

Analisa Efek Whirling pada Poros karena Pengaruh Letak Beban dan Massa terhadap Putaran Kritis

Moch. Solichin^{1,a*}, Harus Laksana Guntur^{2,b}, Wiwiek Hendrowati^{3,c},
Aida Annisa Amin Daman^{4,d}

^{1,2,3,4}Lab. Vibrasi dan Sistem Dinamis, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS

^{1,2,3,4}Jalan Raya ITS, Surabaya 60111, Indonesia

^asolichin@me.its.ac.id, ^bharuslg@me.its.ac.id, ^cwiwiek@me.its.ac.id, ^daianinda@gmail.com

Abstrak

Aplikasi dari sebuah poros yang berputar pada suatu konstruksi pemesian sangat banyak. Poros yang berfungsi meneruskan tenaga yang diberikan dari suatu komponen ke komponen yang lainnya selalu mengalami gerak rotasi. Gerakan ini sering kali menyebabkan poros menjadi melengkung dan bisa berakibat terjadinya patah. Lengkungan terbesar yang terjadi pada poros yang berputar ini diakibatkan saat terjadi putaran kritis (*critical speed*). Fenomena seperti ini dinamakan dengan efek *whirling*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan *test rig* untuk mendapatkan nilai putaran kritis dari suatu poros yang berputar. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan alat uji *test rig* yang dirancang sendiri. Pada *test rig* ini akan dilakukan pengujian dengan beberapa variasi jarak disk dan massa yang dipasang pada poros panjang diantara dua bantalan dan kemudian diputar menggunakan motor listrik. Dan nilai putaran kritis pada metode eksperimental akan divalidasi dengan perhitungan yang dilakukan secara teoritis. Pada penelitian ini didapatkan nilai putaran kritis yang besar pada poros yang pendek. Dengan kata lain, putaran kritis akan semakin cepat tercapai ketika poros semakin panjang. Sedangkan variasi jarak peletakkan disk tidak terlalu berpengaruh terhadap efek whirling yang timbul.

Kata kunci: Critical speed, whirling, rotasi, poros.

Pendahuluan

Dalam peralatan maupun konstruksi pemesian banyak sekali ditemukan komponen-komponen yang berputar dan mekanisme yang menyebabkan momen-momen disekitar batang ataupun poros. Poros dalam hal ini memiliki banyak sekali fungsi pada aplikasi dunia industri ataupun yang lainnya. Poros mempunyai peranan penting terutama sebagai media penambah gaya yang menghasilkan kerja ataupun sebagai penghubung putaran dari satu komponen ke komponen yang lain.

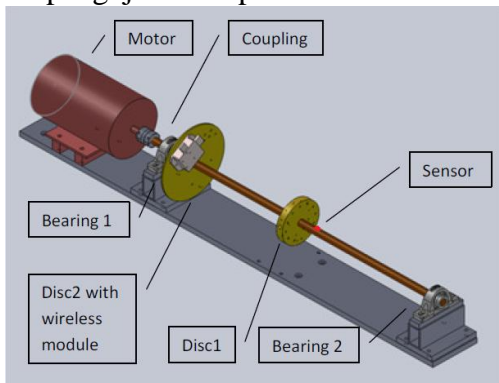
Suatu poros yang berputar pada kenyataannya tidak berada pada keadaan lurus, melainkan berputar dengan posisi melengkung. Pada titik putaran tertentu lengkungan poros tersebut mencapai nilai yang maksimum. Putaran yang menyebabkan lengkungan poros mencapai harga maksimum tersebut dinamakan dengan putaran kritis.

Keadaan yang demikian dinamakan dengan efek whirling shaft. Pada kondisi seperti ini bisa terjadi *unbalance* karena putaran poros yang tidak stabil lagi [1]. *Unbalance* ini menyebabkan distribusi massa yang tidak seragam disepanjang poros atau lebih dikenal sebagai massa *unbalance* [2]. Dan pada akhirnya dapat terjadi kerusakan pada komponen atau mesin yang berhubungan dengan poros tersebut.

