

PENGARUH PENAMBAHAN PARTIKEL CHROMIUM TERHADAP KEKERASAN ALUMINA YANG MENGANDUNG 20%BERAT SILIKA

Subardi

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta
Jl. Babarsari, Catur Tunggal Depok, Sleman, Yogyakarta 55281,
Telp. (0274) 485390, 486986 Faks. (0274) 487249

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan partikel chromium terhadap kekerasan alumina yang mengandung 20% berat silica. Komposit matrik alumina keramik (Al_2O_3) yang mengandung 20 % berat silica (SiO_2) diperkuat dengan 0, 3, 6, 9, 12 dan 15 % volume partikel chromium (Cr) telah dibuat dengan metode pressureless sintering. Masing-masing komposisi di-mixing dengan proses basah (dengan alkohol) selama 5 jam, dikeringkan selama 24 jam pada temperatur kamar dan dilanjutkan dengan mixing kering selama 5 jam. Pembuatan spesimen berbentuk silindris (diameter $d = 15$ mm; tebal $t = 5$ mm) dilakukan dengan uniaxial-pressing pada tekanan 120 MPa. Sintering dilakukan di lingkungan argon dengan laju pemanasan $3^\circ C/menit$ sampai $800^\circ C$ dan ditahan selama 30 menit, kemudian dinaikkan dengan laju pemanasan $5^\circ C/menit$ hingga temperatur $1450^\circ C$ dan ditahan selama 60 menit. Pendinginan dilakukan di dalam furnace dengan cara mematikan power ke-furnace. Kondisi komposit mengalami tegangan radial tarik sedangkan tegangan tangensial tekan. Pengujian kekerasan Vickers dengan beban 153,2 N menunjukkan penurunan kekerasan bahan dari 892 MPa (tanpa penguat Cr) menjadi 329 MPa (komposit dengan 15 % volume Cr). Porositas pada permukaan keramik komposit $Al_2O_3 - SiO_2/12\% Vol Cr$ pada suhu 1450 masih cukup besar.

Kata Kunci: alumina, chromium, pressureless sintering, kekerasan.

PENDAHULUAN

Keramik merupakan salah satu material teknik yang sedang dikembangkan secara berkelanjutan dan semakin luas pemakaiannya di bidang teknik maupun industri. Aplikasi keramik di bidang teknik khususnya permesinan antara lain pompa, alat potong, sudu turbin gas, katub dan lainnya (Somiya 1989). Keramik memiliki sifat-sifat fisis yang baik antara lain: titik lebur tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap gesekan, tahan korosi, daya hantar panas rendah, densitas relatif rendah, modulus elastisitas tinggi dan koefisien muai

panjang rendah. Namun demikian disamping memiliki keunggulan tersebut keramik juga mempunyai kelemahan yaitu bersifat getas dan ketangguhan retaknya rendah.

Alumina (Al_2O_3) merupakan salah satu jenis keramik yang mempunyai sifat fisik yang stabil, dengan keunggulan tahan panas dan korosi, titik cair $2050^\circ C$ sedangkan koefisien muai panas alumina dengan kemurnian 96 % adalah $6,7 \times 10^{-6}/^\circ C$. Chromium adalah jenis logam tahan korosi, ulet, memiliki ketahanan panas yang baik. Chromium mempunyai koefisien muai panas (α) sebesar $9 \times 10^{-6}/^\circ C$, titik cair

1875°C, berat jenis () 7,2 gr/cm³ dan modulus elastisitas (E) sebesar 279 GPa (Surdia dan Saito, 1992).

Pembuatan komposit matrik keramik (*Ceramic Matrix Composites*) merupakan salah satu cara untuk mengurangi kelemahan-kelemahan keramik baik menggunakan penguat berupa partikel logam maupun keramik.

