poros yang berputar dapat mengakibatkan poros tersebut menjadi bengkok dikarenakan mesin tersebut berputar pada kecepatan yang dekat atau sama dengan kecepatan kritisnya.

Gejala putaran kritis pada sebuah sistem yang berputar penting untuk dipelajari karena banyak mesin yang menggunakan sistem tersebut sebagai penerus daya. Jika sebuah poros yang berputar belum mencapai kesetimbangan maka gaya sentrifugal akan selalu terjadi dan disaat mencapai putaran kritis (*critical speed*) maka poros tersebut akan mencapai kondisi setimbang. Cara menanggulangnya yaitu dengan cara mencari nilai dari putaran kritis (*critical speed*) dari poros yang berputar tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas oleh penulis dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana fenomena putaran kritis yang terjadi pada poros?
2. Bagaimana pengaruh perubahan diameter poros, panjang poros, massa disk dan posisi pembebanan yang diberikan pada poros terhadap kecepatan putaran?
3. Bagaimana perbandingan nilai kecepatan kritis antara simulasi dengan eksperimen?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui fenomena putaran kritis yang terjadi pada poros.
2. Mengetahui pengaruh perubahan diameter poros, panjang poros, massa disk dan posisi pembebanan yang diberikan pada poros terhadap kecepatan putaran.
3. Mengetahui perbandingan nilai putaran kritis antara penelitian dengan simulasi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari luasnya permasalahan yang ada pada penulisan Tugas Akhir ini maka penulis membatasi ruang lingkup dari pembahasan hanya pada:

1. Pengamatan pada eksperimen dibatasi hanya dibatasi pada masalah getaran yang berpengaruh pada putaran kritis
2. Momen Inersia (I) dari poros dan disk uniform
3. Modulus Elastis (E) dari poros dan disk homogen
4. Saat eksperimen tidak terjadi pergeseran antara disk dan poros
5. Pada eksperimen slip pada joint diabaikan
6. Pengamatan dilakukan pada poros panjang yang lurus dengan diameter tertentu serta memiliki struktur yang rata.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam penulisan laporan Tugas Akhir maka disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi meliputi teori-teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum dan khususnya mengenai penjelasan tentang alat-alat maupun bahan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menerangkan tentang semua hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu peralatan penelitian, metode penelitian dan langkah kerja yang digunakan.

4. BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

Pada bab ini berisi hasil yang diperoleh dari proses pengujian, serta analisa data

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian dan saran-saran.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Getaran

Getaran merupakan respon berulang, periodik, atau osilasi dari sistem mekanik. Tingkat siklus getaran disebut dengan frekuensi. Getaran merupakan salah satu ciri keperluan bagi kebanyakan mesin. Gerakan berulang teratur dan terjadi pada frekuensi yang relatif rendah, biasanya disebut osilasi, sedangkan setiap gerakan berulang bahkan pada frekuensi yang tinggi, dengan amplitudo rendah, dan memiliki perilaku yang tidak teratur biasa disebut dengan getaran. Pendulum yang berputar dan getaran memetik gitar merupakan contoh dari getaran. Sistem yang berayun adalah konsep yang digunakan dalam kebanyakan jam yang menggunakan bandul.

Umumnya, terdapat dua jenis getaran yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas berlaku apabila pergerakan disebabkan oleh gravitasi atau daya yang tersimpan seperti pergerakan bandul atau pegas. Getaran paksa ialah getaran yang disebabkan oleh kesan daya yang dikenakan secara berkala atau mengikuti tempo pengulangan tertentu. Bagi kedua jenis getaran ini, terbagi pada dua keadaan yaitu getaran tanpa redaman dan getaran dengan redaman. Getaran alami dapat terjadi dalam sebuah sistem. Ada getaran yang baik dimana memiliki guna dan juga ada getaran yang tidak baik yang dapat merusak atau membahayakan. Pada sistem permesinan biasanya resonansi tidak diinginkan dan bisa merusak.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak kita jumpai sistem dengan komponen utama poros yang diberi beban, kemudian diputar dengan putaran tertentu. Contohnya pada susunan gearbox, sistem transmisi dan lain sebagainya. Pada gambar 2.1 dapat dilihat

beberapa contoh aplikasi dari sistem poros yang diputar dan terdapat beban ditengahnya.



(a) Poros pada mesin bubut

(b) Sistem pengeboran sumur

Gambar 2.1 Aplikasi Sistem Poros berputar dengan Beban Ditengah.

2.1.1 Frekuensi dan Periode Getaran

Misalkan dalam 5 sekon terjadi 20 getaran ujung penggaris plastik maka dapat dikatakan bahwa dalam 1 sekon terjadi 4 getaran ujung penggaris plastik. Jumlah getaran yang terjadi dalam satu sekon ini disebut frekuensi getaran yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{n}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

f = frekuensi (Hz)

n = jumlah getaran

t = waktu (s).

Dalam SI, frekuensi dinyatakan dalam Hertz (Hz). Satuan yang lebih besar adalah kiloHertz (kHz), megaHertz (MHz), atau gigaHertz (GHz). Satuan yang lain adalah cycle per second (cps), 1 cps = 1 Hz.

Dalam tiap satuan waktu akan terjadi sejumlah getaran. Waktu yang dibutuhkan untuk membuat satu getaran ini disebut periode. Hubungan antara periode dan frekuensi dapat ditulis sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

Keterangan:

T = periode (s)

f = frekuensi (Hz).

2.1.2 Kecepatan dan Kecepatan Sudut

Kecepatan tangensial dan kecepatan sudut partikel yang bergerak melingkar dapat dinyatakan dalam periode dan frekuensi. Besar kecepatan partikel yang melakukan gerak melingkar dinyatakan melalui persamaan :

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{T} \text{ atau } v = 2\pi r f \quad (2.3)$$

Besar kecepatan sudut partikel yang bergerak melingkar dinyatakan melalui persamaan :

$$\omega = \frac{s}{t} = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \omega = 2\pi f \quad (2.4)$$

Keterangan : v : Kecepatan tangensial

ω : Kecepatan sudut

r : Jarak partikel dari pusat lintasan melingkar.

2.2 Putaran Kritis Akibat Whirling

Poros untuk meneruskan gaya diklasifikasikan menurut pembebanannya yaitu : poros transmisi, spindel, gandar. Bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya atau pada kecepatan tertentu pada sebuah poros rotor atau rotor diketahui memberikan getaran yang berlebihan. Kecepatan sudut dari suatu poros dimana hal ini terjadi disebut kecepatan kritis atau

kecepatan pusaran kritis (*critical speed or critical whirling speed*). Hal ini mengakibatkan poros berputar sambil bergetar dengan amplitudo yang besar. Gejala ini disebut whirling shaft. Terjadinya whirling shaft pada permesinan dapat mengakibatkan :

- Timbulnya getaran yang berlebihan, getaran ini kemudian diinduksikan ke komponen mesin lainnya dan sekelilingnya.
- Kerusakan mekanik. Hal ini disebabkan oleh:
 - ✓ Tegangan bending yang besar pada poros.
 - ✓ Gesekan antara poros dan rumah bearing
 - ✓ Beban yang diterima bearing menjadi berlebihan
- Memperpendek umur mesin.

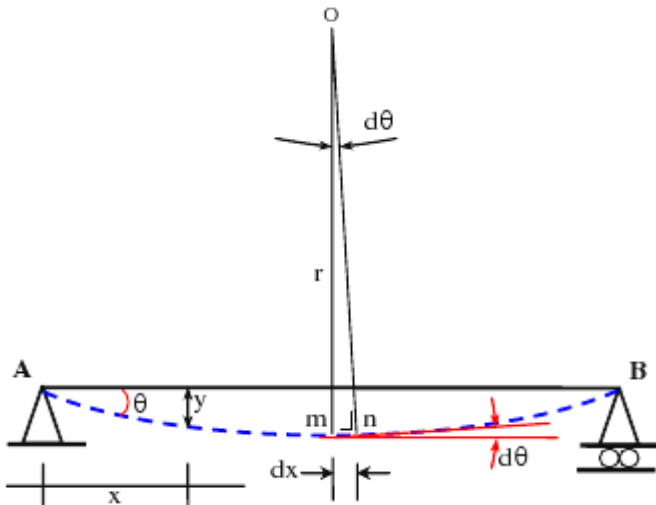
Pada suatu kecepatan kritis lenturan (*deflection*) dari poros menjadi berlebihan dan dapat menyebabkan perubahan bentuk (*deformasi*) yang permanen atau strukturnya rusak sebagai contoh sudu-sudu rotor dari turbin mungkin akan menyentuh sudu-sudu yang tetap. Lenturan poros yang besar yang terjadi pada kecepatan kritis dapat menyebabkan reaksi bantalan yang besar dan dapat menyebabkan kerusakan bantalan atau kerusakan pada struktur pendukung bantalan. Sebuah mesin tidak akan pernah dapat beroperasi dalam lama waktu jika pada kecepatan yang dekat dengan kecepatan kritis.

2.3 Metode-Metode Perhitungan Lenturan

Ada beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan defleksi pada balok, terdiri dari:

1. Metode integrasi ganda ("*doubel integrations*")
2. Metode luas bidang momen ("*Momen Area Method*")
3. Metode energy
4. Metode superposisi.

Metode integrasi ganda sangat cocok dipergunakan untuk mengetahui defleksi sepanjang bentang sekaligus. Sedangkan metode luas bidang momen sangat cocok dipergunakan untuk mengetahui lendutan dalam satu tempat saja. Asumsi yang dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut adalah hanya defleksi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok, defleksi yang terjadi relative kecil dibandingkan dengan panjang baloknya, dan irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap berupa bidang datar walaupun berdeformasi. Suatu struktur sederhana yang mengalami lentur dapat digambarkan sebagaimana gambar 2.2, dimana y adalah defleksi pada jarak x , dengan x adalah jarak lendutan yang ditinjau, dx adalah jarak mn, $d\theta$ sudut mon, dan r adalah jarijari lengkung.



Gambar 2.2 Diagram Benda Bebas Untuk Metode Integrasi Ganda

Berdasarkan gambar (2.2) didapat besarnya

$$dx = r \operatorname{tg} d\theta \quad (2.5)$$

karena besarnya $d\theta$ relatif sangat kecil maka $\text{tg } d\theta = d\theta$ saja sehingga persamaannya dapat ditulis menjadi

$$dx = r \cdot d\theta \text{ atau } \frac{1}{r} = \frac{d\theta}{dx} \quad (2.6)$$

Jika dx bergerak kekanan maka besarnya $d\theta$ akan semakin mengecil atau semakin berkurang sehingga didapat persamaan

$$\frac{1}{r} = -\frac{d\theta}{dx} \quad (2.7)$$

Lendutan relatif sangat kecil sehingga $\theta = \text{tg } \theta = \frac{dy}{x}$, sehingga didapat Persamaan

$$\frac{1}{r} = -\frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{x} \right) = -\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) \quad (2.8)$$

Persamaan tegangan $\frac{1}{r} = -\frac{M}{EI}$, sehingga di dapat persamaan

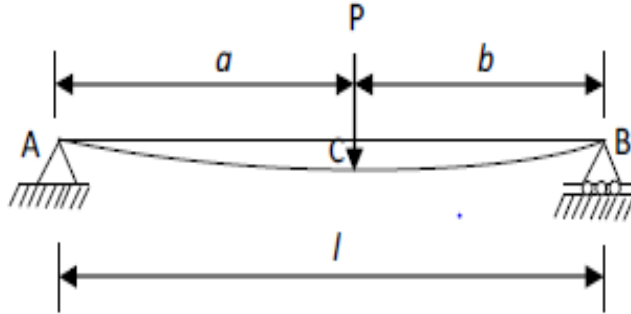
$$\begin{aligned} \frac{M}{EI} &= -\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) \\ EI \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) &= -M \end{aligned} \quad (2.9)$$

Jika persamaan (2.9) di integralkan sebanyak dua kali maka akan di peroleh

persamaan:

$$\begin{aligned} EI = \left(\frac{dy}{dx} \right) &= \frac{dM}{dX} = V \\ EI = (y) &= \left(\frac{dV}{dx} \right) = P \end{aligned} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 dapat di terapkan untuk mencari defleksi pada balok sesuai dengan penelitian seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Balok Sederhana dengan Beban Titik

Dari gambar 2.3 maka dapat di tentukan besarnya momen dan reaksi tiap tumpuan:

$$R_A = \frac{Pb}{L}, \text{ dan } R_B = \frac{Pa}{L} \quad (2.11)$$

Untuk $0 < x < a$

$$M_x = \frac{Pbx}{L} \quad (2.12)$$

Untuk $a < x < l$

$$M_x = \frac{Pbx}{L} - P \quad (2.13)$$

Untuk $0 < x < a$

$$EI \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) = -\frac{Pbx}{L} \quad (2.14)$$

Untuk $a < x < l$

$$EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -\frac{Pbx}{L} + p(x - a) \quad (2.15)$$

Kemudian kedua persamaan (2.14) dan (2.15) di integralkan terhadap x sehingga di dapat:

$$\begin{aligned} EI \left(\frac{dy}{dx} \right) &= -\frac{Pbx^2}{2L} + C_1 EI \left(\frac{dy}{dx} \right) \\ EI \left(\frac{dy}{dx} \right) &= -\frac{Pbx^2}{2L} + \frac{p(x - a)^2}{2} + C_2 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Pada $x = a$, kedua persamaan (2.16) di atas hasilnya akan sama. Jika diintegral lagi mendapatkan persamaan :

$$\begin{aligned} EIy &= -\frac{Pbx^3}{6L} + C_x + C_3 \\ EIy &= -\frac{Pbx^3}{6L} + \frac{p(x - a)^3}{6} + C_2x + C_4 \end{aligned}$$

Pada $x = a$, maka nilai $C1$ harus sama dengan $C2$, maka $C3 = C4$, sehingga persamaannya menjadi

$$EIy = -\frac{Pbx^3}{6L} + \frac{p(x - a)^3}{6} + C_1x + C_4 \quad (2.17)$$

Untuk $x = 0$, maka $y = 0$, sehingga nilai $C3 = C4 = 0$

Untuk $x = L$, maka $y = 0$, sehingga persamaan (2.17) dapat ditulis menjadi :

$$0 = -\frac{Pb}{6L} L^3 + \frac{p(L - a)^3}{6} + C_1L + 0$$

Besarnya $L - a = b$

$$C_1 = \frac{PbL}{6} - \frac{p(L-a)^3}{6L} = \frac{PbL}{6} - \frac{Pb^3}{6L}$$

$$C_1 = \frac{Pb}{6L}(L^2 - b^2) \quad (2.18)$$

Sehingga setelah disubstitusi menghasilkan persamaan :

Untuk $0 < x < a$

$$\delta_C = Y = \frac{1}{EI} \left[-\frac{Pbx^3}{6L} + \frac{Pbx}{6L}(L^2 - b^2) \right]$$

$$\delta_C = \frac{Pbx}{EI \cdot 6L}(L^2 - b^2 - x^2) \quad (2.19)$$

Untuk $a < x < l$

$$\delta_C = Y = \frac{1}{EI} \left[-\frac{Pbx^3}{6L} + \frac{Pb(x-a)^3}{6} + \frac{Pb(L^2 - b^2)}{6L}x \right]$$

$$\delta_C = \frac{Pbx}{EI \cdot 6L}(L^2 - b^2 - x^2) + \frac{Pb(x-a)^3}{6} \quad (2.20)$$