Referensi Literatur

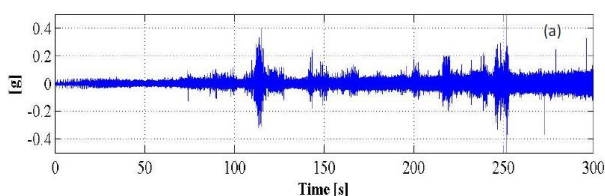
Identifikasi Critical Speed dari Poros yang Berputar dengan Pengukuran Getaran (*Journal of Physics: Conference Series 364 (2012) 012142*) [3]. Penelitian yang dilakukan pada Jurnal ini menggunakan metode eksperimental untuk mendapatkan nilai getaran pada kedua bantalan yang digunakan untuk menyangga poros yang diputar. Getaran yang ingin didapatkan pada kedua bantalan

diantara disk yang dipasang pada poros adalah saat poros mengalami putaran kritis. Berikut ini adalah Gambar 1. Test Rig, skema pengujian dari penelitian ini.



Gambar 1. Test Rig [3]

Dari penelitian ini didapatkan respon percepatan dari getaran yang disebabkan karena poros yang berputar pada bagian bantalannya. Dari respon percepatan ini akan diketahui putaran kritis yang terjadi pada beberapa variasi penelitian ini. Namun, pada penelitian ini belum dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai putaran kritis dan mengamati efek whirling shaft dengan variasi jarak disk dan massa disknya. Hasil respon percepatan pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2. Respon percepatan pada Bantalan.

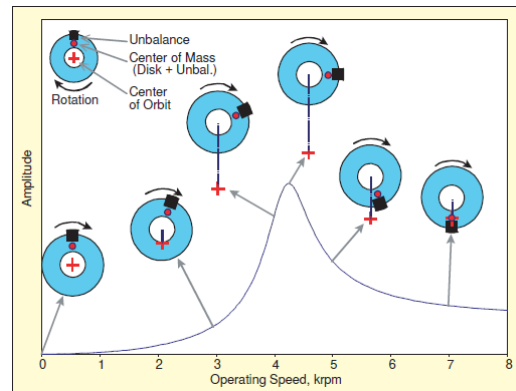


Gambar 2. Respon Percepatan pada Bantalan Arah Horizontal [3]

Pada Gambar 2. dapat dilihat bahwa nilai percepatan terbesar yang mengidentifikasi terjadinya putaran kritis adalah pada detik ke 250 dengan nilai percepatan kurang lebih $0,2 \text{ m/s}^2$.

Critical Speeds and Modes pada Rotating Machinery

Critical Speed terjadi pada puncak respon kecepatan ketika sistem mengalami frekuensi natural akibat kondisi unbalance pada putaran porosnya.



Gambar 3. Hubungan Pusat Orbit dan Pusat Massa pada Kondisi *Critical Speed* [4]

Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama – sama dengan putaran utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Dalam aplikasinya perlu diperhatikan beberapa hal dalam merencanakan sebuah poros diantaranya adalah :

1. Kekuatan Poros

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur gabungan antara puntir dan lentur. Juga ada poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti potos baling-baling kapal atau turbin.

2. Kekakuan Poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tinggi tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidakteelitian, atau menimbulkan getaran dan suara.

3. Putaran Kritis

Bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut dengan putaran kritis.

4. Korosi

Bahan-bahan tahan korosi harus dipilih untuk propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan media yang korosif. Demikia pula untuk poros yang terancam kavitasi dan poros mesin yang sering berhenti lama.

Definisi Putaran Kritis

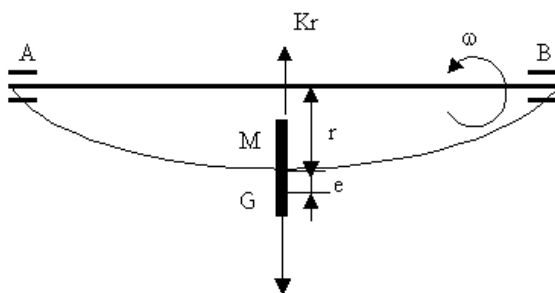
Apabila pada suatu poros yang didukung diantara dua bantalan dipasang disk maka poros tersebut akan mengalami defleksi

statis. Defleksi tersebut disebabkan oleh berat disk (jika massa poros diabaikan). Defleksi akan bertambah besar akibat gaya sentrifugal pada saat poros berputar.

