ANALISIS *BALANCING* ROTOR TERHADAP RESIKO KERUSAKAN TURBOCHARGER LOKOMOTIF DIESEL

Ajeng Tyas Damayanti; ajeng@api.ac.id,
Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat tingkat efektifitas *balancing* rotor pada komponen turbocharger dan pengaruh *balancing* rotor terhadap resiko kerusakan turbocharger. Data yang digunakan adalah data primer berupa hasil *balancing* awal dan akhir rotor turbocharger. Data pelengkap diperoleh dari wawancara dengan teknisi Balaiyasa Yogyakarta akan menunjukkan seberapa besar pengaruh *balancing* yang telah dilakukan terhadap keseimbangan rotor. Dari hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, diketahui bahwa persentase rata-rata dari efektifitas *balancing* pada blower sebesar 91,5%, sedangkan persentase rata-rata dari efektifitas *balancing* pada turbin sebesar 94,5%. Jadi rata-rata efektifitas *balancing* baik pada blower maupun turbin adalah sebesar 93%. Toleransi *unbalance* yang diizinkan dalam proses *balancing* adalah 0,56 gram. Apabila *unbalance* melebihi 0,56 gram maka akan mengakibatkan diantaranya rusaknya *bearing* akibat turbin dan *casing* bergesekan dan mengakibatkan resiko retak atau pecah.

Kata kunci : balancing rotor, turbocharger, lokomotif diesel

This research aimed to determine the effectiveness of rotor balancing on the turbocharger component and the effect on the risk of turbocharger damage. The primary data were the results of the initial and final balancing of the turbocharger rotor. The supporting data were taken from interviews with BalaiYasa Yogyakarta technicians, which revealed the influence of balancing on the rotor balance. The results of data analysis showed that the average percentage of the balancing effect on the blower was 91.5%, while on the turbine was 94.5%. Thus, the average effectiveness of the blower and turbine balancing was 93%. The unbalance tolerance allowed in the balancing process was 0.56 grams. If the unbalance exceeded 0.56 grams, it would damage bearings due to the turbine and casing rubbed together and causing the risk of cracking or breaking.

Keyword: balancing rotor, turbocharger, diesel locomotive

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sarana perkeretaapian adalah kendaraan yang bergerak di jalan rel. Salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dari sarana adalah perawatan yang dilakukan secara berkala. Salah satu komponen yang sering ditemukan kerusakan yang mengharuskan dilakukan perbaikan berat adalah komponen turbocharger. Turbocharger merupakan komponen yang berfungsi meningkatkan daya dengan memanfaatkan gas buang hasil pembakaran mesin diesel untuk menggerakkan turbin yang dapat meningkatkan tekanan udara untuk proses pembakaran, sehingga tenaga yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Banyak hal yang berpengaruh dalam kerusakan komponen turbocharger lokomotif. Dalam proses perawatan turbocharger, rotor turbocharger akan mengalami proses b*alancing* untuk menjaga keseimbangan beban sisi turbin dan kompresor saat berputar. Proses *balancing* ini akan menganalisis beban tidak seimbang pada turbin dan kompresor yang kemudian salah satu sisi akan dikikir untuk mengurangi beban berlebih pada turbin agar seimbang.

Hadmoko, dkk (2016) mengungkapkan bahwa apabila ketidakseimbangan rotor ini tidak segera ditangani maka akan mengakibatkan kerusakan komponen lainnya seperti cepat ausnya *bearing* dan kerugian daya yang tentunnya akan mengurangi daya yang dihasilkan. Kualitas *balancing* rotor akan sangat berpengaruh pada keseimbangan putaran yang dialami turbocharger. Beban yang tidak seimbang akan mengakibatkan putaran turbin menjadi tidak stabil, sehingga dalam jangka waktu tertentu akan mengakibatkan *bearing* penahan rotor mengalami kerusakan. Kerusakan pada *bearing* akan mengakibatkan turbocharger berputar tidak stabil dan akan beresiko bergesekan dengan *casing*. Celah antara turbin dan *casing* yang sangat kecil memaksa turbin harus berputar sestabil mungkin agar tidak terjadi gesekan permukaan. Apabila turbin bergesekan dengan *casing*, maka resiko yang ditimbulkan adalah retak hingga pecahnya turbin bahkan *casing* atau *housing* turbocharger sehingga hal tersebut dapat mengurangi performa lokomotif.

