

PENINGKATAN SIFAT MEKANIK MATERIAL RING PISTON BEKAS SEPEDA MOTOR SUPRA X DENGAN PROSES HEAT TREATMENT

Solechan*, Samsudi Raharjo, Rubijanto JP*****

**Laboratorium Metalurgi Bahan Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang
E-mail : Solechan_29@yahoo.co.id, Telp 081390004168*

ABSTRAK

Dunia otomotif berkembang dengan pesatnya, ditandai dengan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai 28.556.498 buah. Apabila kendaraan sebanyak itu bekerja semuanya, lambat tahun akan mengalami kerusakan, terutama pada daerah mesin dan kaki-kaki sepeda motor. Daerah mesin yang paling banyak mengalami kerusakan terutama ring piston diakibatkan timbulnya perubahan temperatur (*thermal cycling*) dan *friction* di daerah silinder pembakaran. Untuk meningkatkan kekuatan ring piston perlu dilakukan pengerasan dan pelapisan permukaan dibagian luarnya. Maka perlu peningkatan kekuatan mekanik ring piston dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas) untuk mengatasi pengaruh *thermal cycling* pada Honda Supra X. Tujuan penelitian ini, untuk mengetahui karakteristik material ring piston Supra X, baik ring piston baru, maupun bekas berdasarkan kekerasan, struktur mikro dan komposisi kimia. Metode Penelitian yang dipakai yaitu komparasi sifat mekanik beberapa ring piston Supra X yang nantinya akan dianalisa. Adapun variabel bebas yang digunakan dari ring piston Supra X baru, bekas dan sudah mengalami perlakuan panas 1, 2 dan 3 jam. Sedangkan variabel bebas yaitu komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro. Hasil yang diperoleh dari pengujian komposisi kimia terjadi perbedaan yang signifikan antara ring piston supra X baru, bekas dan penahanan 1, 2 dan 3 jam khususnya unsur besi (Fe) dan karbon (C). Untuk unsur Fe ring piston bekas dan baru sebesar 92,45 % dan 93,02 % terjadi selisih 0,57 sedangkan unsur C sebesar 3,65 % dan 3,11 %. Ini berpengaruh terhadap kekesatan dan kekuatan tarik yang semakin tinggi, tetapi keuletan dan ketangguhan semakin rendah. Sedangkan Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bentuk grafit dari beberapa material memiliki perbedaan, baik dalam bentuk maupun ukuran grafit. Untuk kekerasan dengan penahanan waktu 3 jam kekerasannya mendekati kekerasan ring piston supra X baru. Kekerasan waktu penahanan 3 jam yaitu 38.66 HRC dan piston baru sebesar 39,94 HRC memiliki selisih 1,28 HRC, tetapi ukuran ketebalan ring tidak mengalami kenaikan maka perlu proses lanjutan yaitu proses *coating*.

Kata kunci : Aluminium, piston bekas, prototipe, sifat mekanik.

PENDAHULUAN

Begitu pesatnya perkembangan dunia otomotif sekarang ini, dimulai dari bentuk kendaraan sederhana sampai kendaraan yang menggunakan teknologi canggih. Masyarakat Indonesia, sebagian besar penduduknya memiliki kendaraan bermotor dimana jumlahnya mencapai 28.556.498 buah (Kepolisian Republik Indonesia, 2005). Terutama penduduk wilayah perkotaan yang menganggap dengan mempunyai kendaraan bermotor akan lebih bisa menghemat biaya transportasi dibanding bila menggunakan kendaraan umum bisa beberapa kali harus berganti angkutan (Kompas, 2012).

Kendaraan bermotor termasuk jenis mesin pembakaran dalam, dimana dalam proses kerjanya terjadi pembakaran yang mengakibatkan timbulnya perubahan temperatur (*thermal cycling*) sesuai dengan besar kecilnya tenaga atau kecepatan yang dihasilkan oleh mesin (Amanto, 1999). Kemampuan mesin untuk mengatasi *thermal cycling* sangat ditentukan oleh penggunaan material dari komponen mesin itu sendiri, dimana dalam hal ini komponen yang paling besar pengaruhnya terhadap kinerja mesin adalah ring piston.

