

# Optimasi Desain Struktur Rangka Dudukan Motor Mesin Pendingin Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Diana Kamaliyah Ichsan

Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Sains Bandung

*e-mail*: dianakamaliyah038@gmail.com

**Abstrak-Tujuan** dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi desain optimasi dalam hal penurunan nilai kecepatan getaran (*vibration*), perpindahan (*displacement*) dan tegangan *von misess* untuk rangka dudukan motor. Terdapat 2 metode yang dilakukan pada penelitian ini yang pertama adalah pengukuran aktual getaran kemudian dilanjutkan optimasi desain dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH). Dari hasil analisis diketahui nilai kecepatan getaran arah x sebesar 10.369 mm/detik dan 2.732 mm/s masing-masing untuk desain lama dan desain baru setelah modifikasi. Kemudian 0.143mm dan 0.052mm untuk deformasi sebelum dan sesudah di modifikasi diikuti dengan nilai stress von misess sebesar 21.17MPa dan 7.88MPa untuk desain lama dan desain baru. Dengan merujuk pada (ISO-816-3:2009) dapat diketahui bahwa mendesain ulang rangka dudukan motor membuat tingkat getaran berpindah dari kategori D ke B yaitu “Tidak terbatas –istilah operasi diizinkan”. Hal ini telah sesuai dengan standar yang diinginkan oleh perusahaan.

**Kata Kunci**-Desain optimasi, Metode Elemen Hingga (MEH), Kecepatan getaran (*vibration*), Perpindahan (*displacement*), Tegangan *von misess*

## I. PENDAHULUAN

Beberapa indikasi kerusakan akibat getaran dan kebisingan pada mesin pendingin produksi telah dilaporkan dan terdeteksi menjadi masalah yang serius untuk keberlanjutan produksi dan keamanan operator. Observasi telah dilakukan untuk menemukan sumber getaran pada seluruh bagian mesin. Keterbatasan alat ukur getaran yang hanya bisa mengukur getaran pada tiap titik menjadikan observasi ini membutuhkan waktu yang lama [1]. Mesin pendingin produksi ini terdiri dari kipas (fan) yang berputar dengan bantuan motor.

Salah satu cara terbaik untuk menemukan masalah mekanis pada peralatan berputar (alat berputar) adalah dengan melakukan analisis getaran [2]. Getaran berlebihan dapat disebabkan oleh variasi beban, clearance, resonansi, masalah roda gigi, masalah kelistrikan, ketidakseimbangan, ketidaksejajaran, kerusakan bantalan, dan kelonggaran mekanis [3]. Manfaat utama analisis getaran pada mesin adalah kemampuannya mendeteksi kerusakan sejak dini, sebelum kerusakan semakin parah dan memerlukan waktu henti yang tidak terjadwal [4].

Untuk mendapatkan hasil yang presisi, ketepatan pengukuran serta alat yang digunakan harus diperhatikan. Investigasi tentang pengukuran getaran aktual pada kompresor mesin pendingin dengan variasi rpm telah dilakukan dengan menggunakan alat getaran Lutron VB-8202 dan aplikasi netigen vibrometer plus, nilai getaran

yang berbeda ditemukan [5]. Berbagai metode Numerik telah banyak tersedia, namun Metode Elemen Hingga (MEH) telah terbukti efektif dalam memecahkan masalah di bidang mekanika kontinyu. Metode ini akan melihat harga-harga yang tidak diketahui secara bertahap. Untuk mengetahui jumlah tegangan, regangan, dan defleksi yang terjadi pada struktur frame [6].