Untuk $a = b$

$$\delta_C = Y = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.21)$$

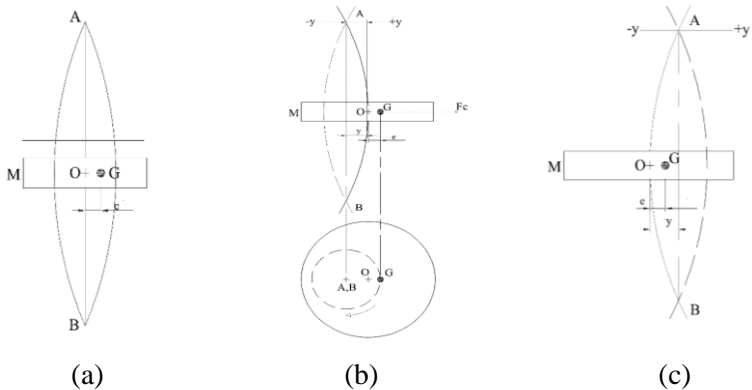
2.4 Poros Dengan Sebuah Lempeng Tunggal

Apabila titik berat berada disumbu putar, maka tidak akan ada ketidakseimbangan macam apapun yang dapat menyebabkan poros berputar disuatu sumbu lain di luar sumbu poros. Namun pada prakteknya kondisi semacam ini tidak dapat tercapai. Perhatikan poros yang ada dalam gambar 2.4 (a) , yang mempunyai lempeng

dengan massa M yang terletak di antara bantalan-bantalannya. Dalam pembahasan berikut, akan dianggap bahwa massa dari poros diabaikan dibandingkan dengan massa dari lempeng. Titik O terletak pada sumbu poros, dengan G adalah titik pusat massa dari lempeng. Selanjutnya suatu jarak e , yang sangat kecil dari pusat geometri piringan. Dengan titik berat yang berada diluar sumbu putar, maka poros tersebut akan dengan gaya sentrifugal F_c yang bekerja radial keluar melalui G menyebabkan poros membengkok seperti yang ada di gambar. Gaya sentrifugal adalah sama dengan massa dari lempeng dikalikan percepatan normal dari titik G ; karena percepatan normal sama dengan jari-jari putaran kali ω^2 maka

$$F_c = MA = M(y + e)\omega^2 \quad (2-22)$$

dengan ω adalah kecepatan poros dalam radian per detik dan y adalah lenturan dari poros dimana lempeng terletak. Poros tersebut berperilaku seperti sebuah pegas dan untuk lenturan y ia akan melakukan gaya lawan ky , dimana k adalah konstanta pegas dari poros yang dapat membengkok.



Gambar 2.4 Gerak dan gaya-gaya untuk sebuah lempeng pada suatu poros yang berputar terhadap satu sumbu tetap

Untuk suatu keadaan seimbang gaya lawan tersebut akan sama dengan gaya sentrifugal dan oleh karena itu :

$$ky = M(y + e)\omega^2 \quad (2-23)$$

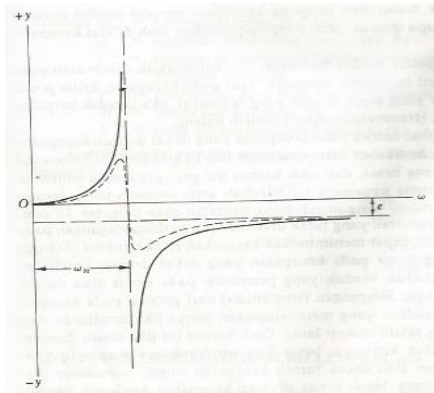
Maka diperoleh lendutan :

$$y = \frac{e\omega^2}{(k/M) - \omega^2} \quad (2-24)$$

dan

$$\frac{y}{e} = \frac{M\omega^2}{k - M\omega^2} \quad (2-25)$$

Suatu kurva y/e versus ω ditunjuk dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kecepatan kritis atau kecepatan olakan terjadi ketika sebuah poros mempunyai jari-jari lendutan yang secara teori besarnya tak hingga

Kecepatan yang berbahaya pada sebuah sistem permesinan dinyatakan dengan kritis atau kecepatan olakan yaitu kecepatan sistem sama dengan frekuensi alaminya atau y/e adalah tak hingga.

Dalam gambar 2.5 suatu kurva dari garis utuh adalah merupakan gambaran dari persamaan (2-24). Dari persamaan

tersebut kita lihat bahwa pada waktu $\omega = \text{nol}$, $y = \text{nol}$, dan pada waktu $\omega^2 = k/M$, penyebutnya menjadi nol dan y menjadi tak terhingga. Harga ω ini dikenal sebagai kecepatan kritis ω_n (*critical speed* ω_n) dan karena itu:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (2-25)$$

Dimana M adalah massa lempeng. Juga, kita melihat bahwa untuk harga-harga $\omega > \omega_n$ penyebut dari persamaan (2-24) menjadi negatif, dan selanjutnya y menjadi negatif seperti ditunjukkan oleh cabang sebelah kanan dari kurva garis utuh. Selanjutnya kita melihat dari persamaan (2-24) bahwa pada waktu ω menjadi sangat besar, y akan menuju $-e$.

Dari gambar 2.5 dapat dilihat bahwa jika $\omega < \omega_n$, y akan menjadi positif dan bentuk dari poros akan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.4 (b). Jika m konstan, y akan konstan, dan titik pusat poros akan tetap pada posisi bengkok yang tetap berputar mengelilingi sumbu AB , melukiskan putaran dari permukaan poros.

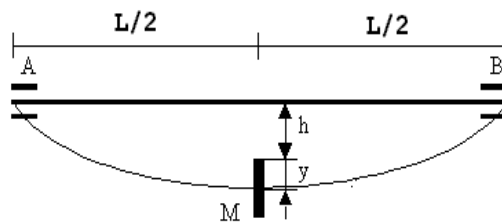
Dari gambar 2.5 dapat dilihat bahwa $\omega > \omega_n$, y akan negatif, dan oleh karena itu poros akan melentur (bengkok) dalam arah yang berlawanan. Bentuknya kemudian seperti ditunjukkan dalam gambar 2-4 (c), dimana y negatif. Seperti diketahui bahwa sisi dari poros yang cembung di bawah kecepatan kritis menjadi sisi cekung pada kecepatan di atas kecepatan kritis.

Dari Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan yang dekat dengan kecepatan kritis dari poros, lenturan akan besar dan oleh karena itu gaya-gaya pada bantalan-bantalan akan cukup besar. Disamping suara yang disebabkan oleh getaran yang tidak diketahui, berbagai tegangan pada bantalan dan kerangka dari mesin dapat menimbulkan kerusakan pada struktur. Sebagai tambahan, lenturan poros yang besar pada kecepatan yang dekat dengan kecepatan kritis dapat menyebabkan perubahan bentuk

yang permanen pada poros atau daerah kontak. Simpangan (amplitudo) dari getaran pada kecepatan-kecepatan kritis mencapai keadaan yang membahayakan hanya jika amplitudo dari getaran terjadi pada waktu yang relatif cukup lama. Dalam persamaan (2-25), $k = F/y = Mg/y_{st}$ dan oleh karena itu

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{y_{st}}} \quad (2-26)$$

2.4.1 Berat Poros Diabaikan, Disk Dipasang Ditengah Poros



Gambar 2.6 Disk dipasang ditengah poros

Dimana:

M : massa disk

h : defleksi statis

y : defleksi karena gaya sentrifugal

L : panjang poros

Total defleksi yang terjadi pada sistem = $h + y$

Gaya sentrifugal = $M \cdot \omega^2 (h + y)$, dimana ω = kecepatan sudut.

Apabila k kekakuan material poros, maka :

$$M \omega^2 (h + y) = k \cdot y$$

$$M \omega^2 h = y (k - M \omega^2)$$

$$\frac{y}{h} = \frac{1}{\frac{k}{M\omega^2} - 1} \quad (2.27)$$

Dimana : $\omega_c = \sqrt{\frac{k}{M}}$ merupakan kecepatan sudut sesuai dengan frekuensi natural.

Dengan mempertimbangkan harga diatas maka persamaan (2.8) menjadi :

$$\frac{y}{h} = \frac{1}{\left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (2.28)$$

Jika $\omega = \omega_c$ maka $\frac{y}{h} = \infty$, Pada saat ini poros dalam keadaan whirling dan ω_c dinamakan kecepatan kritis poros.

Putaran poros tiap detik adalah :

$$N_c = \frac{\omega_c}{2\pi} \text{ (put/det)} \quad (2.29)$$

Jika h = defleksi statis poros maka berlaku hubungan;

$$k \cdot h = M \cdot g$$

Sehingga :

$$\frac{k}{M} = \frac{g}{h}$$

$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (2.30)$$

Maka diperoleh rumus :

$$h = \frac{M \cdot g \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (2.31)$$

Dimana : E = Modulus elastis poros

$$I = \text{Momen inersia penampang poros} = \pi d^4/64$$

Dari persamaan (2.12) diperoleh :

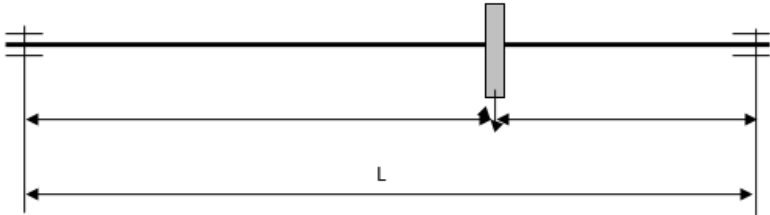
$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{48 \cdot E \cdot I}{M \cdot L^3}} \text{ atau } N_c = 1,103 \sqrt{\frac{E \cdot I}{M \cdot L^3}} \quad (2.32)$$

Untuk massa M dan poros yang sama, harga N_c adalah konstan maka putaran kritis poros adalah :

$$N_c = C \cdot L^n \quad (2.33)$$

$$\text{Dimana : } C = 1,103 \sqrt{\frac{E \cdot I}{M}} \text{ dan } n = -\frac{3}{2}$$

2.4.2 Disk Dipasang Tidak Ditengah Poros



Gambar 2.7 Disk dipasang tidak tengah poros, sejauh a dari bearing

Dalam hal ini defleksi statis di titik yang dipasang disk pada poros adalah :

$$h = \frac{(0,486m + M)ga^2b^2}{3EIL}$$

Didapatkan frekuensi natural dari poros :

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{g}{h}}$$

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m+M)a^2b^2}} \quad (2.34)$$

Untuk kondisi ini putaran poros menjadi :

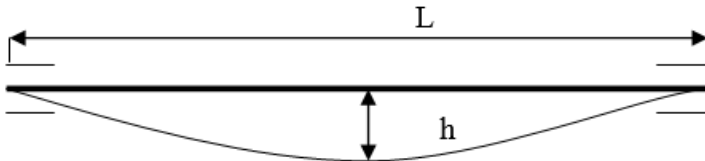
$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m+M)a^2b^2}}$$

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m+M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right) \quad (2.35)$$

Atau $N_c = C(ab)$

Dimana : $C = 0,276 \sqrt{\frac{E.I.L}{(0,486m+M)}}$ dan $n = -1$

2.4.3 Berat Poros Diperhitungkan Tanpa Disk



Gambar 2.8 Poros yang tidak diberi beban atau disk

Dalam hal ini defleksi statis di tengah - tengah poros adalah :

$$h = \frac{mgL^3}{98,454 EI} \quad (2.36)$$

Didapatkan harga frekuensi natural poros tersebut :

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (2.37)$$

Apabila masa poros diperhitungkan tanpa massa M yang terpasang ditengah-tengah poros, maka putaran kritis poros menjadi :

$$N_c = \frac{\omega_n}{2\pi}$$

$$N_c = 1,58 \sqrt{\frac{EI}{mL^3}} \quad (2.38)$$

2.4.4 Berat Poros Diperhitungkan, Disk Dipasang Ditengah Poros

Apabila berat poros diperhitungkan dengan massa disk M dipasang ditengah-tengah, maka putaran kritis poros yang terjadi adalah :

Berdasarkan persamaan **Dunkerley** :

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{1}{\omega_s^2} = \frac{1}{\omega_l^2} \quad (2.39)$$

Dimana : ω_n : kecepatan sudut sistem secara keseluruhan

ω_s : kecepatan sudut natural poros tanpa disk tetapi berat poros diperhitungkan

ω_l : kecepatan sudut poros dengan disk dipasangi ditengah-tengah

Selanjutnya berdasarkan analisa sebelumnya :

$$1/ws^2 = mgL^3/98,454 EI$$

$$1/w_i^2 = mL^3/48 EI$$

Maka didapatkan :

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{1}{\omega_s^2} = \frac{1}{\omega_l^2}$$

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{mgL^3}{98,454EI} + \frac{ML^3}{48EI}$$

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{L^3}{EI} \left[\frac{m}{95,454} + \frac{M}{48} \right]$$

$$\omega_n^2 = \frac{EI}{L^3} \left[\frac{4725,792}{48m + 98,45M} \right]$$

$$\omega_n = 6,928 \sqrt{\frac{EI}{(0,486m + M)L^3}} \quad (2.40)$$

Dari persamaan : $N_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$

Sehingga :

$$N_c = 1,103 \sqrt{\frac{EI}{(0,486m + M)L^3}} \quad (2.41)$$

Atau $N_c = CL^n$

$$C = 1,103 \sqrt{\frac{EI}{(0,486m + M)}} \quad (2.42)$$

Dimana :

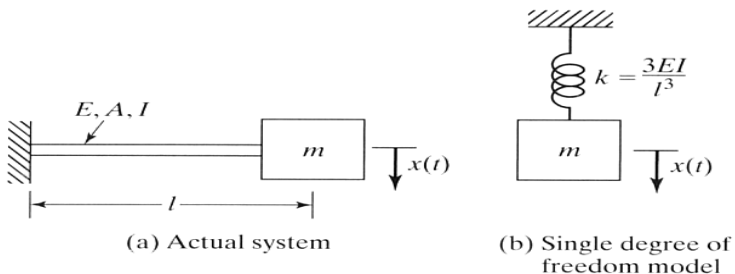
M = massa disk yang dipasang ditengah-tengah poros

m = massa poros

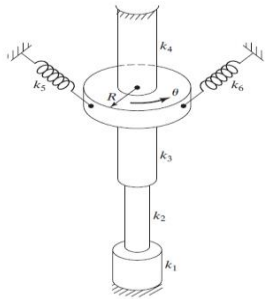
2.5 Sistem Derajat Kebebasan (Degree Of Freedom / DOF)

Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai jumlah minimum dari koordinat independen yang diperlukan untuk menentukan posisi dari bagian-bagian sistem pada sembarang waktu. Sistem dengan derajat kebebasan satu seperti pada gambar 2.9 hanya memiliki satu koordinat bebas untuk menentukan kedudukannya (Aryo, 2016)

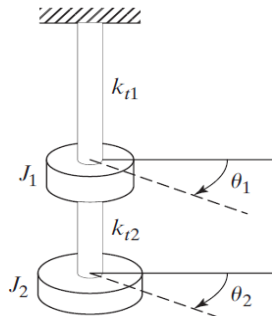
Sedangkan sistem dengan derajat kebebasan lebih dari satu membutuhkan dua atau lebih koordinat bebas untuk menentukan kedudukannya. Sistem pegas massa seperti pada gambar 2.11 adalah contoh dari sistem dengan dua derajat kebebasan. Sistem tersebut membutuhkan dua koordinat yang menentukan kedudukan dua buah massa, yaitu massa satu (m_1) pada waktu tertentu (x_1) dan massa dua (m_2) pada waktu tertentu (x_2).



