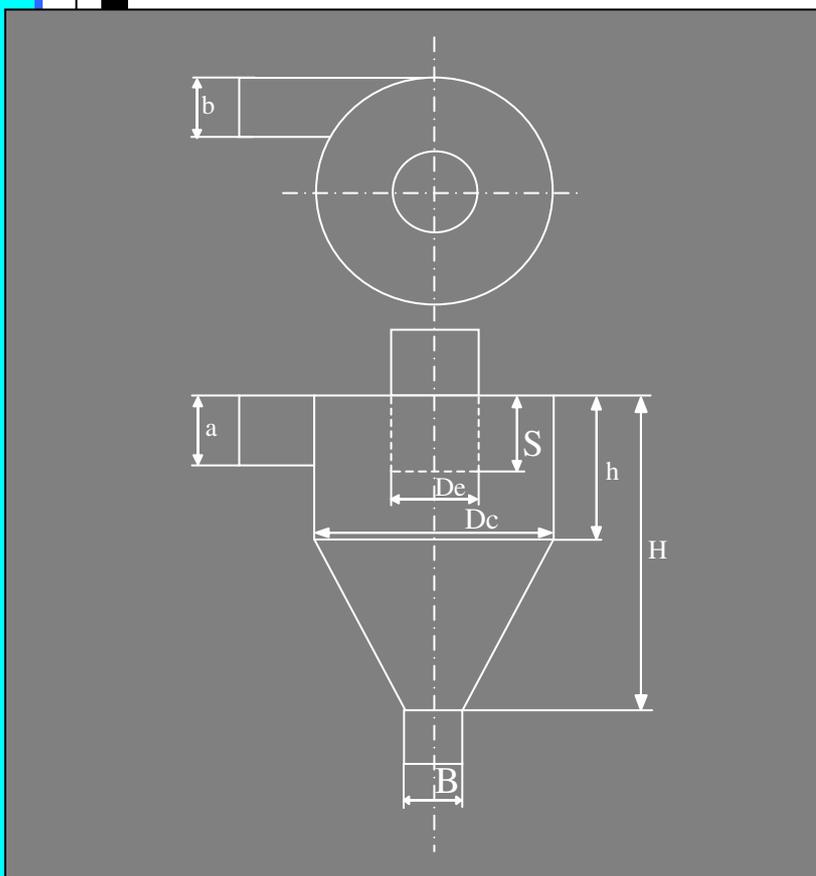


MESEKAWA

Jurnal Teknik Mesin
Volume 21 - No.1 - April 2006



EDITORIAL

EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua), A. Suwono,
D. Suharto, K. Bagiasna,
S. D. Jenie, S. S. Brodjonegoro,
Abdurrachim, I. Nurhadi,
R. Suratman, P. S. Darmanto.

MITRA BESTARI

I. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua), I. G. W. Puja,
Indrawanto, W. Adriansyah,
A. Wibowo, I. N. Diasta.

ALAMAT REDAKSI

Gedung LITBANG Sarana dan
Prasarana-Lt.III
Institut Teknologi Bandung
Jalan Tamansari 126
Bandung 40132
Tel. :(022)-2502342
Fax: (022)-2502342
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id

CARA BERLANGGANAN

Permintaan berlangganan dapat
dikirimkan ke alamat redaksi di
atas.

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
Bulan April dan Oktober.

Makalah pertama dalam Jurnal Mesin Volume 21 No.1 ini ditulis oleh Agusmian Partogi, Zainal Abidin dan Komang Bagiasna dari Laboratorium Dinamika Pusat Rekayasa Industri. Makalah ini menyajikan pengembangan model matematik dan simulasi pengaruh panjang dan waktu rekam terhadap besar kesalahan *magnitude* Fungsi Respon Frekuensi (FRF) pada pengujian dengan metode eksitasi kejut. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB pada empat model sistem getaran satu derajat kebebasan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa harga kesalahan *magnitude* FRF yang diperoleh sangat dekat dengan besar kesalahan yang dihitung dengan menggunakan model matematik yang dibuat.

Makalah kedua berjudul Modifikasi *Top Cyclone* untuk Meningkatkan Kinerja Suatu Pabrik Semen yang ditulis oleh Prihadi Setyo Darmanto dan Arief Syahlan dari Program Studi Teknik Mesin ITB. Pengaruh modifikasi terhadap pola aliran material dalam siklon disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT 6.1. Modifikasi *Top Cyclon* ini dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan material yang berakibat pada peningkatan produksi, dan juga mengurangi kadar abu batubara dan menurunkan konsumsi panas spesifik. Hasil uji lapangan pada siklon yang dimodifikasi menunjukkan bahwa hal-hal yang diinginkan tersebut dapat dicapai.

