

PENGARUH POSISI CYLINDER LINER TERHADAP TINGKAT KEAUSAN CRANK SHAFT BORE PADA CONNECTING ROD ENGINE 3500 SERIES CATERPILLAR

M. Syafwansyah Effendi¹, Rabiatul Adawiyah², Noor Rahman³
Politeknik Negeri Banjarmasin^{1,2,3}
msyafwansyah@gmail.com¹
rabiatulpoltek@yahoo.com²
Nunur77@yahoo.com³

ABSTRACT

In diesel engines there are components that work together in a combustion process. The main components that support the work include engine block, cylinder head, crankshaft, fly wheel and connecting rod. The function of the connecting rod is to continue the force due to the pressure of the combustion result and pass it to the crankshaft, besides that simultaneously is changing the straight motion into a rotary motion. For this study, it is necessary to investigate the impact of the loading which certainly affects the wear rate on the connecting rod crankshaft bore which is focused on the engine with a lot of cylinder with the diesel engine applied to the electric generator. Data keausan crankshaft bore yang diolah adalah hasil pengukuran selama empat tahun pada diesel engine 3500 Series Caterpillar dan kemudian dianalisa apakah ada pengaruh letak posisi connecting rod terhadap tingkat keausan tiga titik pengukuran dengan statistik deskriptif dengan uji ANOVA Uji Tuker HSD. The result of this research is that the high level of wear on the Crankshaft Bore Connecting Rod is at point A with a wear rate of 0,000199074 inches and point B 0,000205556 inches. The large wear of the crankshaft bore connecting rod occurs in two cylinder positions, namely cylinder number 10 which is 0.003037 inc and number 14 is 0.003161 inc.

Keywords: *Crankshaft bore, Measurement, Connecting Rod, Diesel Engine*

ABSTRAK

Pada dieselenjin terdapat komponen-komponen yang bekerja secara bersamaan dalam suatu proses pembakaran. Komponen utama yang mendukung kerja tersebut diantaranya adalah engine block, cylinder head, crankshaft, fly wheel dan connecting rod. Fungsi dari connecting rod adalah meneruskan gaya akibat tekanan hasil pembakaran dan meneruskannya ke crankshaft, disamping itu secara bersamaan adalah mengubah gerakan lurus menjadi gerakan putar. Untuk penelitian ini, perlu untuk menyelidiki dampak dari pembebanan tersebut yang tentu berpengaruh terhadap tingkat keausan pada crankshaft boreconnecting rod yang difokuskan pada engine dengan cylinder banyak dengandiesel engine yang diaplikasikan pada generator listrik. Data keausan crackshaf bore yang diolah adalah hasil pengukuran selama empat tahun pada diesel engine 3500 Series Caterpillar dan kemudian dianalisa apakah ada pengaruh letak posisi connecting rod terhadap tingkat keausan tiga titik pengukuran dengan statistik deskriptif dengan uji ANOVA Uji Tukey HSD. Hasil dari penelitian adalah Besar tingkat keausan yang tinggi pada Crankshaft Bore Connecting Rod adalah pada titik A dengan rerata keausan sebesar 0,000199074 Inchi dan titik B 0,000205556 inchi. Keausan cranksaft bore connecting rod yang besar terjadi pada dua posisi cylinder yaitu cylinder nomor 10 yaitu sebesar 0,003037 inc dan nomor 14 sebesar 0,003161 inc.

Kata Kunci: Crankshaft bore, Pengukuran, Connecting Rod, Diesel Engine

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dieselen merupakan sumber tenaga dari sebuah machine atau generator listrik tenaga *diesel*. Pada *dieselen* terdapat komponen-komponen yang bekerja secara bersamaan dalam suatu proses pembakaran. Komponen utama yang mendukung kerja tersebut diantaranya adalah *engine block*, *cylinder head*, *crackshaft*, *fly wheel* dan *connecting rod*. Fungsi dari *connecting rod* adalah penerus gaya piston ke poros engkol, dan merubah gerakan lurus piston ke dalam gerakan berputar ke *crackshaft*[1][2]. *Connecting rod* harus memiliki kekakuan setinggi mungkin pada bobot terendah. Dalam mesin pembakaran internal mobil yang menghubungkan batang adalah komponen produksi volume tinggi yang mengalami pembebanan kompleks. *Connecting rod* ini pada jadwal perawatan berkala tepatnya di *general overhaul* akan dilakukan pengukuran *crackshaft bore* dengan tiga posisi pengukuran, untuk menjustifikasi apakah perlu untuk penggantian [2].

