

PENGARUH MATERIAL SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING TERHADAP ROLLING RESISTANCE

Effect of Single Row Deep Groove Ball Bearing Material on the Rolling Resistance

Agung Cahyo Raharjo¹, F.X. Kristianta², Robertoes Koekoeh K.W³

^{1,2,3}) Program Studi SI Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
*Email : acraharjo@gmail.com

ABSTRAK

Selain kendaraan yang ditawarkan harus aman, nyaman, dan efisien, dibutuhkan kendaraan masa depan yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi karena efek gas buang. Efisiensi merupakan aspek yang perlu dikembangkan. Rolling resistance pada bantalan adalah tahanan terhadap elemen rolling yang bekerja pada bantalan karena adanya gesekan antara dua permukaan yang berputar atau menggelinding. Tahanan gelinding (rolling resistance) merupakan segala gaya-gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak gerakan yang sedang berjalan. Tahanan gelinding (rolling resistance) bisa disebut juga sebagai besarnya tenaga tarik yang dibutuhkan untuk menggerakkan tiap ton kendaraan. Pada dasarnya Rolling resistance adalah momen yang digunakan elemen rolling pada bantalan untuk melawan arah gerakan, setara dengan yang dibutuhkan untuk menggerakkan bantalan. Penelitian ini difokuskan kepada variasi jenis material single row deep groove ball bearing terhadap rolling resistance. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental. Terdapat pengaruh jenis material yang terkandung dalam bearing hybrid dan ceramic terhadap nilai rolling resistance. Antara lain material cage, ball bearing yang mempunyai sifat mekanis. Jenis material hybrid memiliki nilai rolling resistance lebih kecil dari jenis material full ceramic sebesar 0,7110 N. Dalam hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil beban dan putaran maka akan semakin rendah nilai rolling resistance. Jenis material bearing hybrid memiliki nilai rolling resistance yang lebih rendah dari bearing full ceramic. hal ini disebabkan oleh pengaruh sifat material yang terkandung dalam material bearing.

Kata kunci: Ball bearing, rolling resistance

ABSTRACT

In addition to the vehicles offered, they must be safe, comfortable and efficient, requiring future vehicles that are environmentally friendly and produce no pollution due to the effects of exhaust gases. Efficiency is an aspect that needs to be developed. Rolling resistance on a bearing is resistance to a rolling element that works on a bearing because of friction between two rotating or rolling surfaces. Rolling resistance (rolling resistance) is any external forces that are in the opposite direction to the direction of motion that is running. Rolling resistance can be referred to as the amount of tensile power needed to drive each ton of vehicle. Basically Rolling resistance is a moment that is used by rolling elements on a bearing to counteract the direction of movement, equivalent to what is needed to move the bearing. This research focuses on variations in the type of single row deep groove ball bearing material against rolling resistance. This research was conducted using the experimental method. There is the influence of the type of material contained in hybrid and ceramic bearings to the value of rolling resistance. Among other things cage material, ball bearings that have mechanical properties. The type of hybrid material has a smaller rolling resistance value than the type of full ceramic material of 0.7110 N. In the results of this study it can be concluded that the smaller the load and rotation, the lower the value of rolling resistance will be lower. This type of hybrid bearing material has a lower rolling resistance value than a full ceramic bearing. this is due to the influence of the material properties contained in the bearing material

Keywords: Torque, Power, Fuel consumption (FC)

PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 218.869 Kilo Liter. Akibat dari kebiasaan masyarakat yang mengkonsumtif kendaraan bermotor, menyebabkan jumlah konsumsi BBM di Indonesia menjadi tinggi [1]. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian BBM untuk transportasi dan menggantikannya dengan energi listrik [2].

Mobil yang digerakkan menggunakan motor listrik dan bersumber energi baterai adalah mobil listrik [3]. Selain kendaraan yang ditawarkan harus aman, nyaman, dan efisien. Selain itu dibutuhkan kendaraan masa depan yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi karena efek gas buang. Efisiensi merupakan aspek yang perlu dikembangkan.

Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Juhala (2014), menyatakan ada tiga faktor yang mempengaruhi efisiensi. Antara lain: berat kendaraan (mass), hambatan gelinding (*rolling resistance*), dan hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*). *Rolling resistance* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: mesin kendaraan, sistem transmisi, bantalan, serta kebiasaan mengemudi.