Sifat-sifat dinamik struktur yang digunakan oleh analisis numerik dan pengujian lapangan yang sebenarnya harus dibandingkan dan dikaitkan [7]. Terkait dengan penelitian dinamik tersebut maka penggunaan model elemen hingga menjadi sangat penting untuk memprediksi perilaku dinamika struktur dari suatu benda [8]-[12].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memberikan rekomendasi desain optimasi dalam hal penurunan nilai kecepatan getaran (*vibration*), perpindahan (*displacement*) dan tegangan *von misess*. Terdapat 2 metode yang dilakukan pada penelitian ini yang pertama adalah pengukuran aktual getaran menggunakan *vibration meter* [13] kemudian dilanjutkan optimasi desain dengan menggunakan ANSYS software 18.1. Dengan kedua metode tersebut diharapkan masalah getaran pada mesin pendingin akan ditemukan solusi yang tepat.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Getaran

Getaran paksa adalah getaran atau vibrasi yang disebabkan oleh gaya luar. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan terjadi keadaan resonansi, yang dapat menyebabkan osilasi besar yang berbahaya. Sumber eksitasi harmonik termasuk ketidakseimbangan pada mesin yang berputar, gaya yang dibuat oleh mesin torak, atau gerak mesin itu sendiri. Getaran atau vibrasi yang dihasilkan oleh peralatan berputar, seperti motor, pompa, fan, dan sebagainya, akan menunjukkan apakah peralatan dalam kondisi yang baik atau sebaliknya. Dengan menggunakan peralatan yang dikenal sebagai vibrometer untuk melihat fenomena ini, orang dapat mengetahui lebih lanjut tentang apa yang menyebabkan anomali getaran, tentunya setelah memeriksa data gelombang yang ditangkap oleh vibrometer. Penyebab anomali getaran bisa dijelaskan sebagai berikut [14]:

- a) Unbalance atau imbalance yaitu pergeseran titik pusat putarnya.
- b) Ketidaksejajaran yaitu getaran karena penyambungan poros yang tidak sejajar.
- c) Variasi beban : pemberian beban yang tinggi pada

mesin memberikan dampak getaran semakin tinggi

d) Resonansi berhubungan dengan frekuensi diri (natural frequency) yang mana nilainya tidak boleh sama dengan putaran mesin.

e) Mechanical looseness hal ini bisa terjadi jika terdapat kerenggangan pada suatu mesin karena adanya kerenggangan baut, bantalan, keretakan di pondasi, kerenggangan Antara rotor dan poros dsb.

f) Kerusakan pada gigi disebabkan oleh keausan pada roda gigi.

g) Kerusakan pada bantalan: bantalan anti slip dan bantalan lengan adalah dua jenis bantalan yang rentan terhadap kerusakan. Antislip bantalan adalah ball dan roll bantalan, dan bantalan lengan adalah journal bantalan.

h) Masalah pada kelistrikan hal ini biasanya hanya terjadi pada bagian generator dan motor listrik.

i) Gaya aerodinamis dan hidrolis Gaya hidrolis terjadi pada aliran fluida seperti dalam pipa, katup, dan peralatan pompa, sedangkan gaya aerodinamis terjadi pada mesin rotasi karena pukulan blade dengan fluida.

j) Oil whirl dan oil whip: Vibrasi ini terjadi pada journal bantalan, serta mesin dengan sistem pelumasan minyak bertekanan. Mereka juga terjadi pada mesin putaran tinggi (di atas putaran kritis pertama).

k) Gesekan, juga dikenal sebagai "rubbing", adalah gesekan antara bagian yang berputar dengan bagian yang tetap. Gesekan ini dapat terjadi secara terputus-putus (intermitent) atau secara terus menerus (terus menerus) selama rotasi.

l) Penambahan (beat) hal ini dikarenakan adanya gaya-gaya yang terakumulasi dan saling mengurangi secara berulang.

