

PERBAIKAN RANCANG BANGUN KOPLING-DOG PENGENDALI RODA TRAKTOR-TANGAN POLMAN BANDUNG

Haris Sayoko, Albertus B. Setiawan, Isa Setiasyah Toha

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email: isa_st@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Polman Bandung sudah melakukan rancang-bangun traktor-tangan berdasarkan rekayasa-balik (*reverse engineering*) untuk salah satu kelas traktor-tangan. Prototipe traktor-tangan yang dihasilkan menggunakan mesin penggerak disel satu silinder, daya 8 HP, putaran 2600 rpm; yang dilengkapi dengan kotak-transmisi yang memiliki kemampuan untuk mengendalikan roda kiri dan roda kanannya. Pengendali roda traktor ini menggunakan prinsip kopling-dog (*dog clutch*). Permasalahan yang terjadi pada prototipe traktor-tangan Polman Bandung adalah masih terjadinya hentakan yang kuat pada pengendalian rodanya. Keadaan ini menyebabkan traktor-tangan tersebut masih belum dapat dioperasikan. Penelitian tentang kopling-dog sebagian besar langsung difokuskan pada analisa jumlah roda-gigi dan kemiringan gigi. Penelitian yang lebih spesifik adalah penelitian yang memfokuskan pada proses penyatuan kopling-dog, yaitu memodelkan secara analitik pertemuan antara roda-gigi kopling-dog. Berdasarkan permasalahan yang masih dihadapi pada kopling-dog hasil rekayasa-balik, penelitian ini melakukan perbaikan rancang-bangun kopling-dog pengendali roda traktor-tangan. Perbaikan rancang-bangun kopling-dog ini melalui pengembangan model gaya-impak kopling-dog.

Dengan melakukan perbaikan rancang-bangun pada variabel yang mempengaruhi hentakan pada kopling-dog, yaitu menambah gigi kopling-dog dari dua menjadi empat, hasil rancang-bangun ini menunjukkan bahwa hentakan yang terjadi secara signifikan menurun, yaitu sebesar 29,30 %, dan relatif aman untuk dioperasikan.

Kata kunci: *kopling-dog, pengendali-roda, traktor-tangan.*

1. Pendahuluan

POLMAN Bandung telah diberi kesempatan untuk berkontribusi dalam melaksanakan kebijakan pemerintah pada program Master Plan Percepatan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025 pada bidang Industri Alat Angkut. Program ini berupa Program Pengembangan Pendidikan Politeknik Negeri (*Polytechnic Education Development Program*) 2012-2016, dimana Polman Bandung memfokuskan pada pengembangan teknologi transmisi daya kendaraan untuk keperluan di pedesaan dan perkebunan/pertanian/lapangan.

Salah satu kegiatan yang sudah dilaksanakan untuk mengisi program ini adalah melakukan rancang-bangun traktor-tangan berdasarkan rekayasa-balik (*reverse engineering*) terhadap salah satu kelas traktor-tangan. Prototipe traktor-tangan yang dihasilkan menggunakan mesin penggerak disel satu silinder, daya 8 HP, putaran 2600 rpm; yang dilengkapi dengan kotak-transmisi yang memiliki kemampuan untuk mengendalikan roda kiri

dan roda kanannya. Pengendali roda traktor ini menggunakan kopling-dog (*dog clutch*).

Kopling-dog digunakan oleh karena kesederhanaannya dan juga oleh karena tidak ada daya yang hilang karena gesekan. Sampai dengan saat ini, prinsip kopling-dog masih digunakan pada sistem transmisi untuk penggerak empat roda (*four wheel drive*) [1], [4], [6], serta pada sistem transmisi otomatis [3], [5].

Permasalahan yang terjadi pada prototipe traktor-tangan Polman Bandung adalah masih terjadinya hentakan yang kuat pada pengendali roda yang menggunakan kopling-dog tersebut. Keadaan ini menyebabkan traktor-tangan tersebut masih belum dapat dioperasikan.