Ring piston merupakan komponen utama dalam kendaraan bermotor, dimana komponen ini pada umumnya terbuat dari besi cor kelabu dengan paduan logam putih, pada permukaan ring piston bersinggungan dengan dinding silinder (Darmanto,1996). Akan tetapi dalam perkembangan teknologi otomotif, untuk mesin-mesin dengan tenaga lebih besar dan kecepatan yang lebih tinggi, kebanyakan komponen ring piston dewasa ini terbuat dari baja paduan dengan pelapisan permukaan dibagian luarnya. Untuk pemasangan ring piston perlu alat bantu khusus sehingga waktu pemasangan tidak cacat atau patah. Untuk posisi ring piston bisa dilihat pada **Gambar 1** dibawah ini.



Gambar 1. Posisi pemasangan ring piston (www.avanzaxenia.net, 2010)

Selain kerusakan dalam pemasangan perlu juga menganalisa terhadap material guna mereduksi adanya effect negatif dari *thermal cycling* yang merupakan salah satu faktor keausan ring piston. Penelitian ini pernah dilakukan oleh Eko yulianto (2009) tentang karakteristik material ring piston Honda Supra X dibawah pengaruh thermal cycling. Penelitian lainnya pengaruh temperatur *annealing* terhadap sifat mekanik dan strukturmikro besi tuang kelabu FC 30 (Joko, 2006). Maka pada

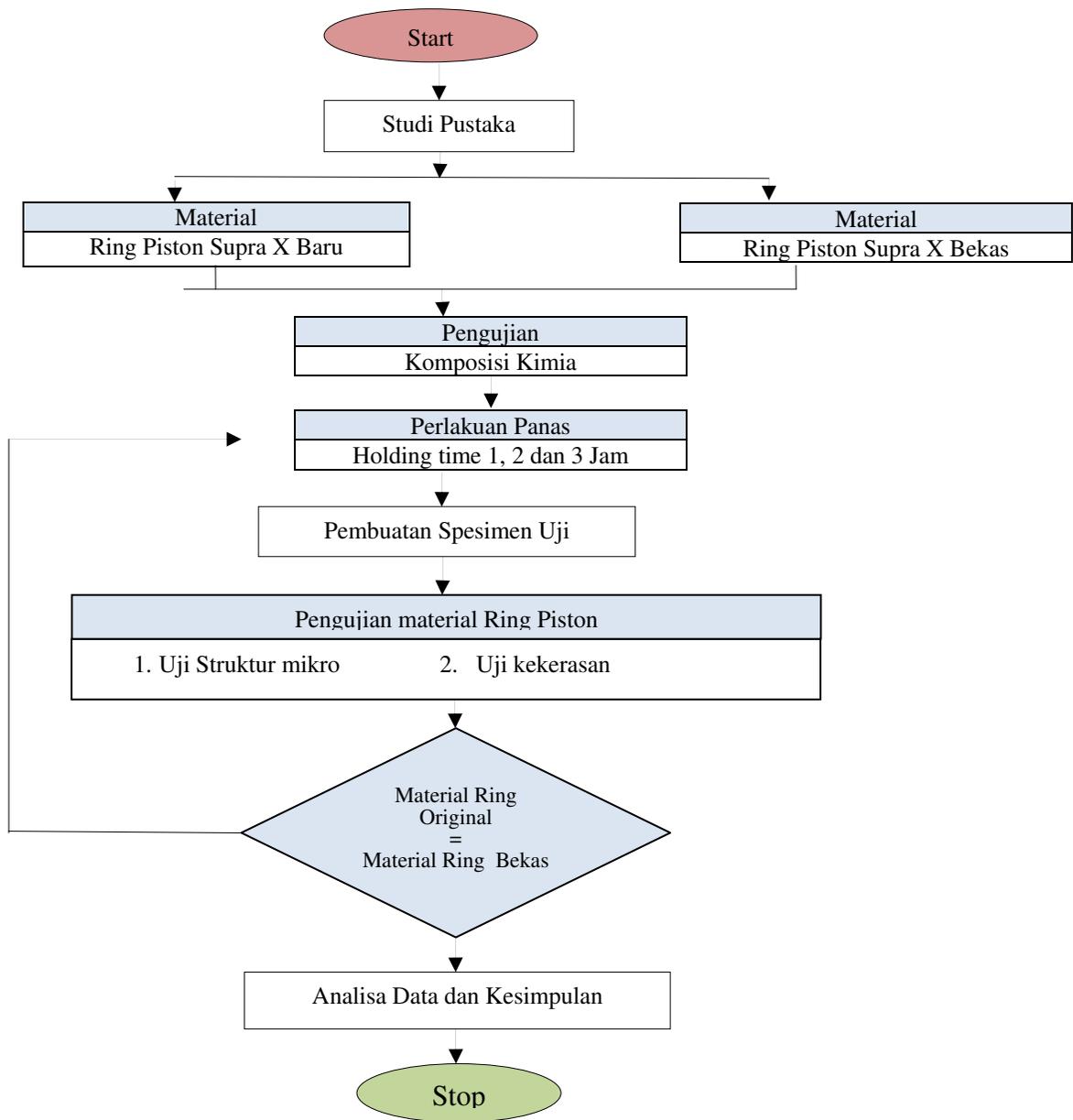
penelitian ini, menekankan peningkatan kekuatan mekanik ring piston dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas) untuk mengatasi pengaruh *thermal cycling* pada Honda Supra X.