### B. Perhitungan Gaya

Hukum I Newton : Jika kecepatan benda konstan atau jika jumlah vektor gaya yang bekerja padanya sama dengan nol, atau jika benda itu diam atau tidak ada gaya yang mempengaruhinya, maka resultan gayanya konstan. dihitung matematis dengan rumus sebagai berikut :

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

Hukum II Newton: Percepatan yang dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada benda berbanding lurus dengan besar gayanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Hukum ini dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$F = m.a \quad (2)$$

Dalam aplikasinya persamaan hukum I dan II Newton dapat ditulis sebagai berikut :

Persamaan gaya akibat percepatan gravitasi

$$F = W = N = m.g \quad (3)$$

Dimana F (gaya)(N) , W (gaya berat)(N) , M (massa benda)(kg) , g (gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>))

Daya momen inersia adalah daya yang dibutuhkan karena adanya momen inersia. Untuk mendapatkan daya ini, kita harus mengetahui besarnya momen inersia, kecepatan sudut, percepatan sudut, dan torsi.

### C. Perhitungan Nilai Getaran

Nilai vibrasi (*displacement*) yang diperoleh dari hasil pengukuran aktual kemudian dihitung dengan persamaan root mean square (rms) berikut :

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (4)$$

Dimana :

$x_{rms}$  : nilai root mean square ( $\mu\text{m}$ )

$x$  : data vibrasi displacement motor ( $\mu\text{m}$ )

$n$  : jumlah data

selanjutnya nilai tersebut akan dibandingn dengan standar ISO 10816-3:2009 [15].

## III. METODE PENELITIAN

### A. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah *Production Cooler* di salah satu peralatan produksi gas alam yang terdapat di JOB Pertamina Medco E&P Tomori Sulawesi. Dengan ruang lingkup simulasi difokuskan pada analisis *motor mount* (rangka dudukan motor) yang ditunjukkan pada Gambar 1



yang mana memiliki indikasi dampak getaran yang tinggi selama pengukuran getaran aktual.

Gambar 1. Struktur rangka dudukan motor (*motor mount*) mesin pendingin

### B. Langkah Pengukuran Aktual Getaran

Pengukuran aktual getaran dilakukan menggunakan alat *vibration meter* SKF pada 4 bagian yaitu *motor frame*, *motor mount*, *main support leg* dan *gearbox housing*. Dilakukan 3 kali pengambilan data untuk setiap bagian. Hasil dari pengukuran adalah nilai *velocity* (satuan *root mean square* atau rms) dan *displacement peak to peak* (mm) dalam arah x,y dan z. Pengukuran getaran aktual ini dilakukan dengan kondisi operasional pada Tabel 2.

Secara umum, langkah-langkah yang diambil untuk mengukur getaran adalah pertama melakukan konfigurasi peralatan yang akan diukur. Kedua mengidentifikasi dan memasukkan variabel awal ke dalam peralatan yang akan diukur. Ketiga melakukan pengukuran vibrasi 3 arah (x,y,z).

### C. Langkah analisis Metode Elemen Hingga

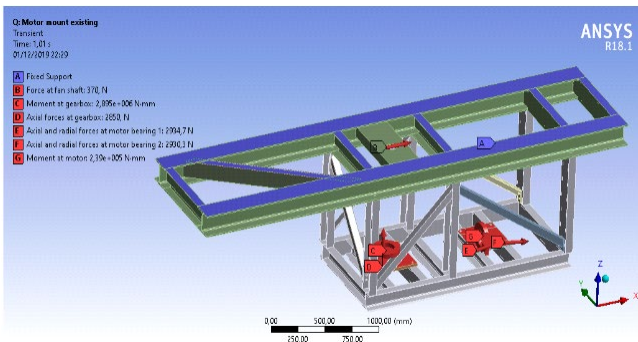
Model ini diselesaikan dengan analisis struktural dinamis untuk menentukan tegangan Von Distribusi mises, kecepatan arah getaran, dan deformasi *motor mount* mesin pendingin. Model 3D pada Gambar 2 dibuat melalui ANSYS WORKBENCH 18.1 untuk selanjutnya dilakukan meshing dan simulasi Metode Elemen Hingga (MEH).