TINJAUAN PUSTAKA

Kondo, dkk (1999) meneliti komposit ZrO₂/Ni dimana bahan matriknya adalah ZrO₂ yang mengandung 3 mol % Y₂O₃ (dikenal dengan 3Y-ZrO₂) dan bahan penguatnya adalah Ni dengan 1, 2, 3, 5, 7 dan 10 % volume. Pembuatan komposit tersebut dilakukan dengan *hot pressing* dengan tekanan 30 MPa selama 1 jam dalam lingkungan argon, temperatur sinter 1500° dan 1600° C. Densitas diukur dengan teori Archimedes. Kekerasan dievaluasi dengan pengujian Vickers dengan beban 196 N selama 15 detik, secara bersamaan ketangguhan retak ditentukan dengan metode *indentation fracture*.

Ade Indra (2004) meneliti komposit Al₂O₃ yang mengandung 20% berat silica menggunakan partikel penguat nikel (Ni) dengan komposisi 0, 3, 6, 9, 12, dan 15% volume. Pembuatan komposit tersebut dilakukan dengan proses *pressureless sintering* di lingkungan argon. Pengukuran densitas menggunakan teori Archimedes dan hasilnya sebesar 92,41% diperoleh pada spesimen dengan temperatur 1425°C. Pengujian kekerasan Vickers dengan beban 153,2 N menunjukkan penurunan kekerasan bahan dari 824 MPa (komposit dengan 0% volume Ni) menjadi 540 MPa (komposit dengan 15% volume Ni). Pengujian *fracture toughness* dilakukan dengan metode *single-edge notched beam* (SENB) menunjukkan peningkatan harga *fracture toughness* dari 0,76 MPa.m^{1/2} pada komposit dengan 0% vol Ni menjadi 1,03 MPa m^{1/2} pada komposit dengan 12% Ni. Pengujian kekuatan bending dilakukan dengan metode *four point bending test* memberikan peningkatan bending dari 32,0 MPa pada komposit dengan 0% volume Ni menjadi 37,0 MPa pada komposit dengan 9 dan 12% volume Ni. Peningkatan

ketangguhan retak terjadi dengan mekanisme *crack deflection*, percabangan retak (*crack branching*) dan *crack bridging*.

LANDASAN TEORI

Bahan keramik adalah senyawa non-organik yang tersusun dari unsur logam dan bukan logam, ketahanan keramik terhadap slip lebih baik, sehingga keramik lebih keras tetapi selalu kurang ulet dibandingkan dengan bahan logam atau polimer. Pembuatan komposit matrik keramik yang diperkuat dengan partikel logam banyak dilakukan karena logam memiliki sifat yang lebih ulet dari pada keramik.

Secara umum pembuatan keramik dilakukan melalui beberapa tahap yaitu: *mixing* (pencampuran); *pressing* (pengempaan) dan *sintering* (pemanasan)

Proses *mixing* bahan keramik dan partikel logam penguat biasanya dilakukan dengan dua cara yaitu proses basah dan proses kering. Pada proses basah digunakan alkohol hal ini karena alkohol tidak bereaksi dengan partikel logam selama pencampuran berlangsung. Setelah proses pencampuran dilanjutkan dengan proses *pressing* untuk pembentukan *green body*. Proses *pressing* (pengempaan) dapat dilakukan dengan cara *uniaxial pressing* maupun *isostatic pressing*.

Sintering yaitu memanaskan *green body* di dalam *furnace* (dapur pemanas), selama sintering mengalami beberapa tahapan perubahan fisik material sampai titik leleh (Ryshkewitch, 1960).

Perbedaan koefisien muai panas antara partikel logam penguat dengan matrik keramik akan menyebabkan tegangan sisa pada interface antara partikel logam dengan matrik keramik. Jika $a_m > a_p$ maka pada interface akan terjadi tegangan radial tekan dan tegangan tangensial tarik namun jika $a_m < a_p$ maka yang terjadi pada *interface* adalah tegangan radial tarik dan tegangan tangensial tekan.