Gambar 2.9 Contoh sistem satu DOF translasi

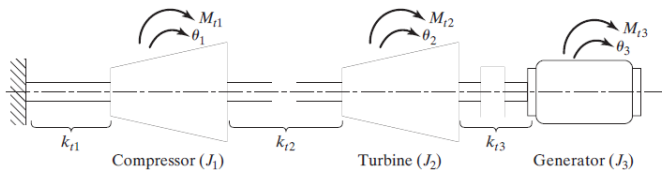


Gambar 2.10 Contoh sistem satu DOF rotasi



Gambar 2.11 Contoh sistem dua DOF

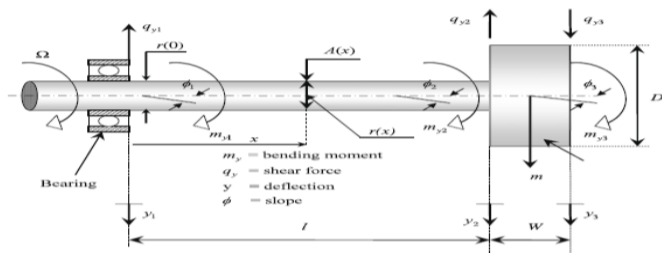
Sistem yang lebih kompleks seperti sistem yang memiliki tiga atau lebih massa dengan koordinat masing-masing memiliki penyelesaian yang tidak jauh berbeda dengan sistem dengan dua massa dengan dua koordinat, hanya saja lebih panjang. Sistem multi DOF dapat dijelaskan seperti pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Contoh sistem multi DOF

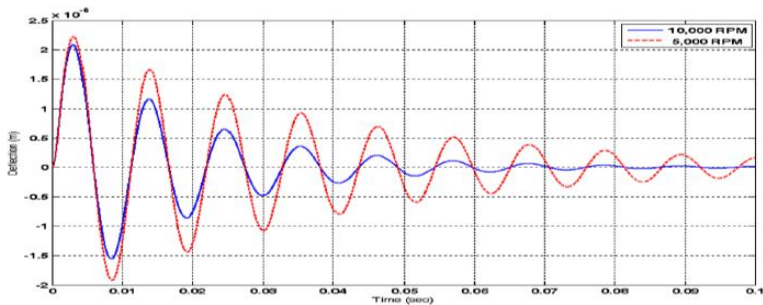
2.6 Prediksi Putaran dengan geometri dari poros oleh R. Whalley

Ada banyak metode analisis yang dapat digunakan dalam memprediksi putaran. Kebanyakan dari proses iterasi dimulai dari asumsi mendasar yang berupa bentuk dari disk. Seringkali beberapa iterasi relatif diperlukan sebelum kondisi sebenarnya dan bentuk dari disk ditemukan, berdasarkan rasio *eigenvector* dari lengkungan defleksi dalam kondisi stasioner, seperti pada cantilever pada rotor.



Gambar 2.13 Cantilever Pada Rotor (R. Whalley 2008)

Parameter yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu massa (m) = 0.7443 kg, momen inersia (I) = $3.768 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ dan panjang poros (l) = 0.1 m. Pada penelitian tersebut digunakan rpm sebesar 5000 rpm dan 10000 rpm. Maka didapat grafik berikut:



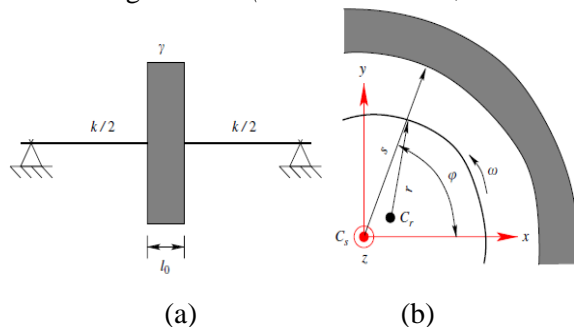
Gambar 2.14 Grafik Hubungan Antara Lenturan dengan Waktu

Kesimpulan pada jurnal ini pada rpm yang cukup tinggi yaitu 10.000rpm didapat nilai defleksi yang tidak terlalu tinggi, sebaliknya pada rpm yang cukup rendah yaitu 5.000 rpm didapat nilai defleksi yang cukup tinggi untuk rentan waktu yang sama. Sehingga belum tentu pada rpm yang tinggi dapat menimbulkan kecepatan kritis yang tinggi juga.

Dari jurnal tersebut dapat diambil berupa perbandingan saat penggunaan rpm yang cukup tinggi dengan penggunaan rpm yang cukup rendah dapat mengakibatkan putaran kritis yang berbeda juga.

2.7 Perubahan Bentuk Rotor pada Sistem Generator oleh Niklas Lanstrom

Gambar 2.15 menunjukkan geometri dari model generator secara matematis. Pada generator *hydropower* 18 MW terdapat komponen rigid yaitu rotor yang mempunyai panjang l_0 , massa γ dan poros yang mempunyai stiffness k . Rotor akan berputar secara counter-clockwise dengan kecepatan sudut konstan. Pada generator terdapat peristiwa Unbalance Magnetic Pull (UMP) yang dapat menyebabkan terjadinya whirling pada generator. Penelitian yang dilakukan oleh Niklas dan Jan ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh jumlah kutub terhadap besaran frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan oleh generator. (Niklas Lanstrom, Jan-Olov 2006)



Gambar 2.15 Model generator a. Rotor , b. Penampang melintang (Niklas Lanstrom, Jan-Olov 2006)

Pada keadaan $n= 1, 2, 3, 4$ rotor mempunyai bentuk yang berbeda yaitu sesuai dengan jumlah kutubnya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 dengan sudut fasa $\alpha'_n= 0$ dan dengan catatan bahwa stator tidak mengalami perubahan bentuk.



Gambar 2.16 Bentuk Stator pada $\alpha'_n= 0, n= 1, 2, 3, 4$ (Niklas Lanstrom, Jan-Olov 2006)

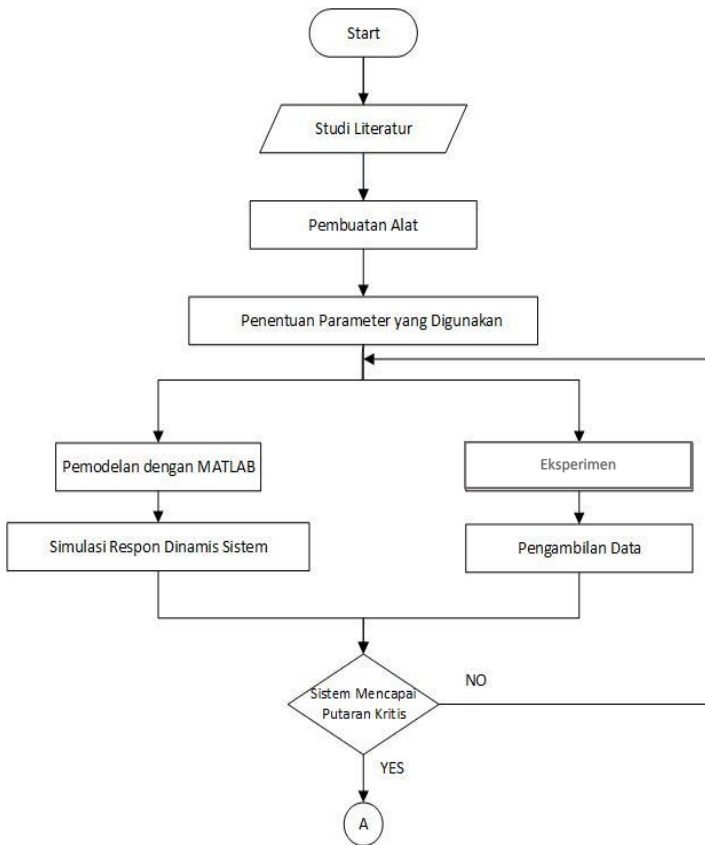
Pada penelitian ini generato dimodelkan secara matematis kemudian dianalisa dengan hukum kekekalan massa. Dari model tersebut kemudian disimulasikan respon dinamis yang terjadi sehingga didapatkan besar frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan. Dengan variasi bentuk rotor yang sesuai dengan jumlah kutub. Hasil dari simulasi akan di bandingkan dengan teori perhitungan UMP. Perbandingan yang dilakukan menghasilkan keserasian antara teoritis UMP dan simulasi model, sehingga hasil simulasi dapat menjadi pendekatan dalam pengukuran frekuensi dan amplitudo dari generator tersebut.

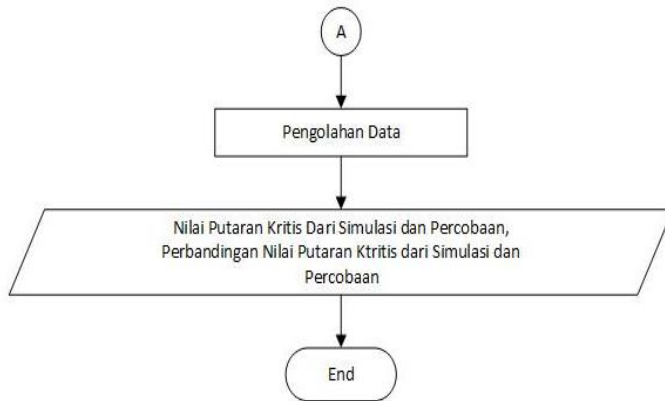
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam tugas akhir ini yang akan dianalisis pengaruh posisi pembebanan (*disk*) terhadap kecepatan kritis. Dalam pelaksanaannya ada beberapa langkah yang ditunjukkan seperti gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram alir tugas akhir

3.2 Tahap Studi Literatur

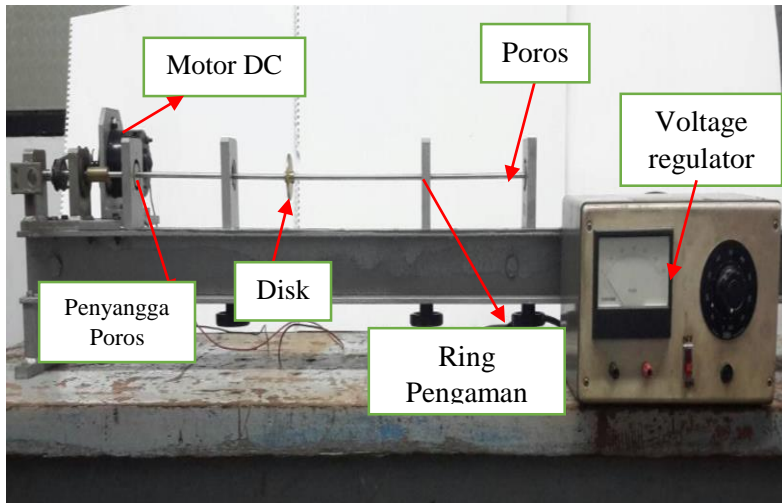
Dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan referensi-referensi yang dapat menunjang dalam menganalisis sistem yang akan digunakan. Oleh karena itu, dilakukan studi literatur untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan landasan mengenai permasalahan yang akan dibahas. Adapun materi dari studi literatur yang mendukung dalam penulisan tugas akhir ini yaitu mekanika getaran dasar, pemodelan sistem dinamis, sistem mekanis getaran translasi, serta pembuatan blok diagram pada program MATLAB Simulink. Sedangkan studi lapangan yang dilakukan meliputi penentuan nilai parameter dari sistem. Seperti mengetahui koefisien pegas dari poros yang digunakan.

Referensi untuk studi literatur didapat dari buku, jurnal-jurnal ilmiah, maupun penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Sedangkan studi lapangan didapat dari data hasil penelitian oleh yang membuat perancangan alat terkait.

3.3 Tahap Pembuatan Alat dan Penentuan Parameter Sistem

3.3.1 Tahap Pembuatan Alat

Pembuatan alat disesuaikan dengan alat yang ada di peralatan sebelumnya. Berikut adalah skema dari mesin dan alat-alat yang digunakan pada tugas akhir ini:



Gambar 3. 2 Skema Mesin Putaran Kritis

1. Poros

Poros yang digunakan dalam tugas akhir ini memiliki diameter 64 mm dan 93 mm dan panjangnya 750mm dan 950mm.



Gambar 3. 3 Poros

2. *Voltage regulator*

Voltage regulator yang digunakan dalam tugas akhir ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan tegangan dari 0 volt – 40volt.



Gambar 3. 4 Voltage regulator

3. *Beban (disc)*

Beban yang digunakan dalam tugas akhir ini memiliki massa 0,058 kg dan 0,08 kg.



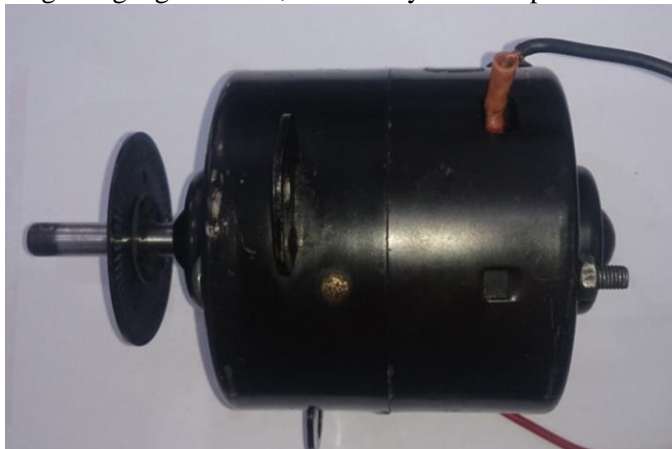
Gambar 3. 5 Beban (*disc*)

4. Penyangga Poros
Jenis penyangga yang digunakan pada tugas akhir ini berupa



Gambar 3. 6 Penyangga Poros

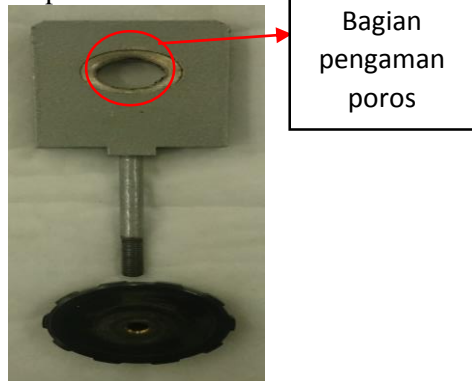
5. Motor Penggerak
Motor penggerak yang digunakan pada tugas akhir ini dengan tegangan 12volt, dan arusnya 1.7 Ampere.