Struktur dudukan motor (*Motor Mount*) dengan desain bahan JIS G3101SS400. Sifat mekanik material disajikan

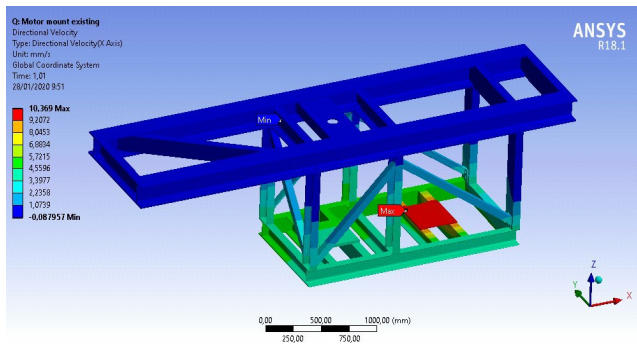
pada Tabel 1.

Langkah metode elemen hingga dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

1. Pembuatan model 3D
2. Tentukan kerangka simulasi
3. Membangun asumsi
4. Menentukan beban dan penahan (*boundary condition*)
5. Metode meshing dan memperbaiki model 3D
6. Menerapkan beban dan penahan (*boundary condition*) pada model 3D
7. Menjalankan simulasi
8. Mendapatkan solusi sebagai tegangan, kecepatan dan deformasi arah x,y dan z.



Gambar 2. Model 3D struktur rangka dudukan motor mesin pendingin



Gambar 3. Hasil *directional velocity* (x axis) pada desain lama

Tabel 1. Sifat mekanik material JIS G3101SS400

Ketebalan (mm)	≤16	>16≤40	>40≤100	>100
Tegangan luluh (≥MPa)	245	235	215	205
Tegangan Tarik Maksimum (MPa)	400-510			

a. Data peralatan

Tabel 2. Kondisi operasi pada beban normal

Kipas	Motor		
Kecepatan (rpm)	246	Daya (KW)	37
Torsi(N-m)	2895	Kecepatan (rpm)	1480
Thrust Load (N)	1063	Torsi (N-m)	239
Blade Angle (deg)	13.7		

b. Kondisi Batas

Kondisi batas pada model terdiri dari beban dan penahan yang diterapkan. Kondisi operasional pada beban normal seperti ditunjukkan pada Tabel 2 yang kemudian dikonversi menjadigaya radial, gaya aksial dan momen. ditunjukkan pada Tabel 3. Sisi bagian atas dari struktur Struktur motor

mount diasumsikan sebagai penyangga tetap (*fix support*) dan itu ditampilkan sebagai warna biru. Warna merah menunjukkan gaya dan momen yang diterapkan pada bagian tertentu dari model. Gambar 2 juga menunjukkan model 3D dari rangka dudukan motor yang telah diberikan kondisi batas. Data pada Tabel 3 diperoleh dengan perhitungan poros kipas untuk menentukan momen dan gaya reaksi pada *bearing* sehubungan dengan data operasional mesin pendingin produksi.

IV.HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran getaran dengan kecepatan dan unit pemindahan (*displacement*) di main support leg, motor mount, motor frame dan gearbox housing dapat dilihat pada Tabel 4 yang mana nilai aktual getaran terbesar terjadi pada motor frame sebesar 13.1 mm/s yang mana jika kita mengacu pada ISO 10816-3: 2009 (Tabel A.2 Kelompok 2 rigid kelas pendukung) batas zona A/B untuk kategori B Operasi jangka panjang tanpa batas diizinkan di kisaran 0 - 2,8 mm/s. Dan nilai 13.1 mm/s sudah sangat melebihi batas yang di izinkan. Jika kita mengacu pada spesifikasi GM untuk tingkat getaran maksimum yang diijinkan untuk motor listrik adalah 1,35 mm/s. Sedangkan untuk nilai aktual perpindahan (*displacement*) sebesar 0.26 yang mana nilai ini lebih besar dari nilai yang di izinkan berdasarkan API 661 Standar 2006 edisi 6 TH (Bagian 7.3.2 - Pengujian Getaran) menunjukkan amplitudo maksimum getaran dalam rentang kecepatan kipas desain harus 0,15 mm (0,006 in) dari puncak ke puncak. Sehingga fokus pada penelitian ini adalah desain optimasi rangka dudukan motor (Motor Mount) untuk mengurangi getaran yang terjadi yang diakibatkan oleh besarnya nilai getaran yang terjadi pada motor frame /casing motor).