METODE PENELITIAN

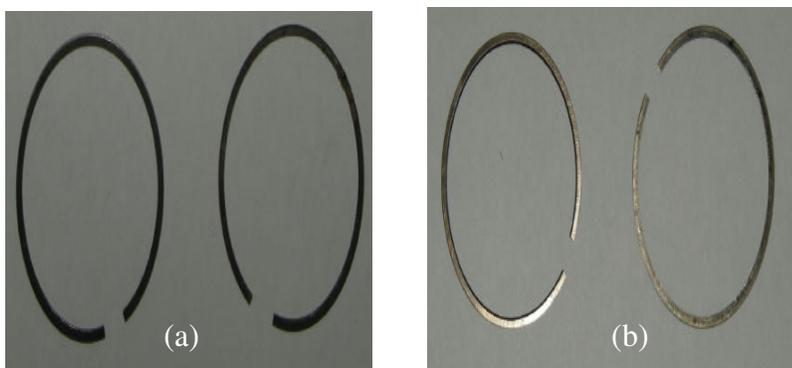
Metode penelitian dipakai untuk mendapatkan hasil penelitian. Penelitian dilakukan terhadap variabel data sudah ada terhadap variabel datanya belum ada, sehingga perlu dilakukan proses manipulasi melalui pemberian treatment terhadap subjek penelitian, kemudian diamati dan diukur dampaknya. Untuk memperjelas langkah-langkah penelitian dapat diterangkan pada **Gambar 2**. Material yang digunakan adalah ring piston baru Supra X, dijadikan referensi datanya dan dikomparasi dengan ring piston yang bekas untuk dilihat perbedaan sifat mekanis dan komposisi kimia. Bentuk ring piston baru dan bekas Supra X ditunjukkan pada **Gambar 3**, terjadi deformasi pada ring piston bekas dan timbul korosi akibat oksidasi dengan udara.

Proses Pengujian Komposisi

Proses pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam ring piston seberapa besar unsur pembentuk material misalnya Fe, C, Si, Cu, Mn, S, dan unsur lainnya. Langkah-langkah pengujian komposisi kimia dengan memotong bahan untuk spesimen dengan panjang 4 mm, lebar 5 mm dan tebal 3 mm, dibersihkan permukaannya sampai halus dengan amplas (*abrasive paper*). Spesimen diletakkan pada bed mesin spektrometer dan dibakar dengan elektroda hingga bahan yang terkandung mengalami rekristalisasi pada. Proses rekristalisasi dari alat uji akan menangkap warna dengan sensor cahaya, sensor cahaya menerima dan diteruskan dalam program komputer yang akan mencatat hasilnya. Langkah ini dilakukan sebanyak tiga sampai lima kali dan print out-nya hasilnya. Untuk pengujian dilakukan di labotarium POLMAN Ceper Klaten



Gambar 2. Alur penelitian peningkatan sifat mekanik material ring piston bekas



Gambar 3. Ring piston Supra X (a) baru (b) bekas

Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas menggunakan furnace merk Hoffman buatan Austria. Suhu pemanasan 900°C, variasi siklus penahanan waktu (*holding time*) 1, 2, dan 3 jam dengan media pendinginan air. Langkah-langkah proses perlakuan panas menggunakan proses austempering, terdiri dari 9 spesimen. Spesimen ring piston bentuk sempurna tidak dilakukan pemotongan karena spesimennya kecil. Menghaluskan dan membersihkan permukaan spesimen uji dengan menggunakan amplas dengan ukuran mesh 1500-2000 sampai permukaan mengkilap dan tidak ada bekas korosinya.