Gambar 3. 7 Motor DC

6. Ring Pengaman

Posisi dari ring pengaman dapat dipindah-pindah untuk menjaga batas lentur poros



Gambar 3. 8 Ring Pengaman

Alat-alat tersebut dipasang dan dijalankan dengan memutar sistem dengan mengatur kecepatannya sampai mencapai kecepatan kritisnya. Data dari kecepatan kritis tersebut dicatat kemudian memindahkan letak dari *disc* yang ada pada poros.

3.3.2 Tahap Penentuan Parameter Sistem

Pada tahap ini akan ditentukan parameter dari topik yang dibahas pada tugas akhir ini. Parameter yang di variasikan dalam tugas akhir ini adalah penempatan disk terhadap poros. Dalam menentukan variasi jarak akan digunakan poros dengan panjang 750mm dan 950mm. Sedangkan untuk diameter dari poros yaitu 64mm dan 93mm dengan nilai a adalah jarak antara disk dengan bearing sebelah kiri dan b adalah jarak antara disk dengan bearing sebelah kanan. Untuk mengetahui variasi jarak pada disk yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

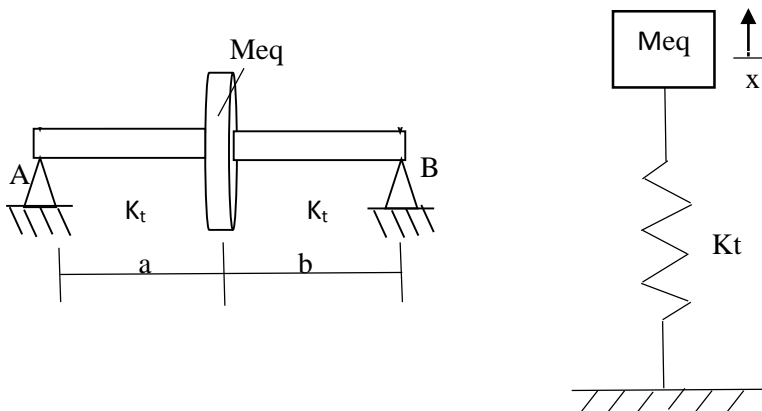
Tabel 3.1 Data Variasi Jarak Posisi Disk

NO	Jarak Disk Pada Poros	
	a	b
1	0,2L	0,8L
2	0,3L	0,7L
3	0,4L	0,6L

3.4 Analisa Pada Penelitian dengan Simulasi

3.4.1 Permodelan dengan Model Dinamis

Pada dinamis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi beban (disk), poros dan tumpuan sederhana (bearing). Dapat dilihat pada gambar 3.9.

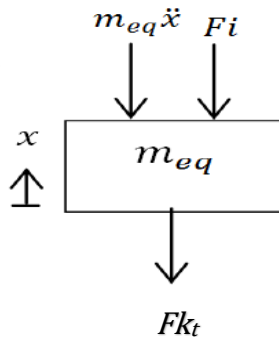


Gambar 3. 9 Model matematis sistem

- Keterangan : K_{eq} : Koefisien pegas poros
 M_{eq} : Massa beban ekuivalen
 F_i : Gaya eksitasi pada sistem
a : Jarak beban terhadap bearing A
b : Jarak beban terhadap bearing B

3.4.2 Pembuatan *Free Body Diagram*

Setelah mendapatkan model dinamisnya, selanjutnya membuat *free body diagram* untuk dipakai dalam simulasi. Dengan, F_{keq} adalah gaya pegas maka untuk sistem satu derajat kebebasan dengan analisa gerak translasi dapat digambarkan seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3. 10 *Free Body Diagram* Sistem

3.4.3 Permodelan dengan Model Matematis

Model matematis dari sistem dapat dirumuskan seperti pada persamaan 3.1. Besarnya $F_i(t)$ berasal dari gaya inersia dari beban (disk) dan akan disimulasikan dalam bentuk sinusoidal.

$$\sum F = F_i(t)$$

$$M_{eq}\ddot{x} + Fk_t = F_i(t)$$

$$M_{eq}\ddot{x} + k_t x = F_i(t) \quad (3.1)$$

3.4.4 Perubahan Model Matematis menjadi *State Variable Equations*

Dalam Matlab persamaan yang dapat dikerjakan harus dalam bentuk *state variable equation*, maka di dapat rumus seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.2 yaitu

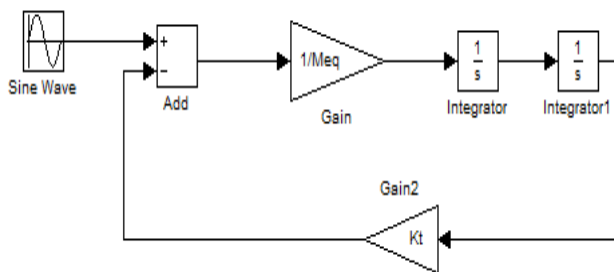
$$M_{eq}\ddot{x} + k_t x = F_i(t)$$

$$\dot{x} = v$$

$$\dot{v} = \frac{1}{M_{eq}} [F_i(t) - k_t x] \quad (3.2)$$

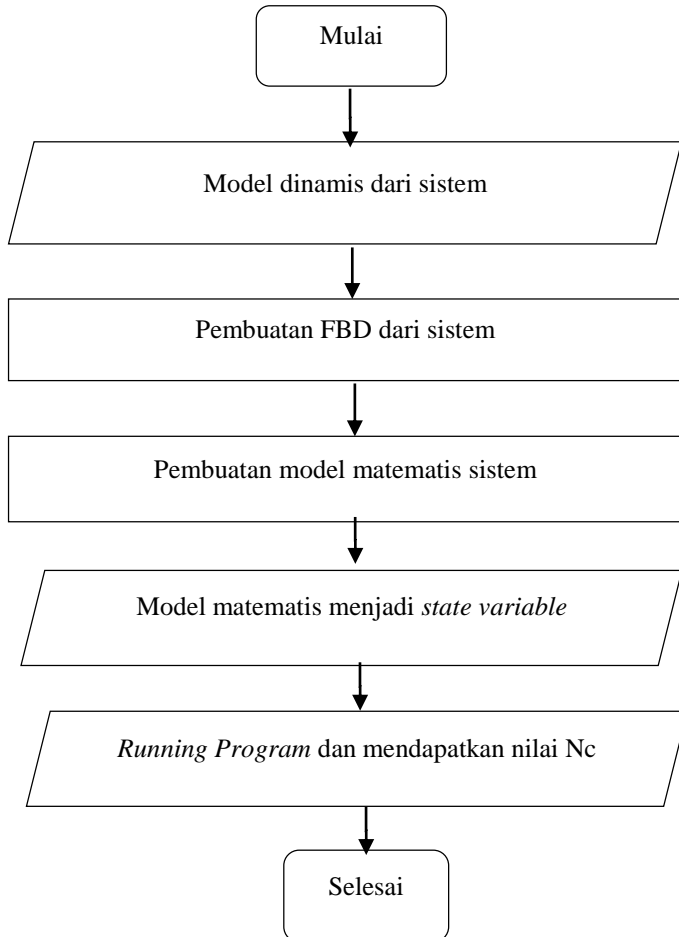
3.4.5 Simulasi dengan Matlab

Dari persamaan gerak yang didapat, selanjutnya dibuat diagram blok sesuai dengan *state variable* dari sistem dengan masing-masing variasi. Dan dari diagram blok tersebut apabila dijalankan atau *running* maka akan didapatkan grafik respon dari sistem dengan masing-masing variasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 *Block Diagram* pada Matlab

3.4.6 Diagram Alir Simulasi



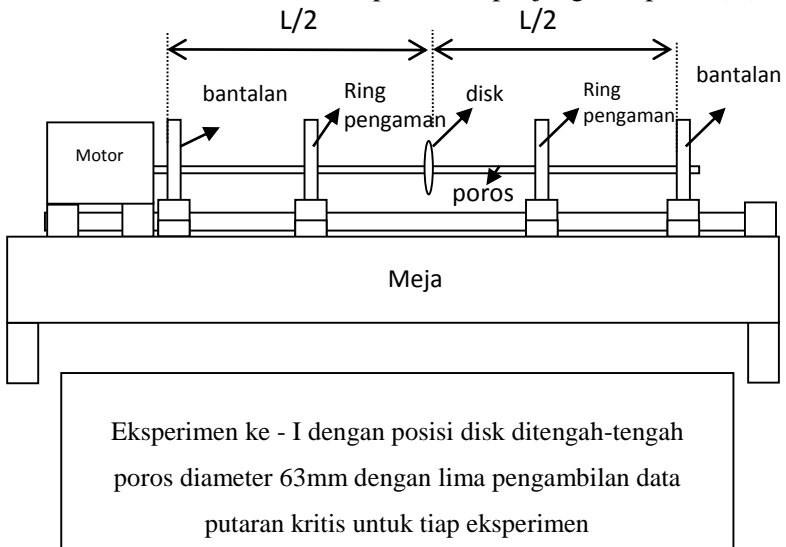
Gambar 3. 12 Diagram alir simulasi

3.5 Tahap Eksperimen, Diagram alir Eksperimen dan Perhitungan

3.5.1 Tahap Eksperimen

3.5.1.1 Eksperimen Pertama

1. Menyediakan peralatan yaitu sebuah disk yang terpasang ditengah-tengah, di antara kedua bantalan.
2. Memposisikan ring pengaman pada kedua sisi disk
3. Memperbesar putaran poros, mengamati peralatan dengan teliti sampai terjadi whirling, didapat putaran kritis yang pertama.
4. Mencatat harga N_c, L, M dan diameter poros d . Melihat dari buku referensi harga E untuk harga poros yang dipergunakan.
5. Mengulangi eksperimen dengan diameter poros yang sama tetapi dengan panjang yang berbeda. Melakukan masing – masing 5 kali pengamatan.
Menentukan massa persatuan panjang dari poros (m).

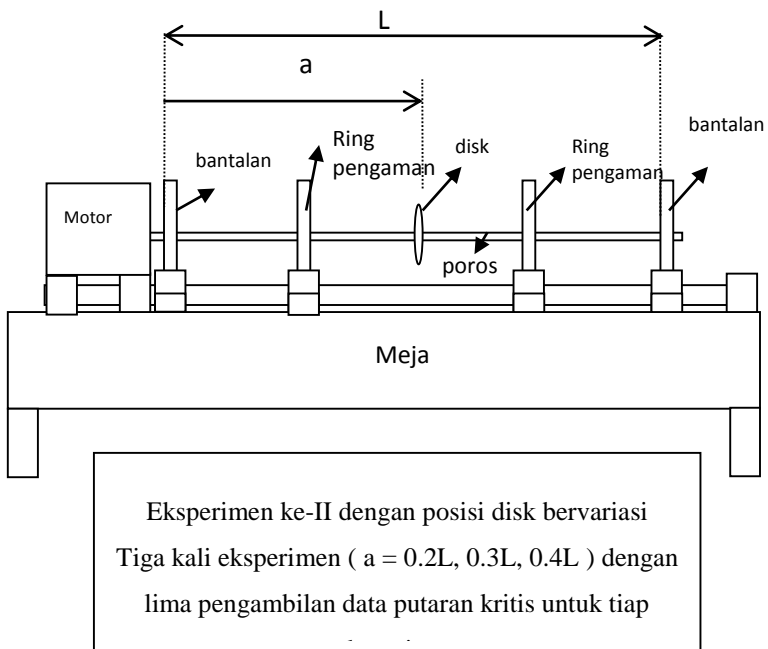


Gambar 3. 13 Meja eksperimen dengan posisi disk ditengah

Bandingkan harga putaran kritis diatas dengan hasil perhitungan apabila massa poros turut diperhitungkan.

3.5.1.2 Eksperimen Kedua

Mengulangi prosedur eksperimen I tetapi dengan panjang poros L tetap, sedangkan posisi disk bervariasi terhadap kedua bantalan. Catat jarak a , b , N_c , L , M kemudian lakukan pengamatan termasuk untuk jarak $a = b = 0,5 L$.



Gambar 3. 14 Meja eksperimen dengan disk diatur sejarak a (mm)

Interpretasi:

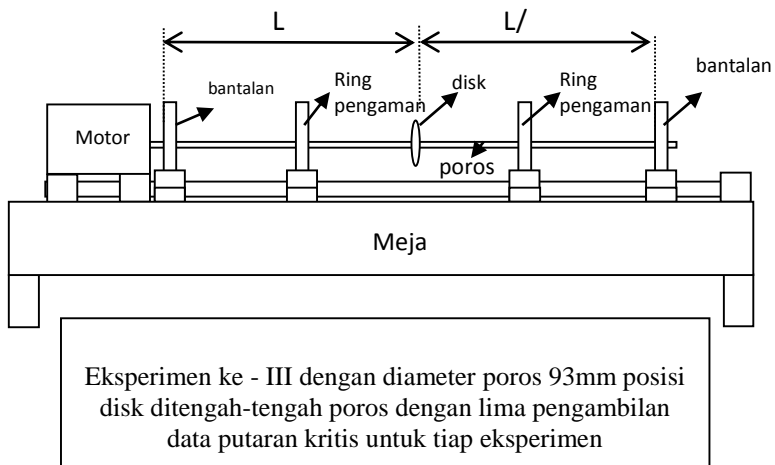
Hitunglah untuk C dan n yang diperoleh secara teori.

Menurut teori harga C ditentukan oleh persamaan:

$$C = 0,276 \sqrt{\frac{E \cdot I}{(0,486m + M)a^2 b^2}} \text{ dan } n = \frac{1}{2}$$

3.5.1.3 Eksperimen Ketiga

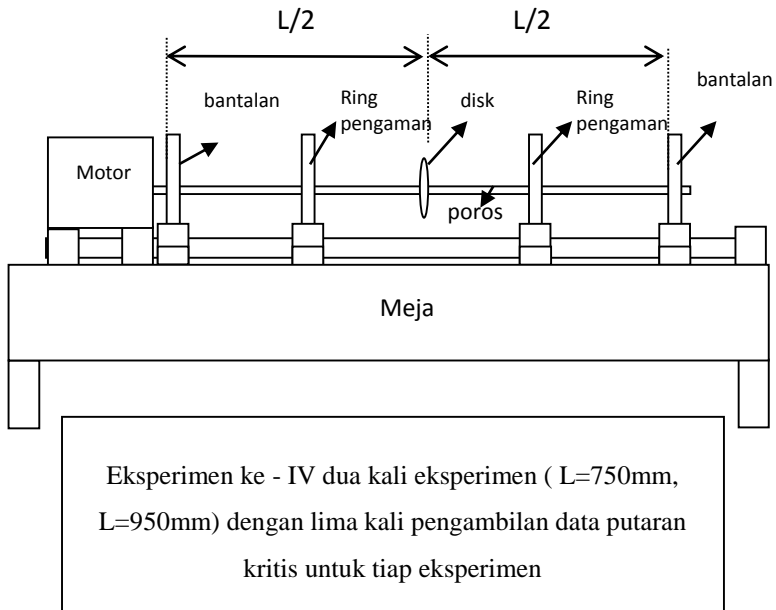
1. Menyediakan peralatan yaitu sebuah disk yang dipasang ditengah-tengah, di antara kedua bantalan.
2. Memposisikan ring pengaman pada kedua sisi disk
3. Menganti ukuran dari diameter menjadi 93mm. Memperbesar putaran poros, mengamati peralatan dengan teliti sampai terjadi whirling, didapat nilai putaran kritis yang pertama.
4. Mencatat harga N_c, L, M dan diameter poros d . Melihat dari buku referensi harga E untuk harga poros yang dipergunakan.
5. Mengulangi eksperimen tersebut dengan diameter poros yang berbeda tetapi dengan panjang yang sama. Melakukan masing – masing 5 kali pengamatan. Menentukan massa persatuan panjang dari poros (m).