Dari hasil Metode Elemen Hingga (MEH) diperoleh nilai yang disajikan pada Tabel 5. Hasil stress von mises dari Gambar 7 menunjukkan nilai stress yang masih besar dan dominan warna biru muda menunjukkan bahwa desain mengalami tegangan di bagian tersebut. Sedangkan untuk desain baru hasil optimasi (Gambar 8) menunjukkan desain yang sudah kokoh dengan hampir semua bagian rangka ditunjukkan warna biru tua. Untuk mengetahui bahwa peralatan yang diuji dalam kondisi baik, nilai getaran harus dibawah dari batasan yang telah ditetapkan oleh standard pengukuran getaran pada peralatan rotary machine yang umum digunakan pada industri yaitu ISO1-816-3 [16]. Dari hasil yang diperoleh dan dengan merujuk pada (ISO1-816-3:2009) Gambar 9 dapat diketahui bahwa mendesain ulang rangka dudukan motor membuat tingkat getaran pindah dari kategori D ke B yaitu “Tidak terbatas –istilah operasi diizinkan”. Hal ini telah sesuai dengan standar yang diinginkan oleh perusahaan. Solusi ini didukung oleh penelitian Busono, Pranto tentang kondisi baseplate / plat dudukan motor dan rangka dudukan pompa memiliki potensi vibrasi terbesar. Hal ini didukung oleh beberapa faktor, salah satunya adalah bahwa pengukuran vibrasi tertinggi terjadi dalam arah tangensial dan bahwa pengukuran vibrasi pada plat dudukan memiliki hasil yang sangat besar [17]. Sehingga dapat disimpulkan

memodifikasi plat dukungan motor merupakan solusi terbaik untuk mengurangi getaran pada mesin pendingin.

Penguatan rangka dukungan motor, dilakukan dengan cara mengganti ukuran rangka dengan material lebih tebal dan bagian bawah diberikan plat dasar tanpa jarak antara motor dan gearbox sehingga memberikan penguatan maksimal pada bagian dasar. Material yang digunakan adalah tetap menggunakan material sesuai desain lama yaitu JIS

G3101 SS400. Dudukan motor dibuat menyatu dengan gearbox menggunakan pelat tebal 16mm, dan antara gearbox dan pelat pemasangan dilengkapi dengan pelat shim 22 mm untuk mempertahankan sumbu satu tingkat.

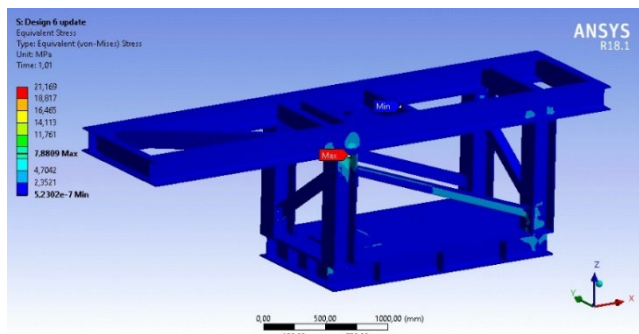
Hasil simulasi Meode Elemen Hingga di validasi dengan nilai displacement xyz pengukuran aktual getaran pada masing-masing bagian pada dukungan motor dengan nilai displacement xyz getaran hasil simulasi.