Memberi tanda masing-masing spesimen agar memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Siapkan media quenching yaitu air garam dalam bak pendingin kurang lebih 10 liter. Hidupkan *furnace Hoffman* dengan mensetting pada temperatur 800°C. Masukkan semua spesimen didalam box dari baja karbon supaya pengambilan spesimen lebih mudah. Proses selanjutnya yaitu proses austenisasi pada temperatur 900°C selama 1, 2 dan 3 jam penahanannya. Pengambilan spesimen dari furnace dengan bantuan tang penjepit dan memasukan spesimen kedalam larutan garam.

Pengujian Strukturmikro

Langkah-langkah pengujian struktur mikro pada material ring piston dengan memotong material ring piston untuk dibuat specimen dengan ukuran $\frac{1}{4}$ lingkaran, ini maksudkan untuk mempercepat proses pengalusan. Membuat cetakan (*mounting*) untuk spesimen, untuk setiap variabel bebas dibuat satu mounting dengan diisi 3 replika. Mounting dibuat dari pipa PVC sebagai cetakan kemudian diisi campuran resin dan katalis, sebagai dudukan spesimen. Mengamplas specimen menggunakan mesin poles menggunakan kertas amplas dari grid 400, 800 sampai 2000. Proses selanjutnya memoles menggunakan kain bludru dan pasta autosol.

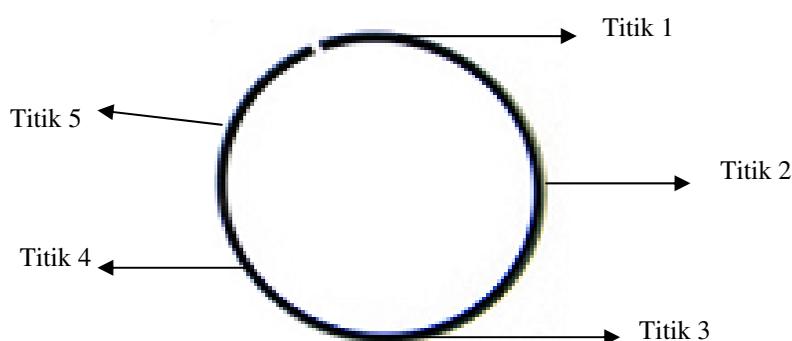
Mengeringkan dengan specimen dengan *hair daryer* kemudian di etsa. Spesimen diletakkan pada landasan mikroskopik, mesin diaktifkan, lensa pembesar didekatkan untuk melihat permukaan specimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 200X dan 500X, Apabila kurang jelas atau kabur, lensa difokuskan agar terlihat dengan jelas. Sebelum gambar diambil kamera dipasang pada lensa atas pada mesin. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop bergerak, karena akan mempengaruhi hasilnya. Lakukan pemotretan pada beberapa titik untuk mewakili dari seluruh permukaan ring piston.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan ring piston supra X baru, bekas dan sesudah proses perlakuan panas. Ring piston dalam keadaan utuh dan tidak dilakukan pemotongan. Alat uji kekerasan memakai *Rockwell hardness C* yang telah diuji kelayakan dan dikalibrasi. pengujian kekerasan dilakukan dengan berbagai tahap dari penyiapan spesimen uji kekerasan. Memasang indenter Intan kerucut dengan pada tempat indenter mesin uji, kencangkan secukupnya agar penekan

ball tidak jatuh. Kalibrasi dulu sesuai dengan prosedur yang berlaku, dengan cara mengambil spesimen kalibrasi kemudian dilakukan penekanan dengan beban 150 kg.

Memberi garis warna pada daerah ring piston logam yang akan diuji. Meletakkan benda uji di atas landasan. Beban sama dengan pengujian kalibrasi yaitu 150 kg. Menentukan titik yang akan diuji. Menyeting dial gage pada posisi nol dan menarik tuas crank handle untuk memulai penekanan indenter. Mendorong reset motor agar dial gage menunjukkan angka sebenarnya dari pengujian kekerasan Rockwell tersebut. Penekanan indenter dilakukan 5 kali pada setiap spesimen untuk diambil nilai rata-rata, untuk titik penekanan spesimen ring piston dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Letak titik pengujian kekerasan permukaan ring piston.

Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan studi perbandingan karakteristik ring piston baru dengan ring piston bekas dengan parameter-parameter seperti komposisi kimia, strukturmikro, dimensi dan kekerasan menggunakan analisa deskriptif memakai bantuan program Microsoft Excel. Pembuktiannya diperoleh melalui komparasi atau perbandingan antara kelompok eksperimen dengan kelompok kontrol dan kondisi subyek sebelum perlakuan dengan sesudah diberi perlakuan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan akan diuraikan meliputi: Uji komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan pada material ring piston Supra X baru, bekas dan yang sudah mengalami perlakuan panas. Material ring piston Supra X baru sebagai pembanding dengan material ring piston Supra X bekas untuk hasil komposisi kimianya ditunjukkan pada **Tabel 1**.

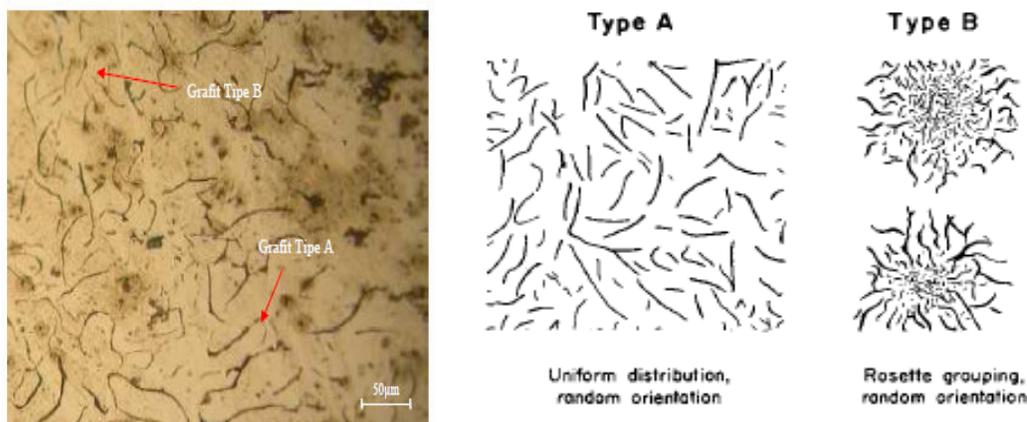
Tabel 1. Hasil Uji Komposisi kimia ring piston Supra X baru dan bekas

Paduan	Fe	C	Si	P	Mn	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
Ring Piston Supra X baru	92,45	3,65	2.75	0.35	0.74	0,005	0.21	0,006	0.26	0.036
Ring Piston Supra X bekas	93,02	3,11	2.89	0.40	0.62	0,006	0.19	0,007	0.28	0.029

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia ring piston Supra X baru dan bekas banyak mengalami perbedaan dari unsur, yang dominan yaitu besi (Fe) dan karbon (C). Unsur besi mengalami kenaikan sedangkan unsur karbon mengalami penurunan, ini berpengaruh terhadap sifat mekanik khususnya kekerasan. Pengaruh unsur karbon sangat penting, semakin besar prosentase karbon maka kekesatan dan kekuatan tarik semakin tinggi, tetapi keuletan dan ketangguhan semakin rendah yang bisa dibuktikan. Ditinjau dari uji komposisi kimia, material ring piston termasuk jenis SAE-G1800 karena semua kandungan komposisinya sama (ASM vol 1, 2007).

Hasil komposisi kimia mengalami penurunan unsur karbon pada material ring piston supra X bekas, ini disebabkan adanya pengaruh panas pada pembakaran didalam silinder dengan temperatur pada ring piston sebesar 400-550°C (Stephen, 2004). Pada suhu ini, material sudah berada dibawah temperatur kritis (T_k), mudah mengalami hilangnya unsur kimia akibat gesekan ring piston dengan liner silinder. Padahal ring piston baru pada permukaanya sangat keras karena sudah mengalami perlakuan panas tetapi hilang karena aus sehingga waktu diuji komposisi kimia unsur karbonnya turun (Sudarmono, 2002).

Hasil pengujian komposisi kimia didukung hasil pengujian struktur mikro ring piston Supra X dilakukan dengan etsa dan tanpa etsa. Tanpa etsa menunjukkan bentuk grafit dari beberapa material memiliki perbedaan, baik dalam bentuk maupun ukuran grafit. Ring piston baru memiliki kemiripan dengan model grafit tipe A dan tipe B yang berbentuk flake memanjang dan tersebar pada seluruh permukaan yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Struktur seperti ini timbul pada besi cor karbon kelas tinggi dengan matriks perlit dan ukuran grafit yang cocok.