Makalah ketiga ditulis oleh S.A. Widyanto dkk. dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Makalah ini membahas keutamaan metoda *Indirect Pressure-less Sintering* untuk mendapatkan variasi kekuatan tarik yang terpanjang dari material PVC. Pengaruh variabel-variabel penting seperti temperatur dan waktu sintering dibahas pada makalah ini, dan besaran optimum diberikan sebagai kesimpulan.

Crack Detection Using Operating Deflection Shape merupakan judul makalah ke empat yang ditulis oleh Tran Khanh Duong, alumnus mahasiswa magister teknik mesin, Program Studi Teknik Mesin ITB, bersama dengan para mantan pembimbingnya. Makalah ini menyajikan hasil-hasil kajian numerik dan eksperimental terhadap metoda deteksi retak berbasis getaran yang dikembangkan. Data-data pengukuran yang diperoleh dari *Laser Doppler Vibrometer* (LDV) dianalisis dengan metoda *Operating Deflection Shape* (ODS) yang diusulkan. Hasilnya dibandingkan dengan kajian numerik dengan menggunakan program NASTRAN. Hasil-hasil kajian pada berbagai geometri 2D dan 3D menunjukkan bahawa metoda yang dikembangkan dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi retakan.

Makalah kelima ditulis oleh Budi Hartono Setiamarga dkk. dari Laboratorium Teknik Metalurgi, Program Studi teknik Mesin ITB. Makalah yang berjudul *Pack Carburizing* pada *Sprocket* Sepeda Motor dengan Material Baja Karbon Rendah, membahas cara-cara dan hasil proses pengerasan permukaan dengan menggunakan karbon aktif pada sebuah sprocket sepeda motor. Sebagai Kesimpulan yang diberikan adalah parameter proses optimum dan material bantu yang digunakan untuk mendapatkan *effective case depth* yang hampir sama dengan *sprocket* asli buatan Jepang.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin ini dapat memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 21, No. 1, April 2006

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin, FTI
Institut Teknologi Bandung

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

<i>Analisis besar kesalahan magnitude fungsi respon frekuensi hasil pengujian dengan metode eksitasi kejut akibat keterbatasan panjang waktu rekam</i> Agusmian Partogi, Zainal Abidin dan Komang Bagiasna	1
<i>Modifikasi top cyclone untuk meningkatkan kinerja suatu pabrik semen</i> Prihadi Setyo Darmanto dan Arief Syahlan	10
<i>Influence of sintering temperature and holding time on tensile strength and shrinkage of pvc specimen on indirect pressure-less sintering process</i> S.A. Widyanto, S. Riyadi, A.E. Tontowi, Jamasri and H.S. Rochardjo	16
<i>Crack detection using operating deflection shape</i> Tran Khanh Duong, Djoko Suharto, Komang Bagiasna, Zainal Abidin	21
<i>Pack carburizing pada sprocket sepeda motor dengan material baja karbon rendah</i> Budi Hartono Setiamarga, Novi Kurniawati dan Umen Rumendi	28

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 21, No. 1, April 2006

PACK CARBURIZING PADA SPROCKET SEPEDA MOTOR DENGAN MATERIAL BAJA KARBON RENDAH

Budi Hartono Setiamarga⁽¹⁾, Novi Kurniawati⁽²⁾ dan Umen Rumendi⁽³⁾

⁽¹⁾Laboratorium Teknik Metalurgi, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung
E-mail: setiamar@indo.net.id

⁽²⁾Alumnus Program Studi Teknik Material, Institut Teknologi Bandung

⁽³⁾Divisi Perlakuan Panas, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung
E-mail: umen_rumendi2002@yahoo.com