Gambar 3. 15 Meja eksperimen dengan posisi disk ditengah

3.5.1.4 Eksperimen Keempat

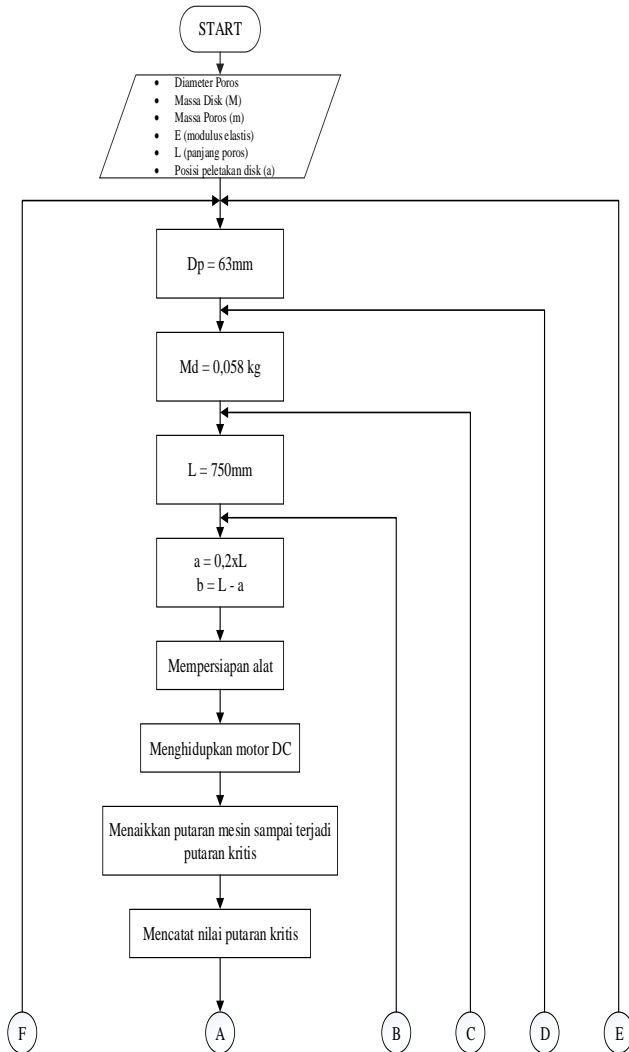
Melakukan pengamatan disk ditengah dan panjang poros yang berbeda – beda. Mengamati dengan 2 macam harga L .

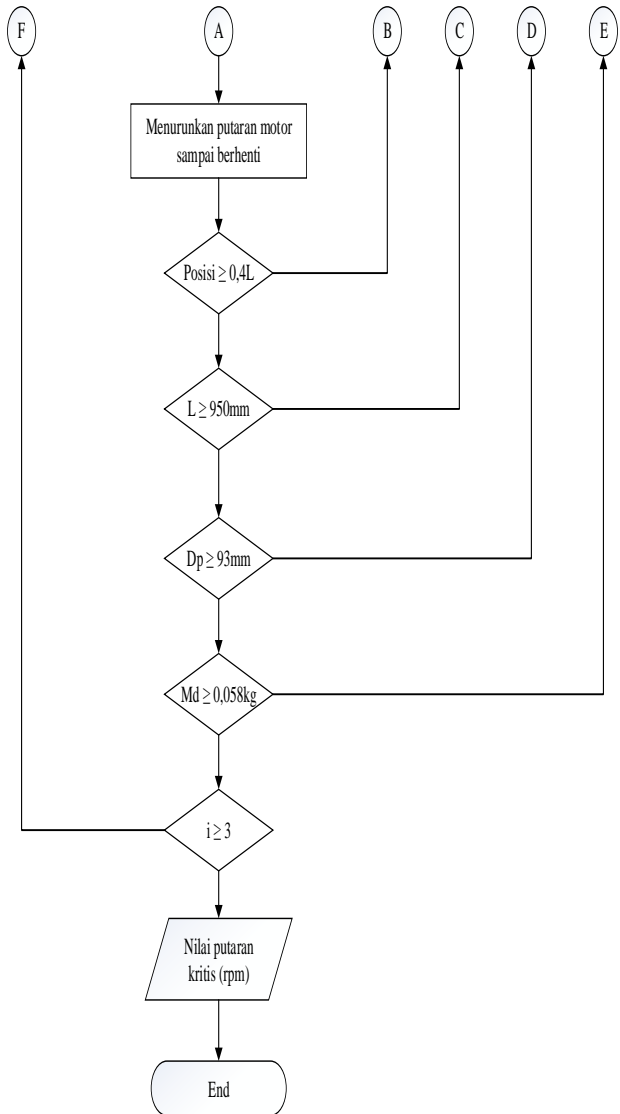


Gambar 3. 16 Meja eksperimen dengan panjang berbeda

3.5.2 Diagram Alir Eksperimen

Berikut merupakan diagram alir dari eksperimen dengan variasi massa dari disk, diameter poros, panjang poros dan posisi peletakan disk



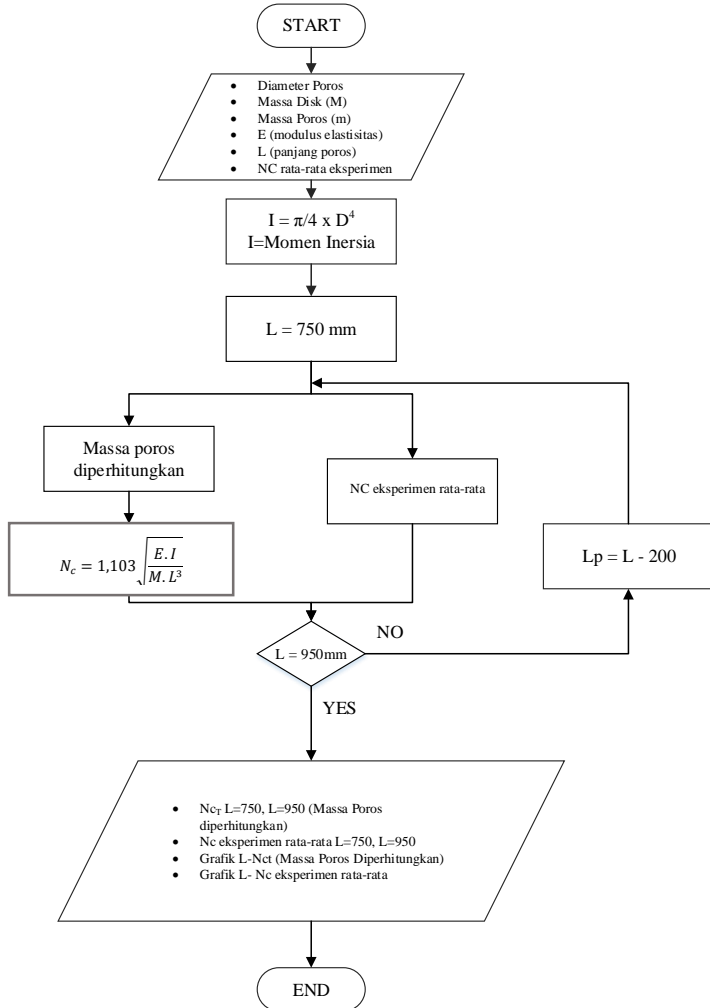


Gambar 3. 17 Flowchart Eksperimen

3.5.3 Diagram Alir Perhitungan

3.5.3.1 Diagram Alir Perhitungan I

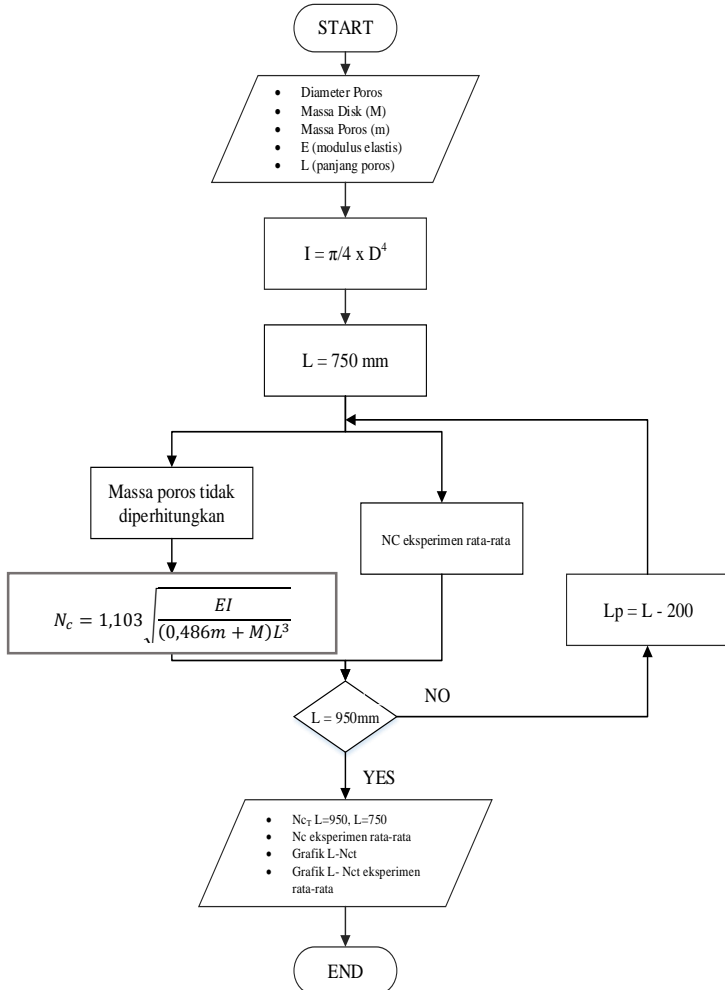
Berikut merupakan diagram alir perhitungan putaran kritis untuk massa poros diperhitungkan.



Gambar 3. 18 Diagram Alir Perhitungan Eksperimen 1

3.5.3.2 Diagram Alir Perhitungan II

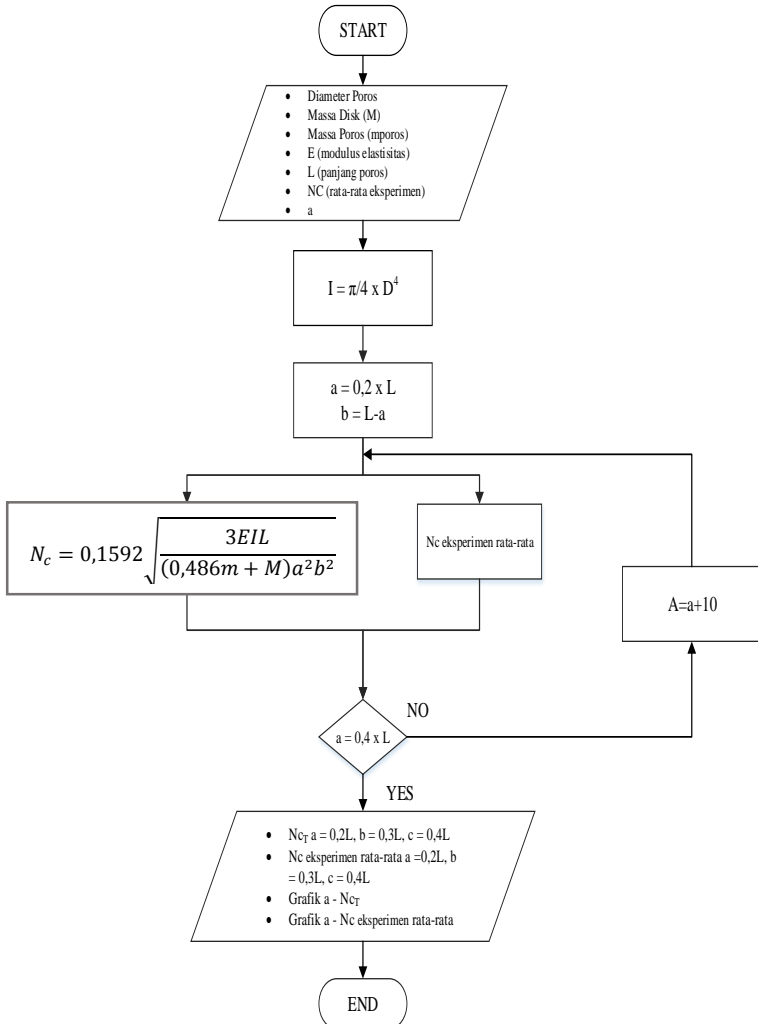
Berikut merupakan diagram alir perhitungan putaran kritis untuk massa poros tidak diperhitungkan atau diabaikan.



Gambar 3. 19 Diagram Alir Perhitungan II

3.5.3.3 Diagram Alir Perhitungan III

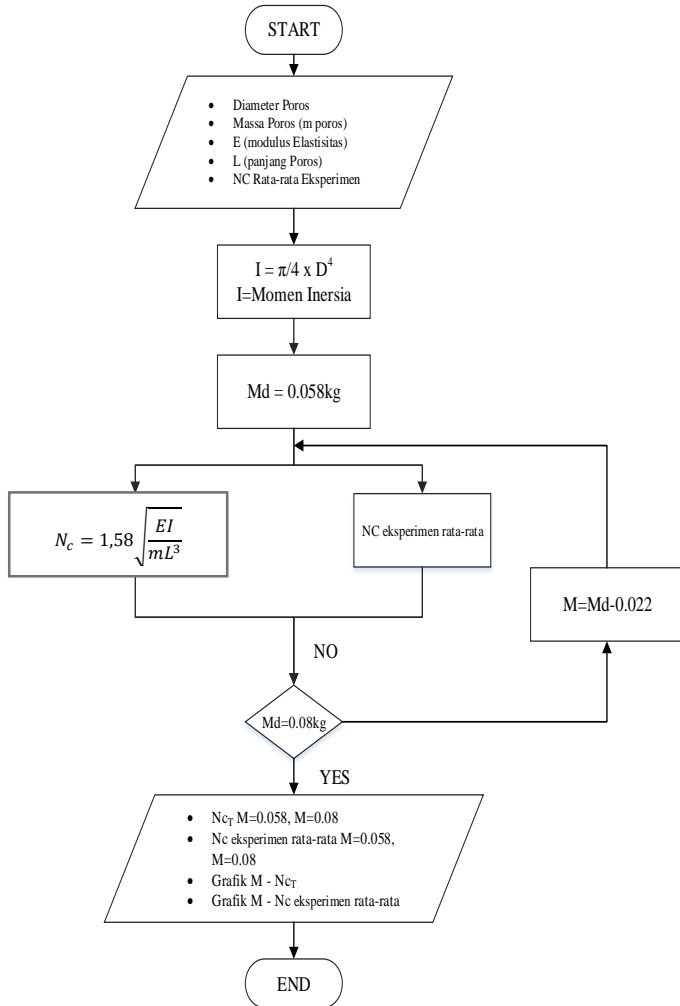
Berikut merupakan diagram alir perhitungan putaran kritis untuk massa poros diperhitungkan disk dipasang tidak ditengah.