Bearing (bantalan) merupakan bagian dari mesin yang sangat penting yang berfungsi menumpu poros yang berputar maupun yang bergerak bolak-balik. Setiap benda yang berputar pasti akan menimbulkan gesekan.

Setelah mengamati dan mempelajari dari berbagai sumber, maka dapat ditarik sebuah penjelasan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *rolling resistance* pada *bearing* yaitu jenis material bantalan. Dimana dengan mengetahui spesifikasi *rolling resistance* pada material bearing, akan memudahkan penggunaan untuk memilih material bantalan yang cocok sesuai kebutuhan. Hasil penelitian ini sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya mengenai *rolling resistance* dan dapat memberi masukan pada tim mobil listrik untuk memilih jenis material *bearing* yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.

Ada beberapa perbedaan material yang digunakan pada bantalan. Antara lain dari materia *cage*, *ball*, *inner race*, dan *outer race*. *Cage* berpusat pada elemen bergulir yang memungkinkan pelumas ke bantalan dengan mudah. *Cage* berperan sebagai penopang ketika bantalan mengalami kecepatan tinggi, tingkat getaran tinggi atau gaya inersia yang berasal dari pergerakan seluruh bantalan.

Bantalan *hybrid* terbuat dari cincin baja bagian dalam dan luar dengan elemen penggulung *phenolic resin* sebagai pengganti baja. Kecepatan mesin meingkat karena produksi menuntut efisiensi dan keandalan maksimum dengan kualitas *output* tertinggi. Akibatnya beban dan lingkungan operasional menjadi lebih baik. Bantalan keramik digunakan karena ketahanannya terhadap panas, material keramik telah

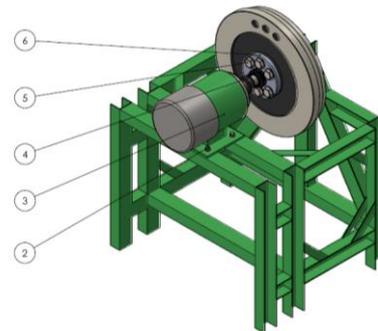
digunakan untuk aplikasi di mana suhu melebihi standar baja bantalan. Bantalan keramik tidak mengalami masalah dalam bereaksi dengan bahan korosif dan tidak melepas partikel atau bereaksi dengan bahan kimia yang dihasilkan oleh produk berbahaya. Bantalan keramik dapat dikeringkan dan bebas dari pelumasan tambahan sehingga tidak akan menguras mikrobiologi apa pun dan dapat dibersihkan lebih mudah dengan. Bantalan keramik menggunakan bola *Zirconia Oxide* (ZrO_2).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perancangan Mekanik Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati nilai *rolling resistance* pada bantalan dan diberikan variasi pembebanan yaitu 165 Newton, 177 Newton, 207 Newton pada *flywheel* ketika *flywheel* diputar pada masing masing kecepatan yaitu 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm. Material *bearing* yang digunakan yaitu *hybrid* dan *full ceramic bearing* dengan tipe 6000 dan 6200.

Nilai yang diamati yaitu nilai perubahan kecepatan sudut ($d\omega$) dan selisi waktu (dt) sebagai data untuk perhitungan koefisien *rolling resistance* (C_r). Setelah mengetahui nilai (C_r) pada masing masing kecepatan putar, C_r digunakan sebagai faktor pengali terhadap (W) untuk memperoleh nilai *rolling resistance* (F_r).

Pengujian ini menggunakan alat uji *rolling resistance*. Alat uji dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 1. Alat Uji *Rolling Resistance*

Keterangan :

1. *Flywheel*, berfungsi sebagai variasi beban pada bantalan;
2. *Shaft*, berfungsi untuk menopang *flywheel*;
3. Motor AC, sebagai pemberi putaran pada *flywheel*;
4. Rangka utama, merupakan dudukan seluruh komponen alat uji;
5. *Clutch*, berfungsi meneruskan dan menghentikan putaran dari motor ke *flywheel*.

Langkah pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

- Perancangan alat uji *Rolling Resistance*, diperlukan guna memvisualisasikan konstruksi alat pengujian dalam bentuk gambar teknik pada gambar 1;
- Memasang bantalan pada *flywheel*;
- Memastikan kelistrikan alat dan menyalakan motor listrik sesuai variasi kecepatan putar;
- Variasi kecepatan dan variasi pembeban diberikan pada bantalan, kemudian mencatat nilai koefisien *rolling resistance* (Cr);
- Ulangi langkah-langkah b sampai d diatas pada variasi material tipe *single row deep groove ball bearing* terhadap nilai *rolling resistance*.