1.2 Tujuan penelitian

Mengetahui tingkat efektifitas proses *balancing* rotor pada komponen turbocharger lokomotif diesel saat perawatan maupun perbaikan di Balaiyasa Yogyakarta serta mengetahui pengaruh *balancing* rotor terhadap resiko kerusakan yang terjadi pada komponen turbocharger lokomotif diesel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Lokomotif*

Sesuai dengan UU nomor 23 tahun 2007 pasal 96 lokomotif adalah sarana perkeretaapian yang memiliki penggerak sendiri yang bergerak dan digunakan untuk menarik dan/atau mendorong kereta, gerbong dan/atau peralatan khusus antara lokomotif listrik dan lokomotif diesel. Dalam penelitian ini akan fokus pada lokomotif diesel. Lokomotif CC 206 (GE CM20EMP) adalah lokomotif diesel elektrik terbaru milik PT. Kereta Api Indonesia dengan sistem transmisi AC-DC yang diproduksi oleh *General Electric Transportation* (GE) asal Amerika Serikat. Lokomotif CC 206 datang di Indonesia dan mulai beroperasi berturut-turut pada tahun 2013, 2015, dan 2016 secara bertahap. Secara umum lokomotif CC 206 memiliki spesifikasi 6 gandar dengan berat 90 ton dan beban masing-masing gandar sebesar 15 ton. Lokomotif CC 206 memakai tipe mesin diesel GE 7 FDL-8 EFI versi terbaru yang memiliki tingkat emisi gas buang yang rendah dengan daya sebesar 2250 HP. Lokomotif ini juga dilengkapi dengan *computer BrighStar*^{TM} Sirius yang berfungsi sebagai kontrol utama lokomotif yang dapat dikendalikan melalui *Smart Display* pada kabin masinis.

Lokomotif CC 203 (GE U20C) adalah lokomotif diesel elektrik dengan susunan gandar Co-Co yang beroperasi di Indonesia sejak tahun 1995. Lokomotif ini dilengkapi dengan mesin diesel tipe GE 7FDL 8 dengan daya sebesar 2150HP dan dilengkapi dengan turbocharger pada mesin diesel. Lokomotif ini bisa dikatakan merupakan hasil pengembangan desain dari lokomotif diesel elektrik sebelumnya, yaitu lokomotif seri CC 201.

Lokomotif CC 201 (GE U18C) merupakan lokomotif diesel elektrik buatan *General Electric* generasi kedua yang digunakan di Indonesia. Lokomotif ini mempunyai 2 *boogie* masing – masing 3 gandar atau 6 gandar penggerak. Lokomotif ini memakai tipe mesin GE 7FDL 8 dilengkapi turbocharger dengan daya yang dihasilkan sebesar 1950HP. Secara teknis lokomotif CC 201 di Indonesia sebanyak 144 unit dengan rincian 130 unit diantaranya masih beroperasi, 7 unit telah afkir, dan 7 unit lainnya direhab menjadi lokomotif CC 204. Lokomotif ini menjadi seri tertua lokomotif Diesel Elektrik yang masih beroperasi di Indonesia.

2.2 Turbocharger

Alfalah, dkk (2017) mengungkapkan bahwa turbocharger didefiniskan sebagai salah satu komponen tambahan pada motor pembakaran dalam baik itu motor bensin maupun motor diesel yang berfungsi untuk meningkatkan *mass flow* yang masuk ke dalam mesin sehingga tenaga yang dihasilkan dapat meningkat. Komponen utamanya terdiri dari turbin dan kompresor.

