

REKAYASA ULANG DONGKRAK REL KERETA API KAPASITAS 10 TON

RE-ENGINEERING OF RAIL JACK CAPACITY 10 TON

Surasno, Budi Tjahjohartoto

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang No.14 Bandung 40135
Email: surasno2005@yahoo.co.id

Diterima: 4 November 2014

Diperbaiki: 26 November 2014

Disetujui: 22 Desember 2014

ABSTRAK

Dongkrak rel mekanik dengan daya angkat 10 ton dan tinggi unkit 5–10 cm yang digunakan oleh PT. KAI *life time*-nya relatif pendek dan cepat rusak. Dari *failure analysis* yang telah dilakukan terhadap dongkrak yang rusak, menunjukkan bahwa rusak atau tidak berfungsinya dongkrak rel disebabkan oleh patah (gompal) pada rack gear pengangkat yang diawali korosi pada rangka bagian dalam, *bushing*, *rack gear* pengangkat, poros *pinion*, dan *spline* utama. Komponen ini menipis, bidang kontak gigi menjadi longgar dan menerima beban dinamik siklik sehingga terjadilah patah. Untuk meningkatkan kualitas dongkrak rel telah dilakukan rekayasa ulang dengan mengganti spesifikasi bahan komponen terutama yang mempunyai bidang kontak seperti rack gear pengangkat, roda gigi, poros *pinion*, *spline* utama, *bushing* dan tumpuan. Bahan logam baja untuk komponen dongkrak rel dipilih dari baja perkakas AISI 4043 (DIN 1.6511-34NiCrMo6), DIN 1.2510 (100MnCrW4) dan baja karbon umum (St. 37 dan St. 42) dengan *heat treatment* yang tepat. Selanjutnya dilakukan modifikasi desain sudut *rack gear* pengangkat dari 5 derajat menjadi 20 derajat. Hasil uji tekan beban 5 dan 10 ton menunjukkan hasil yang baik, tidak terjadi perubahan bentuk dan memenuhi persyaratan teknis PT. KAI.

Kata kunci: dongkrak rel, analisis kegagalan, rekayasa ulang, sudut *rack gear*, *heat treatment*

ABSTRACT

Mechanical rail jack with capacity of 10 tons and high leverage of 50-10 cm which is used by PT. KAI have a relatively short lifetime and easily damaged. On the damage rail jack or that does not function has been done failure analysis, which showed that the rails jack damaged or malfunction caused by a broken (chipped) on the lifting rack gear that corrosion initiated at inside parts of the frame, bushing, rack gear lifter, pinion shaft, and the main spline. This component becomes thin, the contact area on the teeth become loose and receive dynamic cyclic load then fracture occurs. To improve the quality of rail jack, reengineering was done by replacing the metal specifications of components, especially components that have contact areas such as lifting rack gear, gear, pinion shaft, the main spline, bushing and pedestal. Steel metal metals for the components of the rail jack were selected from tool steel AISI 4043 (DIN 1.6511-34NiCrMo6), DIN 1.2510 (100MnCrW4) and common carbon steel (St. 37 and St. 42) with appropriate heat treatment. Furthermore, modification was made on lifting angle of gear-rack from 5 degree to 20 degree. The pressure test on 5 and 10 ton loads show good results, no changes in shape and meet the technical requirements of the PT. KAI.

Keywords: rail jack, failure analysis, re-engineering, angle of rack gear, heat treatment

PENDAHULUAN

Pada saat ini kebutuhan masyarakat terhadap sarana transportasi sangat tinggi. Kereta api sebagai salah satu alternatif sarana transportasi, memiliki keunggulan kompetitif jika dibandingkan dengan jenis kendaraan transportasi yang lain, khususnya angkutan darat untuk jarak sedang dan jarak jauh. Untuk sekali

beroperasi, kereta api dapat mengangkut ratusan penumpang ataupun puluhan ton barang dengan biaya relatif murah.

Untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan masyarakat akan sarana transportasi masal, pemerintah mendorong PT. KAI (PT. Kereta Api Indonesia) agar meningkatkan

pelayanan, frekuensi perjalanan, dan membangun trek ganda (double track). Rel kereta api yang dimiliki oleh PT.KAI panjangnya ribuan kilometer (sekitar 6000 km) terbentang di antara kota-kota di pulau Jawa dan sebagian pulau Sumatera. Rel kereta api yang setiap satuannya mempunyai panjang 33-39 *feet* atau sekitar 10-12 m, ketika disambung-sambung dengan cara pengelasan (continuous welded rail) dapat mencapai 1 km pada trek lurus sehingga pada waktu perbaikan dan perawatan, rel kereta api memerlukan suatu alat bantu yang disebut dongkrak rel.

Dongkrak rel kereta api adalah suatu konstruksi peralatan yang berfungsi untuk mengangkat atau mengungkit rel ketika melesak turun. Alat ini harus mampu mengangkat hingga beban 10 ton. Ketika dongkrak rel dilepas dari dudukan rel walaupun dengan cara dipukul tidak boleh mengalami deformasi atau perubahan bentuk yang dapat menyebabkan tidak berfungsinya peralatan ini. Alat ini harus mudah dipakai oleh teknisi, sehingga desainnya harus sederhana dan ringan, harus kuat terhadap beban dinamik tidak boleh terjadi patah, retak dan longgar pada dudukan poros. Terutama di bagian-bagian kritis harus mampu menahan beban dinamik. Dongkrak rel yang banyak dipakai untuk sarana pemeliharaan rel jalan lintasan kereta api adalah jenis dongkrak (jack) unkit mekanik, umumnya di lapangan dikatakan sebagai dongkrak kodok karena menyerupai kodok. Kekuatan dongkrak ini mampu mengangkat beban seberat 10 ton.

Selama ini masih ada kendala yang dihadapi oleh PT. KAI dalam penggunaan dongkrak rel yaitu umur pakainya pendek dan beban di bawah 10 ton. Banyak kerusakan pada *rack gear*, gigi pinion korosi, aus dan pecah (gompal). Selain *life time* (umur pakai) pendek, cara penggunaan oleh teknisi yang kurang tepat dapat menyebabkan cepat rusak. Seperti ketika kondisi darurat melepas dongkrak rel kadang-kadang dilakukan secara paksa dengan pukulan, karena alasan kereta api akan segera melewati jalur tersebut. *Life time* dongkrak rel pada umumnya 1 s/d 3 tahun atau bahkan lebih pendek tergantung pada frekuensi pemakaian dongkrak di lintasan padat atau rendah. Asal produk merek luar negeri berbahasa mandarin buatan China. Dongkrak ini digunakan oleh PT. KAI Divisi Regional II Sumatera Barat di Padang. Kebutuhan dongkrak di Divisi regional II Padang rata-rata 43 buah dalam satu tahun. Dongkrak

jenis ini disukai oleh operator karena praktis dan ringan. Pemakaian dongkrak ini sangat sering yaitu hampir setiap hari dengan lima hari dalam seminggu.

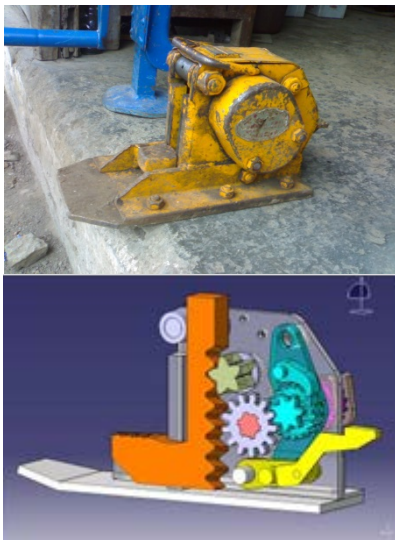
Diprediksi hingga 10 tahun ke depan pemeliharaan sarana jalan kereta api masih menggunakan dongkrak rel karena merupakan pekerjaan padat karya di Indonesia. Faktor pendukung keberhasilan adalah kekuatan industri kecil yang mampu meningkatkan penguasaan teknologi pengolahan metal baja. Walaupun saat ini peluang pasar dongkrak rel sebatas perkeretaapian akan tetapi kecenderungan akan meningkat signifikan karena pertumbuhan transportasi penggunaan kereta api di Indonesia semakin meningkat.