Gambar 5. Kemiripan mode grafit tipe A dan B pada ring piston baru

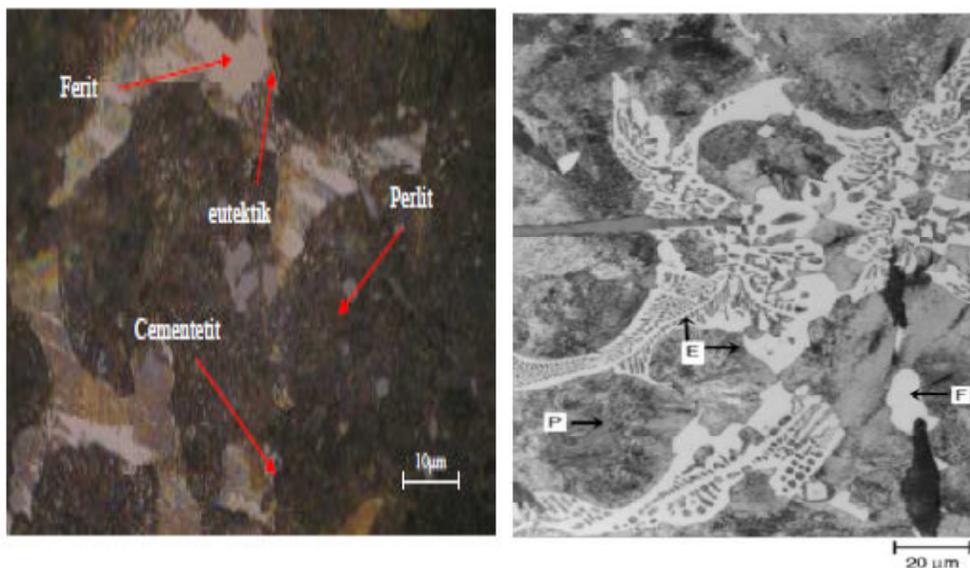
Potongan grafit tipe B memiliki bentuk seperti bunga ros, merupakan salah satu sel eutektik yang bagian tengahnya mempunyai potongan-potongan eutektik halus dari grafit dan serpih-serpih grafit radial di sekitarnya, biasanya ditemukan pada produk coran tipis yang mengalami pendinginan cepat. Sedangkan ring piston bekas memiliki model grafit tipe A dan tipe C, untuk flake lebih jarang dan regang-regang disebabkan unsur karbon agak berkurang yang dibuktikan dari komposisi kimia.

Tipe C muncul pada sistem hipereutektik ukuran serpih saling menumpuk dengan orientasi sebarang berbentuk gelap. Hal ini disebabkan jumlah grafit yang begitu banyak sehingga ferrit sangat mudah mengendap. Ring piston bekas dengan penahanan waktu 1 jam juga mengalami perbedaan, dimana model grafit tipe A saja dan grafitnya lebih jarang, bila dibandingkan dengan penahanan 2 jam untuk grafit lebih banyak dan menyebar pada permukaan. Dengan banyaknya grafit diatas permukaan material maka kekerasan material lebih tinggi karena unsur karbon lebih banyak (Callister, 2008).

Ring piston bekas penahanan 3 jam untuk struktur mikro hampir mirip dengan ring piston baru tetapi ada tambahan grafit tipe C. Dengan penahan waktu yang lama menjadikan masuknya atom-atom karbon (C) secara interstiti ke dalam struktur kristal logam maka menimbulkan banyaknya grafit pada permukaan material (Nugroho, 2009).

Struktur mikro ring piston Supra X sesudah di etsa terjadi perubahan warna maupun strukturnya tetapi ada kesamaan struktur yang terbentuk. Ring piston baru terdiri dari ferit, autektik, perlit dan sementetit yang mempunyai kesamaan dengan besi acor kelabu yang ditunjukkan pada **Gambar 6**. Matrik ferit lebih sedikit dibanding dengan perlit, maka pada material ini lebih keras disebabkan oleh adanya fase sementetit atau carbide dalam bentuk lamel-lamel. Cementite sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Berbentuk seperti: bentuk bola ,bentuk lembaran atau partikel-partikel carbide kecil.

Ring piston Supra x bekas untuk matriknya didominasi oleh ferit dan perlit. Ferit lebih banyak berada pada permukaan material dibandingkan dengan perlit, autektik dan sementetit. Sifat ferit sangat lunak dan diperoleh dari unsur Fe. Bila dibandingkan dengan penahanan 1 jam dan 2 jam, ferit secara bertahap mengalami penurunan dominasinya dan lebih banyak unsur perlit dikarenakan proses autempering. Semakin lama waktu penahanan, keseragaman perlit akan rata pada permukaan material. Terbukti dengan penahanan waktu 3 jam, unsur perlit lebih mendominasi dan mirip dengan struktur mikro ring piston baru.