Putaran kritis poros adalah putaran yang mengakibatkan terjadinya defleksi maksimum pada poros. 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.
 - Beban yang diterima bearing menjadi berlebih.
- Pada akhirnya, semua hal diatas akan memperpendek umur (komponen) mesin.

Untuk menguraikan terjadinya gejala *whirling shaft*, berikut ini kita akan menganalisa suatu model poros dengan panjang L yang dipasangi disk dengan berat M kemudian poros tersebut diputar dengan kecepatan ω . Poros tersebut ditumpu oleh bantalan A dan B. Skema poros yang terdefleksi bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Poros yang terdefleksi
Dimana :

- **M** = massa disk
- **G** = Pusat berat disk
- ω = kecepatan sudut poros
- **k** = konstanta pegas poros

- **e** = jarak dari pusat berat disk sampai pusat poros
- **r** = jarak dari pusat poros sampai pusat putaran

Poros akan melentur kalau diputar. Untuk kecepatan sudut tertentu akan terjadi kesetimbangan antara gaya inersia yang timbul dengan gaya pegas dari poros.

$$M.(r + e).\omega^2 = k.r$$

$$r = \frac{e.\omega^2}{\frac{k}{M} - \omega^2} \dots\dots\dots 1)$$

Bila ω_n adalah frekuensi natural disk, maka nilai ω_n ditentukan dengan persamaan sebagai berikut: $\omega_n = \sqrt{k/M}$ sehingga persamaan di atas menjadi :

$$r = \frac{e.\omega^2}{\omega_n^2 - \omega^2} = \frac{e.\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

$$\frac{r}{e} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \dots\dots\dots 2)$$

Dari persamaan di atas, maka:

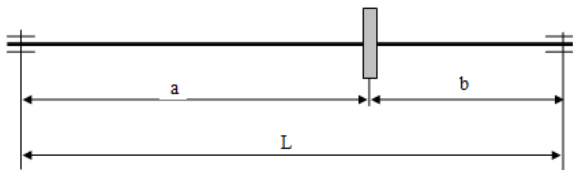
- Untuk $\omega \ll \omega_n$, maka $\omega/\omega_n \approx 0$, $r/e \approx 0$, atau $r \approx 0$. Ini berarti poros tidak melengkung.
- Untuk $\omega > \omega_n$, maka $\omega/\omega_n > 1$, dan $r/e =$ negatif. Ini berarti pusat poros dan pusat disk berada pada pihak yang berlawanan terhadap sumbu putar.
- Untuk $\omega \gg \omega_n$, maka harga ω/ω_n besar sekali dan $r/e = -1$ atau $r = -e$. Ini berarti bahwa pusat berat disk hampir berada pada sumbu putar, atau dengan kata lain sumbu putar hampir tidak melengkung.
- Untuk $\omega = \omega_n$, maka $\omega/\omega_n = 1$, dan $r/e = \infty$. Ini menunjukkan bahwa harga r

besar sekali dan poros bergetar keras sekali. Gejala ini disebut *whirling shaft*. Whirling shaft terjadi apabila frekuensi putaran poros sama dengan frekuensi natural disk. Bila ω_c adalah putaran kritis poros, maka whirling shaft terjadi bila:

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \dots\dots\dots 3)$$

Disk Dipasang Tidak Ditengah Poros

Pengujian dengan disk dipasang tidak ditengah bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Penelitian dengan Disk Dipasang Tidak Ditengah Poros

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

$$h = \frac{(0,486m + M)ga^2b^2}{3EIL} \dots\dots\dots 4)$$

Didapatkan harga frekuensi natural dari poros :