Dari hasil penelitian analisis kegagalan pada dongkrak yang rusak dan tidak berfungsi menunjukkan bahwa dongkrak rel patah (gompal) pada rack gear pengangkat yang diawali korosi pada rangka bagian dalam, *bushing*, rack gear pengangkat, poros *pinion*, dan *spline* utama. Proses korosi dan kehausan pada komponen ini akan menipis, bidang kontak gigi menjadi longgar dan ketika menerima beban dinamik siklik sehingga terjadi patah. Dari penelitian analisis kegagalan perlu dilakukan perubahan spesifikasi bahan komponen terutama komponen yang mempunyai bidang kontak diganti dengan spesifikasi bahan yang lebih baik.

Perekayasa ini dilakukan atas dasar dari hasil analisis kegagalan, selanjutnya melakukan *re-engineering* dongkrak rel kereta api. Tujuannya adalah untuk menghasilkan dongkrak rel yang memenuhi spesifikasi desain teknis sederhana yang unggul dan mudah dikerjakan melalui pemilihan bahan yang lebih baik, optimalisasi desain manufaktur serta proses perlakuan panas. Alasan lain adalah berdasarkan prediksi bahwa penambahan sarana dan prasarana moda angkutan kereta api di-proyeksikan dari tahun ke tahun akan meningkat, hal ini berpengaruh pada kebutuhan dongkrak rel di PT. KAI dan merupakan peluang bagi industri kecil. Juga keterkaitan program Kementerian Perindustrian untuk pengembangan riset terapan pada penelitian dan perekayasa teknologi untuk industri kecil dalam meningkatkan pengetahuan bahan-bahan logam, desain, proses pembuatan dan perlakuan panas pada logam baja perkakas.

BAHAN DAN METODE

Bahan komponen dongkrak mekanik dibuat dari baja konstruksi umum *general carbon steel* St.37 dan St.42 untuk bagian kerangkanya. Bagian utama yang menahan beban berat akan dibuat dari bahan baja perkakas DIN 1.2510, sedangkan untuk poros, pinion dan roda gigi dari bahan DIN 1.6511. Jumlah komponen dongkrak ada 54 buah. Bagian utama yakni lidah *gear rack* berfungsi langsung untuk mengangkat rel beban maksimum 10 ton (Gambar 1). Pengangkatan beban menggunakan sistem gerakan perputaran roda-roda gigi dengan cara bertahap dan paling ujung gerakan lengan dongkrak dengan beban ringan 1 s/d 2 kg.



Gambar 1. Dongkrak Rel Kereta Api

Metal DIN 1.2510 adalah metal *cold work tool steel* atau baja perkakas dan memiliki komposisi kimia (dalam persen): 0,85 C; 0,25 Si; 1,10 Mn; 0,55 Cr; 0,10 V dan 0,55 W. Baja perkakas ini biasanya digunakan untuk perkakas-perkakas potong (*dies* dan *punch*), perkakas *blanking* dan *punching*, Perkakas untuk pembuatan ulir, perkakas untuk perkayuan, mesin-mesin potong kayu, kertas dan industri pengerjaan logam, alat-alat ukur, dan *moulds* plastik. Kekerasan yang dapat diperoleh untuk baja perkakas dari metal DIN 1.2510 ini adalah 63–65 HRC.

Metal DIN 1.6511 adalah metal yang dibuat oleh *Bohler* yang merupakan *machinery steels* atau baja permesinan. Kekerasan yang dapat diperoleh untuk baja permesinan dari metal DIN 1.6511 ini adalah 54–57 HRC. Bahan ini

biasanya digunakan untuk komponen yang mengalami tekanan yang sangat tinggi dengan beban berat seperti pesawat terbang, otomotif dan rekayasa mekanik seperti: poros-poros *propeller* (*propeller shafts*), poros-poros penghubung (*connecting rods*), poros-poros roda gigi (*gear shafts*), *crankshafts*, dan komponen-komponen *landing gear*, *heavy forging*: seperti *rotors*, *shafts* dan *discs*.