Berikut adalah tabel pengambilan data yang akan dilakukan :

Tabel 1. Pengambilan data

| No | Type bearing | Variasi Bahan | Beban Flywheel (N) | Rpm |
|----|--------------|---------------|--------------------|-----|
| 1 | 6000 | Keramik | 165 | 290 |
| 2 | 6000 | Keramik | 165 | 310 |
| 3 | 6000 | Keramik | 165 | 330 |
| 4 | 6000 | Keramik | 177 | 290 |
| 5 | 6000 | Keramik | 177 | 310 |
| 6 | 6000 | Keramik | 177 | 330 |
| 7 | 6000 | Keramik | 207 | 290 |
| 8 | 6000 | Keramik | 207 | 310 |
| 9 | 6000 | Keramik | 207 | 330 |
| 10 | 6200 | Keramik | 165 | 290 |
| 11 | 6200 | Keramik | 165 | 310 |
| 12 | 6200 | Keramik | 165 | 330 |
| 13 | 6200 | Keramik | 177 | 290 |
| 14 | 6200 | Keramik | 177 | 310 |
| 15 | 6200 | Keramik | 177 | 330 |
| 16 | 6200 | Keramik | 207 | 290 |
| 17 | 6200 | Keramik | 207 | 310 |
| 18 | 6200 | Keramik | 207 | 330 |
| 19 | 6000 | Hybrid | 165 | 290 |
| 20 | 6000 | Hybrid | 165 | 310 |
| 21 | 6000 | Hybrid | 165 | 330 |
| 22 | 6000 | Hybrid | 177 | 290 |
| 23 | 6000 | Hybrid | 177 | 310 |
| 24 | 6000 | Hybrid | 177 | 330 |
| 25 | 6000 | Hybrid | 207 | 290 |
| 26 | 6000 | Hybrid | 207 | 310 |
| 27 | 6000 | Hybrid | 207 | 330 |
| 28 | 6200 | Hybrid | 165 | 290 |
| 29 | 6200 | Hybrid | 165 | 310 |
| 30 | 6200 | Hybrid | 165 | 330 |
| 31 | 6200 | Hybrid | 177 | 290 |
| 32 | 6200 | Hybrid | 177 | 310 |
| 33 | 6200 | Hybrid | 177 | 330 |
| 34 | 6200 | Hybrid | 207 | 290 |
| 35 | 6200 | Hybrid | 207 | 310 |
| 36 | 6200 | Hybrid | 207 | 330 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *rolling resistance* dilaksanakan dengan menggunakan variasi tipe *bearing* 6000 dan 6200 dengan jenis material *hybrid* dan *full ceramic*, variasi beban *bearing* sebesar 165 N, 177 N, dan 207 N, serta mengubah variasi putaran sebesar 290 rpm, 310 rpm, dan 330 rpm. Pengujian dilakukan dengan mengganti beban *bearing* sesuai dengan variasi yang akan dilaksanakan pengujian. Masing-masing variasi beban akan diuji sesuai variasi putaran yang telah ditentukan kemudian dilihat selisih waktu mulai *bearing* berputar hingga berhenti dan dilihat nilai *rolling resistance*.

Setelah melakukan pengujian berdasarkan metode eksperimental diperoleh data nilai *rolling resistance* dari kedua jenis material *bearing*.

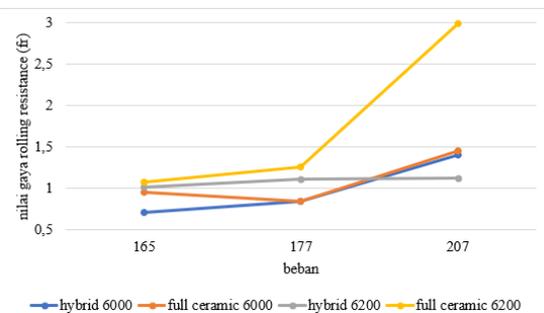
Tabel 2. Hasil pengujian beban 165 Newton