Umur dan keandalan *connecting rod* memiliki efek besar pada kinerja *engine*, oleh karena itu desain batang penghubung tidak dapat munculkan fenomena konsentrasi tegangan, kekuatan lokal dan kekakuan. Fenomena ini membuat deformasi pada batang penghubung, yang menyebabkan batang penghubung kehilangan kekuatannya[1]. Batang penghubung harus dibuat seringan mungkin untuk menjaga agar beban getaran pada tingkat yang rendah[3].

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan *connecting rod* lebih fokus pada material dan desain seperti diantaranya *The optimization of small end bushings of connecting-rod in heavy-load diesel engines*[4] dan *Stress Analysis on a Connecting Rod Big End Bearing of Two-stroke Marine Diesel Engine*[5] yang memfokuskan pada optimalisasi dengan simulasi model elemen hingga pada perakitan batang penghubung. *Optimization of Thixoforging Parameters for C70S6 Steel Connecting Rods*[6] yang memfokuskan pada pengujian material dari *connecting rod*. *Couple Stress Effects on the Dynamic Behavior of Connecting Rod Bearings in Both Gasoline and Diesel Engines*[7], yang Analisis hidrodinamik isothermal dari *big end bearing* dari *connecting rod* untuk kedua mesin diesel dan bensin dilumasi dengan cairan stres pasangan dilakukan.

Dari beberapa penelitian sebelumnya belum ada yang meneliti fokus pada penyimpangan ukuran dari *crackshaft bore* pada *connecting rod*, yang dilihat dari tiga titik pengukuran serta analisa dampaknya terhadap posisi pada *engine* yang berselinder banyak. Terdapat beberapa pengukuran yang dilakukan pada *connecting rod*, salah satu di antaranya adalah pengukuran *crackshaft Bore* atau *big end*. Pengukuran tersebut dilakukan dengan menggunakan *dial bore gage*, dan diukur pada tiga titik berbeda. Pengukuran di tiga titik berbeda dilakukan untuk menghitung keovalan (*roundness*) dari *connecting rod*. Proses pengukuran *connecting rod* yang benar dan baik perlu diterapkan agar mendapatkan hasil pengukuran yang tepat. Dengan hasil pengukuran ini *connecting rod* dapat ditentukan apakah akan digunakan kembali atau tidak, dan dapat mengetahui

perbedaan hasil pengukuran *connecting rod*, sehingga dapat mencegah penyebab *connecting rod* tersebut *out of spec*.

Connecting rod dikenakan kondisi pembebanan kompleks dan mengalami beban siklik tinggi, yang berkisar dari beban tekan yang tinggi karena pembakaran, beban tarik tinggi karena inersia. Oleh karena itu, daya tahan komponen ini sangat penting. Karena faktor-faktor ini, batang penghubung telah menjadi topik penelitian pada berbagai aspek seperti teknologi produksi, bahan, simulasi kinerja, kelelahan, dan lain-lain [8]. Untuk penelitian ini, perlu untuk menyelidiki dampak dari pembebanan tersebut tentu berpengaruh terhadap tingkat keausan pada crankshaft bore *connecting rod* yang difokuskan pada *engine* dengan cylinder banyak pada *engine* yang diaplikasi pada generator listrik.

Rumusan Masalah

Beban gaya yang besar yang diteruskan *connecting rod* ke crankshaft dimana berpengaruh terhadap beban yang ditanggung crankshaft bore yang dinamis bergerak terus-menerus selama *engine* beroperasi. Dari hal ini dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Dari tiga titik pengukuran manakah yang besar tingkat keausannya ?
2. Apakah ada pengaruh posisi cylinder liner terpasang *connecting rod* terhadap tingkat keausan di tiga titik pengukuran tersebut ?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui titik mana dari tiga titik keausan pada crankshaft bore yaitu A, B dan C yang mengalami keausan terbesar
2. Menguji apakah ada perbedaan tingkat keausan crankshaft bore *connecting rod* terhadap letak *connecting rod* di cylinder liner

KAJIAN PUSTAKA

Connecting Rod

Connecting rod menghubungkan *piston* dengan *crankshaft* dan mentransmisi gaya pembakaran ke *crankshaft*. *Connecting rod* juga berfungsi untuk mengubah gerak lurus atau naik turun dari *piston* menjadi gerak putar pada *crankshaft*. *Connecting rod* dihubungkan ke *piston* dengan menggunakan *pin* dan ke *crankshaft* menggunakan baut. *Connecting rod* terdiri dari beberapa bagian [9]:



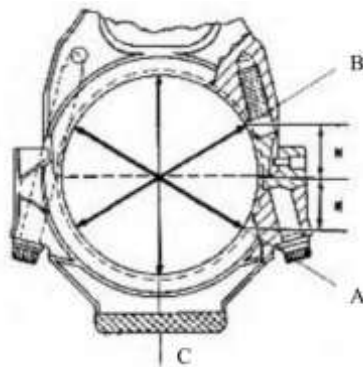
Gambar 1 *Connecting rod*[9]

1. *Rod-eye, gudgeon-end* atau *small-end*, yang menahan *piston* pada *pin bushing*.
2. *Piston pin bushing*. *Bushing* adalah jenis *bearing* yang mendistribusi beban dan dapat diganti bila sudah aus.
3. *Shank* antara ujung kecil dan ujung besar. *Shank* memiliki bentuk *I-beam* untuk mencapai kekuatan dan kekerasan.
4. *Crankshaft journal bore* dan *cap* terdapat pada ujung besar *connecting rod*. Ini mengelilingi *crankshaft bearing journal* dan menghubungkan *connecting rod* ke *crankshaft*.
5. *Rod-bolt* dan *nut* menahan *rod* dan *cap* pada *crankshaft*. Ini disebut *crank-end* atau *big-end* pada *connecting rod*.

Connecting rod di dalam *big-end bearing* terdapat pada ujung *crank* (*crankend*). *Crankshaft* berputar di dalam *connecting rod bearing*, yang menahan beban. *connecting rod* mentransmisi gaya pembakaran ke *crankshaft* dan mengubah gerakan naik turun menjadi gerakan putar.

Pengukuran crankshaft bore pada connecting rod

Pengukuran *crankshaft bore* pada *connecting rod* dilakukan pada 3 titik berbeda yaitu A, B, dan C (Caterpillar, 2017). Posisi tersebut ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Posisi pengukuran *crankshaft bore* pada *connecting rod*[10]

Pengukuran pada titik A dan B dilakukan sedekat mungkin dengan bagian tengah *crankshaft bore*, dengan mengacu pada jarak M yaitu 16,00 mm atau 0,63 inch. *Crankshaft bore* pada *connecting rod* memiliki ukuran sebesar 143,028 mm (5,6310 inch), pada *connecting rod* baru memiliki toleransi sebesar ± 0.015 mm (± 0.0006 inch) ¹. Sedangkan pada *connecting rod* yang telah dipakai beroperasi

memiliki toleransi sebesar + 0.025 mm (+ 0.0010 inch) - 0.065 mm (- 0.0026 inch)[10]

Review Penelitian Terdahulu

Fanil Desai[11] dalam penelitiannya *Comparative Study of Connecting Rod Using FEA and Experimental Analysis*. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menyelidiki tekanan tekan yang bekerja pada batang penghubung pada kondisi pembebanan yang berbeda. Analisis struktural statis dalam ANSYS dan analisis eksperimental dilakukan pada batang penghubung yang terbuat dari baja tempa. Hasil eksperimen diverifikasi dengan hasil numerik.

Zgoul, M et al [12]*Analysis of Mechanical and Thermal Stresses on Connecting Rod/Pisotn of Variable Compression Rasio Engine Powered By Biodiesel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan bahan bakar *biodiesel* meningkatkan baik tekanan mekanik dan termal di piston dan menghubungkan batang pada tahap awal stroke mesin karena karakteristik *biodiesel* bila dibandingkan dengan bahan bakar *diesel*; peningkatan tekanan ini mengurangi umur piston dan menghubungkan batang yang mempengaruhi mesin dalam jangka panjang. Selanjutnya, peningkatan rasio kompresi menghasilkan nilai stres yang lebih tinggi untuk kedua jenis bahan bakar. Ini adalah temuan signifikan untuk industri yang menunjukkan bahwa modifikasi pada operasi mesin diperlukan untuk mengurangi tekanan pada komponen mesin utama ini

Vinayakrao, Biradar Akshaydatta [13] dalam penelitiannya *Analysis and Optimization of Connecting Rod used in Heavy Commercial Vehicles* Sebuah model parametrik dari batang penghubung dimodelkan menggunakan perangkat lunak *CATIA V5 R21* dan untuk model tersebut, analisis dilakukan dengan menggunakan Perangkat Lunak *ANSYS 18.1*. Analisis elemen hingga batang penghubung dilakukan dengan mempertimbangkan material, yaitu. *SAE 4340, 42CrMo4 & Al 7075-T651*. Kombinasi parameter terbaik seperti Stres dan regangan, deformasi, faktor keamanan dan pengurangan berat untuk piston kendaraan tugas berat dilakukan dalam perangkat lunak *ANSYS*. Pekerjaan saat ini telah ditetapkan untuk menggantikan batang penghubung yang ada yang terbuat dari baja tempa dengan batang penghubung MMC aluminium untuk optimasi berat.