Ringkasan

Sprocket sepeda motor yang berkualitas tinggi dengan harga relatif murah telah berhasil didapatkan dengan memproses sprocket non-orisinil buatan lokal sedemikian sehingga mendekati kualitas sprocket orisinil buatan Jepang. Metode yang digunakan adalah karburisasi padat, dilanjutkan dengan quench hardening dan tempering pada sprocket non orisinil. Proses karburisasi padat dilakukan dengan media karbon aktif dengan penambahan energizer BaCO₃ sebesar 10 %wt. Proses karburisasi padat berlangsung pada temperatur 950°C selama 1 jam. Untuk proses perlakuan panas, pemanasan dilakukan pada temperatur 850°C selama 15 menit dilanjutkan water quenching dan tempering pada temperatur 150°C selama 30 menit. Hasil dari proses karburisasi padat menunjukkan bahwa penetrasi karbon yang terjadi adalah sebesar 1,05 mm. Setelah di-temper, spesimen hasil karburisasi 1 jam memiliki effective case depth sebesar 0,2 mm. Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk menghasilkan effective case depth seperti sprocket orisinil, sprocket non orisinil harus dikarburisasi padat pada temperatur 950°C selama 1 jam di dalam media karbon aktif granule dengan penambahan 10%wt BaCO₃, yang dilanjutkan dengan water quenching dari temperatur 850°C, dan tempering pada temperatur 150°C selama 30 menit.

Abstract

High quality motorcycle sprocket with cheaper price has been achieved by giving additional processing to non original locally made sprocket such that it has an almost the same quality as the original Japanese made sprocket. The additional processing was pack carburizing which was done to the non-original sprocket, followed by quench hardening and tempering so that the quality of the non-original sprocket will be almost the same as the original sprocket. Pack carburizing was applied with active carbon as the carbon source and 10% BaCO₃ as the energizer. This process was done at 950°C and one hour holding time. For heat treatment, the heating was done at 850°C for 15 minutes, followed by water quenching and tempering at 150°C for 30 minutes. The carburizing result indicated that there was a carbon penetration depth of about 1.05 mm. After tempering, an effective case depth of about 0.2 mm was achieved. The process variables for obtaining an effective case depth of original sprocket (0.2 mm) are selected by applying pack carburizing using active carbon granule with 10%wt BaCO₃ as the carburizing medium, processed at 950°C for an hour, followed by water quenching from 850°C and tempering at 150°C for 30 minutes.

1. PENDAHULUAN

Sprocket sepeda motor yang berpasangan dengan rantai merupakan salah satu contoh komponen yang berfungsi untuk mentransmisikan daya. Di pasaran beredar beberapa macam produk *sprocket* sepeda motor mulai dari produk orisinil (buatan Jepang) yang berharga mahal, hingga produk-produk non orisinil atau tiruan yang relatif lebih murah. Harga produk orisinil saat ini sekitar sepuluh kali lipat dari harga produk non orisinil.

Keunggulan *sprocket* orisinil yaitu umur pakai yang lebih lama, disebabkan adanya proses perlakuan tambahan pada *sprocket*, yaitu *surface treatment* untuk

mengubah sifat atau karakteristik logam pada permukaan. Salah satu proses yang dipakai untuk mengubah sifat permukaan logam adalah proses karburisasi padat (*pack carburizing*) [1].

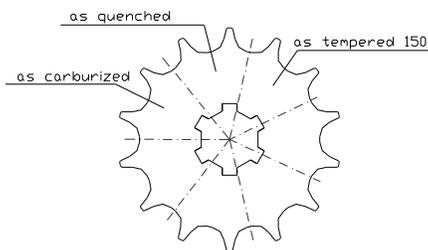
Purnadi [2] dan Kurniawati [3] telah melakukan penelitian untuk menghasilkan *sprocket* sepeda motor yang berkualitas tinggi dengan harga relatif murah yaitu dengan meneliti parameter proses karburisasi padat yang tepat seperti waktu dan temperatur karburisasi, temperatur dan media pendingin proses *quench hardening* serta temperatur *tempering* yang harus dilakukan.

2. PROSEDUR PENELITIAN

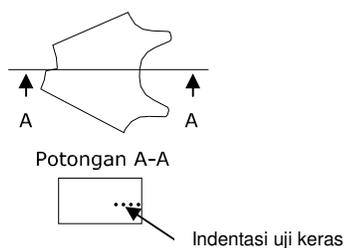
Dalam penelitian ini, material yang digunakan sebagai spesimen percobaan adalah *sprocket* orisinil dan *sprocket* non orisinil. *Sprocket* tersebut terbuat dari material baja karbon rendah. Seluruh spesimen *sprocket* non orisinil akan dikarburisasi sesuai dengan parameter karburisasi yang dipilih. Dalam penelitian ini, media karburisasi yang digunakan adalah campuran antara karbon aktif dan barium karbonat (BaCO_3). Kadar BaCO_3 yang digunakan adalah 10%wt. Barium karbonat ini berfungsi sebagai *energizer* agar aktivasi dari karbon dapat ditingkatkan, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Rumendi [4] serta Lyta [5].