| Material Bearing | Tipe bearing | Putaran (rpm) | \bar{x} Cr | \bar{x} Fr (N) |
|------------------|--------------|---------------|--------------|------------------|
| hybrid | 6000 | 290 | 0,0043 | 0,7110 |
| | | 310 | 0,0044 | 0,7334 |
| | | 330 | 0,0046 | 0,7524 |
| Full ceramic | 6000 | 290 | 0,0058 | 0,9574 |
| | | 310 | 0,0059 | 0,9782 |
| | | 330 | 0,0060 | 0,9883 |
| hybrid | 6200 | 290 | 0,0061 | 1,0138 |
| | | 310 | 0,0062 | 1,0289 |
| | | 330 | 0,0066 | 1,0918 |
| Full ceramic | 6200 | 290 | 0,0064 | 1,0687 |
| | | 310 | 0,0067 | 1,1084 |
| | | 330 | 0,0069 | 1,1422 |

Tabel 3. Hasil pengujian putaran 290 rpm

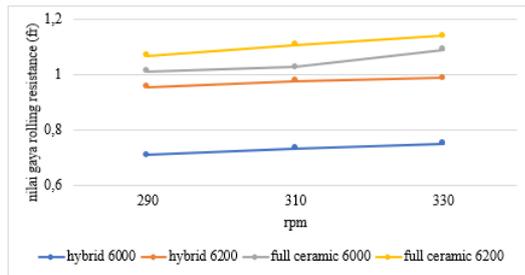
| Material Bearing | Tipe bearing | Beban (N) | \bar{x} Cr | \bar{x} Fr (N) |
|------------------|--------------|-----------|--------------|------------------|
| hybrid | 6000 | 165 | 0,0043 | 0,7110 |
| | | 177 | 0,0048 | 0,8443 |
| | | 207 | 0,0068 | 1,4104 |
| Full ceramic | 6000 | 165 | 0,0058 | 0,9883 |
| | | 177 | 0,0048 | 0,8889 |
| | | 207 | 0,0070 | 1,5183 |
| hybrid | 6200 | 165 | 0,0061 | 1,0138 |
| | | 177 | 0,0063 | 1,1108 |
| | | 207 | 0,0055 | 1,1288 |
| Full ceramic | 6200 | 165 | 0,0064 | 1,1422 |
| | | 177 | 0,0071 | 1,3072 |
| | | 207 | 0,0145 | 3,4761 |

Rolling resistance dipengaruhi berbagai hal, diantaranya waktu, putaran, dan jenis material. Waktu yang dibutuhkan dari 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm hingga benda putar berhenti dipengaruhi oleh beban yang diterima bearing dan jenis material yang digunakan. Hasil pengujian nilai *rolling resistance* paling kecil dengan nilai putaran 290 rpm dan beban 165 N dapat dilihat pada Grafik 2 dan 3 Grafik 3.

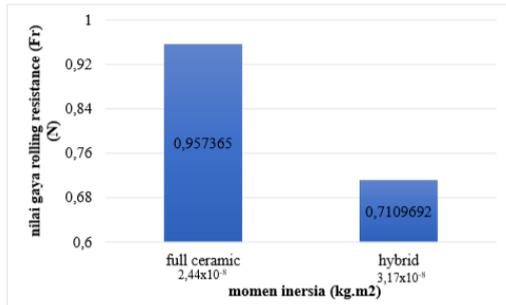


Gambar 2. Grafik pada putaran 290 rpm terhadap nilai *rolling resistance* (Fr)

Dalam pengujian, bearing yang berputar memiliki nilai momen inersia. Momen inersia bearing dalam gerak rotasi menyatakan ukuran kemampuan bearing untuk mempertahankan kecepatan sudut bearing dalam hal ini momen inersia berkaitan dengan *rolling resistance* yang terjadi pada bola *bearing*. Besar momen inersia pada masing-masing bearing yang diuji telah dihitung pada pembahasan sebelumnya. Hubungan antara momen inersia bearing dengan *rolling resistance* ditunjukkan pada Grafik 4.



Gambar 3. Grafik pada beban 165 N terhadap nilai rolling resistane (Fr)



Gambar 4. Grafik momen inersia terhadap rolling resistance

Gambar 4 menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai *rolling resistance* antara jenis material *bearing hybrid* dan *full ceramic*. Nilai momen inersia dari *bearing hybrid* lebih besar daripada *bearing full ceramic*. Tetapi nilai *rolling resistance bearing hybrid* lebih rendah dari *bearing full ceramic*.