Penelitian tentang kopling-dog pada [1], [4], dan [6] memfokuskan pada analisa jumlah gigi dan kemiringan gigi, untuk menghadapi perbedaan kecepatan putar kedua gigi kopling-dog. Penelitian ini menggunakan simulasi elemen hingga (*Finite Element Simulation*). Perbedaan penelitian [4] adalah melibatkan parameter lain yang berupa elemen-elemen kendaraan lain, seperti poros, kotak transmisi,

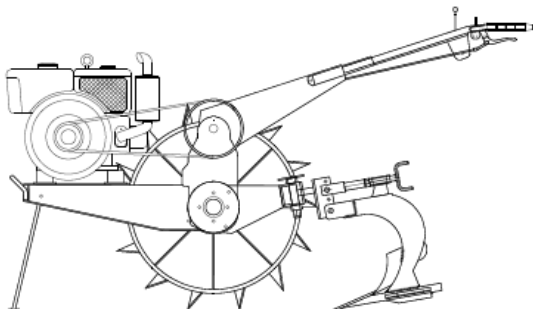
as, dan roda. Penelitian [6] mengusulkan dan menganalisis penggunaan roda-gigi dengan sudut nol derajat.

Penelitian [3] memfokuskan pada proses penyatuan kopling-dog. Penelitian ini memodelkan secara analitik pertemuan antara dua muka roda-gigi kopling-dog. Model analitik yang diperoleh adalah persamaan momen-impak yang dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan antar roda-gigi dan parameter gigi kopling. Penelitian [2] melakukan penelitian tentang mekanisme transmisi energi kinetik yang cepat. Penelitian ini melibatkan pemilihan berbagai alternatif kopling, dan kopling yang terpilih adalah kopling-dog.

Berdasarkan permasalahan yang masih dihadapi pada kopling-dog traktor-tangan hasil rekayasa-balik, dan hasil-hasil penelitian oleh para peneliti lain, penelitian ini melakukan perbaikan rancang-bangun kopling-dog sebagai pengendali roda traktor-tangan. Perbaikan rancang-bangun kopling-dog ini dilakukan agar hentakan yang terjadi pada traktor-tangan ini masih dalam batas-batas kenyamanan untuk pengoperasiannya.

2. Kopling-dog pengendali roda traktor-tangan Polman Bandung

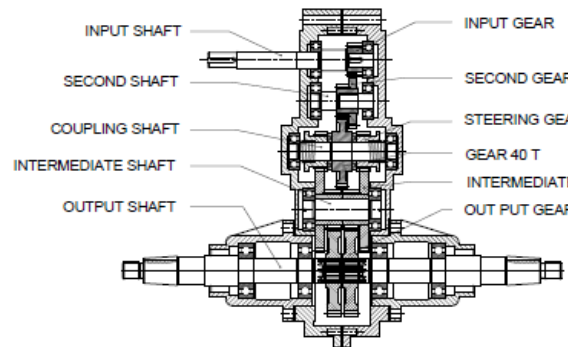
Traktor-tangan Polman Bandung diperlihatkan pada Gambar-1 berikut. Prototipe traktor-tangan ini menggunakan mesin penggerak disel satu silinder, daya 8 HP, putaran 2600 rpm.



Gambar-1. Traktor-tangan Polman Bandung.

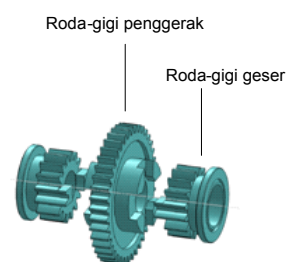
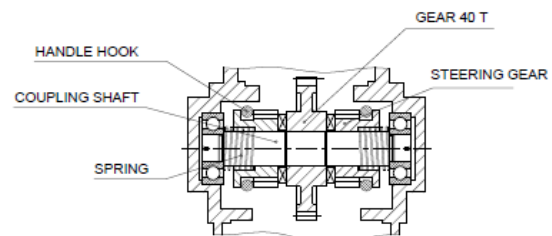
Traktor-tangan ini dilengkapi dengan kotak transmisi yang memiliki kemampuan untuk mengendalikan roda kiri dan rodanya. Pengendali roda traktor ini menggunakan kopling-dog (*dog clutch*). Kotak transmisi traktor-tangan Polman Bandung hasil rekayasa-

balik yang telah dihasilkan diperlihatkan pada Gambar-2 berikut.