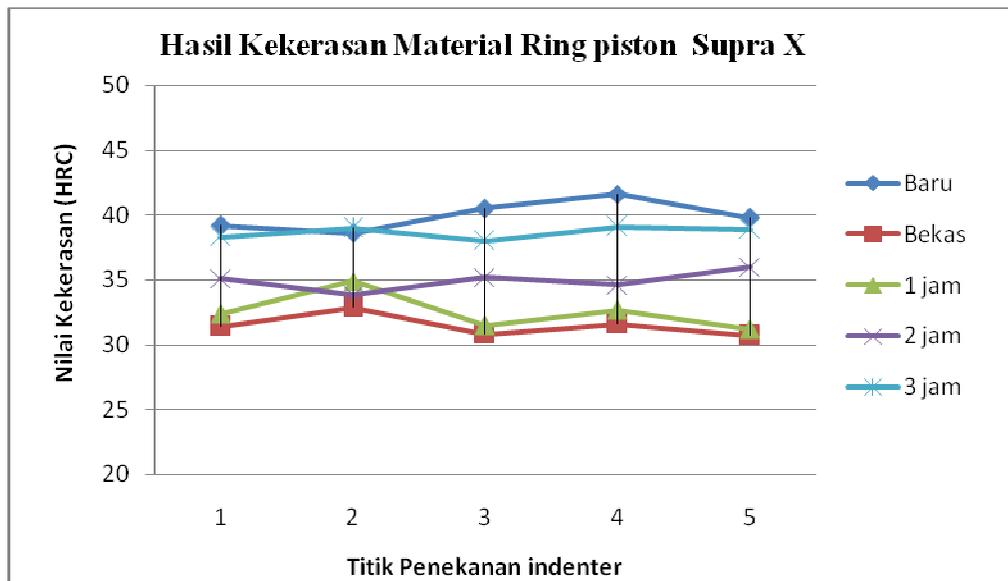
Gambar 6. Kemiripan struktur mikro ring piston baru dengan besi cor kelabu (ASM Vol 1, 2007)

Untuk pengujian kekerasan dilakukan dengan mengambil sebanyak 5 titik dipermukaan ring piston yang bergesekan dengan *cylinder liner* karena daerah ini sering mengalami keausan dan deformasi. Dengan menggunakan metode *Rockwell hardness test* skala C, Hasil nilai kekerasan yang didapatkan seperti pada **Tabel 2** dibawah ini :

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan material ring piston Supra X

Spesimen	Hasil Kekerasan (HRC)					Hasil Rata-rata (HRC)
	1	2	3	4	5	
Ring piston baru	39.2	38.6	40.5	41.6	39.8	39,94
Ring piston bekas	31.4	32.9	30.8	31.6	30.7	31. 48
Ring piston bekas (Penahanan 1 jam)	32.4	34.9	31.5	32.7	31.2	32. 54
Ring piston bekas (Penahanan 2 jam)	35.1	33.8	35.2	34.6	36.0	34. 94
Ring piston bekas (Penahanan 3 jam)	38.3	39.0	38.0	39.1	38.9	38. 66

Untuk memudahkan pembacaan data diatas diubah dalam bentuk grafik ditunjukkan pada **Gambar 7**. Grafik menunjukkan peningkatan kekerasan yang signifikan pada material piston bekas dengan perlakuan panas bisa meningkatkan sifat mekaniknya. Untuk waktu penahan 3 jam kekerasan ring piston bekas bisa mendekati kekerasan ring piston baru walaupun nilainya dibawahnya sedikit.



Gambar 7. Hasil kekerasan dari beberapa material ring piston Supra X

Kekerasan menurun karena penurunan nilai karbon pada ring piston Supra X bekas berdampak penurunan nilai kekerasan sebesar 21 % terhadap ring piston supra X baru. Unsur karbon berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekerasan, juga berfungsi menghasilkan campuran eutektik. Untuk membuktikan nilai kekerasan pada ring piston Supra x bekas turun dapat dilihat dari struktur mikro, dimana ferit lebih mendominasi pada permukaan material.

