

PENGUJIAN PEMBEBANAN STATIK PADA DESAIN STRUKTUR GANDAR RODA BELAKANG UNTUK PROTOTIPE KENDARAAN HIBRIDA RINGAN DTM-UI

Danardono Agus Sumarsono¹, Raka Cahya Pratama², M. Satrio Utomo³

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, danardon@eng.ui.ac.id

²Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, raka.cahya81@ui.ac.id

³Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, m.satrio@ui.ac.id

Abstrak

Dalam riset ini telah dirancang konsep dan pembuatan gandar roda belakang untuk kendaraan hemat energi berbasis teknologi hibrida serial-paralel antara mesin pembakaran dalam dan motor listrik magnet permanen. Konsep rangka mengadopsi sebagian rancangan prototipe yang sudah ada di laboratorium DTM-UI. Konsep ini lebih bersifat rekayasa dan memodifikasi komponen lokal sebanyak mungkin agar dapat digunakan dalam desain. Sistem traksi gandar ini tidak menggunakan gigi diferensial namun menggunakan dua unit freewheel pada roda kiri dan kanannya. Sehingga, daya dan torsi yang diteruskan ke roda belakang dapat diteruskan pada kedua roda secara proporsional. Demikian pula pada traksi untuk memadukan tenaga mesin dan motor listrik digunakan mekanisme freewheel yang dipasangkan pada kedua poros keluarannya. Rancangan ini diharapkan dapat menghasilkan prototipe kendaraan ringan hibrida yang cukup aman dan murah. Pengujian pembebanan statik dalam riset ini merupakan analisis dinamis awal terhadap struktur gandar belakang kendaraan hibrida ringan tersebut untuk mengetahui parameter defleksi statik yang terjadi pada setiap komponen pada gandar agar didapat rancangan yang ringan, kokoh dan mudah dalam manufakturnya. Simulasi perhitungan memanfaatkan perangkat lunak Inventor[®] serta pengujian skala penuh laboratorium untuk tiga rancangan berbeda pada struktur batang penghubung yang berbentuk: setengah lingkaran, segiempat dan segitiga. Hasil simulasi untuk asumsi pembebanan 1000 N arah vertikal dan 800 N arah horisontal menghasilkan bentuk parabola defleksi maksimum sebesar 2,49 mm, kemudian pada pengujian laboratorium didapat besaran defleksi maksimum sekitar 2,46 mm. Dengan kondisi pembebanan maksimum tersebut tegangan dalam struktur gandar dengan batang penghubung berbentuk setengah lingkaran masih dalam ranah elastis. Sedangkan pada desain gandar dengan batang penghubung berbentuk segiempat dan segitiga dengan asumsi material yang sama seperti pada bentuk lingkaran, maka didapat simpangan masing-masing sekitar 1,475 mm dan 2,951 mm. Pemilihan struktur bentuk segiempat menjadi fokus untuk pengujian selanjutnya termasuk rancangan bentuk dan dimensinya agar dapat memenuhi kriteria dengan berat ringan dibandingkan dengan kedua desain lainnya.

Kata Kunci : Analisis struktur gandar, pembebanan statik.