Gambar-2. Kotak-transmisi traktor-tangan Polman Bandung.

Berdasarkan pada Gambar-2 di atas, terlihat bahwa gerakan roda traktor-tangan Polman Bandung melibatkan *Gear 40 T* sebagai input, dan dua buah *Steering Gear* sebagai output ke roda penggerak kiri dan kanan. Mekanisme pembelokkan dilakukan dengan melepas (*disengage*) salah satu *Steering Gear*, dengan prinsip kopling-dog. Untuk lebih jelasnya, kopling-dog pengendali diperlihatkan pada Gambar-3 berikut. Pada kopling-dog ini, *Gear 40 T* sebagai roda-gigi penggerak, dan *Steering Gear* sebagai roda-gigi geser.



Gambar-3. Kopling-dog pengendali gerakan roda.

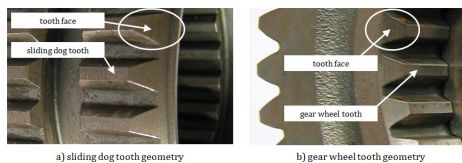
Banyaknya gigi kopling penggerak pada *Gear 40 T* adalah 4 (empat), sedangkan banyaknya gigi kopling geser pada *Steering Gear* adalah 2 (dua).

3. Pemodelan Kopling-dog

3.1. Model gaya-penyatuan, torsi-getar, dan gaya-impak

Kopling-dog (*dog clutch*) adalah perangkat kopling pengunci sederhana terdiri dari dua elemen, yang digunakan untuk mengunci elemen penggerak yang berupa roda-gigi pada porosnya. Kedua elemen tersebut berupa geometri dalam bentuk roda-gigi dan slot. Elemen penghubung pertama disebut sebagai roda-gigi geser (*sliding dog*) yang akan terkunci ke roda-gigi penggerak (*gear wheel*), tetapi dapat dipindahkan secara aksial melalui pergeseran garpu/lengan yang digunakan. Elemen kedua umumnya berupa roda-gigi penggerak yang terikat pada porosnya. Penguncian diwujudkan melalui roda-gigi geser bergerak pada posisi aksial menuju roda-gigi penggerak poros.

Slot antara roda-gigi dipotong di dalam atau di luar permukaan silinder yang sejajar dengan sumbu pusat kopling atau pada permukaan dalam arah radial tegak lurus sumbu pusat. Namun, penempatan slot tidak memainkan peran penting pada karakteristik kopling, yang penting adalah geometri permukaan roda-gigi. Dari aspek itu, kopling-dog dapat dibagi menjadi dua tipe dasar: kopling-dog standar dan kopling-dog datar [3].

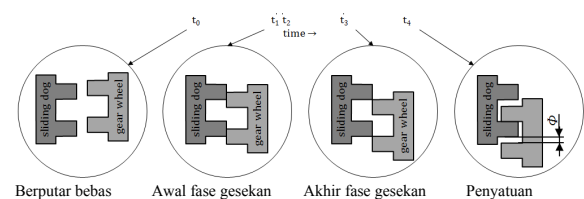


Gambar-4. Kopling-dog standar [3].

Ujung dari roda-gigi kopling-dog standar memanfaatkan sudut (*nose angle*) pada kedua elemen roda-gigi. Roda-gigi kopling-dog datar memiliki area permukaan datar di daerah permukaan roda-gigi geser dan roda-gigi penggerak, yang memungkinkan untuk bergesekan satu sama lain. Geometri dari kopling-dog diperlihatkan pada Gambar-4. Pada gambar tersebut diperlihatkan kopling-dog standar dengan slot sejajar dengan sumbu pusat, dan sebagai fitur khusus, terdapat tepi miring pada daerah permukaan, yang membentuk potongan-potongan kecil dari permukaan kerucut yang sama.