Cara kerja pemakaian dongkrak rel di lapangan adalah dengan menempatkan lidah *rack gear* pengangkat tepat di bawah rel pada empat posisi, 2 buah sebelah kiri dan 2 buah sebelah kanan pada jalur rel yang sama (Gambar 3). Masing-masing diberi jarak sekitar 4 balok landasan. Rack gear pengangkat dongkrak dinaikkan menggunakan tangkai lengan tuas operator secara bersamaan oleh 4 operator sampai ketinggian lidah *rack gear* pengangkat mencapai tinggi tertentu biasanya 2 s/d 5 cm. Permukaan rel harus sejajar dan diukur menggunakan *waterpass*. Kekosongan bagian dudukan rel diisi *balast* yang dimasukkan ke celah bawah bantalan hingga padat. Gigi ungkit dilepas sehingga *rack gear* pengangkat dongkrak turun dari dudukan relnya dan dongkrak mudah dilepas.



Gambar 2. Pemakaian Dongkrak Rel

Metode rekayasa ulang (*re-engineering*) yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan yang berhubungan dengan rancangan kesesuaian antara kekuatan struktur, komponen dan faktor keamanan. Selanjutnya dilakukan proses manufaktur, yaitu pemilihan bahan atau kesesuaian bahan yang digunakan, proses pembuatan, *heat treatment*, pengelasan, pemasangan atau perakitan dan pengujian di laboratorium. Yang

dimaksud dengan rekayasa ulang dalam tulisan ini adalah melakukan evaluasi *existing* dongkrak atau rekayasa baru (pemilihan metal baru & modifikasi sudut *rack gear* pengangkat), dan dilaksanakan dengan cara:

1. Mempelajari *existing* dongkrak mulai dari mengurai komponen, mengukur dimensi dan menggambar ulang berdasarkan dimensi dan geometri setiap komponen.
2. Mempelajari cara kerja komponen dengan cara menyusun ulang seluruh komponen sampai menjadi utuh kembali, menjadi sebuah produk dongkrak dalam bentuk gambar tiga dimensi.
3. Menghitung ulang tegangan-tegangan yang bekerja pada komponen dengan cara perhitungan terbalik berdasarkan gaya luar sebagai beban awal ditentukan dari beban yang ditetapkan 10 ton yang ditanggung oleh komponen yang berhubungan langsung.
4. Memilih dan menentukan bahan baja perkakas berdasarkan hasil perhitungan gaya, tegangan yang bekerja di komponen. Perhitungan kekuatan berdasarkan pada komponen utama *rack gear* pengangkat karena menanggung beban yang paling berat.
5. Proses manufaktur (pemesinan, pengelasan, *heat treatment* dan perakitan).
6. Modifikasi komponen yang menurut hitungan tidak cukup kuat untuk menahan beban/tegangan kerja. Modifikasi sudut *rack gear* pengangkat dari 5 derajat menjadi 20 derajat.

Perhitungan ulang hanya dilakukan pada komponen kritis oleh beban pada *rack gear* pengangkat. Sedangkan untuk komponen tidak kritis: pinion, roda gigi, tuas pengunci dinding rangka, landasan, tuas pengungkit, pedal dan pegas-pegas tidak dilakukan perhitungan ulang karena dinilai kekuatannya sudah memadai.

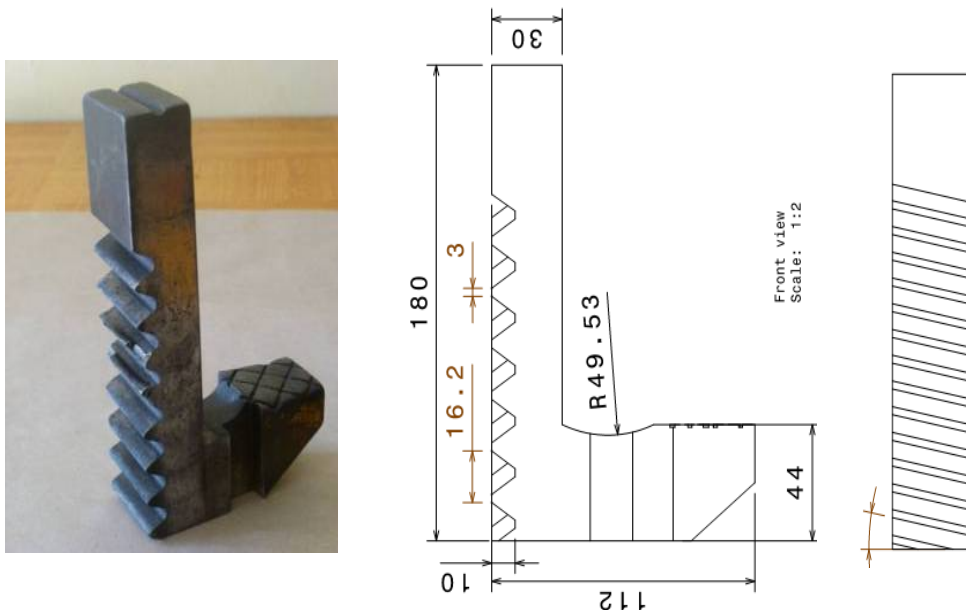
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kekuatan *Rack Gear* Pengangkat