Akbar H Khan & Dhananjay R Dolas [14]*Design , Modeling and Static Structural Analysis of Connecting rod*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mempelajari analisis struktur statis dari batang penghubung roda dua dengan mengganti bahan yang ada dari batang penghubung yang memberikan kesempatan untuk mengurangi berat dan biaya batang penghubung sehingga analisis struktur statis dilakukan di bawah dua tekanan utama terjadi pada batang penghubung yaitu tegangan tekan dan Tarik, parameter terbaik setara tegangan dihitung secara teoritis serta menggunakan analisis elemen hingga untuk setiap material pada kedua ujung batang penghubung dan perbandingan dibuat di antara hasil teoritis dan hasil FEA untuk setiap material untuk menemukan bahan terbaik untuk batang penghubung dengan berat dan biaya rendah

Jonas Lundmark et al [15] dalam penelitian berjudul *Weight-Optimized Bushingless Connecting Rods: Improving the Tribological Performance of a*

Gudgeon Pin/Connecting Rod System by Using the Triboconditioning® Process. Dimana disimpulkan bawa Triboconditioning adalah proses finishing permukaan industri yang mencoba melakukan running komponen selama pembuatannya. Makalah ini memberikan analisis mendalam tentang efek *tribological* dari *Triboconditioning* pada kontak pin *connecting rod*.

Pujatti, Mattia[16] dalam tulisan *Fretting-initiated Fatigue in Large Bore Engines Connecting Rods*, menjelaskan kegagalan fatigue batang penghubung yang dipicu oleh kerusakan karena keretakan. Mekanika fraktur dan teori Hertz digunakan untuk menilai parameter utama yang mengendalikan kerusakan dan untuk menentukan tindakan korektif yang tepat. Batang penghubung yang dianggap rentan terhadap perambatan retak fatig selanjutnya dipantau melalui prosedur pengujian ultrasonik yang disesuaikan.

METODE PENELITIAN

Populasi, Sampel dan Sumber Data

Populasi dalam penelitian ini adalah *engine Caterpillar 3500 series* yang dilakukan proses *general overhaul* oleh PT. X dalam kurun waktu penelitian (tahun 2013-2017). Jumlah populasi dalam penelitian ini adalah sebanyak 27 *engine* atau 432 *connecting rod*. Teknik pengambilan sampel dilakukan melalui metode sensus. Metode sensus merupakan cara pengumpulan data apabila seluruh populasi diselidiki satu per satu.

Sumber data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh secara historis, dimana diperoleh dari Laporan Hasil Rekondisi *Connecting Rod* yang diarsipkan oleh PT. X. Periodisasi data menggunakan data Laporan Hasil Rekondisi *Connecting Rod* periode tahun 2013 hingga 2017. Selain itu, diperoleh dari buku-buku dan laporan penelitian sebelumnya.

Pengolahan Data

Pengolahan data dengan menggunakan SPSS dan MS Excel, meliputi pengujian Statistik Deskriptif, Analisis of Varians (ANOVA), Uji *Posteriori (Post Hoc)*. Uji *Posteriori* dengan uji Tukey HSD, karena sampel yang digunakan cukup besar. Uji Tukey ini menggunakan statistik range studentized untuk semua perbandingan berpasangan antargroup dan menentukan tingkat kesalahan percobaan untuk membuat perbandingan berpasangan.

Model Variabel Penelitian

Variabel penelitian meliputi urutan nomor silinder, berdasarkan pada urutan silinder terdepan sesuai dengan service manual, titik pengukuran A, B dan C yang merupakan ketentuan dari prosedur pengukuran *Crankshaft Bore Connecting Rod* dan Hasil Pengukuran dengan menggunakan dial bore gauge. Data yang diambil sebagai indikator adalah data olahan yang merupakan kebulatan dari *Crankshaft Bore Connecting Rod (Roundness)*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengukuran Roundness Crankshaft Bore Connecting Rod