Microcrack dapat terjadi pada proses pendinginan dari suhu sintering, hal ini disebabkan karena perbedaan koefisien muai panas antara matrik dengan partikel penguat. Micro-

crack ini dapat menyebabkan percabangan retak (*crack branching*) yang mendistribusikan energi regangan dari suatu permukaan patah, sehingga menurunkan faktor intensitas tegangan (*stress intensity factor*) pada ujung retak utama (*principal crack tip*). Percabangan retak dapat meningkatkan ketangguhan retak karena energi yang dibutuhkan untuk merambatkan banyak retak lebih besar dari pada merambatkan sebuah retak utama (Chawla, 1993). Microcrack dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel (*particle size*). Jika jari-jari partikel jauh lebih kecil dari jari-jari kritis partikel ($r < r_c$) maka komposit dalam keadaan stabil dan tidak terjadi microcrack, jika jari-jari partikel mendekati jari-jari kritis ($r \approx r_c$) maka pada komposit dapat terjadi *stress – induced microcracking* dan jika jari-jari partikel jauh lebih besar dari jari-jari kritis partikel ($r \gg r_c$) akan terjadi *spontaneous microcracking*.

Jari-jari kritis partikel dapat dihitung dengan persamaan (Davidge dan Green, 1968).

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

Dimana :

- r_c = jari-jari kritis partikel (m)
- γ_s = energi permukaan matrik (J/m²);
- P_h = *hydrostatic pressure* pada interface matrik dan partikel (MPa);
- ν = Poisson's ratio;
- E = modulus elastisitas (MPa);
- Subscript, _m = matrik;
- _p = partikel.

Thermal stress merupakan faktor yang perlu diperhatikan karena sifat getas yang dimiliki oleh bahan keramik. *Thermal stress* pada komposit keramik dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain : gradien suhu saat pendinginan cepat, sifat *anisotropis* bahan dan α fasa kedua jauh lebih besar dari matrik keramik. Jika ada sebuah partikel bulat pada sebuah *infinite*

matrix, maka besarnya *thermal stress* dapat dihitung dengan persamaan (Barsoum, 1997).

$$\dots\dots(2)$$

Dimana :

- σ_{rad} = tegangan radial (MPa)
- σ_{tan} = tegangan tangensial (MPa);
- α = koefisien muai panas (°C);
- ΔT = beda suhu (°C);
- ν = Poisson's ratio;
- E = modulus elastisitas (MPa);
- R = jari-jari partikel (m);
- r = jarak dari interface ke titik yang ditinjau (μm);
- Subscript, _m = matrik
- _p = partikel.

Pada komposit matrik keramik yang diperkuat dengan partikel berbentuk bulat yang terdistribusi di dalam matrik keramik, perlu dipertimbangkan tegangan radial (σ_{rad}) dan tegangan tangensial (σ_{tan}) pada matrik. Tegangan yang terjadi dipengaruhi oleh penambahan partikel ke dalam matrik keramik (penambahan fraksi volum partikel) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut (Chawla, 1993).

$$\dots\dots\dots(3)$$

$$\sigma_{tan} = -\frac{P_h}{1 - \nu_p} \left(\frac{1}{2} \frac{R^3}{a^3} + \nu_p \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$P_h = \frac{(\alpha_m - \alpha_p) \Delta T}{\left[\frac{0,5(1 + \nu_m) + (1 - 2\nu_m)\nu_p}{E_m(1 - \nu_p)} + \frac{1 - 2\nu_p}{E_p} \right]} \dots\dots(5)$$

Dimana

- σ_{rad} = tegangan radial matrik (MPa);
- σ_{tan} = tegangan tangensial matrik (MPa);
- R = jari-jari partikel (im);

- a = jarak dari pusat partikel ke titik yang ditinjau (μm);
- = fraksi volume partikel;
- P_h = *hydrostatic pressure* (MPa);
- α = koefisien muai panas ($^{\circ}\text{C}$);
- = beda suhu ($^{\circ}\text{C}$);
- = Poisson's ratio;
- = modulus elastisitas (MPa); Subscript,
- m = matrik

Flexural modulus atau modulus elastisitas (E) pada pengujian bending ini (E) dihitung dengan menggunakan persamaan (Bassin, 1979).

$$E = \frac{F_{fail} \cdot l}{24 \cdot \delta \cdot I} (3L^2 - 4l^2) \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- F_{fail} = pembebanan (N);
- l = jarak tumpuan ke gaya tekan (mm);
- δ = defleksi (mm);
- = momen inersia (mm^4);
- L = jarak kedua tumpuan (mm)