Gambar 3. 20 Diagram Alir Perhitungan II

3.5.3.4 Diagram Alir Perhitungan IV

Berikut merupakan diagram alir perhitungan putaran kritis untuk massa poros diperhitungkan disk dipasang ditengah.



Gambar 3. 21 Diagram Alir Perhitungan IV

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Eksperimen

Tahap eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan mesin putaran kritis dengan variasi massa disk, diameter poros, panjang poros, dan posisi peletakan massa pada poros. Untuk variasi massa disk yaitu 0.058 kg dan 0.080 kg. Variasi dari diameter poros yaitu 64 mm dan 93 mm, pada variasi panjang poros yaitu 750 mm dan 950 mm sedangkan untuk variasi dari posisi peletakan massa yaitu 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 dikali panjang poros. Data hasil eksperimen dan simulasi dapat dilihat pada lampiran.

4.2 Contoh Perhitungan

4.2.1 Contoh Perhitungan Eksperimen (Berat Poros Diabaikan, Disk Dipasang Ditengah Poros)

Pada persamaan 2.32 didapati rumus yang digunakan untuk berat poros diabaikan dan disk dipasang ditengah maka didapat nilai N_c yaitu

$$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = 7.7358 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

$$M = 0.080 \text{ kg}$$

$$m = 0.248 \text{ kg}$$

$$L = 0.95 \text{ m}$$

$$N_c = 1,103 \sqrt{\frac{E \cdot I}{M \cdot L^3}}$$

$$N_c = 1,103 \sqrt{\frac{2 \times 10^{11} \text{ N/m} \cdot 7.7358^{-11} \text{ m}^4}{0.080 \cdot (0.95)^3}}$$

$$N_c = 993,95 \text{ rpm}$$

4.2.2 Contoh Perhitungan Eksperimen (Berat Poros Diperhitungkan, Disk Dipasang Ditengah Poros)

Pada persamaan 2.41 didapati rumus yang digunakan untuk berat poros diperhitungkan dan disk dipasang ditengah maka didapat nilai N_c yaitu

$$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = 7.7358 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

$$M = 0.080 \text{ kg}$$

$$m = 0.248 \text{ kg}$$

$$L = 0.95 \text{ m}$$

$$N_c = 1,103 \sqrt{\frac{EI}{(0,486m + M)L^3}}$$

$$N_c = 1,103 \sqrt{\frac{(2 \times 10^{11})(7.7358 \times 10^{-11})}{(0,486 \times 0.248 + 0.080)(0.95)^3}}$$

$$N_c = 628,37 \text{ rpm}$$

4.2.3 Contoh Perhitungan Eksperimen (Disk Dipasang Tidak Ditengah Poros)

Pada persamaan 3.35 didapati rumus yang digunakan untuk disk tidak dipasang ditengah maka didapat nilai N_c yaitu

$$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}$$

$$I = \frac{\pi x d^4}{64} = 7.7358 x 10^{-11} m^4$$

$$M = 0.080 kg$$

$$m = 0.248 kg$$

$$L = 0.95 m$$

$$a = 0,2 x L = 19 cm$$

$$b = L - a = 76 cm$$

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}}$$

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3(2x10^{11})(7.7358x10^{-11})(0.95)}{(0,486x0.248 + 0.080)(19)^2(76)^2}}$$

$$N_c = 981,82 rpm$$

4.2.4 Contoh Perhitungan Eksperimen (Berat Poros Diperhitungkan Tanpa Disk)

Pada persamaan 3.38 didapat rumus yang digunakan untuk berat poros diperhitungkan dan disk dipasang ditengah maka didapat nilai N_c yaitu

$$E = 2 x 10^{11} N/m$$

$$I = \frac{\pi x d^4}{64} = 7.7358 x 10^{-11} m^4$$

$$M = 0.080 kg$$

$$m = 0.248 kg$$

$$L = 0.95 m$$

$$N_c = 1,58 \sqrt{\frac{EI}{mL^3}}$$

$$N_c = 1,58 \sqrt{\frac{(2 \times 10^{11})(7.7358 \times 10^{-11})}{0.248 \times (0.95)^3}}$$

$$N_c = 808,65 \text{ rpm}$$

4.3 Pembahasan Simulasi

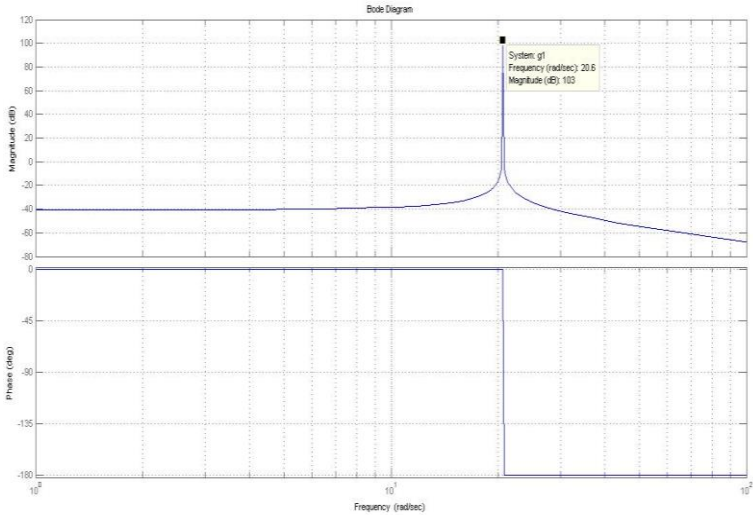
Dengan menggunakan software MATLAB 2009 yang digunakan dalam simulasi, maka didapat dengan formula yang digunakan yaitu

1. $\omega_c = \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m+M)a^2b^2}}$; untuk disk dipasang ditengah poros.
2. $\omega_c = \sqrt{\frac{EI}{mL^3}}$; untuk berat poros diperhitungkan tanpa disk.
3. $\omega_n = 6,928 \sqrt{\frac{EI}{(0,486m+M)L^3}}$; untuk berat poros diperhitungkan, tanpa disk.

Dengan parameter-parameter yang akan digunakan pada simulasi :

- E = Modulus Elastisitas
- I = Momen Inersia (kg.m²)
- L = Panjang Poros (m)
- M = Massa Disk (kg)
- m = Massa Poros (kg)
- a & b = jarak pembebanan (m)

Pada simulasi dimasukkan nilai dari masing-masing parameter seperti massa disk, jarak peletakan disk, massa poros, panjang poros dan diameter poros yang digunakan pada eksperimen. Maka didapat nilai putaran kritis pada simulasi yaitu berikut

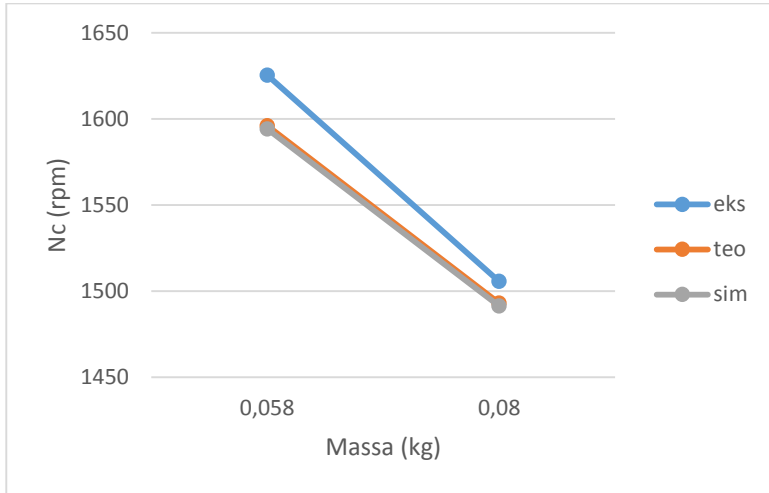


Gambar 4. 1 Bode Diagram pada Simulasi

Pada program Matlab di masukkan nilai *transfer function* dari hasil perhitungan *state variable*, kemudian program Matlab dijalankan maka didapat bode diagram seperti gambar 4.1. Nilai putaran kritis terjadi pada frekuensi 26.6 rad/sec untuk variasi diameter 64mm, massa poros 0,198kg, massa disk 0,058kg, posisi peletakan disk yaitu berada 150mm dari tumpuan sebelah kiri. Maka dihasilkan nilai putaran kritisnya yaitu $1596.0 \left(\frac{\text{radian}}{\text{menit}} \right)$. Untuk data hasil dari simulasi dapat dilihat pada lampiran.

4.4 Pembahasan Grafik

4.4.1 Pembahasan Grafik Putaran Kritis Simulasi (NcS) VS Eksperimen (NcE) dengan Massa Berbeda



Gambar 4. 2 Grafik NcS VS NcE Massa Berbeda

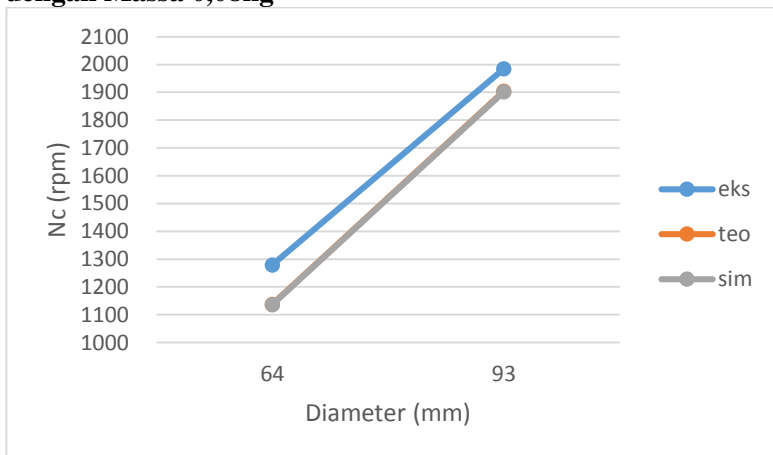
Grafik pada gambar 4.2 merupakan perbandingan antara grafik putaran kritis (N_c) simulasi dengan N_c eksperimen dengan massa poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak di tengah poros. Dari gambar 4.2 terlihat bahwa nilai N_c eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang sama yaitu turun pada saat adanya penambahan massa disk pada sistem. Dapat dilihat pada waktu massa disk 0,05kg nilai N_c eksperimen 1625,33rpm dan pada panjang poros 0,08kg nilai N_c eksperimen 1505,66rpm. Sementara pada simulasi massa disk 0,05kg nilai N_c simulasi 1594,1rpm dan pada massa disk 0,08kg nilai N_c simulasi 1491,3 rpm.

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, panjang poros serta massa disk, oleh karena itu jika massa disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya massa disk. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.2 Pembahasan Grafik N_cT Vs N_cE dengan Diameter Berbeda

4.4.2.1 Pembahasan Grafik N_cT Vs N_cE Diameter Berbeda dengan Massa 0,08kg



Gambar 4. 3 Grafik N_cS VS N_cE massa 0,08kg diameter berbeda

Grafik pada gambar 4.3 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros

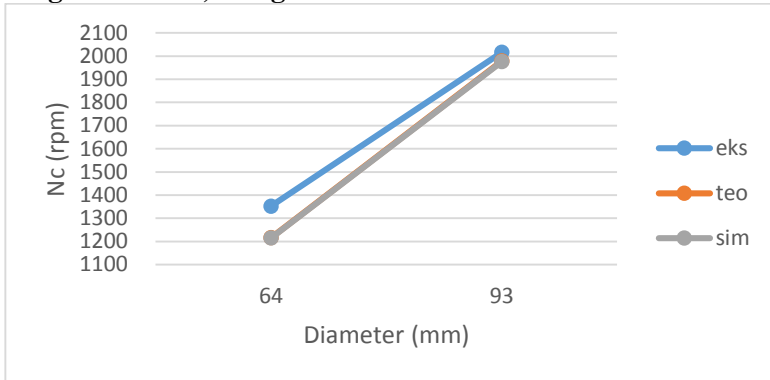
diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.3 terlihat bahwa nilai N_c eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang naik pada saat adanya perubahan diameter poros. Dapat dilihat pada waktu diameter poros 64mm nilai N_c eksperimen 1279,0rpm dan pada panjang poros 93mm nilai N_c eksperimen 1984,7 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 64mm nilai N_c 1136,2 dan pada panjang poros 93mm nilai N_c 1901,8rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin besar diameter poros dengan diberi massa 0,08kg nilai N_c simulasi semakin tinggi, dikarenakan pada poros yang berdiameter besar maka defleksi yang terjadi juga akan semakin kecil dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding lurus dengan modulus elastisitas, momen inersia dan panjang poros dimana nilai dari diameter poros didapat dari momen inersia oleh karena itu jika diameter poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin naik. Dengan demikian didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana N_c akan semakin naik seiring bertambahnya diameter poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.2.2 Pembahasan Grafik NcT Vs NcE Diameter Berbeda dengan Massa 0,058kg



Gambar 4. 4 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg diameter berbeda

Grafik pada gambar 4.4 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.4 terlihat bahwa nilai Nc eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang naik pada saat adanya perubahan diameter poros. Dapat dilihat pada waktu diameter poros 64 mm nilai Nc eksperimen 1352,0 rpm dan pada diameter poros 93 mm nilai Nc 2016,0 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 64 mm nilai Nc 1214,5rpm dan pada diameter poros 93 mm nilai Nc 1975,9 rpm.