Dalam Turbocharger terdapat sebuah turbin *axial-flow* yang dikendalikan oleh energi gas buang dari sebuah mesin hasil pembakaran sebelum dibuang ke atmosfir. Turbocharger terdiri dari sebuah turbin dan kompresor terpasang pada sebuah batangan (*shared shaft*). Turbin mengubah panas dan tekanan gas buang menjadi daya putar, yg kemudian digunakan untuk menggerakkan kompresor. Kompresor menggerakkan aliran udara dan memompakannya kedalam *intake manifold* dengan tekanan yang semakin meningkat. Hal tersebut menghasilkan tekanan udara yang besar untuk memasuki silinder.

Turbocharger tersusun atas beberapa komponen utama dan juga dilengkapi dengan berbagai komponen pendukung. Beberapa komponen diantaranya :

1. Turbin
2. Kompresor
3. *Center Housing & Rotating Assembly* (CHRA)
4. *Intercooler*
5. *Wastegates*
6. *Blow-Off Valve*
7. Saluran Pipa

2.3 *Balancing* Rotor

Menurut Hadmoko, dkk (2016) *balancing* merupakan tindakan menambahkan atau mengurangi massa pada sistem rotor. Pada proses *balancing* mensyaratkan adanya bahan yang ditambahkan atau dihilangkan dari elemen yang berputar agar mencapai tingkat keseimbangan yang dapat diterima (Bhaskar and Kalmegh, 2012). Hadmoko, dkk (2016) mengatakan apabila keadaaan tidak seimbang pada rotor ini tidak terdeteksi pada tahap permulaan akan mengakibatkan kerusakan struktur pada rotor itu sendiri. Pada proses *balancing* rotor, perlu diketahui kalibrasi yang dapat menyatakan jumlah ketidakseimbangan serta toleransi

ketidakseimbangan yang disyaratkan sehingga jumlah massa yang harus dihilangkan atau ditambahkan pada rotor dapat diketahui dengan tepat.

Ketidakseimbangan pada rotor atau komponen seporos dengan rotor yang memiliki pusat gravitasi atau pusat massa dapat beresiko terjadi kapan saja. Menurut Harbintoro, S (2019) gaya rotasi poros yang dihasilkan ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F\ balance = m \times e \times \omega^2 \quad (1)$$

Keterangan :

F balance = gaya yang diakibatkan oleh

ketidakseimbangan

m = berat keseimbangan eksentrisitas rotor

e = keseimbangan eksentrisitas

ω = kecepatan poros, rad/ sec = 2πN/60

N = kecepatan poros, RPM

Keseimbangan eksentrisitas merupakan ketidakseimbangan spesifik residu yang ditentukan oleh jumlah ketidakseimbangan yang ada dibagi dengan massa rotor atau komponen terkait. Keseimbangan eksentrisitas yang diizinkan telah dijelaskan dalam ISO 1940-1 : 2003.

TIR = *Total Runout* yang terindikasi

$$e = \frac{10 . G}{\frac{n}{1000}} \quad (2)$$

Keterangan:

e = *residual eccentricity* (µm)

G = grade sesuai ISO 1940

n = putaran kerja rotor (rpm)

$$p = \frac{P . e}{r} \quad (3)$$

Keterangan :
p = maksimum *unbalance* yang diijinkan (gram)
P = berat kotor (kg)
r = jari-jari disc rotor (mm)

3. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan secara primer dan sekunder. Data primer berupa data kalibrasi proses *balancing* awal pada proses sebelum beban berlebih rotor dikurangi. Data kalibrasi proses *balancing* akhir pada proses setelah beban berlebih rotor dikurangi. Data kuantitatif ini akan dilengkapi dengan data wawancara dengan teknisi Balaiyasa Yogyakarta. Data sekunder berupa Spesifikasi teknis turbocharger lokomotif CC 201, CC 203, dan CC 206, *Checksheet* perawatan tahunan lokomotif diesel, *Checksheet* perawatan tahunan turbocharger lokomotif, *Manual instruction* lokomotif diesel elektrik, *Field Service Report* (FSR) perbaikan turbocharger lokomotif di Balaiyasa Lokomotif Yogyakarta

2.2. Metode pengolahan data

Metode pengolahan data yang digunakan dalam proses penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan tahapan :

a. Mengumpulkan data primer dan data sekunder.
b. Mengolah data primer menggunakan statistik.
c. Mengolah data sekunder sebagai referensi atau data pendukung.