Tabel 3. Beban yang diterapkan

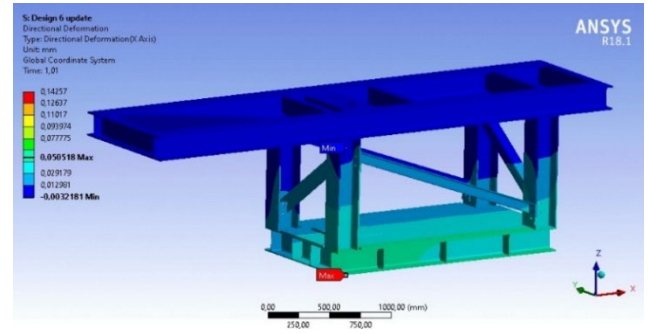
Position	Radial Force [N]	Axial Force [N]	Moment [N-m]
Bearing bawah	$F_x = 370$	-	-
Dudukan Gearbox	-	$F_z = -2850$	$\sigma_m = 2895$
Dudukan Motor (Bearing 1)	$F_z = 450$	$F_x = 2900$	$\sigma_m = 239$
Dudukan Motor (Bearing 2)	$F_z = -420$	$F_x = 2900$	$\sigma_m = 239$

Tabel 4. Rekaman aktual getaran dari mesin pendingin produksi

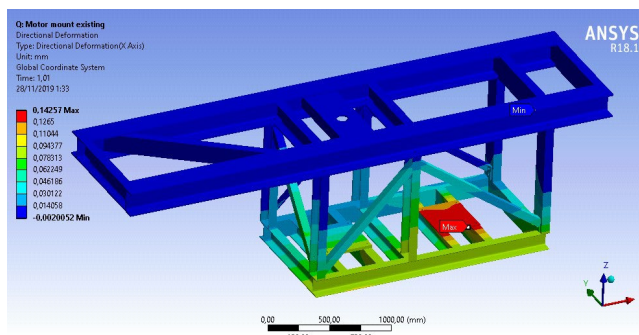
Bagian	Kecepatan RMS [mm/s]	Standar nilai yang diizinkan		Perpindahan ( <i>Displacement</i> ) [mm]	Nilai yang diizinkan API 661:2006 <sup>(3)</sup>
		ISO-816-3:2009 <sup>(1)</sup>	GM Specification V1.0-1997 <sup>(2)</sup>		
Motor frame	13.1		1.35 mm/s	0.26	
Motor mount	7.4		-	0.12	
Main support leg	1.6	Max 2.8 mm/s	-	0.03	0.15 mm
Gearboxhousing	5.9		-	0.33	



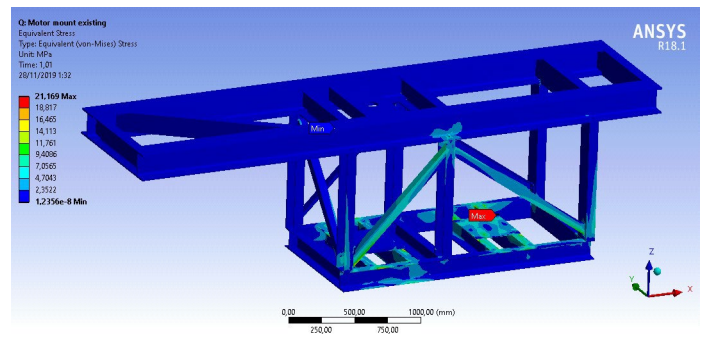
Gambar 4. Hasil *directional velocity* (x axis) pada desain baru hasil optimasi



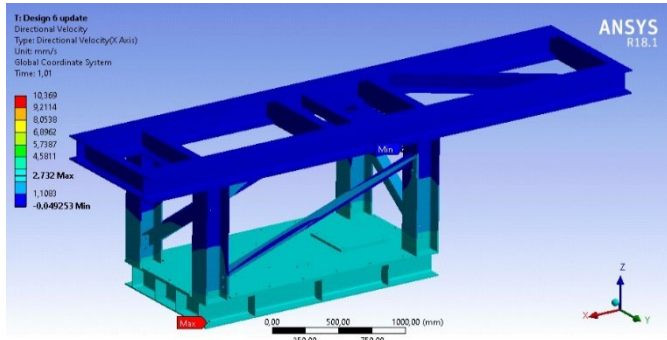
Gambar 6. Hasil *directional deformation* (x axis) pada desain baru hasil optimasi