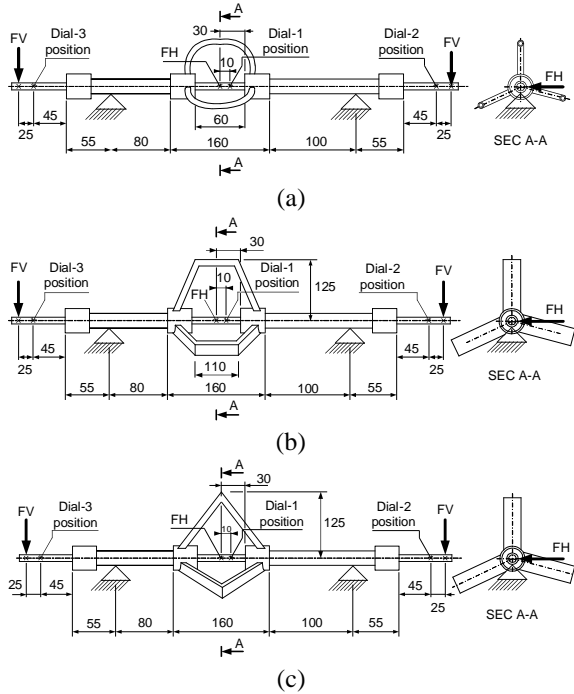
1. Latar Belakang

Penelitian kendaraan hibrida ringan telah dilakukan DTM-UI semenjak awal tahun 2000, dimulai dari konsep kendaraan ringan prototipe I hingga V baik bersistem serial maupun paralel. Kemampuan menguasai teknologi struktur kasis termasuk sistem gandar roda belakang tanpa diferensial menjadi sangat menarik ketika berat kendaraan menjadi konstrain untuk mendapatkan jarak tempuh yang lebih baik. Pengujian struktur gandar roda belakang menjadi awal dari konsep riset kendaraan hibrida ringan untuk mencari rancangan yang lebih baik untuk menjawab

konstrain tsb. Rancangan gandar yang digunakan saat ini terdiri dari dua selongsong pipa yang digabung menggunakan struktur sambungan berbentuk parabola (Gbr 1a). Bentuk parabola harus dibentuk melalui proses *metal bend forming* berupa penekukan yang memakan waktu serta bahan material. Dalam penelitian ini dirancang pula 2 model bentuk sambungan lainnya berbentuk segiempat dan segitiga (Gbr. 1b dan 1c). Dengan melakukan perbandingan kekuatan tegangan yang terjadi akibat beban kendaraan dan torsi traksi melalui simulasi dan validasi pengujian statis, maka



diharapkan dapat melakukan pendekatan simulasi terhadap beberapa bentuk sambungan lainnya.



Gambar 1. Desain struktur gandar untuk 3 bentuk rangka penghubung; parabola (a), segi-empat (b) dan segitiga (c).

Manfaat

Pemahaman yang baik atas rancangan struktur gandar kendaraan akan mempermudah melakukan rekayasa ulang rancangan dan konstruksi kasis kendaraan yang lebih ringan, namun tetap kokoh dan mudah dalam manufakturnya. Spesifikasi kendaraan berupa parameter daya dukung, berat kendaraan secara tepat serta data blue print struktur kendaraan akan menjadi bahan referensi yang *reliable* untuk riset berbasis struktur mekanikal terkait lainnya. Disamping itu diharapkan riset awal (*start-up*) kendaraan berbasis teknologi hibrida ini akan menjadi pemicu kegiatan riset kendaraan masa depan yang ramah lingkungan serta mendukung program *clean energy* dunia.

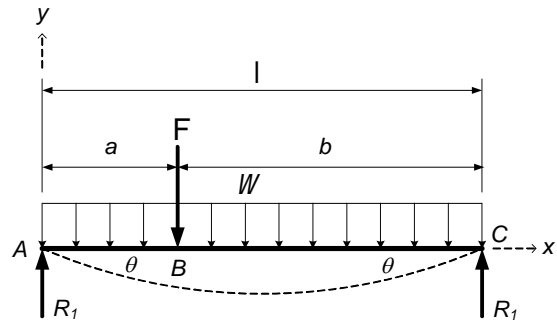
2. Metodologi

Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi dengan bantuan perangkat lunak serta pengujian skala penuh pada desain struktur gardan belakang kendaraan hybrid DTM-UI. Simulasi menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*®, dan dilakukan untuk 3 gardan dengan sambungan bentuk parabola, segiempat dan segitiga. Asumsi bahan material adalah baja ST-37

yang banyak digunakan dalam struktur pipa baja. Untuk mengetahui karakteristik defleksi statik maka dilakukan simulasi untuk beban vertikal (beban kendaraan) dan horizontal (torsi traksi) sekitar 1000 N dan 800 N. Pemilihan besar beban ini menyesuaikan dengan spesifikasi beban yang akan dialami oleh struktur gardan belakang dalam kondisi operasional. Dalam pengujian selanjutnya dilakukan hanya untuk gardan dengan sambungan bentuk parabola dalam skala penuh di laboratorium untuk mendapatkan defleksi pada beberapa titik tertentu sepanjang gardan. Hasil perbandingan simulasi dan pengujian akan didapat deviasi kesalahan yang digunakan untuk memperkirakan rancangan model sambungan lainnya untuk mendapatkan pendekatan karakteristik defleksi.