Usaha untuk meningkatkan kekerasan material ring piston Supra X bekas dengan proses austempering, dengan penahan waktu 1 jam kekerasan ring piston naik sebesar 3,25 % dari ring piston bekas sedangkan dengan penahanan 2 jam naik sebesar 9,9 %. Penahanan besi cor kelabu diatas temperatur kritis selama periode waktu yang cukup, bertujuan untuk menjamin bahwa matrik keseluruhan yang terbentuk adalah austenit (*complete austenitization*). Temperatur austenisasi menentukan kandungan karbon dari austenit sangat berpengaruh besar terhadap nilai kekerasan material (Nugroho, 2009).

Ring piston supra X bekas dengan penahanan waktu 3 jam memiliki nilai yang paling optimal bila dibandingkan dengan penahan 1 dan 2 jam. Nilai kekeraan ini juga mendekati kekerasan dari ring piston Supra X baru dengan selisih 1,28 HRC dan apabila ring piston bekas ini dipasang pada sepeda motor Supra X sudah memumpuni nilai kekerasannya akan tetapi dari segi ukuran belum seperti ukuran ring piston aslinya, karena ring piston bekas sudah mengalami kekausan akibat *friction* dengan liner.

Proses austempering hanya meningkatkan kekerasan permukaan saja, tetapi tidak bisa menambah ketebalan dari ring piston, maka perlu proses lanjutan untuk menambah ketebalan ring

piston yaitu dengan proses *coating*. Proses ini, bekerja dengan cara melapisi permukaan ring piston sampai ketebalan yang diinginkan dengan material keras yaitu karbon.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka bisa diambil kesimpulan

1. Dari beberapa pengujian dari material ring piston Supra X dari yang baru, bekas dan sudah mengalami penahan waktu 1, 2 dan 3 jam terjadi perbedaan komposisi kimia, struktur mikro dan kekerasan, ini disebabkan perlakuan yang terjadi pada pembakaran didalam silinder mesin.
2. Pengaruh *thermal cycling* mengakibatkan hilangnya unsur karbon pada ring piston bekas karena terkikis akibat gesekan yang terjadi antara ring piston dengan liner silinder. Padahal unsur karbon yang paling banyak terdapat pada permukaan ring piston, ini juga berperuh terhadap struktur mikro dan kekerasan.
3. Proses perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan pada permukaan ring piston Supra X bekas, terbukti dengan penahanan waktu 3 jam kekerasannya mendekati kekerasan ring piston supra X baru. Tetapi dari ukuran ketebalan tidak mengalami kenaikan maka perlu proses lanjutan yaitu proses *coating*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS) yang telah memberikan dana untuk penelitian Hibah Bersaing tahun anggaran 2010-2011

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Metals Handbook, 2005., “*Vol 01 : Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys*”, ASM International.
- ASM Metals Handbook, “*Vol 04 : heat treating*”, ASM International, 2005
- Amanto Hari., 1999. Drs, “*Ilmu Bahan*” Cetakan pertama, Bumi Aksara, Jakarta
- Aris, wiranto, “*Motor Bakar*”, Erlangga, Bandung, 1983.
- Callister, D William, “*Material Science and Engineering*”, John Willey and Sons Inc, New York, 2007.
- Darmanto. Drs, ” Otomotif Mesin Tenaga”, Bandung, 1996.
- Eko yulianto, 2009., karakteristik material ring piston Honda Supra X dibawah pengaruh thermal cycling.,Undip.
- Harsanto, ”*Motor Bakar*”, Djembatan, Jakarta, 1979.
- Imanullah Bekt Nugroho, 2009., Pengaruh temperatur dan waktu austenisasi terhadap kekerasan Austempered Ductile Iron (ADI) pada proses austempering material FCD 40., Universitas sebelas Maret solo.
- Joko purnomo ,2006., pengaruh temperatur aneling terhadap sifat mekanik dan strukturmikro besi tuang kelabu FC, UMM Malang.
- Kompas, 2012, Alasan masyarakat perkotaan memilih kendaraan bermotor disbanding kendaraan umum., Edisi minggu 2 hal 4

Kepolisian Republik Indonesia., 2005. Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia.

Stephen Chastain., 2004., *Making piston for experiment and restoration engines.*, ISBN 0-9702203-4-0.

Sudarmono dan Silakhuddin., 2002., Eksperimen aktiv lapisan tipis (Al-T) ring piston produk F.J Menggunkan fasilitas nuklir berkas proton 12,5 Mev.

www.avanzaxenia.net, 2010