Karena tidak ada fitur antara, penguncian kopling dog dapat terjadi pada setiap

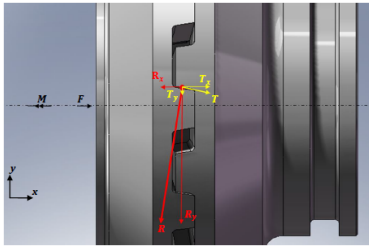
perbedaan kecepatan antara roda-gigi penggerak dan roda-gigi geser, yang disebut sebagai beda-kecepatan (*mismatch speed*) [3]. Tahapan proses penyatuan kopling-dog datar ditunjukkan pada Gambar-5. Peran roda-gigi geser dimulai pada saat t_0 ketika terdapat perbedaan kecepatan sebesar $\Delta\omega_0$. Kopling-dog belum mentransmisikan torsi, dan fase penyatuan ini disebut gerak-bebas (*free fly*), yang berlangsung sampai roda-gigi geser mencapai roda-gigi penggerak pada saat t_1 . Karena adanya gesekan, maka pada saat itu akan terjadi perubahan pada beda-kecepatan menjadi $\Delta\omega_1$. Permukaan roda-gigi yang pertama kali bersentuhan akan menyebabkan terjadinya gaya-impak. Gaya-normal antara roda-gigi geser dan roda-gigi penggerak, dan putaran relatif di antaranya menghasilkan torsi-gesekan-permukaan yang melawan putaran relatif. Puncak gaya-normal menghasilkan puncak torsi-gesekan-permukaan, sehingga beda-kecepatan tereduksi menjadi $\Delta\omega_2$, dimana rentang waktu terjadinya impak $t_2 - t_1 \approx 0$. Setelah terjadi gaya-impak dan gesekan pada kedua permukaan roda-gigi tersebut, maka roda-gigi berada pada slotnya pada saat t_3 . Fase ini disebut fase gesekan, dan torsi gesekan permukaan masih bekerja melawan putaran relatif yang akan mengurangi beda-kecepatan ke $\Delta\omega_3$. Oleh karena roda-gigi-geser sekarang bebas untuk memasuki slot pada roda-gigi-penggerak, maka terjadi penyatuan antara roda-gigi geser dan roda-gigi penggerak, dan beda-kecepatan dengan cepat berkurang menuju ke nol, yang mengakibatkan terjadinya peredaman torsi-getar (*torsional vibrations*) yang berlangsung beberapa siklus.



Gambar-5. Proses penguncian kopling-dog-standar [3].

Penelitian kopling-dog pada [1] dan [6] menggunakan simulasi elemen hingga. Hasilnya memperlihatkan bahwa penyatuan kopling-dog untuk beda-kecepatan yang lebih besar, dipengaruhi oleh: sudut pinggul (*chamfer*), jarak pinggul, kelonggaran antar gigi, dan gaya aksial. Secara teoritik, solusinya adalah menggunakan gigi tegak (kemiringan

gigi nol) dan tanpa pinggul. Namun hal ini akan menyebabkan konsentrasi tegangan pada ujung-ujung gigi kopling-dog, yang dapat merusak gigi kopling-dog. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa sudut gigi kopling-dog akan menyebabkan sulitnya melakukan penyatuan (lihat Gambar-6) oleh karena adanya gaya reaksi yang berlawanan dengan arah penyatuan.



Gambar-6. Gaya-gaya pada saat proses penyatuan [1].

Penyatuan akan terjadi apabila [1]:

$$R_x \square \frac{F}{z} \square T_x \quad (1)$$

dimana:

R_x adalah gaya reaksi pada arah x.

F adalah gaya aksial penyatuan.

T_x adalah gaya gesek pada arah x.

z adalah banyaknya gigi pada kopling-dog.