3.3 Metode analisis data

Analisis data dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

a. Menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data yang telah terkumpul, baik berupa tabel, grafik, maupun diagram.
b. Perhitungan data dilakukan melalui perhitungan rata-rata dari hasil *balancing* turbocharger.
c. Hasil *balancing* turbocharger kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas *balancing* rotor.
d. Tingkat efektifitas *balancing* dapat diketahui melalui perhitungan selisih hasil kalibrasi awal dan hasil kalibrasi akhir setelah rotor dilakukan pengurangan beban *unbalance*.
e. Pengaruh hasil *balancing* turbocharger akan dianalisis untuk menentukan sebab akibat dari kualitas *balancing* terhadap resiko kerusakan turbocharger.
f. Pengambilan kesimpulan dari analisis ini berdasarkan pada hasil perhitungan statistika dilengkapi wawancara ke teknisi Balaiyasa.

3.4 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Balaiyasa Yogyakarta.

4.HASIL DAN PEMBAHASAN

POLITEKNIK PERKERETAAPIAN INDONESIA

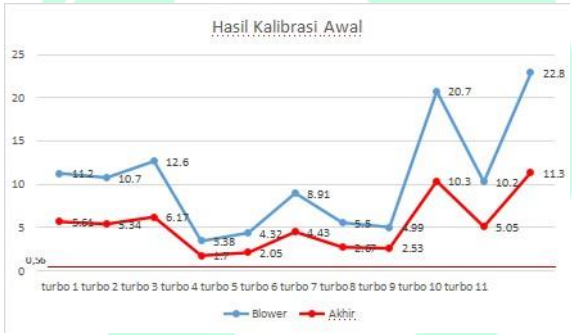
4.1 Langkah-langkah *balancing* rotor

Langkah-Langkah *balancing* rotor sebagai berikut :

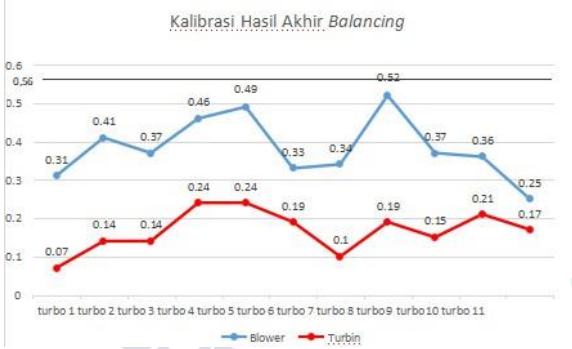
a) Angkat Rotor Turbin Turbocharger
b) Turbin dibawa menuju ruangan khusus *balancing* turbocharger
c) Pasang pada mesin *balancing*
d) Aktifkan mesin *balancing*
e) Kalibrasi hasil *balancing*
f) Pengamatan hasil kalibrasi
g) Mengurangi beban berlebih
h) Kalibrasi ulang sampai beban seimbang
i) Lepas dan angkat rotor turbin dari mesin

4.2 Hasil *Balancing* Turbocharger

Hasil *balancing* turbocharger merupakan data perbandingan hasil awal sebelum dilakukan *balancing* dan hasil akhir setelah dilakukan *balancing* pada turbocharger. Hasil akhir yang diperhatikan adalah massa pada blower dan turbin yang diharapkan dapat seimbang. Sehingga massa blower akan ikut berkurang dan keduanya akan mencapai titik yang hampir seimbang. Berdasarkan buku *Manual Instruction* dari *General Electric*, toleransi perhitungan yang diizinkan sesuai *manual instruction* adalah 0,03 inci ons atau setara dengan 0,5 gr.