Beban luar akibat beban rel ditetapkan sebesar 10 ton atau 10.000 kgf. Beban luar tersebut diterima oleh permukaan atas *rack gear* pengangkat atau tuas pengangkat dan diteruskan ke *rack gear* pengangkat. Dimensi dan geometri *rack gear* pengangkat adalah: lebar $w=41\text{mm}$, tinggi $h=10\text{mm}$, sudut kemiringan $\alpha=5^\circ$ dan tinggi kontak antar gigi $h_1=7\text{mm}$. Perhitungan kekuatan *rack gear* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang kontak} &= (30/\sin 85^\circ) \times 7 = 211 \text{ mm}^2 \\ \text{Gaya kontak (F)} &= 10.000 \text{ kgf} \\ \text{Tegangan kontak} &= 10.000 \text{ kgf}/211 \text{ mm}^2 \\ &= 47,39 \text{ kgf/mm}^2 \\ \text{Faktor keamanan} &= 1,5 \\ \text{Kekuatan bahan} &= 47,39 \times 1,5 = 71,09 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi bahan yang digunakan untuk *rack gear* pengangkat dongkrak minimum harus mempunyai kekuatan, $\sigma = 71,09 \text{ kg/mm}^2$.



Gambar 3. *Rack Gear*

Tabel 1. Karakteristik Bahan Komponen

Kondisi Operasi	Karakteristik Bahan
Mampu menahan beban hingga 10.000 kgf	Minimum kekuatan, $\sigma = 71,09 \text{ kgf/mm}^2$
Tahanan gesekan antara gigi dengan pinion	Permukaan <i>rack gear</i> harus keras
Tahanan gesek antara <i>rack</i> dengan <i>liner</i>	Permukaan <i>body rack</i> harus halus
Kebutuhan produk dalam jumlah banyak	Relatif murah dan tersedia di dalam negeri

Pemilihan bahan *rack gear* dilakukan berdasarkan pada kondisi operasi dongkrak dan persyaratan karakteristik bahan yang digunakan untuk dongkrak. Kondisi operasi dan karakteristik untuk pemilihan bahan *rack gear* berdasarkan pertimbangan sebagaimana pada Tabel 1. Bahan *rack gear* yang memenuhi syarat diantaranya adalah bahan sekelas AISI-4340, dalam hal ini dipilih bahan dari DIN 1.2510.

Perhitungan ulang untuk menentukan kekuatan *rack gear* dilakukan pada sudut 5, 10, 15 dan 20 derajat menggunakan cara perhitungan seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Keempat desain dengan sudut *rack gear* tersebut menunjukkan bahwa kekuatan bahan lebih kecil dari nilai *tensile strength* bahan amotit (138 kgf/mm^2) sehingga desain konstruksi dengan sudut tersebut bisa dikatakan baik. Setelah dibandingkan dari keempat pemilihan sudut *rack gear* tersebut, maka yang paling baik adalah sudut *rack gear* 20°. *Rack gear* ini menerima beban paling rendah $67,144 \text{ kg/mm}^2$.