Tabel 1. Sebaran Roundness masing-masing silinder

No. Eng	CYLINDER (inchi)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	-0,00025	-0,00025	0	-0,00025	0	0	0	0	-0,00025	0	0	0,0005	-0,00075	0
2	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0,0001	0	-0,0002	-0,00025	0,00005	-0,00025	-0,00005	-0,0002	-0,0004	-0,00025	0,00015	-0,00015	-0,00025	0	-0,00075	-0,00025
4	0	-0,00025	-0,00025	0	-0,0005	-0,0005	-0,00025	-0,0002	-0,0005	-0,00065	-0,0006	0	-0,0005	-0,00015	0	-0,0004
5	0,00025	0	-0,00025	0	0,0005	0	0	0	0	0	0,00025	0,00025	0	0	-0,00025	0
6	-0,0005	0	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,00025	-0,0005	-0,00025	-0,0005	-0,00025	-0,00025
7	0	0	0	-0,00025	0	0,00025	0,00025	-0,00025	-0,0005	0,00025	-0,00025	-0,00025	-0,00025	0,00025	-0,00025	0
8	0	0	0	0	0	0	0,0005	0,0005	0	0,0015	0,0005	0,00175	-0,002	-0,002	-0,002	0,0005
9	-0,0005	-0,00075	-0,0003	-0,00055	-0,001	-0,00015	-0,0005	-0,0005	-0,00075	-0,00015	-0,00075	-0,00025	-0,001	-0,0005	0	-0,0005
10	0,00025	-0,00075	-0,00075	-0,001	0	0,00175	-0,0005	0	-0,001	-0,00075	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,00075	-0,00025	-0,00025
11	0	-0,00025	0	0	-0,0005	-0,00025	0	0	-0,0005	0	0,0005	0	0,0005	-0,00075	-0,0005	0,00175
12	0,0003	0,00005	-0,0003	0,0005	0,0003	0,00025	0	-0,00025	-0,0002	0	-0,0007	0	0,0003	0	0,00005	0
13	-0,00055	-0,00075	-0,0003	-0,0006	-0,0005	-0,00055	-0,0004	-0,0005	-0,0005	-0,0001	-0,00005	-0,0007	-0,0008	-0,001	-0,0006	-0,00055
14	-0,00025	-0,0005	0	0	0	-0,00075	0,0005	0,00025	-0,00025	0	-0,0005	0	-0,00025	0	0	0
15	-0,00025	-0,0005	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,00025	-0,00025	-0,0005	-0,001	-0,0005	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0005
16	1E-04	0,00025	0	0	0,0004	0,00005	0,0003	-0,00025	-0,0005	-0,0005	0	0	-0,00025	-0,0003	0,00125	-0,00065
17	0	-0,00075	-0,00025	0	-0,00025	0	-0,00025	-0,00025	0	-0,00025	-0,0005	-0,00025	-0,00025	0	0	-0,0005
18	0,0005	0	-0,0005	0	0,00025	0,00025	0	0	-0,0005	0,00025	-0,0005	0,0005	0,0005	-0,0005	0,00025	0,00075
19	-0,00025	-0,00025	-0,00025	-0,00025	-0,00025	-0,0005	-0,0005	0	-0,00025	0	0,0005	0	-0,00075	-0,00075	0	-0,0005
20	-0,00025	-0,0005	-0,0005	-0,00075	-0,0005	-0,0005	0	-0,001	-0,00025	-0,001	-0,0005	-0,00025	-0,00025	-0,00075	-0,00075	-0,00075
21	0	0,00025	-0,00125	-0,00025	0	-0,00025	0	-0,00025	-0,00075	-0,0005	0	-0,00025	0	-0,00075	0	-0,0005
22	0,0005	-0,00025	-0,0005	0	-0,00075	-0,00025	-0,0005	-0,001	0,0005	0	-0,001	-0,001	0	-0,00075	-0,00075	-0,001
23	0,0005	0	0,00025	0,00025	-0,00025	0,0005	0	0	-0,00075	-0,0005	-0,00075	0,0005	0,00025	0,00025	-0,00025	-0,00025
24	-0,00025	-0,0003	-0,00015	0,00015	0	0	-0,00015	-0,00025	-0,00035	-0,0003	0,0001	-0,00025	-0,00025	-0,0002	-0,0002	0,0008
25	-0,00025	0	0	0	-0,00015	0,00015	0	-0,0003	0	0	0	-0,0003	0	0,0003	0	0,00015
26	0	-0,00025	-0,0005	0,0003	0,0003	0,00015	-0,0002	-0,0005	0,00075	-0,00025	-0,0001	-0,0005	0,0003	-0,0005	-0,0002	-0,0005
27	-0,0006	-0,001	-0,0005	0	-0,0005	-0,0005	0,0005	0	0	-0,00025	0,00015	0	-0,00025	0,001	-0,00015	-0,00045