3. Analisis Pemodelan

Pemodelan struktur gardan dapat disederhanakan sebagai batang yang ditumpu pada kedua ujungnya serta dibebani gaya *F* pada koordinat asimetrik untuk *free body diagram* (Gbr. 2)



Gambar 2. Pemodelan sederhana struktur gandar

Gaya reaksi yg terjadi pada tumpuan ditulis sbb:

$$\dots \dots \dots (1)$$

Defleksi sepanjang x ;

$$\dots \dots \dots (2a)$$

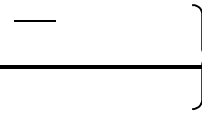
$$\dots \dots \dots (2b)$$

dengan sudut defleksi : $\dots \dots \dots (3)$

Pada kasus elastic dimana sudut θ cukup kecil maka perssmaan (3) disederhanakan sebagai ;

$$\dots \dots \dots (4)$$

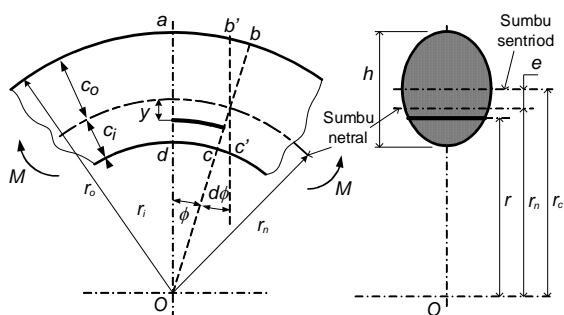
Dimana momen lentur pada tiap titik simpul :



..... (5)

Distribusi tegangan pada batang sambungan berbentuk parabola yang mengalami lenturan dapat didekati dengan asumsi berikut (Gbr. 3) :

- Bagian penampang mempunyai satu sumbu simetri dalam satu bidang sepanjang balok.
- Bidang penampang tetap rata setelah *bending*.
- Modulus elastisitas dalam tekan dan tarik sama nilainya.



Gambar 3. Model sumbu netral dan sentroidal pada penampang yang pada kenyataannya tidak bertepatan.

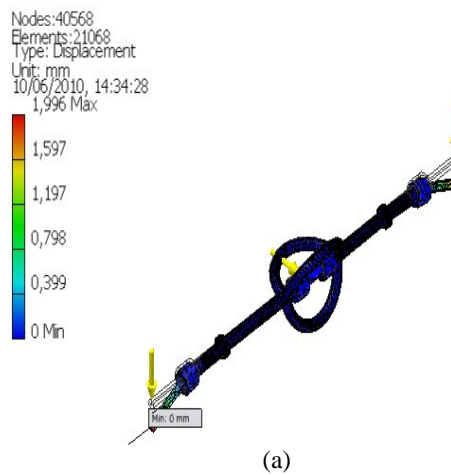
Tegangan akibat bending :

..... (5)

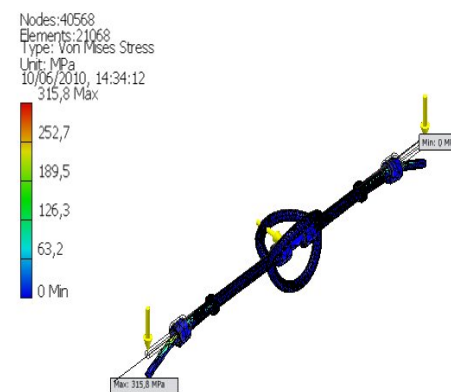
- r_n = radius sumbu netral [mm]
- e = jarak dari sumbu sentroidal ke sumbu netral [mm]
- A = luas penampang [mm²]
- M = momen [Nmm]

Simulasi Pemodelan

Simulasi dengan bantuan perangkat lunak, untuk defleksi dan tegangan pada gandar dapat dilihat pada Gbr. 4, 5, 6 dan 7 berikut.