Dalam hal ini, jika masa-inersia roda-gigi rendah, maka gaya reaksi akan rendah. Hal lainnya adalah kelonggaran antar gigi kopling-dog. Semakin besar kelonggarannya, maka akan semakin besar tegangan impaknya, yang berarti akan memperbesar hentakan yang terjadi.

Penelitian [3] menyatakan bahwa nilai terbesar torsi-getar dapat diperkirakan berdasarkan konservasi dari jumlah energi kinetik dan energi regangan (*strain*), dan dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{\max} \square |\square \square| \cdot \sqrt{\frac{k \cdot J_1 \cdot J_2}{J_1 \square J_2}} \quad (2)$$

dimana:

$\square \square$ adalah perbedaan kecepatan roda-gigi penggerak dan roda-gigi geser.

k adalah kekakuan torsi kopling-dog.

J_1 adalah inersia roda-gigi penggerak.

J_2 adalah inersia roda-gigi geser.

Berdasarkan persamaan (2), nilai terbesar torsi-getar sebanding dengan beda-kecepatan pada saat penyatuan. Penguncian yang tidak terkontrol atau kesalahan penguncian pada beda-kecepatan yang sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada gigi kopling-dog. Beda-kecepatan pada proses penguncian tidak hanya menentukan beban mekanik dari kopling-dog, tetapi juga kerasnya hentakan yang dialami oleh pengemudi dan kendaraan. Setelah terjadi penguncian, gerakan relatif dari elemen penguncian dibatasi oleh besarnya celah ϕ . Oleh karena celah tersebut harus ada, gigi dari kopling-dog pada roda-gigi geser dapat memasuki slot kopling-dog pada roda-gigi penggerak dengan segera, dalam hal ini impak pada permukaan dan fase gesekan dilewati.

Berdasarkan persamaan (2), untuk rancangan kotak-transmisi (*gear box*) tertentu, penurunan torsi-getar dan penyatuan yang halus hanya dapat dilakukan dengan menurunkan beda-kecepatan. Terdapat tiga kasus dalam proses penyatuan kopling dog [3]: penyatuan mulus, penyatuan dengan kontak permukaan yang lama, dan proses penyatuan gagal yang berakhir dengan kontak pada permukaan gigi kopling-dog yang permanen. Pada tiga keadaan tersebut tidak ada perbedaan pada beda-kecepatan awalnya, variasi yang terjadi hanya pada gerakan aksial roda-gigi geser. Penelitian [3] membangun model untuk menyelidiki kontak pada permukaan gigi kopling-dog agar dapat mengurangi sifat ketidakpastian pada proses penyatuannya. Berdasarkan pada model dasar seperti yang dinyatakan pada persamaan (2), model yang dihasilkan adalah:

$$T_{\max} \square \sqrt{2 \cdot k \cdot \left(\frac{2 \cdot \square}{z} \square \square_b \right) \cdot \frac{\square \cdot r \cdot F_{act}}{\sin \square}} \quad (3)$$

dimana:

T_{\max} adalah nilai terbesar torsi-getar.

k adalah kekakuan torsi kopling-dog.

z adalah banyaknya gigi kopling-dog.

\square_b adalah sudut-kelonggaran (*backlash angle*).

\square adalah gaya gesek tangensial.

r adalah radius rata-rata daerah kontak.

F_{act} adalah gaya aksial pada roda-gigi

α adalah sudut kemiringan permukaan gigi kopling-dog.

Persamaan (3) sudah tidak mengandung lagi parameter inersia. Persamaan ini hanya mengandung parameter kopling-dog dan gaya aktuasi.

Penelitian [2] memodelkan gaya impact pada kopling-dog menggunakan metode energi-impact. Energi yang dimiliki oleh objek penabrak (roda-gigi penggerak) akan diredam secara elastis oleh objek yang ditabraknya (roda-gigi geser) pada defleksi terbesarnya. Dengan asumsi tidak terjadi deformasi, obyek yang menabrak adalah kaku, dan masanya relatif lebih kecil dari masa yang ditabrak, diperoleh gaya-impact sebagai berikut:

$$F_i \approx v \cdot \sqrt{\alpha \cdot m \cdot k}$$

(4)

dimana:

v adalah kecepatan roda-gigi penggerak kopling-dog.