Hasil Pengolahan Data Anova dari Roundness

Pengolahan data dengan menggunakan uji ANOVA Posteriori (Post Hoc) dengan uji Tukey Honestly Significant Difference (Tukey HSD) dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Test of Homogeneity of Variances

Ukuran Roundness			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,343	15	416	,173

Tabel 3. ANOVA Roundness

Ukuran Roundness					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	15	,000	,900	,564
Within Groups	,000	416	,000		
Total	,000	431			

Dari hasil uji tersebut pada Levene Statistic adalah sebesar 1,343 dengan nilai signifikan sebesar 0,173 pada tabel 2, yang berarti varians dari ukuran roundness Crankshaft Bore Connecting Rod adalah sama. Untuk melihat rata-rata roundnessnya adalah sama untuk setiap posisi cylinder, dilihat dari nilai F hitung sebesar 0,900 dengan nilai signifikan 0,564 pada tabel 3 adalah sama untuk tiap posisi cylinder. Dilihat dari tabel multiple comparisons (lampiran 1) tanda asterik pada mean difference atau nilai sig yang harus lebih kecil dari alpha 5%, terlihat pada tidak terdapat pasangan rata-rata yang berbeda.

Tabel 4 Ukuran Roundness

Tukey HSD^{a,b}

Posisi Cylinder	N	Subset for alpha =
		0.05
		1
14,00	28	-,0003161
9,00	27	-,0003037
13,00	26	-,0002865
3,00	27	-,0002685
2,00	27	-,0002407
8,00	27	-,0002111
11,00	27	-,0001778
16,00	27	-,0001704
10,00	27	-,0001648
4,00	27	-,0001463
5,00	27	-,0001241
12,00	27	-,0000889
6,00	27	-,0000778
7,00	27	-,0000741
15,00	27	-,0000537
1,00	27	-,0000500
Sig.		,845

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 26,995.
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Dilihat dari output Homogeneous Subset pada tabel 4 hanya ada satu kelompok, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari ukuran roundness pada masing-masing posisi cylinder.

Tabel 5 Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	27	-,0000500	,00030728	,00005914	-,0001716	,0000716	-,000060	,00050
2,00	27	-,0002407	,00033771	,00006499	-,0003743	-,0001071	-,00100	,00025
3,00	27	-,0002685	,00029488	,00005675	-,0003852	-,0001519	-,00125	,00025
4,00	27	-,0001463	,00033309	,00006410	-,0002781	-,0000145	-,00100	,00050
5,00	27	-,0001241	,00042796	,00008236	-,0002934	,0000452	-,00100	,00100
6,00	27	-,0000778	,00047623	,00009165	-,0002662	,0001106	-,00075	,00175
7,00	27	-,0000741	,00030489	,00005868	-,0001947	,0000465	-,00050	,00050
8,00	27	-,0002111	,00032324	,00006221	-,0003390	-,0000832	-,00100	,00050
9,00	27	-,0003037	,00040524	,00007799	-,0004640	-,0001434	-,00100	,00075
10,00	27	-,0001648	,00044932	,00008647	-,0003426	,0000129	-,00100	,00150
11,00	27	-,0001778	,00039231	,00007550	-,0003330	-,0000226	-,00100	,00050
12,00	27	-,0000889	,00050770	,00009771	-,0002897	,0001119	-,00100	,00175
13,00	26	-,0002865	,00050489	,00009902	-,0004905	-,0000826	-,00200	,00050
14,00	28	-,0003161	,00054247	,00010252	-,0005264	-,0001057	-,00200	,00100
15,00	27	-,0000537	,00114059	,00021951	-,0005049	,0003975	-,00200	,00500
16,00	27	-,0001704	,00057900	,00011143	-,0003994	,0000587	-,00100	,00175
Total	432	-,0001722	,00049778	,00002395	-,0002193	-,0001251	-,00200	,00500

Berdasarkan tabel tabel 5 terlihat bahwa tingkat keuasan yang tinggi dari *roundnessCrankshaft Bore Connecting Rod* adalah pada posisi cylinder nomor 10 dan 14 yaitu sebesar 0,003037 inc dan 0,003161 inc.