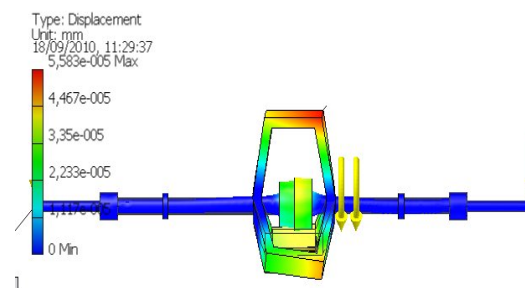


(a)



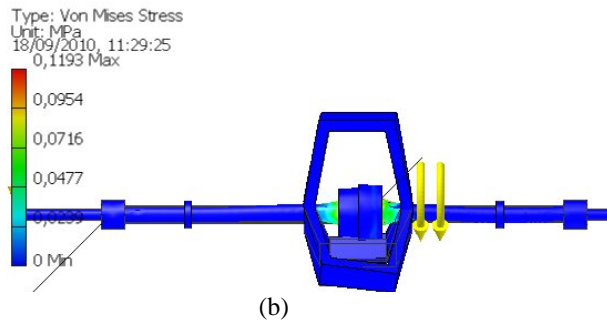
(b)

Gambar 4. Simulasi defleksi (a) dan tegangan (b) gandar sambungan bentuk parabola.



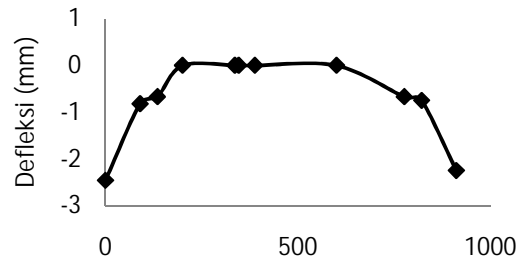
(a)



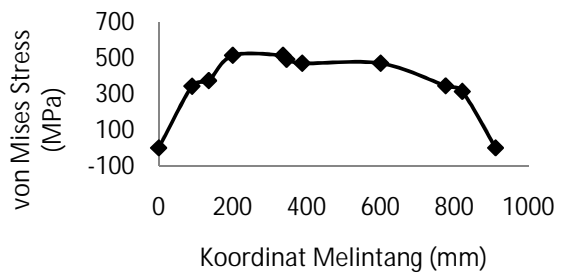


(b)

Gambar 5. Analisis defleksi (a) dan tegangan (b) gandar sambungan bentuk segiempat.

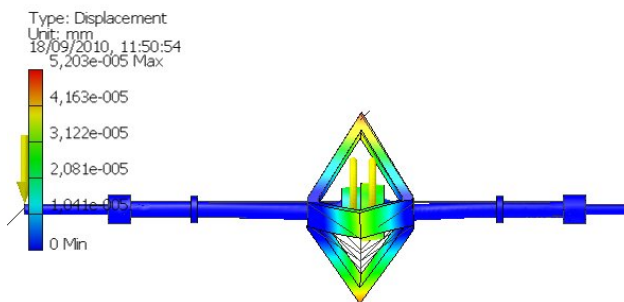


(a)

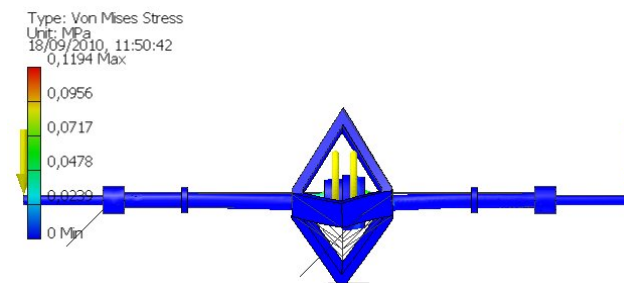


(b)

Gambar 7. Grafik defleksi (a) dan tegangan (b) sepanjang koordinat melintang gandar parabola.

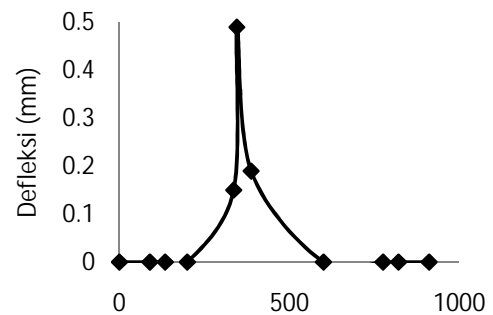


(a)

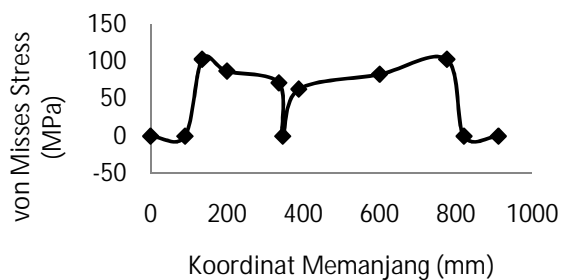


(b)

Gambar 6. Analisis defleksi (a) dan tegangan (b) gandar sambungan bentuk segitiga.