Gambar 5. Hasil *directional deformation* (x axis) pada desain lama



Gambar 7. Data hasil tegangan Von Misses pada desain lama



Gambar 8. Data hasil tegangan Von Mises pada desain baru hasil optimasi

V.KESIMPULAN

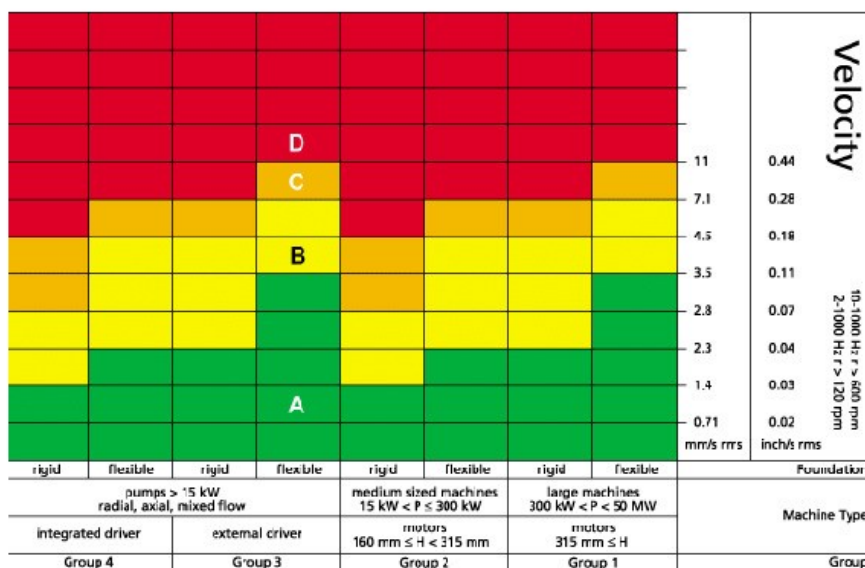
Dari hasil analisis diketahui nilai kecepatan getaran arah x sebesar 10.369 mm/detik dan 2.732 mm/s masing-masing untuk desain lama dan desain baru setelah modifikasi. Kemudian 0.143mm dan 0.052mm untuk deformasi sebelum dan sesudah di modifikasi diikuti dengan nilai stress von mises sebesar 21.17MPa dan 7.88MPa untuk desain lama dan desain baru. Dengan merujuk pada (ISO1-816-3:2009) dapat diketahui bahwa mendesain ulang rangka dudukan motor dengan mengganti ukuran rangka yang lebih besar membuat tingkat getaran pindah dari kategori D ke B yaitu “Tidak terbatas –istilah operasi diizinkan”. Hal ini telah sesuai dengan standar yang diinginkan oleh perusahaan

Tabel 5. Nilai displacement pada pengukuran getaran aktual dan getaran hasil simulasi

Bagian	Getaran aktual			Getaran hasil MEH		
	Displacement (mm)			Displacement (mm)		
	x	y	z	x	y	z
Motor Frame	0,116	0,251	0,135	0,18	0,135	0,156
Motor mount	0,055	0,107	0,049	0,08	0,098	0,049
Gearbox	0,18	0,33	0,29	0,19	0,2	0,28
Main column	0,04	0,02	0,009	0,06	0,02	0,008

Tabel 6. Hasil Metode Elemen Hingga (MEH) untuk rangka dudukan motor desain lama & desain baru hasil optimasi

Kriteria	Nilai yang diizinkan	Desain lama	Desain baru (Optimasi)
Kecepatan getaran arah sumbu-x	Max 2.8 mm/s (ISO1-816-3:2009)	10.369 mm/s	2.732 mm/s
Deformasi arah sumbu-x	Max 0.15mm (API 661:2006)	0.143 mm	0.052 mm
Tegangan Von Mises	400-510 MPa	21.17 MPa	7.88 Pa