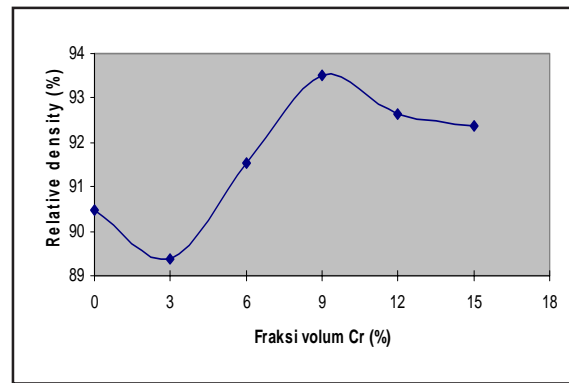
METODE PENELITIAN

Matrik Al_2O_3 berukuran 60 μm (Brataco Chemical) mengandung 20% berat silika dengan ukuran 1 μm (Switzerland) sebagai matrik. Partikel penguat digunakan chromium ukuran 300 μm (Merc-jerman). Pembuatan keramik dilakukan melalui beberapa tahap yaitu: *mixing* (pencampuran); *pressing* (pengempaan) dan *sintering* (pemanasan)

Peralatan yang dipergunakan; cetakan specimen, mixer, timbangan digital, furnace, alat uji vickers dan mikroskop optic.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan teori Archimedes, dimana specimen ditimbang di udara (W_{udara}) dan ditimbang di dalam air murni (W_{fluida}). Penimbangan di dalam air ini menyebabkan beratnya akan berkurang sebesar berat fluida (air) yang dipindahkan.



Gambar 1. Hubungan antara *Relative Density* dengan Fraksi Volume Partikel Cr pada Spesimen yang Disinter pada Suhu 1450°C

Secara umum *densitas relatif* semua komposisi komposit yang disinter pada suhu 1450°C masih tergolong rendah (kurang dari 95%) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Penyebab rendahnya densitas ini kemungkinan adalah karena ukuran partikel alumina teknis sebagai matrik tergolong besar (60 μm). Penyebab lainnya adalah suhu sinter yang belum optimum karena keterbatasan kemampuan *furnace* yang ada. Ukuran partikel merupakan salah satu faktor penting dalam sintering (Barsoum, 1997).

Analisa perhitungan *thermal stress* dilakukan dimana sebuah partikel bulat dalam sebuah *infinite matrix*, maka besarnya *thermal stress* dapat dihitung dengan persamaan (2). Koefisien muai panas alumina yang mengandung 20% berat silika yang dihitung dengan persamaan *rule of mixture* diperoleh $5,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, koefisien muai panas teoritis Cr adalah $6,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, poisson's ratio alumina yang mengandung 20% berat silika yang dihitung dengan persamaan *rule of mixture* diperoleh 0,22. Poisson's ratio teoritis Cr adalah 0,21, modulus elastisitas alumina yang mengandung 20% berat silika dihitung dengan persamaan (6) diperoleh 13,68 GPa, modulus elastisitas teoritis Cr adalah 279 GPa, jarak pada matrik dari *interface* (r) diambil 0, perbedaan temperatur (ΔT) akibat pendinginan dari suhu sintering sebesar -1425°C.

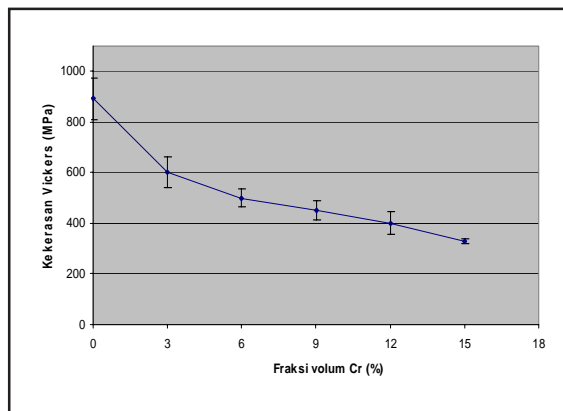
Tabel Hasil perhitungan tegangan sisa yang terjadi pada *interface* antara matrik dan partikel