Tabel 2 Pemilihan Sudut *Rack Gear*

Sudut (derajat)	Kekuatan minimum, σ , kgf/mm^2
5	71,09
10	70,35
15	69,00
20	67,144

Pembuatan Komponen Dongkrak Rel

Proses manufaktur yang dilaksanakan adalah sebagai berikut: proses pemilihan bahan (Tabel 3), proses pembuatan komponen, proses perlakuan panas, proses pengelasan, dan proses pemasangan. Pembuatan 54 jenis komponen dongkrak rel (Lampiran 1) melalui proses pemesinan: memotong menggunakan mesin gergaji, membentuk bulat menggunakan mesin

bubut, membentuk gigi menggunakan mesin bubut, membentuk rata permukaan menggunakan mesin skrap dan menghaluskan menggunakan mesin gerinda dan mesin poles.

Proses perlakuan panas (heat treatment) komponen yang dibuat dari bahan DIN 1.2510 dan DIN 1.6511. Metode perlakuan panas sebagai berikut: komponen dipanaskan di dalam tungku hingga suhu mencapai 900°C ditahan selama 30 menit (holding time), dicelup pada media oli, diangkat, setelah dingin diuji kekerasannya dan nilai kekerasan rata-rata 60 HRC. Proses pengerasan dilakukan pada 26 buah komponen sbb: *rack gear* pengangkat, roda gigi (lurus, miring, bintang, roda gigi pengungkit), poros pinion, *spline* utama, *ring stopper*, poros baut, *spacer*, bantalan *pinion*, bantalan, *spline*, pena *spline*. Setelah proses perlakuan panas selesai kemudian dilakukan proses *blackening* untuk memberi tampilan komponen warna hitam.

Proses pengelasan dilakukan pada bagian: *slider* blok pada rangka kanan dan rangka kiri, part sisi *rack* pada rangka kanan dan rangka kiri, rakitan *spline* pada *spline* depan dan pena *spline* depan, rakitan tuas pembebas, tuas pembebas pedal, pin tuas pembebas 1, pin tuas pembebas 2 dan pelat pembebas, rakitan rangka pengungkit: pelat pengungkit dan *body* pengungkit.

Proses pemasangan (assembly), kegiatan perakitan komponen dongkrak dibuat dalam 7 tahap kegiatan perakitan sebagai berikut: perakitan 1 merakit dongkrak komponen 1 s/d 7, perakitan 2 merakit rangka kanan dan kiri serta komponen 11 s/d 18, perakitan 3 merakit *spline* komponen 21 s/d 36, perakitan 4 merakit tuas pembebas komponen 31 s/d 36, perakitan 5 merakit rangka pengungkit komponen 41 s/d 46, perakitan 6 merakit *bracket* penyangga komponen 51 s/d 53, perakitan 7 merakit *spline* depan komponen 61 s/d 63.

Proses akhir (finishing): penghalusan permukaan menggunakan ampelas pada seluruh permukaan dan didempul, bagian yang cacat dilas (sedikit), pengecatan dasar warna abu-abu dan pengecatan akhir warna silver. Dongkrak hasil rekayasa ulang dengan *rack gear* pengangkat 5 dan 20 derajat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Dongkrak Hasil Rekayasa Ulang

Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (Gambar 5), cara uji menggunakan mesin tekan beban 10 ton dengan beban bertahap 5 dan 10 ton. Hasil pengamatan adalah sebagai berikut:

1. Dongkrak rel sudut *rack gear* pengangkat 5 derajat, hasil uji baik, tidak ada perubahan bentuk atau tidak terjadi deformasi.
2. Dongkrak rel sudut *rack gear* pengangkat 20 derajat, hasil uji baik, tidak ada perubahan bentuk atau tidak terjadi deformasi. Pengujian unjuk kerja di lapangan belum dapat dilakukan karena harus ada izin dari PT. Kereta Api Indonesia.



Gambar 5. Pengujian Tekan Dongkrak Hasil *Re-Engineering*

Pengoperasian dan Perawatan

Prosedur pemakaian harus dilaksanakan dengan benar agar dongkrak rel berumur panjang dan optimal. Untuk menghindari beban hentakan terhadap dongkrak ketika digunakan di lapangan maka harus dilakukan beberapa hal berikut:

1. Ketika dioperasikan harus ditempatkan pada posisi tegak lurus kearah beban rel, hindari kemungkinan miring karena dapat menyebabkan kerusakan gigi oleh beban tidak merata atau bidang tidak rata.
2. Pergerakan lengan pengungkit dilakukan dengan teratur.
3. Dongkrak rel tidak boleh dilepas paksa dengan pukulan keras.