Gambar 9. Standar ISO 10816-3 “Getaran Mekanis”

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rayhan, Muhammad Arif, Ojo Kurdi, And Djoeli Satrijo. "Studi uji unjuk kerja alat pengujian vibration training systemtm 150: Eksperimen bandul dan two mass absorber system." *Jurnal Teknik Mesin* 11.4 (2023): 201-204.
- [2] Kurniawan, Edi, Wawan Gunawan, and Achmad Syarifudin. "Analisa vibrasi main sea water pump dengan metode overall equipment effectiveness dan failure modes and effect analysis di PT. Krakatau daya listrik." *Journal of Industrial Engineering & Management Research* 1.2 (2020): 238-251.
- [3] Busono, Pranto. "Analisa penyebab terjadinya vibrasi pompa sistem pendingin sekunder pa-02 ap001." *Reaktor: Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir* 18.1 (2021): 40-50.
- [4] Alzaaim, Kallam Diaz. Rancang bangun test bed pengukuran alignment dan getaran studi kasus pergeseran 1 mm ke kanan dengan variabel beban poros 1-10 kg. diss. sekolah vokasi, (2023).
- [5] Hidayat, Royan, and Galuh Renggani Wilis. "Analisis Getaran Pada Kompresor Mesin Pendingin dengan Variasi Putaran (RPM)." *Engineering: Jurnal Bidang Teknik* 8.2 (2017): 65-72.
- [6] Abidin, Zainal, and Berthan Ridho Rama. "Analisa distribusi tegangan dan defleksi connecting rod sepeda motor 100 cc menggunakan metode elemen hingga." *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya* 15.1 (2015): 30-39.
- [7] Setareh, Mehdi, and Shiqi Gan. "Vibration testing, analysis, and human-structure interaction studies of a slender footbridge." *Journal of Performance of Constructed Facilities* 32.5 (2018): 04018068.
- [8] Osama, A., Adel, Y., Onur, A., Necati, C., Mustafa, G., Ozan, C., & Haiyang, Z. *Dynamic Testing of a Laboratory Stadium Structure*. (2016).
- [9] Avci, Onur. "Retrofitting steel joist supported footbridges for improved vibration response." *Structures Congress* (2012).
- [10] Avci, Onur. "Modal parameter variations due to joist bottom chord extension installations on laboratory footbridges." *Journal of Performance of Constructed Facilities* 29.5 (2015): 04014140.
- [11] Avci, O., & Davis, B. A study on effective mass of one way joist supported systems. In *Structures Congress 2015*. (2015) 852-863.
- [12] Davis, Brad, and Onur Avci. "Simplified vibration serviceability evaluation of slender monumental stairs." *Journal of Structural Engineering* 141.11 (2015): 04015017.
- [13] Mustaqim, Mustaqim. Rancangan bangun test bed pengukuran alignment dan getaran (studi kasus pergeseran 2 mm ke kanan dengan variabel beban poros 1-10 kg). Diss. Universitas Diponegoro, 2022.
- [14] Berry, James E. "How to implement an effective condition monitoring program using vibration analysis." *Technical Associates of Charlotte, PC* (2002).
- [15] Raintama, Rudolf Riandy, Glanny M. Ch Mangindaan, and Maickel Tuegeh. "Perhitungan Umur Motor 2x250 kW Pada Main Cooling Water Pump Di Unit 2 PT PLN PLTP Lahendong." (2024).
- [16] Sianturi, Tambos August, Sindak Hutauruk, and Fiktor Sihombing. "Analisa Kerusakan Pompa OCCWP Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 x 115 MW." (2021).
- [17] Busono, Pranto. "ANALISA PENYEBAB TERJADINYA VIBRASI POMPA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER PA-02 AP001." *Reaktor: Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir* 18.1 (2021): 40-50.