Gambar 1 Hasil kalibrasi awal



Gambar 2 Hasil kalibrasi akhir

4.3 Efektifitas *Balancing* Rotor

Data efektifitas *balancing* rotor merupakan hasil perhitungan selisih kalibrasi awal dan kalibrasi akhir. Hasil kalibrasi diperoleh saat dilakukan pengecekan *unbalance* pada rotor menggunakan mesin *balancing*. Efektifitas *balancing* menunjukkan besarnya selisih *unbalance* rotor awal dan setelah dilakukan pengurangan beban berlebih, angka tersebut dapat mengetahui tingkat efektifitas dalam proses *balancing*

Tabel 1 Efektifitas *balancing* rotor

KOMPONEN	BLOWER			TURBIN		
	AWAL	AKHIR	Efektifitas	AWAL	AKHIR	Efektifitas
TURBO 1 EX CC 203 02 01	11,2 gr	0,319 gr	10,881 gr	5,61 gr	0,07 gr	5,54 gr
TURBO 2 EX CC 204 03 05	10,7 gr	0,41 gr	10,29 gr	5,34 gr	0,14 gr	5,20 gr
TURBO 3 EX CC 201 77 18	12,6 gr	0,37 gr	12,23 gr	6,17 gr	0,14 gr	6,03 gr
TURBO 4 EX CC 201 83 17	3,38 gr	0,46 gr	2,29 gr	1,70 gr	0,24 gr	1,46 gr
TURBO 5 EX CC 204 03 02	4,32 gr	0,49 gr	3,38 gr	2,05 gr	0,24 gr	1,81 gr
TURBO 6 EX CC 201 92 07	8,91 gr	0,33 gr	8,58 gr	4,43 gr	0,19 gr	4,24 gr
TURBO 7 EX CC 201 89 01	5,50 gr	0,34 gr	5,16 gr	2,67 gr	0,10 gr	2,57 gr
TURBO 8 EX CC 201 83 29	4,99 gr	0,52 gr	4,47 gr	2,53 gr	0,19 gr	2,34 gr
TURBO 9 EX CC 201 83 16	20,7 gr	0,37 gr	20,33 gr	10,3 gr	0,19 gr	10,11 gr
TURBO 10 EX CC 201 83 14	10,2 gr	0,36 gr	9,84 gr	5,05 gr	0,21 gr	4,84 gr
TURBO 11 EX CC 206 13 12	22,8 gr	0,25 gr	22,55 gr	11,3 gr	0,17 gr	11,13 gr

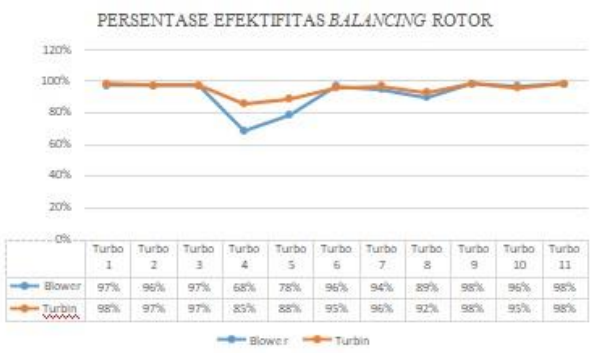
TEKNIK PERKERETAAPIAN INDONESIA

Tabel 2 Persentase efektifitas blower

Komponen	Efektifitas	Awal	Rumus perhitungan	Persentase
TURBO 1 EX CC 203 02 01	10,881 gr	11,2 gr	$n = \frac{10,881}{11,2} \times 100\ \%$	97 %
TURBO 2 EX CC 204 03 05	10,29 gr	10,7 gr	$n = \frac{10,29}{10,7} \times 100\ \%$	96 %
TURBO 3 EX CC 201 77 18	12,23 gr	12,6 gr	$n = \frac{12,23}{12,6} \times 100\ \%$	97 %
TURBO 4 EX CC 201 83 17	2,29 gr	3,38 gr	$n = \frac{2,29}{3,38} \times 100\ \%$	68 %
TURBO 5 EX CC 204 03 02	3,38 gr	4,32 gr	$n = \frac{3,38}{4,32} \times 100\ \%$	78 %
TURBO 6 EX CC 201 92 07	8,58 gr	8,91 gr	$n = \frac{8,58}{8,91} \times 100\ \%$	96 %
TURBO 7 EX CC 201 89 01	5,16 gr	5,50 gr	$n = \frac{5,16}{5,50} \times 100\ \%$	94 %
TURBO 8 EX CC 201 83 29	4,47 gr	4,99 gr	$n = \frac{4,47}{4,99} \times 100\ \%$	89 %
TURBO 9 EX CC 201 83 16	20,33 gr	20,7 gr	$n = \frac{20,33}{20,7} \times 100\ \%$	98 %
TURBO 10 EX CC 201 83 14	9,84 gr	10,2 gr	$n = \frac{9,84}{10,2} \times 100\ \%$	96 %
TURBO 11 EX CC 206 13 12	22,55 gr	22,8 gr	$n = \frac{22,55}{22,8} \times 100\ \%$	98 %