Kandungan Cr	Tegangan sisa partikel (MPa)	Tegangan sisa pada matrik (MPa)		Jari-jari kritis (μm)
		Radial	Tangensial	
0% volum	0	0	0	0
3% volum	43,3	43,3	-23,7	30,3
6% volum	41	41	-24,4	32,3
9% volum	38	38	-24,6	33,9
12% volum	36,5	36,5	-25,7	35,5
15% volum	34,5	34,5	-16,4	37,5

Dari hasil perhitungan bahwa kondisi komposit dimana $\sigma_{\text{matrik}} < \sigma_{\text{partikel}}$ hal ini menyebabkan tegangan radial *tensile* sedangkan tegangan tangensial *compressive* (Barsoum, 1997).

PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen berbentuk silindris yang di sinter pada suhu 1450°C. Spesimen yang telah disinter dan diukur densitasnya, kemudian di-mounting dalam resin untuk memudahkan pemolesan dan pengujian kekerasan.



Gambar 2. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Setiap spesimen dilakukan enam titik pengujian pada permukaan penampangnya dengan beban 153,2 N menggunakan mesin uji kekerasan Vickers makro. Diagonal diamati dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100 kali dimana 38 garis pada pembacaan mikroskop sama dengan 1 mm pada spesimen.

Berdasarkan hasil eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 3 terlihat bahwa harga kekerasan Vickers pada matrik tanpa penambahan partikel penguat Cr lebih rendah jika dibanding dengan harga kekerasan teoritisnya sebesar 19 Gpa (Barsoum, 1997), hal ini kemungkinan oleh tingginya porositas spesimen. Sebagaimana dijelaskan di muka bahwa tingginya porositas tersebut kemungkinan disebabkan oleh ukuran partikel yang besar (60 μm) dan suhu sinter yang masih rendah.

Pada pengujian kekerasan Vickers pada Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa dengan penambahan partikel Cr ke dalam matrik keramik mengakibatkan kekerasannya menurun dari 892 MPa (tanpa penguat Cr) menjadi 329 MPa (15% volum Cr) atau kekerasannya mengalami penurunan sebesar 63 % hal ini disebabkan karena kekerasan teoritis logam Cr jauh lebih kecil dibanding kekerasan teoritis alumina.

PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Bentuk porositas pada permukaan spesimen dapat dilihat pada Gambar di bawah ini, terlihat dengan jelas porositas pada specimen masih cukup besar. Sebagaimana dijelaskan dimuka bahwa besarnya porositas tersebut kemungkinan disebabkan oleh ukuran partikel yang besar (60) dan suhu sinter yang belum memadai.

Gambar 3. Porositas pada Permukaan Keramik

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

relative density tertinggi sebesar diperoleh pada komposit dengan 9% volume Cr yang disinter pada temperatur 1450°C; harga kekerasan