(a)



(b)

Gambar 8. Grafik defleksi (a) dan tegangan (b) sepanjang koordinat memanjang gandar parabola.

Pengujian Skala Penuh

Gbr 7 dan Gbr.8 memperlihatkan hasil pengujian pada skala penuh terhadap sambungan bentuk parabola. Spesimen gandar dipersiapkan dan posisi dudukan disesuaikan kembali berulang ulang dengan pemodelan. Beban vertikal menyebabkan terjadi defleksi disepanjang gandar.



Tegangan yang terjadi dihitung melalui pendekatan asumsi dan persamaan (5) dalam pemodelan. Defleksi negatif mencerminkan arah dari bentuk kurva grafik. Demikian pula untuk hasil pada koordinat memanjang gandar parabola,

Kekuatan struktur dihitung menggunakan pendekatan *Distortion-Energy Theory (DET)* atau *von Mises Theory* untuk material ulet ST37 dan ditulis pada persamaan (6) berikut :

..... (6)

4. Hasil Analisis

Tabel 1 memperlihatkan hasil simulasi perhitungan defleksi maksimum untuk ketiga bentuk sambungan akibat beban static vertikal dan horisintal. Profil segiempat menghasilkan defleksi yang lebih kecil daripada profil yang lain. Dari hasil simulasi juga didapatkan bahwa ketiga bentuk sambungan masih berada dalam batas elastis sehingga masih kuat menahan beban akibat kinerja penggerak dan beban kendaraan pada kondisi statik. Selain itu, sambungan dengan defleksi kecil (segiempat) akan menjadi fokus lebih lanjut untuk rancangan gandar yang lebih ringan, kuat dan mudah dalam manufakturnya.

Tabel 1.

Bentuk sambungan	Defleksi maks. [mm]
Parabola	2,49
Segiempat	1,475
Segitiga	2,951

Dari perbandingan defleksi maksimum sambungan bentuk parabola antara simulasi dan pengujian skala penuh didapat deviasi kesalahan sekitar 1,2%. Walaupun demikian, nilai tersebut relatif kecil, sehingga baik hasil simulasi maupun hasil pengujian skala penuh dapat dikatakan menunjukkan hasil yang signifikan. Deviasi kesalahan kemungkinan dapat berasal dari perbedaan properti material ST37 dan saat pengujian berupa pengukuran serta penempatan beban. Disamping itu kemungkinan disebabkan oleh ketidakseragaman (inhomogen) dimensi dan material serta proses pengelasan, pembubutan yang mengakibatkan terjadinya tegangan residu di sepanjang struktur gardan.

Berdasarkan deviasi kesalahan simulasi dengan hasil pengujian pada sambungan parabola, serta menggunakan cara interpolasi sederhana maka hasil perhitungan defleksi beberapa bentuk sambungan lainnya akan dapat diperkirakan pendekatan hasil pengujian skala penuhnya. Dari hasil perhitungan yang didapat maka perkiraan hasil pengujian akan berada pada kisaran 1,457 mm s/d 1,493 mm untuk gandar dengan sambungan bentuk segiempat dan pada kisaran 2,916 mm s/d 2,986 mm untuk bentuk segitiga.

Luluh (*yielding*) dalam teori distorsi terjadi ketika distorsi energi regangan per satuan volume telah melebihi distorsi energi regangan per satuan volume pada luluh tegangan sederhana. Tegangan sederhana ini didapat dari rata-rata tegangan yang dialami struktur pada ketiga sumbu kartesian-nya. Dengan menggunakan *DET*, maka perhitungan akan menjadi lebih akurat dikarenakan tetap memperhatikan seluruh tegangan normal yang terjadi pada permukaan struktur.