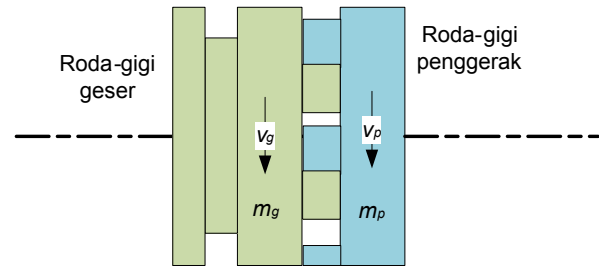
m adalah masa roda-gigi penggerak kopling-dog.

k adalah konstanta-pegas roda-gigi geser kopling-dog.

α adalah faktor hilangnya energi.

3.2. Model gaya-impact kopling-dog gigi-tegak

Untuk kopling-dog gigi-tegak (kemiringan gigi nol derajat), juga akan terjadi tahap gesekan dan tahap penyatuan. Pada tahap gesekan, seperti yang dinyatakan pada [1], kopling-dog tegak tidak ada masalah. Pada tahap penyatuan, gigi dari kopling-dog roda-gigi penggerak akan membentur gigi kopling-dog roda-gigi geser, yang kemudian akan terjadi penyatuan dari kedua gigi tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar-7.



Gambar-7. Tahap penyatuan roda-gigi kopling-dog.

Jika roda-gigi penggerak kopling-dog yang memiliki masa m_p dan berputar dengan kecepatan v_p membentur roda-gigi geser kopling-dog yang memiliki masa m_g dan berputar dengan kecepatan v_g , maka energi-impact yang dihasilkan akan sebesar:

$$E_k \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{m_p \cdot m_g}{m_p + m_g} \cdot (v_p + v_g)^2 \quad (5)$$

Dengan menganalogikan tumbukan ini sebagai model pegas, maka terdapat hubungan antara energi-impact dan pergeseran gigi kopling-dog (diasumsikan tidak terjadi defleksi dan deformasi pada material), yaitu:

$$E_p \approx \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad (6)$$

dimana:

k adalah konstanta pegas dari material roda-gigi.

x adalah pergeseran gigi kopling-dog.

Energi-impact pada persamaan (5) sama dengan energi-impact pada persamaan (6), yaitu:

$$E_k \approx N \cdot E_p \approx \frac{1}{2} \cdot N \cdot k \cdot x^2 \quad (7)$$

dimana:

N adalah banyaknya gigi yang kontak pada kopling-dog.

Jarak pergeseran gigi akan sebesar:

$$x \approx \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{N \cdot k}} \quad (8)$$

Dengan demikian besarnya gaya-impak pada tahap penyatuan adalah:

$$F_i \approx kx \approx \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot E_k}{N}} \quad (9)$$

dimana:

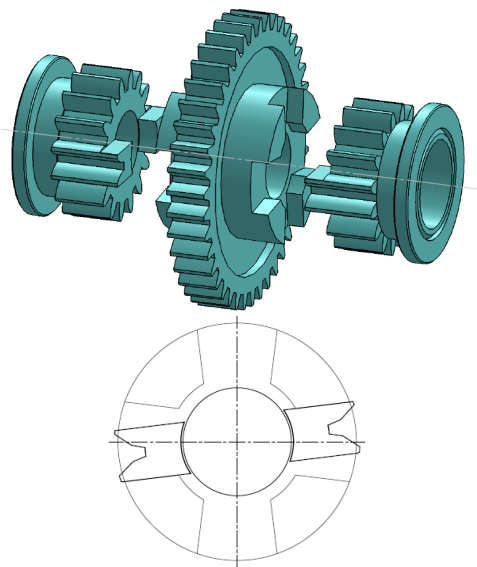
k adalah konstanta pegas dari material.

E_k adalah energi penyatuan kopling-dog.

N adalah banyaknya gigi kopling-dog yang kontak (menyatu) atau yang bertumbukkan.