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{g}{h}} \dots\dots\dots 5)$$

$$= \sqrt{\frac{3.E.I.L}{(0,486m + M).a^2b^2}} \dots\dots\dots 5)$$

Untuk kondisi ini putaran poros menjadi :

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

$$= 0,276 \sqrt{\frac{EIL}{(0,486m + M)a^2b^2}} \text{ (put/det)}$$

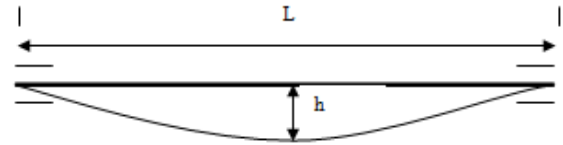
atau $N_c = C(ab) \dots\dots\dots 6)$

dimana : $C = 0,276 \sqrt{\frac{E.I.L}{(0,486m + M)}}$

dan $n = -1$

Berat Poros Diperhitungkan, Tanpa Disk.

Pengujian dengan berat poros diperhitungkan dan tanpa disk bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian dengan berat poros diperhitungkan dan tanpa disk

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

$$h = \frac{mgL^3}{98.454EI} \dots\dots\dots 7)$$

Didapatkan harga frekuensi natural poros tersebut :

$$\omega_c = \omega_n = \sqrt{\frac{g}{h}} \dots\dots\dots 8)$$

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

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

$$N_c = 1,58 \sqrt{\frac{E.I}{m.L^3}} \dots\dots\dots 9)$$

atau $N_c = C.L^n$

dimana $C = 1,58 \sqrt{\frac{E.I}{m}}$ dan

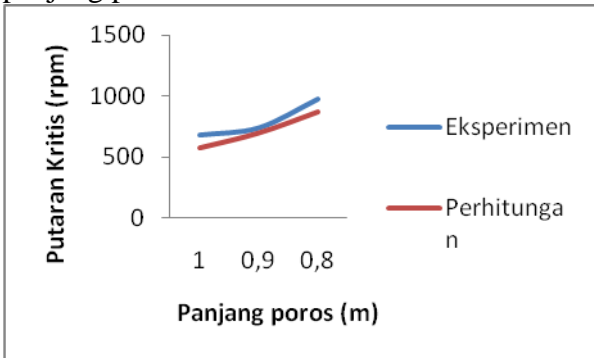
$n = -3/2$

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental dan analisa secara teoritis. Penelitian dilakukan untuk mengetahui efek whirling terhadap disk yang diputar pada poros panjang yang akan diputar dengan motor. Disk diletakkan dengan jarak yang divariasikan untuk mengetahui pengaruh dan efek whirling-nya.

Analisa dan Pembahasan

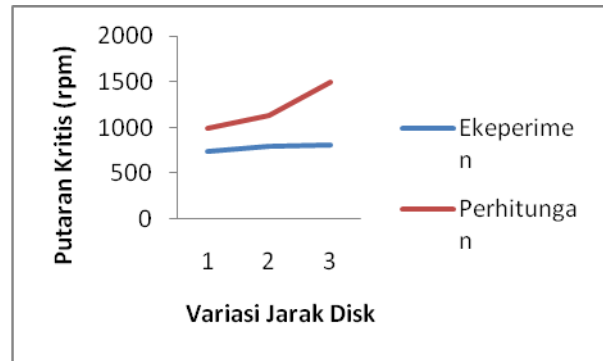
Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah diketahuinya pengaruh panjang poros terhadap putaran kritis yang terjadi. Penelitian pertama dilakukan dengan memasang disk ditengah poros dimana poros memiliki variasi panjang. Berikut ini Gambar 7. Pengaruh nilai putaran kritis terhadap panjang poros.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Putaran Kritis terhadap Panjang Poros

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai putaran kritis tertinggi terjadi pada pada panjang poros yang paling pendek. Hal ini disebabkan oleh defleksi yang terjadi pada poros yang semakin pendek, maka nilai defleksinya semakin kecil. Jika defleksi yang terjadi semakin kecil, maka frekuensi natural yang terjadi akan semakin besar. Karena deflesi berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Oleh sebab itu, putaran kritis yang terjadi pada poros yang pendek adalah besar karena putaran kritis berbanding lurus dengan frekuensi naturalnya. Demikian juga sebaliknya, putaran kritis akan semakin kecil jika poros semakin panjang.