Vickers turun seiring dengan penambahan partikel Cr; porositas pada specimen masih cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.C., Leaver, K.D., Rawlings, R.D., Alexander, J.M., 1990, Material Science, Chapman and Hall, 2-1 Boundary Row, London SE1 8HN, UK.
- Borsoum, M., 1997, Fundamentals of Ceramics, Mc Graw-Hill Companies, New York.
- Becher, P.F and Warwick, W.H., 1993, Factors Influencing The Thermal Shock Behavior of Ceramics, Nato ASI Series; Series E: Thermal Shock and Thermal Fatigue Behaviour of Advanced Ceramic, vol. 241.
- Bassin, M.G, Brodsky, S.M., and Wolkoff, H., 1979, Statics and strenght of Materials, Third Edition, Greeg Division Mc Graww-Hill Book Company.
- Chawla, K.K., 1993, Ceramic Matrix Composites, University Press, Cambridge, Great Britain.
- Davidge, R.W. dan Green, T.J., 1968, The Strength of Two-Phase Ceramic/Glass Material, Journal of Material Science 3, 629-634.
- Ekstrom, T., 1992, Alumina Ceramics with Particle Inclusions, Journal of the European Ceramic Society 11(1993) 487-496.
- Fahmi, H., 2004, Thermal Shock Resistance Komposit Matrik Alumina (mengandung 20% berat SiO₂) yang diperkuat Partikel Chromium, Tesis Magister Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Guichard, J.L., Tillement. O, Mocellin. A., 1997, Preparation and Characterization of Alumina-Iron Cermets by hot-Pressing of Nano Composite Powder, Journal of Materials Science 32, 4513-4521.
- German, R.M., 1984, Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, New Jersey.
- Green, D.J., 1998, An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramics, Cambridge University Press.
- Indra, A., 2003, Pengaruh Penambahan Partikel Nickel terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Alumina yang mengandung 20% berat silika, Tesis Magister Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Kondo, H., Sekino, T., Choa and Niihara, K., 1999, Mechanical Properties of 3Y-ZrO₂/ Ni Composite Prepared by Reductive Sintering, Publications of the Ceramics Society of Japan vol. 2, 419-422.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R., 1975, Introduction to Ceramics, A Wiley Interscience Publication Jonh Wiley and Sons, New York.

- Nindhia, T.G., 2003, Peningkatan Ketangguhan Retak Bahan Tahan Api Berkadar Alumina Tinggi dengan Penambahan Whisker Silikon Karbida, Desertasi Doktor Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Ryshkewitch, E., 1960, Oxide Ceramic, pp.44-45, Academic Press, New York.
- Ronald., F., Gibson, Principle of Composite Material Mechanics, MC Graw Hill, inc., 1994.
- Surdia T., dan Saito, 1992, Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Somiya S., 1989, Advanced Technical Ceramics, Academic Press inc, Tokyo.
- Van Vlack, L.H., 1985, Elements of Materials Science an Engineering, Addison Wesley Publishing Company, New York.
- Yanagida, H., 1996, The Chemistry of Ceramics, John Wiley and Sons, New York.

REKAYASA KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT RAMIE DENGAN CORE SEKAM PADI

Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura
email : agus_haryanto @ums.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi volume core terhadap peningkatan kekuatan Impak komposit sandwich serat ramie bermatrix Polyester dengan core sekam padi. Mekanisme perpatahan diamati dengan photo makro. Bahan utama penelitian adalah serat ramie, resin unsaturated polyester 157 BQTN, sekam padi. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan (press mold). Komposit sandwich tersusun terdiri dari dua skin (lamina komposit) dengan core ditengahnya. Lamina komposit sebagai skin terdiri dari serat ramie acak. Fraksi volume serat komposit sebagai skin adalah 40%. Core yang digunakan sekam padi dengan resin Urea Formaldehyde (UF181) dengan hardener HU12 sebesar 1 %, dengan fraksi volume sekam padi 30 %, 40 %, dan 50 %. Spesimen dan prosedur pengujian impak charpy mengacu pada standart ASTM D 5942. Penampang patahan dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola kegagalannya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume core menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan komposit sandwich. Seiring dengan peningkatan fraksi volume core juga menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan pula.. Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.

Kata Kunci: *komposit sandwich, kekuatan impak, energi serap, mekanisme patahan.*

PENDAHULUAN

Serat alam telah dicoba untuk menggeser penggunaan serat sintetis, seperti *E-Glass, Kevlar-49, Carbon/ Graphite, Silicone Carbide, Aluminium Oxide*, dan *Boron*. Walaupun tak sepenuhnya menggeser, namun penggunaan serat alam menggantikan serat sintesis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dibuat dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Berbagai jenis tanaman serat tum-

buh subur di Indonesia, seperti kenaf (*hibiscus canabinus*). Produksi serat ramie dunia menduduki posisi mencapai 100.000 ton/tahun (Eichorn, 2001). Di Indonesia, serat ramie tersebut biasanya hanya dipakai sebagai bahan karung goni sehingga nilai ekonominya rendah.