Proses karburisasi padat berlangsung pada temperatur 950°C dengan *holding time* selama 1 jam. Sebelum temperatur mencapai 950°C , dapat dilakukan *preheating* pada temperatur 600°C selama 1 jam. Pendinginan spesimen karburisasi dilakukan dengan pendinginan dalam tungku (*furnace cooling*). Setelah proses karburisasi padat, untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimum maka dilakukanlah proses perlakuan panas *quench hardening* dan *tempering*. Pemanasan dilakukan pada temperatur 850°C selama 15 menit dilanjutkan *water quenching* dan *tempering* pada temperatur 150°C selama 30 menit.

Setelah proses karburisasi, spesimen utama akan dipotong-potong untuk metalografi dan uji keras seperti pada Gambar 1. Uji keras dilakukan menggunakan *Micro Vickers* dengan beban 200 gram. Uji keras dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dari bagian permukaan hingga ke bagian inti dari spesimen (Gambar 2), baik untuk spesimen hasil proses karburisasi maupun spesimen hasil proses perlakuan panas.



Gambar 1. Pembagian spesimen metalografi dan uji keras



Gambar 2. Posisi pengamatan metalografi dan uji keras

Pemeriksaan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan *Image Analyzer Omnimet* di Laboratorium Teknik Metalurgi ITB. Etsan yang dipakai adalah Nital 2%. Penghitungan persentase karbon dilakukan dengan cara menghitung fraksi luas dikombinasikan dengan *Lever Arm Rule*.

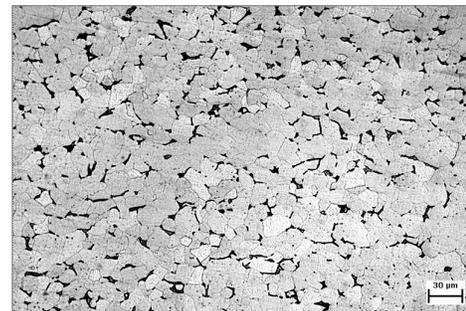
Dari metalografi dan uji keras didapatkan informasi mengenai lapisan hasil karburisasi. Beberapa definisi tentang lapisan hasil karburisasi antara lain :

- *Total case depth* adalah jarak yang diukur tegak lurus dari permukaan baja yang telah atau belum mengalami proses pengerasan, di mana perbedaan sifat mekanik atau komposisi kimia antara permukaan dan inti sudah tidak dapat dibedakan.
- *Effective case depth* adalah jarak yang diukur tegak lurus dari permukaan baja yang telah mengalami proses pengerasan ke titik di mana kekerasan yang dicapai adalah 550 VHN.

3. DATA DAN ANALISIS

Sprocket Non Orisinil

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro *sprocket* non orisinil diketahui bahwa *sprocket* tersebut terbuat dari baja karbon rendah, dengan komposisi sekitar 0,08 %C. Fasa-fasanya terdiri dari perlit dan ferit (Gambar 3). Dari hasil uji keras diperoleh kekerasan rata-rata $126 \pm 4 \text{HV}_{0,2}$.



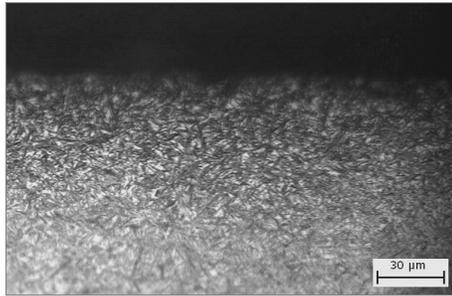
Gambar 3. Struktur mikro *sprocket* non orisinil (etsan: Nital 2%)

Sprocket Orisinil

Pengujian kekerasan *sprocket* orisinil menghasilkan suatu bentuk distribusi kekerasan seperti pada Gambar 4.d. Dari hasil pengukuran diketahui nilai *effective case depth* sebesar 0,2 mm.