4. Perbaikan rancang-bangun kopling-dog

Traktor-tangan Polman Bandung menggunakan mesin dengan daya 8 HP, putaran 2600 rpm. Daya dari mesin ditransmisikan ke poros input kotak transmisi menggunakan sabuk dengan diameter puli 1 : 2. Kopling-dog sebagai pengendali roda, berupa kopling-dog tegak (sudut gigi adalah nol derajat), dan berada pada kotak-transmisi. Perbandingan putaran antara mesin dan kopling-dog adalah 1 : 9,375, sehingga putaran roda-gigi penggerak sebesar 277,33 rpm. Roda-gigi penggerak menggunakan empat gigi dan roda-gigi-geser dengan dua gigi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar-8 berikut.



Gambar-8. Kopling-dog semula.

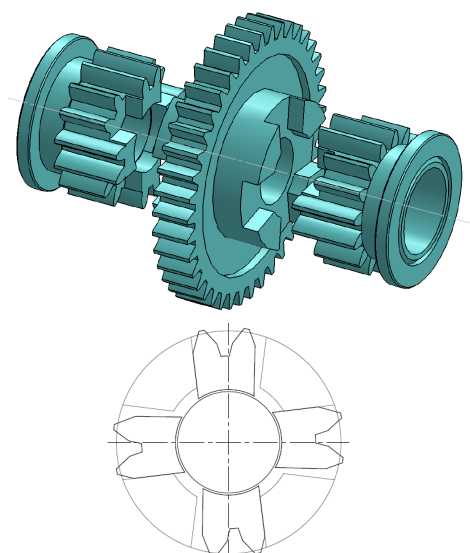
Permasalahan utama yang dihadapi oleh kopling-dog hasil rekayasa-balik adalah terjadinya gaya-impak yang relatif besar, yang menyebabkan traktor-tangan tersebut tidak aman untuk dioperasikan. Data dari kotak-transmisi traktor-tangan ini, adalah:

- Daya mesin 8 HP dan putaran 2600 rpm.

- Putaran roda-gigi penggerak 277,33 rpm, diameter roda-gigi penggerak 40 mm, sehingga kecepatan roda-gigi penggerak adalah 0,5810 m/detik.
- Untuk kondisi tidak bergerak (roda dalam keadaan diam), maka kecepatan roda-geser adalah nol.
- Masa roda-gigi penggerak adalah 886,678 gram, masa roda-gigi geser adalah 221,050 gram.
- Banyaknya gigi kopling-dog pada roda-gigi penggerak adalah 4, gigi kopling-dog pada roda-gigi geser adalah 2, maka banyaknya gigi yang mengalami penyatuan adalah 2 gigi.
- Konstanta pegas material yang digunakan adalah 32 kN/cm.

Berdasarkan data di atas, dan menggunakan persamaan (9), maka energi-impak pada tahap penyatuan akan sebesar 2,9860 kN.cm. Proses penyatuan ini menghasilkan gaya-impak sebesar 9,7750 kN. Gaya-impak sebesar ini ternyata masih menyebabkan traktor-tangan tidak aman untuk dioperasikan.

Mengacu pada persamaan (9), variabel yang memungkinkan untuk menurunkan gaya-impak tersebut adalah menurunkan energi-impaknya (dengan menurunkan masa dan/atau perbedaan kecepatannya) dan/atau menambah giginya. Dari hasil analisis terhadap kebutuhan daya, geometri dari kotak-transmisinya, dan kemudahan modifikasinya, maka perbaikan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menambah gigi dari kopling-dog. Oleh karena roda-gigi penggerak kopling-dog telah memiliki empat gigi, sedangkan roda-gigi geser kopling-dog hanya menggunakan dua gigi, maka perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini adalah menambah jumlah roda-gigi geser menjadi empat gigi. Dengan demikian keempat gigi kopling-dog pada roda-gigi penggerak dan roda-gigi geser seluruhnya aktif dalam tahap penyatuan. Rancangan kopling-dog menjadi seperti yang diperlihatkan pada Gambar-9 berikut.