Tabel 3 Persentase efektifitas turbin

Komponen	Efektifitas	Awal	Rumus perhitungan	Persentase
TURBO 1 EX CC 203 02 01	5,54 gr	5,61 gr	$n = \frac{5,54}{5,61} \times 100\ \%$	98 %
TURBO 2 EX CC 204 03 05	5,20 gr	5,34 gr	$n = \frac{5,20}{5,34} \times 100\ \%$	97 %
TURBO 3 EX CC 201 77 18	6,03 gr	6,17 gr	$n = \frac{6,03}{6,17} \times 100\ \%$	97 %
TURBO 4 EX CC 201 83 17	1,46 gr	1,70 gr	$n = \frac{1,46}{1,70} \times 100\ \%$	85 %
TURBO 5 EX CC 204 03 02	1,81 gr	2,05 gr	$n = \frac{1,81}{2,05} \times 100\ \%$	88 %
TURBO 6 EX CC 201 92 07	4,24 gr	4,43 gr	$n = \frac{4,24}{4,43} \times 100\ \%$	95 %
TURBO 7 EX CC 201 89 01	2,57 gr	2,67 gr	$n = \frac{2,57}{2,67} \times 100\ \%$	96 %
TURBO 8 EX CC 201 83 29	2,34 gr	2,53 gr	$n = \frac{2,34}{2,53} \times 100\ \%$	92 %
TURBO 9 EX CC 201 83 16	10,11 gr	10,3 gr	$n = \frac{10,11}{10,3} \times 100\ \%$	98 %
TURBO 10 EX CC 201 83 14	4,84 gr	5,05 gr	$n = \frac{4,84}{5,05} \times 100\ \%$	95 %
TURBO 11 EX CC 206 13 12	11,13 gr	11,3 gr	$n = \frac{11,13}{11,3} \times 100\ \%$	98 %



Gambar 3 Persentase efektifitas *balancing* rotor

Rata-rata efektifitas blower = 91,5%
Rata-rata efektifitas turbin = 94,5 %

Rata-rata efektifitas *balancing*

$$= \frac{(\textit{efektifitas blower} + \textit{efektifitas turbin})}{100\ \%}$$

$$= \frac{(91,5 + 94,5)}{2} \text{ X } 100\ \%$$

= 93 %

Berdasarkan data tabel dan grafik diatas, maka persentase rata-rata yang diperoleh dari efektifitas *balancing* pada blower sebesar 91,5 %, sedangkan persentase rata-rata yang diperoleh dari efektifitas *balancing* pada turbin sebesar 94,5%. Sehingga dari persentase tersebut dapat diperoleh angka bahwa efektifitas *balancing* baik pada blower maupun turbin sebesar 93 %.

4.4 Pengaruh *Balancing* Turbocharger terhadap resiko kerusakan

Salah satu pengaruh besar dalam kerusakan turbocharger adalah hasil *balancing* rotor turbocharger pada saat dilakukan perawatan maupun perbaikan. Keseimbangan putaran rotor akan berpengaruh pada kestabilan putaran turbin saat turbocharger bekerja. Tingginya putaran turbin dan celah yang sempit antara turbin dan *housing* menuntut rotor berputar dengan stabil untuk menghindari gesekan yang terjadi antara turbin dan *housing*.