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro pada *sprocket* orisinil, pada bagian permukaan terlihat adanya fasa martensit temper dengan kekerasan maksimum sekitar $609 \pm 29 \text{HV}_{0,2}$ (Gambar 4.a). Fasa martensit ini jumlahnya semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Semakin ke dalam, mulai muncul fasa ferit dan perlit. Fasa ferit pada kedalaman sekitar 0,5 mm merupakan fasa ferit proeutektoid dengan morfologi widmanstatten (Gambar 4.b). Pada bagian inti terlihat semakin banyaknya fasa ferit dan perlit (Gambar 4.c).

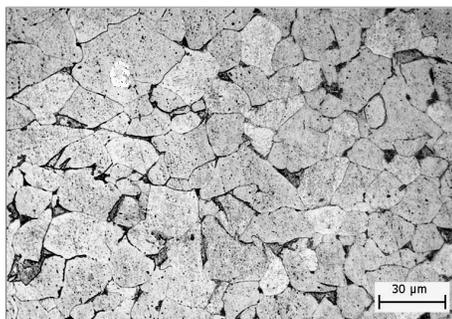
Perhitungan kadar karbon pada baja dapat dilakukan dengan asumsi bahwa bagian inti spesimen tidak mengalami perubahan fasa setelah mendapat proses perlakuan panas. Kadar karbon ditentukan dengan menggunakan *Lever Arm Rule* berdasarkan jumlah persentase fasa ferit dan perlit. Dari hasil perhitungan, komposisi karbon baja yang didapatkan adalah 0,07% dengan harga kekerasan rata-rata adalah 112 HV_{0,2}.



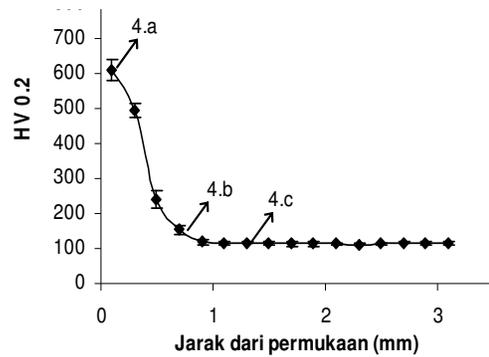
(4.a) Bagian permukaan



(4.b) Sekitar 0,8 mm dari permukaan



(4.c) Sekitar 1,2 mm dari permukaan



(4.d) Distribusi kekerasan

Gambar 4. Struktur mikro serta distribusi kekerasan *sprocket* orisinil (etsan: Nital 2%)

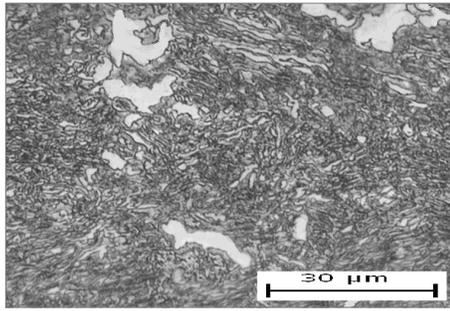
Hasil karakterisasi awal *sprocket* orisinil ini menunjukkan bahwa *sprocket* tersebut merupakan hasil proses karburisasi yang dilanjutkan dengan proses perlakuan panas (*quench hardening* dan *tempering*), dengan hasil perhitungan *effective case depth* sebesar 0,2 mm serta kadar karbon awal sebelum proses perlakuan sekitar 0,07%C.

As Carburized

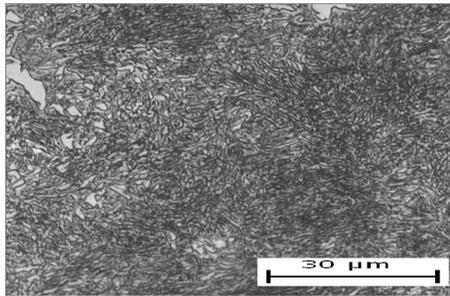
Setelah mengalami proses karburisasi padat, kekerasan di bagian permukaan spesimen mengalami peningkatan dari kekerasan awal (126 HV_{0,2}). Hal ini disebabkan karena telah terjadi difusi atom-atom karbon dari media karburisasi ke dalam spesimen. Semakin ke dalam, harga kekerasan semakin berkurang. Bahkan pada bagian inti, harga kekerasan lebih rendah bila dibandingkan harga kekerasan awal. Hal ini terjadi akibat pertumbuhan butir yang terjadi saat spesimen berada pada temperatur karburisasi yaitu pada temperatur 950°C selama 1 jam.