Gambar-9. Kopling-dog hasil perbaikan.

Menggunakan data yang sama, maka dapat diperkirakan besarnya gaya-impak pada tahap penyatuan untuk kopling-dog hasil perbaikan (empat gigi) adalah sebesar 6,9120 kN.

Rancangan perbaikan tersebut kemudian direalisasi menjadi kopling-dog hasil perbaikan. Berdasarkan pada analisis terhadap kondisi semula dan hasil perbaikan rancang-bangun, maka perbandingan dari energi-impak dan gaya-impak kopling-dog seperti diperlihatkan pada Tabel-1 berikut.

Tabel-1. Perbandingan kopling-dog traktor-tangan Polman Bandung.

	Roda-gigi penggerak	Roda-gigi geser	Energi-impak	Gaya-impak	Pengoperasian di lapangan
Semula	4 gigi	2 gigi	2,9860 kN.cm	9,7750 kN	Hentakan yang kuat. Tidak aman untuk dioperasikan.
Hasil perbaikan	4 gigi	4 gigi	2,9860 kN.cm	6,9120 kN	Hentakan tidak terlalu kuat. Relatif aman untuk dioperasikan.

Hasil perbaikan rancang-bangun kopling-dog menurunkan gaya-impak sebesar 29,30 %, dan relatif aman untuk dioperasikan.

5. Kesimpulan

Rancang-bangun kopling-dog traktor-tangan Polman Bandung adalah kopling-dog tegak yang menggunakan roda-gigi penggerak empat gigi kopling dan roda-gigi geser dua gigi kopling. Rancang-bangun ini masih menghasilkan gaya-impak yang cukup besar, sehingga traktor-tangan tersebut tidak aman untuk dioperasikan.

Berdasarkan pada model impact kopling-dog tegak yang dikembangkan, faktor yang secara langsung akan mempengaruhi pada besarnya gaya-impak adalah: masa roda-gigi, kecepatan roda-gigi, dan banyaknya gigi. Dengan

mempertimbangkan kebutuhan daya, geometri dari kotak-transmisinya, dan kemudahan perubahannya, perbaikan yang dilakukan adalah dengan menambah gigi pada roda-gigi kopling-dog. Hasil rancang-bangun ini secara signifikan telah menurunkan gaya-impak dari traktor-tangan sehingga relatif aman untuk dioperasikan.

Hal-hal yang masih memerlukan penelitian lanjut adalah: pengukuran langsung besarnya gaya-impak yang akan dirasakan oleh operator, mendapatkan standar gaya-impak minimum yang masih boleh dirasakan oleh operator, serta melakukan penelitian rancang-bangun jenis roda-gigi yang paling baik untuk kopling-dog traktor-tangan.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada TESDC Polman Bandung, khususnya Sdr. Maman Suherman dan Sdr. Ari Permana atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

Daftar Pustaka

- [1] Andersson, M. & Goetz, K., 2010, FE analysis of a dog clutch for trucks with all-wheel-drive, *Master Thesis*, School of Engineering, Linnaeus University.
- [2] Benson, B., 2011, Design and analysis of a rapid kinetic energy transmission mechanism, *Master Thesis*, Worcester Polytechnic Institute.
- [3] Boka, G., Márialigeti, J., Lovas, L., Trencsényi, B., 2010, Face dog clutch engagement at low mismatch speed, *Periodica Polytechnica, Transportation Engineering*, 38/1, pp. 29–35.
- [4] Mehari, A., Eriksson, F. & Joseph, L.K., 2013, Parametric study of a dog clutch used in a transfer case for trucks, *Master Thesis*, School of Engineering, Linnaeus University.
- [5] Stelzeneder, F.X. & Aitzetmüller, H., 2000; A new drive-train management, *Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress*, June 12-15, Seoul, Korea.
- [6] Nyagolov, D.N., Abbas, B. & Genovski, F.P., 2010, Simulation of the geometry influence on curvic coupled engagement, *Master Thesis*, School of Engineering, Linnaeus University.