5. Kesimpulan

Gandar dengan sambungan bentuk segiempat memberikan kemampuan struktur yang paling baik di antara 2 bentuk lainnya. Selain itu, juga relatif lebih mudah untuk dalam pembuatan jika dibandingkan dengan bentuk sambungan parabola. Penggunaan pada roda belakang kendaraan ringan hibrida akan memberikan kemampuan dukung beban muatan yang lebih baik. Penelitian lebih lanjut akan terfokus pada pembebanan dinamis agar untuk dapat memiliki data lebih lengkap tentang karakteristik daya dukung kendaraan ringan dengan desain struktur gandar belakang yang optimal serta menjadikan gandar dengan sambungan bentuk segiempat sebagai pembanding utamanya.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dari *Hibah Start-Up Program ImHERE Dikti 2010*, terima kasih disampaikan kepada manajemen DTM dan DRPM UI demikian pula kepada *Dr. Ir. Elly Tjahyono DEA* atas dukungan fasilitas lab. Struktur DTS-UI.

Daftar Pustaka

- [1] Ashok Kumar N, C. Lakshamana Rao, Sivakumar M., *Large deflection of constant curvature beam under follower load*, Int. Journal of Mechanical Sciences, Vol.52, Issue 3, March 2010, p.440-445.
- [2] Budynas and Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 8th edition., McGrawHill Primis, (2006).

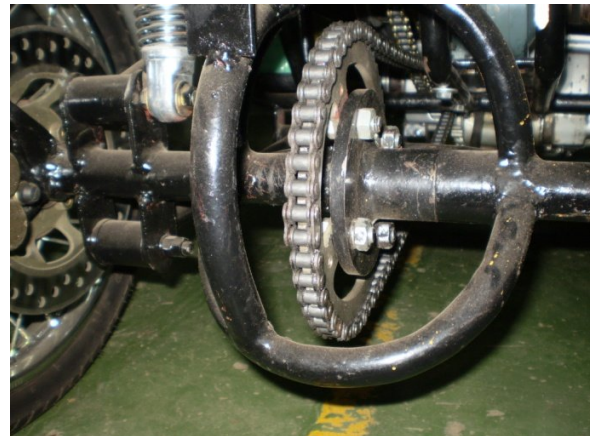
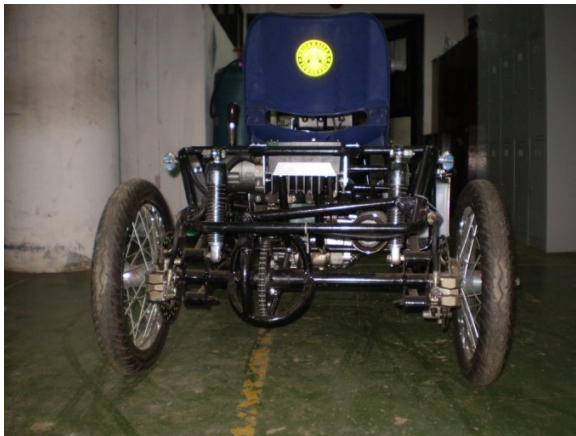


[3] Danardono, AS, M. Farhan, *Stress analysis on chassis structure of hybrid vehicle using finite element method*, The 9th International Conf. on Quality in Research (QIR), Proceeding Industrial, Manufacturing, Material Eng. and Man. 6-7 Sept (2006)

[4] M. Batista, F. Kosel, *Cantilever beam equilibrium configurations*, Int. Journal of Solid and Structures, Vol.42, issues 16-17, August 2005, p. 4663-4672.

[5] Sato, K., *Bending of an Elastically Restrained Elliptical Plate under the Combined Action of Lateral Load and In-Plane Force*. JMSE Int. Journal Series A, Vol. 49, No. 1. (2006), pp.130-137.

[6] Z. Celep, *On the lateral stability of a cantilever beam subjected to a non-conservative load*, Journal of Sound and Vibration, Vol.64, issue 2, May 1979, p.173-178.



Gambar 9. Desain gandar dengan sambungan berbentuk parabola terpasang pada roda belakang kendaraan ringan hibrida DTM-UI. Distribusi traksi menggunakan dua freewheel pada masing-masing roda sehingga tidak diperlukan lagi sistem gigi diferensial.



Gambar 10. Proses manufaktur dan pengesetan run-out pada desain gandar sambungan bentuk segiempat