Dari hasil perhitungan, kadar karbon pada bagian permukaan adalah sekitar 0,75%C. Kadar karbon akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Kenaikan kadar karbon dari 0,08%C menjadi sekitar 0,75%C pada permukaan menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan dan perubahan struktur mikro. Hasil dari proses karburisasi menunjukkan bahwa telah terjadi penetrasi karbon sebesar 1,05 mm (Gambar 5.d).

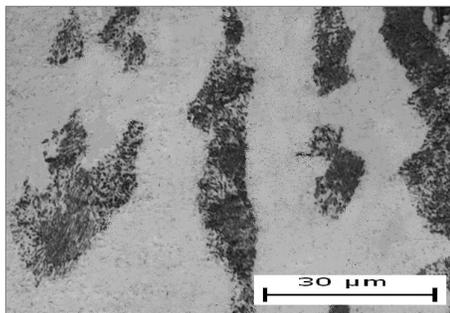
Dari pemeriksaan struktur mikro didapatkan bahwa telah terjadi perubahan fasa dari bagian permukaan hingga bagian inti spesimen. Pada bagian permukaan, fasa yang terjadi adalah fasa perlit dan ferit. Semakin ke dalam, jumlah fasa ferit semakin bertambah hingga bagian inti spesimen. Struktur mikro spesimen *as carburized* ditunjukkan pada Gambar 5.a sampai dengan 5.c.



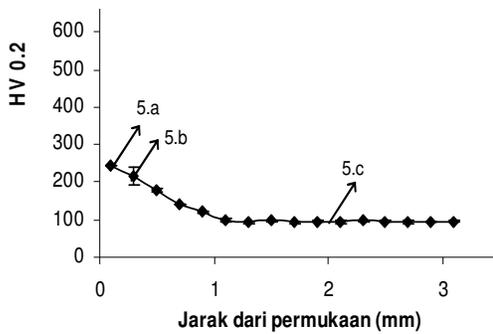
(5.a) Bagian dekat permukaan



(5.b) Sekitar 0,3 mm dari permukaan



(5.c) Sekitar 2 mm dari permukaan



(5.d) Distribusi kekerasan

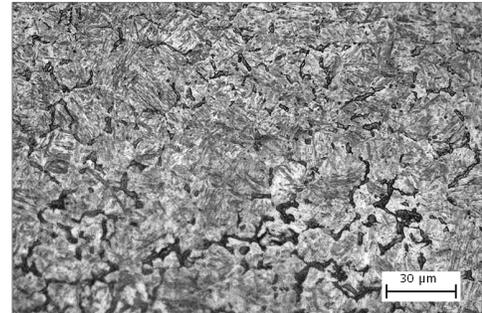
Gambar 5. Struktur mikro dan distribusi kekerasan spesimen *as carburized* (etsan: Nital 2%)

As Quenched

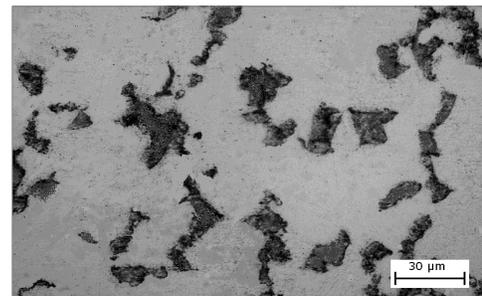
Setelah *quenching*, didapatkan peningkatan kekerasan yang tinggi dari spesimen *as carburized* (Gambar 6.d). Struktur mikro spesimen *as quenched* ditunjukkan pada Gambar 6.a sampai 6.c yang menunjukkan adanya fasa martensit yang keras di permukaan dan fasa ferit-perlit yang relatif lebih lunak di bagian dalam.