Data Hasil Posisi Pengukuran Crankshaft Bore Connecting Rod

Tabel 6 . Hasil pengukuran tiga posisi Crankshaft Bore Connecting Rod

No. Eng	Posisi Pengukuran (Inch)		
	A	B	C

1	-0,00003125	-0,000125	-0,00028
2	-0,00065625	-0,00071875	-0,00075
3	-0,00039375	6,25E-06	-1,3E-05
4	0,0000875	0,00001875	0,00035
5	0,0000625	-0,00009375	-6,3E-05
6	-0,001	-0,0010625	-0,00066
7	-0,00084375	-0,00103125	-0,00091
8	-0,00140625	-0,0014375	-0,00138
9	-0,00008125	0,000075	0,000506
10	-0,0004375	-0,00009375	6,25E-05
11	0,00009375	-0,0000625	9,38E-05
12	-0,00030625	-0,00008125	-0,00021
13	0,00004375	0,0003125	0,000706
14	0,00015625	0,0004375	0,000406
15	0,0004375	0,00034375	0,000844
16	-0,0007375	-0,000575	-0,00065
17	-0,00028125	-0,00009375	3,13E-05
18	0,0005	0,00028125	0,000313
19	-0,00009375	-0,00009375	0,000156
20	0,00078125	0,00003125	0,000938
21	0,000375	0,0005	0,000719
22	-0,0003125	-0,00021875	0,000156
23	-0,0014375	-0,00153125	-0,00147
24	0,00028125	0,00010625	0,000294
25	-0,00006875	-0,00011875	-6,9E-05
26	-0,0000875	-0,0002625	-6,9E-05
27	-0,00001875	-0,0000625	0,000119

Hasil Pengolahan Data Anova dari Posisi Pengukuran Crankshaft Bore Connecting Rod

Tabel 7. Descriptives Pengukuran Crankshaft Bore Connecting Rod

Rerata pengukuran

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	27	-,000199074	,0005415315	,0001042178	-,000413297	,000015149	-,0014375	,0007813
2	27	-,000205556	,0005284438	,0001016990	-,000414601	,000003490	-,0015313	,0005000
3	27	-,000030093	,0006141316	,0001181897	-,000273035	,000212850	-,0014688	,0009375
Total	81	-,000144907	,0005615357	,0000623929	-,000269073	-,000020742	-,0015313	,0009375

Tabel 8. Test of Homogeneity of Variances

Rerata pengukuran

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,263	2	78	,770

Tabel 9. ANOVA Hasil pengukuran tiga posisi Crankshaft Bore Connecting Rod

Rerata pengukuran

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	2	,000	,844	,434
Within Groups	,000	78	,000		
Total	,000	80			

Dari Output posisi ukuran dapat disimpulkan rata-rata ukuran pada posisi A - 0,000199074 dengan standar deviasi ,0005415315 posisi B -0,000205556 dengan standar deviasi ,0005284438 dan posisi C -,000030093 dengan deviasi standar deviasi ,0006141316.

Hasil perhitungan uji homogenitas varian dengan levene statistic menunjukkan nilai sebesar 0,263 dengan signifikansi 0,770. Karena nilai signifikansi yang lebih besar dari level kepercayaan, maka keputusan yang diambil adalah menerima H_0 , yang berarti varian dari ukuran *Crankshaft Bore Connecting Rod* dengan tiga posisi adalah sama. Hal ini menjustifikasi bahwa pengujian ANOVA dengan uji F bisa dilakukan.

Jumlah kuadrat antar group adalah 0,000 dan intergroup adalah juga 0,000. Hasil perhitungan menunjukkan nilai F sebesar 0,844 dengan nilai signifikansi 0,434, dengan hasil ini dapat disimpulkan dengan keputusan menerima H_0 , karena nilai F hitung lebih kecil dari F tabel. Sehingga bisa disimpulkan bahwa rata-rata ukuran tidak berbeda dari tiga posisi pengukuran.

Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis statistik memang tidak ada perbedaan signifikan dari ukuran *roundness Crankshaft Bore Connecting Rod* hal ini karena range data adalah dalam ukuran inchi yang sangat presisi, sehingga data yang dihasilkan adalah sangat kecil sekali perbedaannya. Dalam ukuran rekomendasi penyimpangan ukuran adalah dengan presisi yang sangat tinggi, dimana perbedaan seperseribu saja tentu sangat berpengaruh terhadap kinerja engine, sehingga dalam hal ini juga kita bisa justifikasi bahwa *roundness Crankshaft Bore Connecting Rod* yang tertinggi terjadi pada posisi cylinder nomor 10 dan 14.