Ketidakseimbangan bisa terjadi pada turbin yang pusat massanya tidak bertepatan dengan pusat geometris dari poros rotor. Besar massa dan titik koordinat letak ketidakseimbangan tersebut dapat ditentukan dengan memutar rotor pada kecepatan konstan lalu mengukur reaksi getaran yang timbul.

POLITEKNIK PERKERETAAPIAN INDONESIA

Tabel 4 Data teknis rotor

No	Data teknis		Satuan
1.	Putaran kerja rotor	1200	n/menit
2.	Berat rotor	28	kg
3.	Diameter *disc* rotor	334,5	mm
4.	Radius *disc* rotor	167,25	mm

Proses *balancing* rotor yang dilakukan menggunakan *Balance Quality Grade* (G) berdasarkan ISO 1940-1 : 2003, yaitu dengan *Grade* sebesar 0,4.

Residual eccentricity (e) :

$$e = \frac{10.G}{n/1000}$$

$$e = \frac{10.0{,}4}{1200/1000}$$

$$e = 3{,}33\ \mu m$$

Maximum permissible unbalance (p) :

$$p = \frac{P.\ e}{r}$$

$$= \frac{28.\ 3{,}33}{167{,}25}$$

$$= 0{,}5575\ \ gram$$

$$\approx 0{,}56\ gram$$

Maximum permissible unbalance adalah batas toleransi ketidakseimbangan berat yang diizinkan pada rotor dalam proses *balancing*. Sesuai hasil perhitungan diatas maka toleransi selisih berat yang diizinkan maksimal dibulatkan menjadi 0,56 gram. Apabila lebih dari angka yang diizinkan, maka rotor turbocharger harus dilakukan *balancing* ulang dan mengurangi berat berlebihnya sampai memenuhi syarat.

4.5 Hasil wawancara teknisi

Hasil wawancara ini akan melengkapi analisis statistik yang telah dilakukan. Dari hasil wawancara dengan teknisi diperoleh hasil sebagai berikut :

a) Kerusakan turbocharger terjadi pada komponen dan kerusakan yang seringkali terjadi adalah sebagai berikut :
   1. *Casing* retak/pecah
   2. *Nozzle ring* retak/pecah
   3. Turbin retak/pecah
   4. Kerusakan *bearing*
   5. Putaran rotor tidak stabil
   6. Gagal fungsi turbo

b) *Balancing* rotor pada turbocharger saat perawatan dan perbaikan penting dilakukan dengan tujuan :
   1. Untuk menyeimbangkan beban, sehingga rotor dapat berputar dengan stabil.
   2. Untuk menentukan kestabilan rotor karena beban berlebih.
   3. Agar rotor dapat berputar stabil dalam putaran tinggi.

c) Bagaimanakah cara agar *balancing* rotor dapat menghasilkan kualitas yang baik dalam perawatan dan perbaikan :
   1. Diperlukan ketelitian teknisi yang bekerja.
   2. Teknisi harus sabar dan teliti menganalisis bagian turbin yang kelebihan beban.
   3. Perlahan mengurangi beban berlebih, proses dilakukan berulang-ulang hingga hasil maksimal

d) Apa hubungan dan pengaruh kualitas *balancing* Turbocharger terhadap resiko kerusakan komponen.
   1. Rotor yang berputar tidak stabil menyebabkan resiko turbin bergesekan dengan *casing.*
   2. Gesekan dapat menimbulkan keretakan, pecahnya turbin/*casing*
   3. Dalam jangka waktu tertentu menyebabkan kerusakan *bearing* karena menumpu putaran yang tidak stabil.

Berdasarkan hasil wawancara diatas, diketahui bahwa proses *balancing* rotor penting dilakukan agar performa turbocharger berjalan dengan baik. Diperlukan ketelitian perawat sarana dalam menemukan bagian turbin yang mengalami kelebihan beban serta mengurangi beban tersebut. Perawat sarana juga mengetahui apa dampak yang ditimbulkan apabila balancing tidak dilakukan dengan benar.