Hal ini dipengaruhi juga dari nilai densitas dari masing-masing jenis material *bearing*. Untuk memperoleh nilai momen inersia, perlu diketahui *massa bearing* yang diperoleh dari nilai densitas material. Semakin besar nilai densitas material maka semakin besar juga momen inersia.

Analisa Material Bearing Hybrid

Material *bearing hybrid* menggunakan bahan *chrome steel* untuk *outer, inner, dan ball*. Sedangkan bahan *phenolic resin* untuk *cage* nya. Berdasarkan standar ISO 3290-1 kekerasan dari *chrome steel* memiliki nilai lebih rendah yaitu sebesar 174 HV dari jenis material *full ceramic* sebesar 1200 HV. Dari perbedaan nilai kekerasan kedua material tersebut, tentunya berpengaruh terhadap *performance* masing-masing *bearing* itu sendiri. Walaupun nilai kekerasan dari *bearing full ceramic* lebih besar dari *hybrid*, tetapi *bearing hybrid* memiliki nilai *rolling resistance* yang rendah pada putaran dan beban yang rendah pula.

Analisa Materal Bearing Full Ceramic

Seperti yang dicantumkan dalam standar ISO 3290-1, material *bearing full ceramic* terbuat dari bahan *zirconia oxide (ZrO₂)* yang cocok untuk suhu tinggi, tetapi tidak tahan pada guncangan termal. Hal ini dapat dilihat dari dengan nilai guncangan termal yang diijinkan sebesar 350°C. Jenis material ini paling

baik digunakan di lingkungan suhu tinggi dan beban minimal. Secara umum material *full ceramic* dapat tahan pada suhu tinggi, korosif. Bahan *PTFE* memiliki ketahanan terhadap segala cuaca dan memiliki ketahanan berbagai suhu yang sangat baik untuk kelas polimer (Moynihan, 1959). Komposit *PTFE* menunjukkan kinerja yang baik seperti koefisien gesekan yang rendah dan ketahanan aus yang tinggi (Unal dan Yetgin, 2009). *Bearing full ceramic* dapat menahan beban yang tinggi karena memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada *hybrid/steel bearing*. Tetapi nilai kekerasan yang tinggi tidak menjamin mempunyai nilai *rolling resistance* yang rendah. Karena ada gesekan antar elemen baik dari *cage, outer, inner*, ataupun *ball*, serta ada beban dan putaran yang optimal pada perlakuan *bearing full ceramic*.

KESIMPULAN

Dari penelitian pengaruh jenis material terhadap *rolling resistance* yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh jenis material yang terkandung dalam *bearing hybrid* dan *ceramic* terhadap nilai *rolling resistance*. Antara lain material *cage, ball bearing* yang mempunyai sifat mekanis. Jenis material *hybrid* memiliki nilai *rolling resistance* lebih kecil dari jenis material *full ceramic* sebesar 0,7110 N.
2. Performa paling rendah dari nilai *rolling resistance* yang terjadi pada jenis material *hybrid 6000* dan *full ceramic 6000* yaitu pada beban 165 N dan putaran 290 rpm. Semakin kecil beban dan putaran yang diberikan kepada *bearing*, semakin kecil juga nilai *rolling resistance* yang dihasilkan.

SARAN

Adapun saran yang diberikan untuk meyempurnakan penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai jenis material terhadap *rolling resistance* ini dengan jenis material yang lebih kompleks lagi.
2. Menggunakan *bearing* dengan kualitas yang lebih baik untuk penelelitian selanjutnya.
3. Beri beban yang lebih rendah dalam penelitian selanjutnya karena pada penelitian ini masih belum memaksimalkan performa *bearing full ceramic*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat, 2015. Konsumsi BBM Nasional per Tahun 2006-2015. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
 [2] Juhala, M. M 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance and Aerodynamic*. Finland: Woodhead Publishing Limited. Science Direct. (2014): 462 – 475

- [3] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 tahun 2011. *Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. 20 September 2011. Jakarta.
- [4] Purnomo, S. J. Pratama, B. Hakim, L. N. 2017. Uji Eksperimental Kinerja Mobil Listrik. *Prosiding SNATIF*. 25 Juli 2017. *SNATIF*: 679-686.