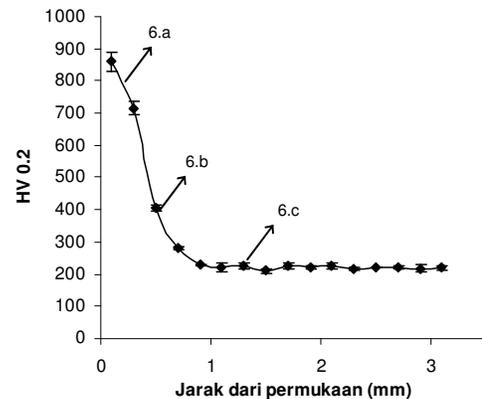
(6.a) Bagian dekat permukaan



(6.b) Sekitar 0,5 mm dari permukaan



(6.c) Sekitar 1,3 mm dari permukaan

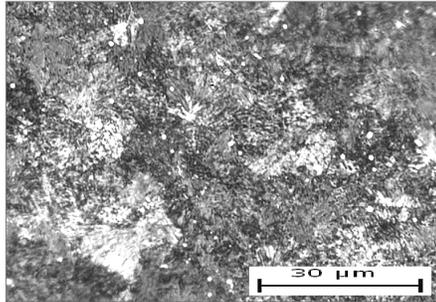


(6.d) Distribusi kekerasan

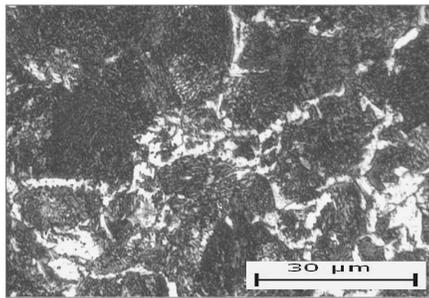
Gambar 6. Struktur mikro dan distribusi kekerasan spesimen *as quenched* (etsan: Nital 2%)

As Tempered

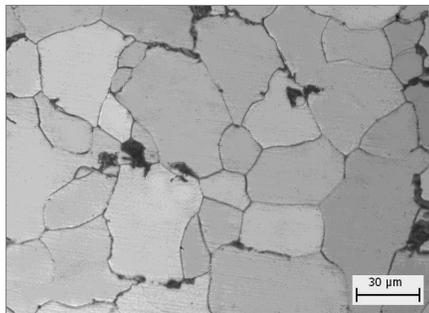
Untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang mendekati *sprocket* orisinal, setelah *quenching* dilakukan *tempering* pada temperatur 150°C selama 30 menit.



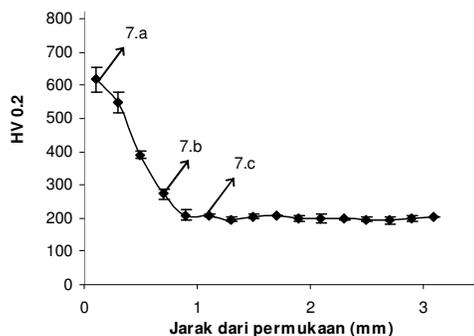
(7.a) Bagian dekat permukaan



(7.b) Sekitar 0,8 mm dari permukaan



(7.c) Sekitar 1,1 mm dari permukaan



(7.d) Distribusi kekerasan

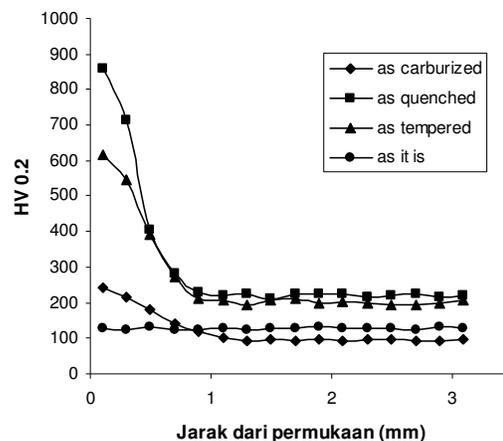
Gambar 7. Struktur mikro dan distribusi kekerasan spesimen *as tempered*

Nilai kekerasan permukaan *as tempered* yang dihasilkan lebih rendah daripada *as quenched* (Gambar 7.d). Hal ini disebabkan karena saat *tempering*, terjadilah difusi atom karbon keluar dari fasa martensit membentuk martensit temper. Sedangkan pada bagian inti, fasanya adalah ferit proeutektoid dan perlit dengan nilai kekerasan yang relatif tidak terlalu banyak berubah. Struktur mikro spesimen *as tempered* ditunjukkan pada Gambar 7.a sampai 7.c.

Dari distribusi kekerasan spesimen *as tempered* (Gambar 7.d) maka *effective case depth* dapat diketahui yaitu sebesar 0,2 mm. Distribusi kekerasan hasil *tempering* ini mendekati distribusi kekerasan *sprocket* orisinal yang memiliki *effective case depth* sebesar 0,2 mm. Namun harga kekerasan di daerah inti spesimen *as tempered* yang memiliki kekerasan rata-rata 200 HV_{0.2} ini lebih tinggi daripada harga kekerasan inti *sprocket* orisinal yang memiliki kekerasan rata-rata 112 HV_{0.2}. Hal ini terjadi karena kadar karbon awal dari spesimen *sprocket* orisinal dan non orisinal berbeda.