Selanjutnya melaksanakan prosedur perawatan di lapangan dan perawatan di tempat penyimpanan dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Pemeliharaan harian, memberikan pelumasan pada bagian bergerak dengan *grease*.
2. Perawatan mingguan, bilamana ditemukan bagian yang longgar pada pergerakan gigi atau baut, lakukan pengencangan.

Simpan di tempat kering yang tidak terkena air hujan.

KESIMPULAN

Perekayasaan ulang dongkrak rel kereta api dapat dilakukan dengan cara mengganti spesifikasi bahan komponen dongkrak lama (existing), kemudian melakukan pembuatan 63 komponen yang terdiri dari 26 komponen dibuat dari bahan baja perkakas AISI 4340 sekelas DIN 1.6511 dan DIN 1.2510 yang digunakan untuk komponen utama antara lain: *rack gear* pengangkat, poros *pinion*, *spline* utama dan komponen lainnya. Komponen yang dibuat dari baja perkakas ini sudah melalui proses *heat treatment* yaitu proses pengerasan seluruhnya (full hardening). Tiga puluh tujuh (37) komponen dibuat dari bahan baja umum sekelas St. 37 dan St 42 untuk komponen yang menerima beban ringan, komponen rangka, *slider blok* dll.

Modifikasi sudut gigi pengangkat *rack gear* dari 5 derajat menjadi 20 derajat. Merakit dua dongkrak rel dengan sudut *rack gear* 5 dan 20 derajat dengan spesifikasi komponen seperti tersebut di atas. Berdasarkan hasil pengujian statis dua dongkrak (*rack gear* 5 dan 20 derajat) di laboratorium dengan beban bertahap 5 dan 10 ton menunjukkan bahwa kedua dongkrak berfungsi dengan baik, tidak terjadi perubahan bentuk dan pergerakan gigi-gigi masing ringan dan lancar sehingga disimpulkan bahwa dongkrak hasil rekayasa ulang (*re-engineering*) dapat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh PT. KAI.

SARAN

1. Untuk menjaga agar dongkrak dapat beroperasi sesuai fungsinya dan mempunyai *life time* yang panjang maka perlu disiapkan prosedur pemakaian dan pemeliharaan serta melaksanakannya secara.
2. Untuk perbaikan selanjutnya (continuous improvement) sudut rack gear pengangkat tidak perlu 20 derajat, disarankan cukup 10 derajat.
3. Semua komponen yang menggunakan bahan K 460 sebaiknya diganti dengan VCN karena sifat-sifat fisik (kekerasan dan modulus elastisitas) metal VCN sudah memadai dan diharapkan harga bahan-bahan komponen akan lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM International Handbook Committee, Electronics File, 2002, *ASM Handbook Volume 11, Failure Analysis and Prevention*, ASM International, USA.
- [2] ASM International Handbook Committee, Electronics File, 1999, *ASM Handbook Volume 20, Metal Selection and Design*, ASM International, USA.
- [3] ASM International Handbook Committee, Electronics File, 2002, *Metals Handbook Volume 4, Heat Treating*, ASM International, USA.
- [4] Carvill, J., 2003, *Mechanical Engineer's Data Handbook*, Butterworth Heinemann, Oxford, USA.
- [5] Giachino, W. Weeks, G.S. Johnson, 1973, *Welding technology*, an atp Publication.
- [6] Wiryosumarto, Harsono, 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita.
- [7] B.H. Amstead, Phillip F. Ostwald, Sriati Djaprie, 1995, *Manufacturing Processes*, Erlangga.
- [8] George E. Dieter, 1988, *Mechanical Metalurgy*, 3rd. edition, Erlangga.
- [9] R.C. Hibbeler, 1986, *Engineering Mechanics*, 4th, Macmillan Publishing Company, USA
- [10] Tata Surdia, Shinroku Saito, 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita

Lampiran 1. Komponen Dongkrak Rel

No	No Item	Nama Komponen	Qty	Spec	Dimensi
1	1	Gigi rack pengangkat	1	DIN 1.2510	≠42x200x120
2	2	Roda gigi miring	1	DIN 1.6511	Φ 100x50
3	3	Roda gigi lurus	1	DIN 1.6511	Φ 62x20
4	4	Poros pinion	1	DIN 1.2510	Φ 42x130
5	5	Spline utama	1	DIN 1.2510	Φ 36x115
6	6	Ring stopper R Gigi Lurus	1	DIN 1.2510	Φ 30x20
7	7	Roller	1	St 42	Φ 32x50
8	11	Rangka body R	1	ST 37	└ 4x40x255
9	12	Rangka body L	1	ST 37	└ 4x40x255
10	13	Rangka Landasan	1	ST 42	≠ 8x160x340
11	14	Slider Blok	2	ST 42	≠ 16x18x130
12	15	Rangka kanan 1	1	ST 42	≠ 8x180x180
13	16	Rangka kiri	1	ST 42	≠ 8x180x180
14	17A	Poros baut tuas pembebas	1	DIN 1.6511	Φ 20x115
15	17B	Spacer	1	DIN 1.6511	Φ 16x60
16	17C	Pena penahan pegas	1	ST 37	Φ 10x75
17	17D	Poros baut pelat rack	1	DIN 1.6511	Φ 22x125
18	17E	Pelat sisi rack	2	ST 37	≠ 6x65x42
19	17F	Mur M16	2		Std com
20	17G	Mur M10	2		Std com
21	17H	Mur M14	4		Std com
22	18A	Bantalan Pinion Kiri	2	DIN 1.2510	Φ 55x30
23	18B	Bantalan Pinion Kanan	1	DIN 1.2510	Φ 42x30
24	18C	Bantalan Spline Kiri	1	DIN 1.2510	Φ 42x30
25	18D	Bantalan Spline Kanan	1	DIN 1.2510	Φ 32x30
26	21	Plat Spline Depan	2	ST 42	≠ 8x160x90
27	22	Penahan Spline Depan	1	DIN 1.2510	≠ 15x20x25
28	23	Bantalan Spline Depan Kiri	1	DIN 1.2510	Φ 30x15
29	24	Bantalan Spline Depan Kanan	1	DIN 1.2510	Φ 32x20
30	25	Pena Spline Depan	1	DIN 1.6511	Φ 13x60
31	26	Poros Baut. Spline Depan	1	DIN 1.6511	Φ 18x110
32	27A	Pegas Spline A	1	Baja pegas	Φ 2 – 2,5
33	27B	Pegas Spline B	1	Baja pegas	Φ 2 – 2,5
34	28	Roda Gigi Spline Depan	1	DIN 1.6511	Φ 55x20
35	29	Ring Plate Poros Spline Depan	1	DIN 1.6511	Φ 28x10
36	31	Tuas Pembebas	1	ST 42	≠ 8x100x50
37	32	Tuas Pembebas Pedal	1	ST 42	≠ 8x120x125
38	33	Pin tuas Pembebas 1	1	ST 42	Φ 18x45
39	34	Pin tuas Pembebas 2	1	ST 42	Φ 20x60
40	35	Pelat Pembebas	2	ST 37	≠ 8x20x50
41	36	Pegas Tuas Pembebas	1	Baja Pegas	Φ 2 - Φ 2,5
42	41	Plat Pengungkit	2	ST 42	≠ 8x55x75
43	42	Penahan	1	DIN 1.2510	≠ 16x50x30
44	43	Bodi Pengungkit	1	ST 42	Φ 34x60
45	44	Tuas	1	ST 42	Φ 22x610
46	45	Rd Gigi Pengungkit	1	DIN 1.6511	Φ 50x20
47	46	Poros Pengungkit	1	ST 42	Φ 10x40
48	47	Pegas Pengungkit	1	Baja per	Φ 2 - Φ 2,5
49	51	Braket Penyangga	1	ST 42	≠ 8x110x110
50	52	Bantalan Braket Pinion	1	DIN 1.2510	Φ 35x10
51	53	Bantalan Braket Spline	1	DIN 1.2510	Φ 32x15
52	61	Spline depan	1	DIN 1.2510	Φ 32x130
53	62	Roda Gigi Bintang	1	DIN 1.6511	Φ 40x25
54	63	Spie	1	S45C	≠ 3x25x6