Pada hasil pengukuran posisi A, B dan C dari *Crankshaft Bore Connecting Rod* berdasarkan uji ANOVA memang secara rata-rata tidak terjadi perbedaan hasil pengukuran sebagai asumsi keausan titik A, B dan C hal ini dikarenakan angkanya cukup kecil dalam satuan inchi. Seperti juga pada pengujian *roundness* maka walaupun kecil karena dalam satuan inchi tapi kepresisian adalah juga tinggi sehingga dengan seper sepuluh ribu itu sudah merupakan besar dalam kepresisian pengukuran *Crankshaft Bore Connecting Rod*. Maka untuk ini bisa diambil kesimpulan yang terjadi rata-rata keausan yang besar adalah pada titik A dan B.

KESIMPULAN

Dari hasil uji statistik serta analisa dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa besar tingkat keausan yang tinggi pada *Crankshaft Bore Connecting Rod* adalah pada titik A dengan rerata keausan sebesar 0,000199074 Inchi dan titik B 0,000205556 inchi. Keausan *cranksaft bore connecting rod* yang besar terjadi pada dua posisi cylinder yaitu cylinder nomor 10 yaitu sebesar 0,003037 inc dan nomor 14 sebesar 0,003161 inc.

Disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk menganalisa dampak dari keausan ini terhadap *roundness liner cylinder* dari masing-masing engine.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima pada Pusat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Politeknik Negeri Banjarasmin atas pembiayaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Kuruvilla, J., dan Gunavati, 2014, *Lung Cancer Classification Using Neural Networks for CT Images*, Journal of Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 113, 202-209
- C. Gang, W. Lei, and X. Peiqing, "The finite element analysis of tension and compression condition of diesel engine connecting rod," Appl. Mech. Mater., vol. 722, pp. 120–124, 2015.
- F. Desai, A. Deshpande, and K. Jagtap, "Comparative Study of Connecting Rod Using FEA and Experimental Analysis," vol. III, no. Vii, pp. 45–49, 2014.
- S. S. Sonigra, "An Investigation of Thermal Impact in the Manufacture of a Connecting Rod," IUP J. Mech. Eng., vol. XI, 2018.
- S. Yin and W. J. Qin, "The optimization of small end bushings of connecting-rod in heavy-load diesel engines," Appl. Mech. Mater., vol. 556–562, pp. 1215–1219, 2014.
- Y. Gongzhi, Y. Hongliang, and D. Shulin, "Stress Analysis on a Connecting Rod Big End Bearing of Two-stroke Marine Diesel Engine," vol. 632, pp. 623–626, 2014.
- İ. M. Özkara and M. Baydoğan, "Optimization of Thixoforging Parameters for C70S6 Steel Connecting Rods," J. Mater. Eng. Perform., vol. 25, no. 11, pp. 5020–5029, 2016.
- M. Lahmar and B. Bou-Saïd, "Couple Stress Effects on the Dynamic Behavior of Connecting Rod Bearings in Both Gasoline and Diesel Engines," Tribol. Trans., vol. 51, no. 1, pp. 44–56, 2008.
- C. V Vazhappilly, "Stress Analysis of Connecting Rod for Weight Reduction- A Review," Int. J. Sci. Res. Publ., vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2013.
- Caterpillar, SGD Fundamental Engine. Jakarta, 2014.
- Caterpillar, Service Information System. MeMedia Number -SEBF8149-25, 2017.
- S. S. Sonigra, "Implementation and Computation of Performance Excellence in Connecting Rod Manufacturing Industries," Gujarat Technological University Ahmedabad, 2017.
- M. Zgoul and J. Yamen, "Analysis of Mechanical and Thermal Stresses on Connecting Rod/Pisotn of Variable Compression Rasio Engine Powered By Biodiesel," no. 10, pp. 67–73, 2017.
- B. A. Vinayakrao and P. S. M. C, "Analysis and Optimization of Connecting Rod used in Heavy Commercial Vehicles," vol. 5, no. 3, pp. 684–707, 2017.
- A. H. Khan and D. R. Dolas, "Design , Modeling and Static Structural Analysis of Connecting rod," no. 1, pp. 400–408, 2017.

- J. Lundmark, B. Zhmud, B. Brodmann, D. Schorr, and U. Morawitz, "Weight-Optimized Bushingless Connecting Rods: Improving the Tribological Performance of a Gudgeon Pin/Connecting Rod System by Using the Triboconditioning Process," *J. Mater. Sci. Eng.*, vol. 7, pp. 25–36, 2017.
- D. Pujatti, Mattia Suhadolc, Mitja Piculin, "Fretting-initiated Fatigue in Large Bore Engines Connecting Rods.," *Procedia Eng.*, vol. 74, no. p356-359, 2014.