Perbandingan Distribusi Kekerasan pada Berbagai Tahapan Proses Perlakuan Panas

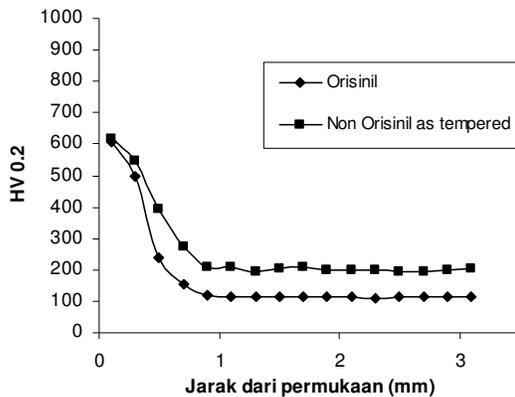
Gambar 8 menunjukkan perbandingan distribusi kekerasan antara spesimen *as it is*, *as carburized*, *as quenched* dan *as tempered*. Hasil ini menunjukkan bahwa pada setiap tahapan proses, telah terjadi perubahan struktur mikro yang berdampak pada perubahan distribusi kekerasannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 sampai 7. Spesimen *as carburized* telah mengalami peningkatan kekerasan di permukaan akibat adanya penetrasi karbon ke dalam permukaan yang mengakibatkan adanya penambahan jumlah fasa perlit. Spesimen *as quenched* telah mengalami peningkatan kekerasan yang sangat tinggi akibat terbentuknya fasa martensit yang sangat keras, sedangkan pada spesimen *as tempered* telah terjadi pembentukan fasa martensit temper yang relatif lebih lunak dari fasa martensit.



Gambar 8. Distribusi kekerasan spesimen *as it is*, *as carburized*, *as quenched* dan *as tempered*

Perbandingan Distribusi Kekerasan pada Sprocket Orisinil dan Sprocket Non orisinil

Gambar 9 menunjukkan perbandingan antara distribusi kekerasan *sprocket* orisinil dan non orisinil yang telah diberi perlakuan permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan proses karburisasi diikuti perlakuan panas pada *sprocket* non orisinil (dengan parameter waktu karburisasi 1 jam dan temperatur temper 150°C) diperoleh distribusi kekerasan mendekati distribusi kekerasan *sprocket* orisinil dengan *effective case depth* sebesar 0,2 mm.



Gambar 9. Distribusi kekerasan *sprocket* orisinil dan non orisinil yang telah diberi perlakuan permukaan

4. KESIMPULAN

Dengan melakukan proses karburisasi padat diikuti proses perlakuan panas pada *sprocket* non orisinil buatan lokal, dapat diperoleh distribusi kekerasan yang mendekati distribusi kekerasan *sprocket* orisinil buatan Jepang.

Parameter penelitian yang tepat untuk menghasilkan *effective case depth* sebesar 0,2 mm yg dimiliki oleh *sprocket* orisinil adalah karburisasi padat dengan media karburisasi karbon aktif *granule* dengan penambahan 10 %wt BaCO₃ pada temperatur 950°C selama 1 jam, lalu dilanjutkan proses perlakuan panas *quench hardening* dari temperatur 850°C dengan menggunakan medium pendingin air, serta *tempering* pada temperatur 150°C selama 30 menit.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada program PHK A3 Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung yang telah membiayai penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Handbook Committee, ASM Handbook Volume 4 Heat Treating, Ohio, 1991.
2. Duddy Yan Purnadi, *Proses Pack Carburizing dengan Media Arang Batok dengan Penambahan Energizer BaCO₃ Pada Roda Gigi Sproket Sepeda Motor*, Tesis Magister, Program Magister Teknik Mesin, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2004.
3. Novi Kurniawati, *Pack Carburizing pada Sprocket Sepeda Motor dengan Material Baja Karbon Rendah*, Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Material, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2005.
4. Umen Rumendi, *Pack Carburizing Arang Batok pada Baja St-37 Sebagai Pengganti Baja Perkakas 34CrNiMo6 Pada Pena Pembentuk Pupuk Tablet*, Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Mesin, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2002.
5. Lyta, *Peningkatan Kualitas Pahat Kayu Melalui Metode Pack Carburizing Dengan Media Arang Batok*, Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Material, Institut Teknologi Bandung, 2005.