Fenomena whirling akan berbeda lagi ketika disk yang berfungsi sebagai massa pemberat diletakkan pada jarak yang bervariasi (disk tidak berada pada posisi ditengah-tengah poros).Berikut ini grafik nilai putaran kritis dengan variasi jarak peletakkan disk pada poros.



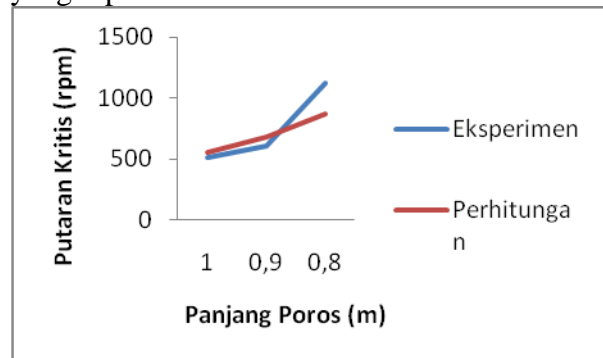
Gambar 8. Nilai Putaran Kritis terhadap Variasi Peletakkan Jarak Disk pada Poros

Tabel 1. Data Variasi Jarak Disk

No	Jarak Disk pada Poros (m)	
	a	b
1	0,06	0,04
2	0,07	0,03
3	0,08	0,02

Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa seharusnya tidak terlalu besar pengaruh jarak peletakkan disk pada porosnya. Putaran kritis lebih banyak dipengaruhi oleh panjang porosnya. Sedangkan pada grafik yang terlihat pada Gambar 8. panjang poros tidak divariasikan. Oleh sebab itu, nilai putaran kritisnya tidak terlalu signifikan perubahannya.

Terdapat efek whirling yang hampir sama antara poros yang diputar dengan disk ditengah dan poros yang diputar tanpa disk. Berikut ini Gambar 9. yang memperlihatkan efek whirling tanpa adanya disk pada poros yang diputar.



Gambar 9. Grafik Putaran Kritis terhadap Variasi Panjang Poros tanpa Disk

Putaran kritis yang terjadi pada poros yang diputar tanpa pemberat tidak memiliki

pengaruh yang terlalu besar jika dibandingkan dengan poros yang diberi disk. Meskipun demikian, pengaruh panjang poros terhadap putaran kritis masih besar. Putaran kritis tertinggi terjadi pada panjang poros yang paling pendek. Hal ini disebabkan oleh defleksi yang terjadi pada poros yang semakin pendek, maka nilai defleksinya semakin kecil. Jika defleksi yang terjadi semakin kecil, maka frekuensi natural yang terjadi akan semakin besar. Karena deflesi berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Oleh sebab itu, putaran kritis yang terjadi pada poros yang pendek adalah besar karena putaran kritis berbanding lurus dengan frekuensi naturalnya. Dengan kata lain, putaran kritis akan semakin cepat tercapai jika poros semakin panjang.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah untuk diameter poros yang sama, semakin panjang poros, maka putaran kritisnya akan semakin cepat tercapai. Sedangkan peletakkan jarak disk pada poros tidak terlalu berpengaruh terhadap putaran kritis karena panjang porosnya sama.

Referensi

- [1] Entek IRD, The Machinery Information Company., 1996, *Dynamic Balancing*, Entek IRD International Company 1700 Edison Dr. Milford Ohio USA.
- [2] Jabir, Ahmad. 2003. *Perilaku Dinamik Sistem Poros Rotor dengan Cacat Retak*.
- [3] Enaldy, M E. 2012. Identification of Critical Speeds of Rotating Machines Using On-Shaft Wireless Vibration Measurement. *Journal of Physics: Conference Series* **364** (2012) 012142.
- [4] Swanson, Erik. 2005. *A Practical Review of Rotating Machinery Critical Speeds and Modes*. New Jersey.