5.KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan mengenai pengaruh proses *Balancing* Rotor terhadap resiko kerusakan Turbocharger

POLITEKNIK PERKERETAAPIAN INDONESIA

lokomotif diesel elektrik dengan studi kasus di Balai Yasa Lokomotif Yogyakarta, dapat disimpulkan :

a. Kualitas proses *balancing* rotor Turbocharger di Balai Yasa Yogyakarta, adalah sebagai berikut :
   1) Tingkat efektifitas *balancing* pada sisi turbin sebesar 94 %.
   2) Tingkat efektifitas *balancing* pada sisi blower sebesar 91,5 %.

   Dalam satu tahun, rata-rata tingkat efektifitas *balancing* rotor turbocharger yaitu sebesar 93%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa *balancing* turbo telah dilakukan dengan baik.
b. Hasil analisis untuk menentukan pengaruh *balancing* terhadap resiko kerusakan turbocharger, sebagai berikut :
   1) Dengan efektifitas *balancing* rotor yang sangat baik dengan persentase 93% serta resiko kerusakan akibat pengaruh rotor turbin dalam satu tahun sebesar 46%. maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh kualitas *balancing* rotor relatif kecil terhadap resiko kerusakan yang ditimbulkan.
   2) Berdasarkan hasil perhitungan *balancing* maka didapatkan nilai toleransi *unbalance* adalah 0,56 gram.
   3) Berdasarkan hasil wawancara diperoleh hasil *unbalance* rotor melebihi batas toleransi akan mengakibatkan beberapa hal seperti rusaknya *bearing* dalan jangka waktu yang lama, putaran tidak stabil sehingga turbin dan *casing* akan bergesekan.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah didapat maka terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki kajian ini, antara lain:

a. Perlu adanya analisis lebih menyeluruh dan lengkap terkait berbagai kerusakan yang terjadi pada turbocharger lokomotif diesel elektrik, untuk mengetahui penyebab-penyebab yang mempengaruhi kerusakan turbocharger beserta solusinya, agar persentase kerusakan dapat menurun.
b. Teknisi perlu lebih teliti dan selalu beracuan pada *Manual Instruction* yang berlaku dalam proses *Balancing* Turbocharger agar kualitas *balancing* lebih baik dan lebih efektif.
c. Perlu adanya perkembangan teknologi untuk *Balancing* Rotor agar proses *balancing* lebih akurat dan teliti, tidak hanya bergantung pada ketelitian tenaga teknisi di lapangan, agar kerusakan turbocharger akibat *unbalance* rotor dapat diminalisir.

DAFTAR PUSTAKA

Alfalah, W., Sulistyo, E., Ikhsan, R.. 2017. *Pengaruh Pemeliharaan Overhaul Turbocharger Terhadap Kinerja Mesin Unit VII PLTD Ampenan.* Jakarta: Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik PLN.

General Electric. (2012). *Manual Instruction C20-EMP GEK-80343 Volume 3.* Amerika: *General Electric Transportation*.

General Electric. (2013). *Manual Instruction Module 10 Turbocharger*. Amerika: *General Electric Transportation.*

https://artikelteknologi.com/komponen-komponen turbocharger/2/. Diakses pada tanggal 2 Desember 2019.

Hadmoko, T., Widodo, A., Satrijo, D., (2016). *Balancing Rotor Dengan Analisis Sinyal Getaran Dalam Kondisi Steady State*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Harbintoro, S. (2019). *Metode Keseimbangan Bidang Tunggal Pada Proses Balancing Komponen Boiler Feed Pump Rotor*. Bandung : Balai Besar Logam dan Mesin.

Kalmegh, A and Bhaskar, S. (2012). *Dynamic Balancing of Cnetrifugal Pump Impeller. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol.2, issue 6, June 2012.

PP No. 6 Tahun 2017, Penyelenggaraan Perkeretaapian.

UU No. 23 Tahun 2007, Perkeretaapian.

PUSAT PERKERETAAPIAN INDONESIA