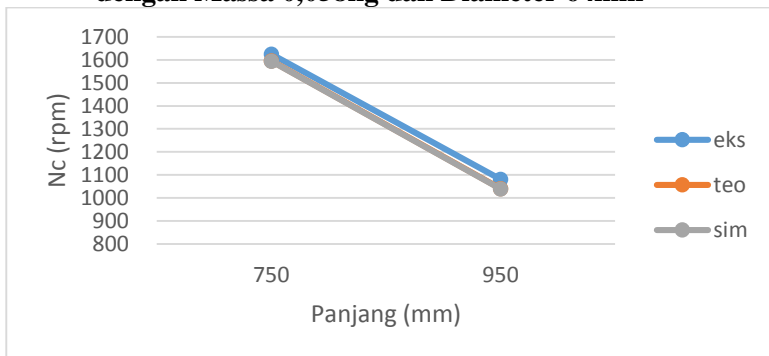
Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin besar diameter poros yang diberi massa 0,058kg nilai Nc simulasi semakin tinggi, dikarenakan pada poros yang berdiameter besar maka defleksi yang terjadi juga akan semakin kecil dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding lurus dengan modulus elastisitas, momen inersia dan panjang poros dimana nilai dari diameter poros didapat dari momen inersia oleh karena itu jika diameter poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin naik. Dengan demikian didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana N_c akan semakin naik seiring bertambahnya diameter poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.3 Pembahasan Grafik N_{cS} Vs N_{cE} dengan Panjang Berbeda

4.4.3.1 Pembahasan Grafik N_{cS} Vs N_{cE} Panjang Berbeda dengan Massa 0,058kg dan Diameter 64mm



Gambar 4. 5 Grafik N_{cS} Vs N_{cE} massa 0,058kg, diameter 64mm, panjang poros berbeda

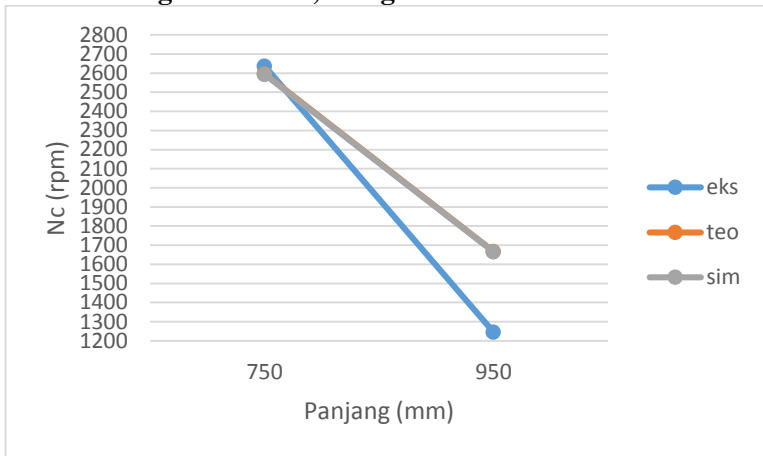
Grafik pada gambar 4.5 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.5 terlihat bahwa nilai N_c eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang turun pada perubahan panjang poros. Dapat dilihat pada waktu massa disk 0,058 kg dan diameter poros 64mm ,panjang poros 750 mm nilai N_c eksperimen 1625,3 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai N_c 10781,3 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 750 mm nilai N_c simulasi 1594,1 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai N_c 1039,3 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin panjang poros yang diberi massa 0,058kg nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada poros yang panjang maka defleksi yang terjadi akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk, oleh karena itu jika panjang poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya panjang poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4.2 Pembahasan Grafik NcS Vs NcE Panjang Berbeda dengan Massa 0,058kg dan Diameter 93mm



Gambar 4. 6 Grafik NcS Vs NcE massa 0,058kg, d= 93mm dan panjang poros berbeda

Grafik pada gambar 4.6 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.6 terlihat bahwa nilai Nc eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang turun pada saat adanya perubahan panjang poros. Dapat dilihat pada waktu massa disk 0,058 kg dan diameter poros 93 mm ,panjang poros 750 mm nilai Nc eksperimen 2637,0 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai Nc eksperimen 1805,0 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 750 mm nilai Nc 2593,4 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai Nc 1665,4 rpm.

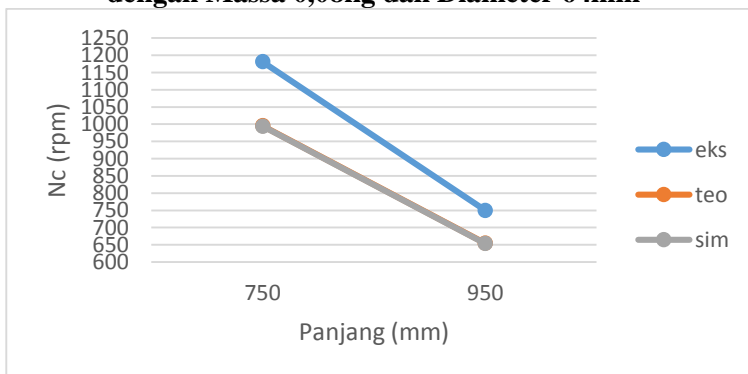
Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin panjang poros yang diberi massa 0,058kg nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada poros yang panjang maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar

dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika panjang poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya panjang poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4.3 Pembahasan Grafik N_cS Vs N_cE Panjang Berbeda dengan Massa 0,08kg dan Diameter 64mm



Gambar 4. 7 Grafik N_cS Vs N_cE massa 0,08kg, $d= 64$ mm dan panjang poros berbeda

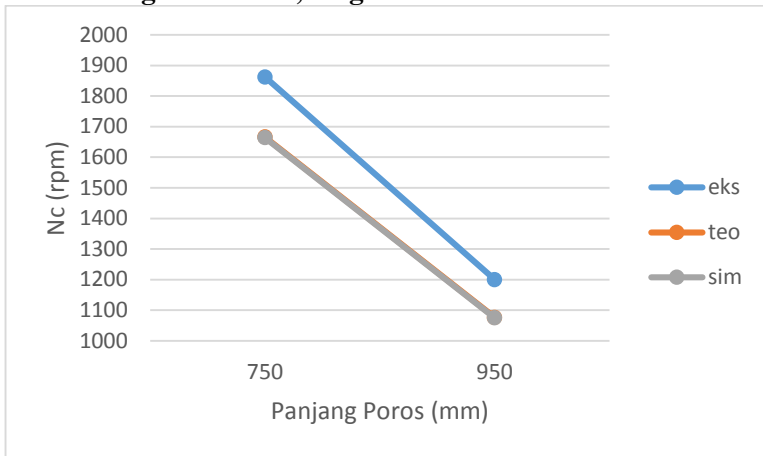
Grafik pada gambar 4.7 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa nilai N_c eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang turun pada saat adanya perubahan panjang poros. Dapat dilihat pada waktu massa disk 0,08 kg dan diameter poros 64 mm ,panjang poros 750 mm nilai N_c eksperimen 1181,3 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai N_c 749,6 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 750 mm nilai N_c 994,1 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai N_c 653,7 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin panjang poros yang diberi massa 0,08kg nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada poros yang panjang maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika panjang poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya panjang poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4.4 Pembahasan Grafik NcS Vs NcE Panjang Berbeda dengan Massa 0,08kg dan Diameter 93mm



Gambar 4. 8 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08kg, d= 93mm dan panjang poros berbeda

Grafik pada gambar 4.8 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan dan disk dipasang tidak ditengah poros. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa nilai Nc eksperimen dan simulasi mempunyai *trendline* yang turun pada saat adanya perubahan panjang poros. Dapat dilihat pada waktu massa disk 0,08 kg dan diameter poros 93 mm ,panjang poros 750 mm nilai Nc eksperimen 1862,3 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai Nc 1199,6 rpm. Sementara pada simulasi panjang poros 750 mm nilai Nc simulasi 1664 rpm dan pada panjang poros 950 mm nilai Nc 1075 rpm.

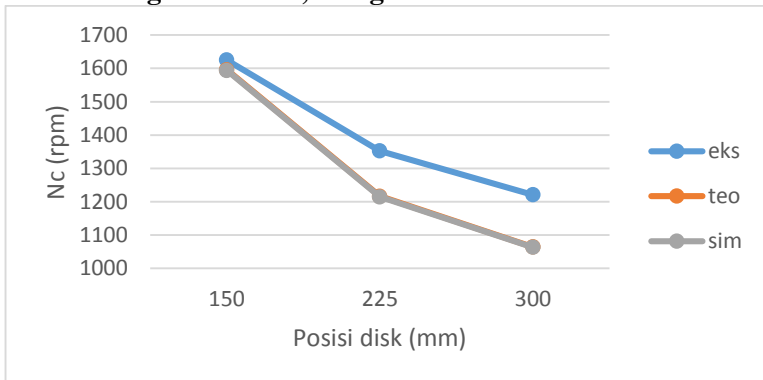
Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin panjang poros yang diberi massa 0,08kg nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada poros yang panjang maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika panjang poros semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya panjang poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4 Pembahasan Grafik N_cS Vs N_cE dengan Posisi Disk Berbeda

4.4.4.1 Pembahasan Grafik N_cS Vs N_cE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,058kg Diameter 64mm L 750mm



Gambar 4. 9 Grafik N_cS Vs N_cE massa 0,058kg, $d= 64$ mm, panjang 750mm, posisi disk berbeda

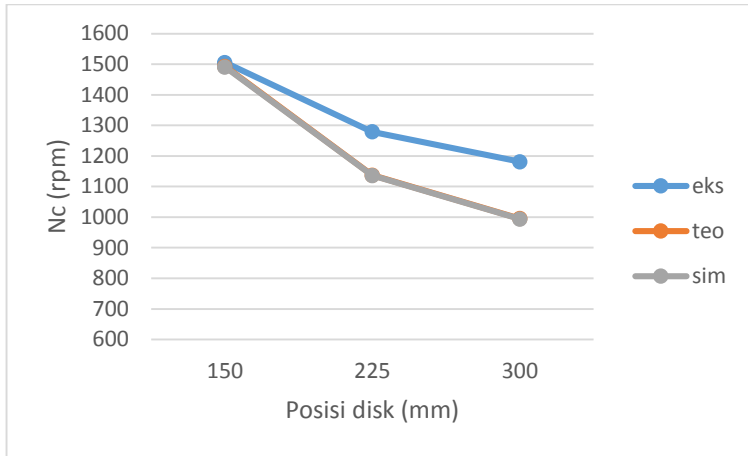
Grafik pada gambar 4.9 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa *trendline* pada N_c eksperimen dan simulasi menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 150mm, 225mm, dan 300mm berturut-turut adalah 1625,3 rpm, 1352,0 rpm, 1220,3 rpm. Sedangkan untuk N_c simulasi pada posisi 150mm, 225mm, 300mm berturut-turut adalah 1594,1 rpm, 1214,5 rpm, 1062,7 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin ketengah massa pada suatu poros maka nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4.2 Pembahasan Grafik NcS Vs NcE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,08kg Diameter 64mm Panjang 750mm



Gambar 4. 10 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, $d= 64\text{mm}$, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda

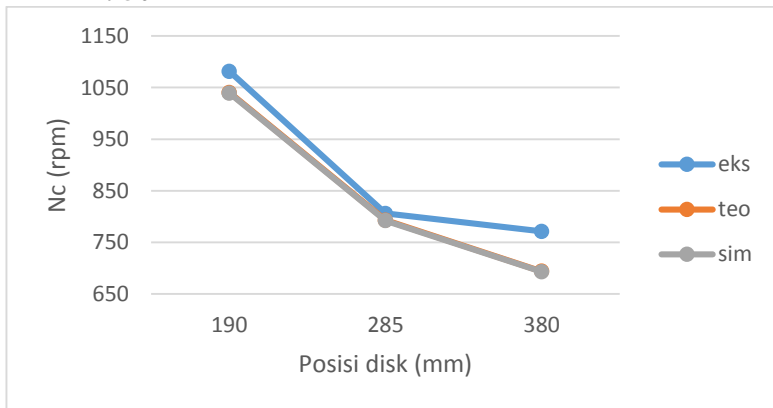
Grafik pada gambar 4.10 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa *trendline* pada Nc eksperimen dan simulasi menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 150mm, 225mm, dan 300mm berturut-turut adalah 1505,6 rpm, 1279,0 rpm, 1181,3 rpm. Sedangkan untuk Nc simulasi pada posisi 150mm, 225mm, 300mm berturut-turut adalah 1491,3 rpm, 1136,2 rpm, 994,1 rpm.

Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin ketengah massa pada suatu poros maka nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.4.3 Pembahasan Grafik N_cT Vs N_cE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,058kg Diameter 64mm Panjang 950mm



Gambar 4. 11 Grafik N_cS Vs N_cE massa 0,058 kg, $d= 64$ mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda

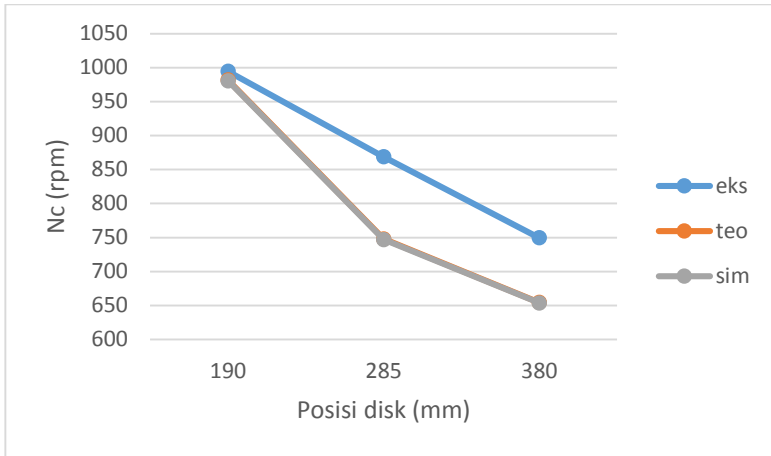
Grafik pada gambar 4.11 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa *trendline* pada N_c eksperimen menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 190mm, 285mm, dan 380mm berturut-turut adalah 1081,3 rpm, 805,6 rpm, 771,0 rpm. Sedangkan untuk N_c simulasi pada posisi 190mm, 285mm, 380mm berturut-turut adalah 1039,3 rpm, 791,8 rpm, 692,8 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros.

4.4.5.4 Pembahasan Grafik NcT Vs NcE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,08kg Diameter 64mm Panjang 950mm



Gambar 4. 12 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 64mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda

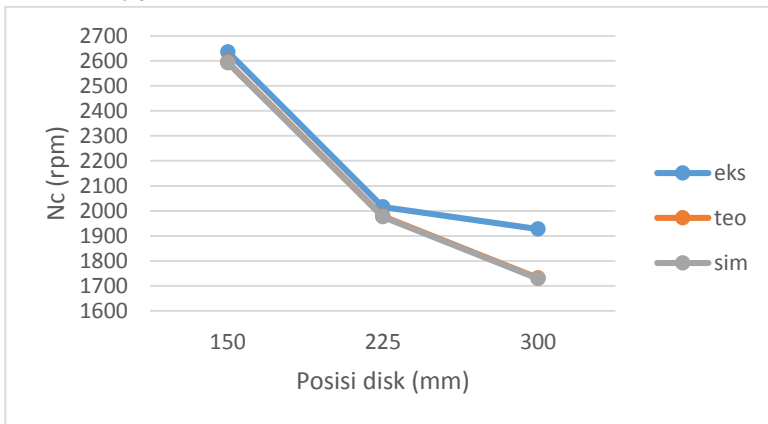
Grafik pada gambar 4.12 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa *trendline* pada Nc eksperimen menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 190mm, 285mm, dan 380mm berturut-turut adalah 994,6 rpm, 869,0 rpm, 749,6 rpm. Sedangkan untuk Nc simulasi pada posisi 190mm, 285mm, 380mm berturut-turut adalah 980,6 rpm, 747,1 rpm, 653,7 rpm.

Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.5.5 Pembahasan Grafik N_{cT} Vs N_{cE} Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,058kg Diameter 93mm Panjang 750mm



Gambar 4. 13 Grafik N_{cS} Vs N_{cE} massa 0,058 kg, $d= 93$ mm, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda

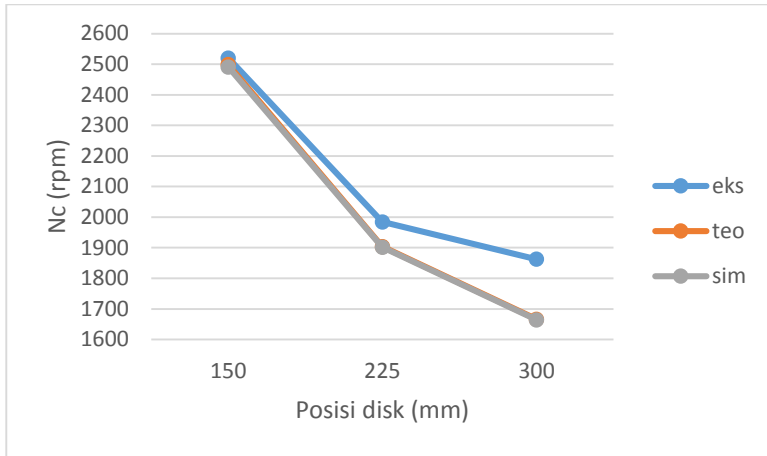
Grafik pada gambar 4.13 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.13 dapat dilihat bahwa *trendline* pada N_c eksperimen dan simulasi menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 150mm, 225mm, dan 300mm berturut-turut adalah 2637,0 rpm, 2016,0 rpm, 1927,3 rpm. Sedangkan untuk N_c simulasi pada posisi 150mm, 225mm, 300mm berturut-turut adalah 2593,4 rpm, 1975,9 rpm, 1728,9 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.5.6 Pembahasan Grafik NcT Vs NcE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,08kg Diameter 93mm Panjang 750mm



Gambar 4. 14 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, $d=93\text{mm}$, panjang poros 750mm, posisi peletakan disk berbeda

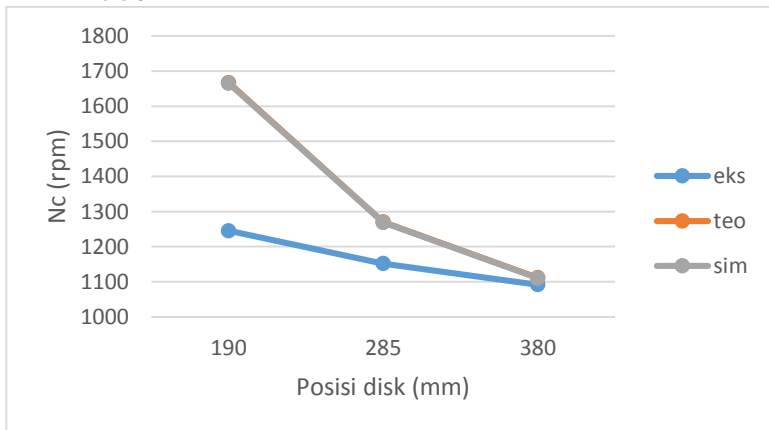
Grafik pada gambar 4.14 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa *trendline* pada Nc eksperimen dan simulasi menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 150mm, 225mm, dan 300mm berturut-turut adalah 2520,6 rpm, 1984,6 rpm, 1862,3 rpm. Sedangkan untuk Nc simulasi pada posisi 150mm, 225mm, 300mm berturut-turut adalah 2491,1 rpm, 1901,8 rpm, 1664 rpm.

Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{\text{put}}{\text{det}}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.5.7 Pembahasan Grafik N_cT Vs N_cE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,058kg Diameter 93mm Panjang 950mm



Gambar 4. 15 Grafik N_cS Vs N_cE massa 0,058 kg, $d = 93\text{mm}$, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda

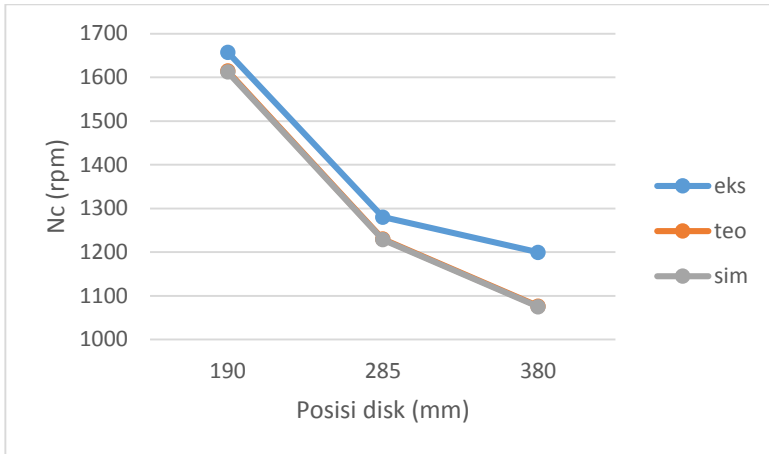
Grafik pada gambar 4.15 merupakan perbandingan antara grafik N_c simulasi dengan N_c eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa *trendline* pada N_c eksperimen menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 190mm, 285mm, dan 380mm berturut-turut adalah 1805,0 rpm, 1151,6 rpm, 1091,6 rpm. Sedangkan untuk N_c simulasi pada posisi 190mm, 285mm, 380mm berturut-turut adalah 1665,4 rpm, 1268,9 rpm, 1110,3 rpm.

Maka pada analisa antara N_c simulasi dengan N_c eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai N_c simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari N_c tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

4.4.5.8 Pembahasan Grafik NcT Vs NcE Posisi Disk Berbeda dengan Massa 0,08kg Diameter 93mm Panjang 950mm



Gambar 4. 16 Grafik NcS Vs NcE massa 0,08 kg, d= 93mm, panjang poros 950mm, posisi peletakan disk berbeda

Grafik pada gambar 4.16 merupakan perbandingan antara grafik Nc simulasi dengan Nc eksperimen dengan berat poros diperhitungkan. Dari gambar 4.16 dapat dilihat bahwa *trendline* pada Nc eksperimen menurun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Pada eksperimen untuk posisi peletakan disk yaitu 190mm, 285mm, dan 380mm berturut-turut adalah 1657,3 rpm, 1280,0 rpm, 1199,6 rpm. Sedangkan untuk Nc simulasi pada posisi 190mm, 285mm, 380mm berturut-turut adalah 1612,5 rpm, 1228,6 rpm, 1075 rpm.

Maka pada analisa antara Nc simulasi dengan Nc eksperimen diketahui semakin ketengah poros suatu massa maka nilai Nc simulasi semakin rendah, dikarenakan pada posisi disk ditengah poros maka defleksi yang terjadi juga akan semakin besar dan juga mempengaruhi nilai dari Nc tersebut sehingga lebih cepat mengalami kritis. Selain itu sesuai dengan rumus :

$$N_c = 0,1592 \sqrt{\frac{3EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \left(\frac{put}{det}\right)$$

yaitu nilai N_c berbanding terbalik dengan massa poros, peletakan disk serta massa disk, oleh karena itu jika peletakan disk semakin besar maka nilai N_c akan semakin turun. Dengan demikian nilai yang didapat dari eksperimen sudah sesuai dengan simulasi dimana nilai N_c akan semakin turun seiring bertambahnya posisi peletakan disk pada poros. Nilai putaran kritis yang dihasilkan pada eksperimen menunjukkan penurunan yang tidak signifikan dibandingkan dengan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan atau sesuai teori. Hal ini terjadi pada perhitungan keadaan pada sistem dianggap ideal. Sedangkan pada eksperimen merupakan kondisi nyata, dimana terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat perhitungan.

Lampiran

Perbandingan Nilai Putaran Kritis Teori (Ntc), Eksperimen (Nte), dan Simulasi (Nts)

No	D (mm)	L (mm)	M (kg)	a (mm)	b (mm)	Nce	Nct	Ncs
1	64	750	0,058	150	600	1197,3	1596,0	1594,1
2	64	750	0,058	225	525	930,7	1216,0	1214,5
3	64	750	0,058	300	450	746,3	1064,0	1062,7
4	64	750	0,058	375	375	687,7	1021,4	1020,2
5	64	750	0,08	150	600	1099,3	1493,1	1491,3
6	64	750	0,08	225	525	904,3	1137,6	1136,2
7	64	750	0,08	300	450	638,3	995,4	994,2
8	64	750	0,08	375	375	624,0	955,6	954,4
9	64	950	0,058	190	760	913,7	1040,6	1039,3
10	64	950	0,058	285	665	805,7	792,8	791,8
11	64	950	0,058	380	570	771,0	693,7	692,9
12	64	950	0,058	475	475	748,0	666,0	665,5
13	64	950	0,08	190	760	1011,3	981,8	980,6
14	64	950	0,08	285	665	869,0	748,1	747,2
15	64	950	0,08	380	570	810,3	654,6	653,8
16	64	950	0,08	475	475	763,3	628,4	627,6
17	93	750	0,058	150	600	1549,0	2596,6	2593,4
18	93	750	0,058	225	525	1262,7	1978,3	1975,9
19	93	750	0,058	300	450	882,0	1731,0	1728,9
20	93	750	0,058	375	375	800,7	1661,8	1659,8
21	93	750	0,08	150	600	1757,0	2499,1	2491,1
22	93	750	0,08	225	525	1351,0	1904,1	1901,8
23	93	750	0,08	300	450	822,3	1666,1	1664,0
24	93	750	0,08	375	375	737,3	1599,4	1597,5
25	93	950	0,058	190	760	1213,7	1667,4	1665,4
26	93	950	0,058	285	665	1151,7	1270,4	1268,9
27	93	950	0,058	380	570	1091,7	1111,6	1110,3
28	93	950	0,058	475	475	1030,3	1067,2	1065,9
29	93	950	0,08	190	760	1676,7	1614,5	1612,5
30	93	950	0,08	285	665	1280,0	1230,1	1228,6
31	93	950	0,08	380	570	1199,7	1076,3	1075,0
32	93	950	0,08	475	475	1222,0	1033,3	1032,0

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Mengetahui fenomena putaran kritis yang terjadi pada poros dikarenakan adanya gaya sentrifugal dan mengakibatkan terjadinya defleksi, dan defleksi maksimal yang terjadi ditemukan fenomena tersebut.
2. Pengaruh posisi pembebanan pada poros, massa disk, diameter poros dan panjang poros yaitu sebagai berikut :
 - Perubahan posisi pembebanan pada poros apabila mendekati tumpuan maka nilai dari putaran kritisnya akan besar dan sebaliknya apabila posisi pembebanan diletakkan ditengah poros maka efek *whirling* juga akan semakin besar sehingga nilai putaran kritisnya akan kecil.
 - Perbedaan massa yang dipasang pada poros sangat mempengaruhi nilai dari putaran kritisnya dikarenakan massa disk tersebut mempercepat terjadinya efek *whirling* pada sistem, maka jika diberi massa yang kecil maka nilai putaran kritisnya akan tinggi. Sebaliknya pada massa yang besar maka nilai putaran kritisnya akan kecil.
 - Perbedaan diameter pada poros mempengaruhi nilai dari putaran kritis sistem tersebut. Semakin besar diameter sebuah poros maka nilai putaran kritis yang terjadi akan semakin besar, juga sebaliknya jika diameter kecil maka nilai putaran kritis yang terjadi akan semakin kecil.
 - Perbedaan panjang poros juga mempengaruhi efek *whirling* pada sistem. Poros yang semakin panjang efek *whirling* yang terjadi semakin cepat, sebaliknya pada poros yang pendek efek *whirling* akan lama terjadi.

3. Perbandingan antara simulasi dan eksperimen yang didapat dari penelitian memiliki hasil yang hampir sama, perbedaan yang tidak signifikan di akibatkan pada eksperimen terdapat beberapa faktor seperti gesekan antara poros dan bearing, gesekan sistem terhadap udara, dan lain lain yang tidak diperhitungkan saat simulasi.

1.2 Saran

1. Untuk variasi dari penelitian ditambahkan lagi supaya nilai dari putaran kritis dari berbagai jenis masalah dapat ditemukan.
2. Alat dari penelitian dapat digunakan sebagai alat untuk praktikum mekanika getaran.

Daftar Pustaka

- [1] George H. Martin, Ir. Setiyobakti (1984). **Kinematika dan Dinamika Teknik**. 459-463
- [2] A.Carrella, M. & D.J.Ewins, A. (2009). **Using nonlinear springs to reduce the whirling of a rotating shaft**. *Mechanical Systems and Signal Processing* , 3-4.
- [3] Baisheng Wuan, W. S. (2011). **Circular whirling and stability due to unbalanced magnetic pull and eccentric force**. *Journal of Sound and Vibration* , 1-6.
- [4] Hui Maa, Y. L. (2015). **Vibration response analysis of a rotational shaft–disk–blade system**. *International Journal of Mechanical Sciences* , 1-16.
- [5] Kusumo, A. (2016). **Vibrasi dan Sistem Dinamis. Studi Pengaruh Penambahan Torsional Vibration Absorber Terhadap Respon Getaran Pada Sistem Getar Rotasi Utama** ,1-50.
- [6] Niklas L.P.Lundstroma, J.-O. A. (2008). **Whirling frequencies and amplitudes due to deviations of generator shape**. *International Journal of Non-Linear Mechanics*,1-8.
- [7] R.Whalley, A. Abdul-Ameer (2008). **Whirling prediction with geometrical shaft profiling**. *Applied Mathematical Modeling*, 1-12
- [8] Singiresu S, R. (2004). *Mechanical Vibrations*. Miami: pearsonhighered.
- [9] Surya, Y. (2010, May 5). **Momen Inersia Tanpa Kalkulus**. *Physic Science* , hal. 1-16.

BIODATA PENULIS



Nico Dicky dilahirkan di Pematangsiantar, 14 Oktober 1991 anak yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Jannes Simangunsong dan Ellen Varina. Anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis diawali di SD Kalam Kudus pada tahun 1997-2003. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Kalam Kudus pada tahun 2003-2006 kemudian di SMA RK Budi Mulia Pematangsiantar pada tahun 2006-2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan jenjang D-3 Jurusan

Teknik Mesin di Politeknik Negeri Medan pada tahun 2009-2012. Selanjutnya S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Lintas Jalur.

Saat Smp penulis pernah mendapat juara ke-3 di bidang uji kompetensi pelajaran fisika. Pada jenjang D-3 aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis juga pernah mendapatkan juara ke-2 dan ke-3 bidang olahraga basket. Untuk organisasi penulis aktif dalam bidang olahraga menjadi ketua basket di jurusan teknik mesin tahun 2010-2011.

Motto hidup penulis “Love What You Do, and Do What You Love” menjadikan penulis lebih baik dalam mengerjakan semua hal. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email dicky.nico@gmail.com.