Ketersediaan sekam padi sangat berlimpah, namun nilai jualnya sangat murah dengan harga Rp 15/kg- Rp 50/kg (Rahmarestia, 2006). Sifat ringan sekam padi ini selaras dengan filosofi rekayasa bahan komposit, yaitu menghasilkan

disain ringan. Keberhasilan aplikasi sekam padi ini sebagai material *core* pada rekayasa bahan komposit diharapkan dapat menggantikan penggunaan bahan *core* sintetis impor dari luar negeri, seperti *core polyurethane foam (PUF)* dan *core Divynil cell (PVC)* (diabgroup).

Hal lain yang ironis adalah masuknya *core* kayu balsa yang diimpor dari Australia (diabgroup). Padahal, Indonesia sebagai negara tropis menghasilkan aneka bahan hasil pertanian termasuk sekam padi, produksi padi yang mencapai 51,4 juta ton gabah kering giling sekitar 20 % dari bobot padi adalah sekam padi (Hara, 1986). Inovasi teknologi dengan memanfaatkan bahan alam merupakan langkah bijak menuju kemandirian bangsa yang bertumpu sumber daya alam lokal. Salah satu solusi kreatif terhadap banyaknya material impor yang masuk di Indonesia adalah memberdayakan material alam lokal yang bertumpu pada budaya riset yang berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penggunaan serat ramie dan sekam padi sebagai bahan komposit *sandwich* merupakan solusi kreatif untuk mendukung perkembangan teknologi komposit yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh fraksi volume *core* terhadap peningkatan kekuatan impak komposit *sandwich* bermatrik *Polyester* dengan *core* sekam padi dengan *resin Urea Formaldehyde (UF181)* dan mengidentifikasi Pola kegagalannya.

TINJAUAN PUSTAKA

Yanuar, (2002), melakukan pengujian kekuatan bending dan impak pada komposit *GFRP 3 layer*. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa komposit *GFRP 3 layer* dengan menggunakan serat *E-Glass chopped strand mats 300 gr/m²* mempunyai kekuatan bending 18 % lebih besar dari pada dengan menggunakan serat *E-Glass chopped strand mats 450 gr/m²*. Komposit *GFRP 3 layer* dengan menggunakan serat *E-Glass chopped strand mats 450 gr/m²* mempunyai kekuatan impak 46 % lebih besar dari pada dengan menggunakan serat *E-Glass chopped strand mats 300 gr/m²*. Pada pengujian bending, komposit tersebut mengalami kegagalan pada

bagian bawah spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik material komposit *GFRP* lebih besar dibandingkan kekuatan tekannya.

Wahyanto dan Diharjo (2004) mensubstitusi penggunaan *core PUF* dan *PVC* dengan kayu sengon laut (KSL) yang dipotong melintang dan dikenai perlakuan *borac 5%*, untuk mengeluarkan glukosa / sari pati kayu agar tahan terhadap serangan hama bubuk dan jamur. Warna kayu berubah dari putih kemerahan menjadi kuning kecoklatan. Pada kadar air rata-rata 5,77 %, berat jenis kayu adalah 0,3 gr/cm³. Dengan dimensi yang hampir sama, komposit *sandwich GFRP* dengan *core KSL* memiliki kekuatan bending 108.87 MPa atau 25.23% di atas kekuatan bending komposit *GFRP sandwich* dengan *core PVC H 200*. Namun, kekuatan impak komposit *sandwich* inti *PVC H 200* lebih tinggi karena *core PVC* bersifat lebih lentur sehingga lebih tahan terhadap beban impak. Usaha menggeser penggunaan serat gelas dengan serat alam, maka Febriyanto dan Diharjo (2004) meneliti kinerja bending dan impak komposit hibrid *sandwich* serat kenaf dan gelas dengan inti KSL. Kinerja bending komposit ini (100.44 MPa) lebih rendah 7.74% di bawah kekuatan komposit *sandwich GFRP* inti KSL (108.87 MPa). Namun, ketahanan impak komposit hibrid *sandwich* tersebut lebih tinggi dibanding komposit *GFRP sandwich* inti KSL, yaitu 0.0628 J/mm² dan 0.058 J/mm². Salah satu faktor pendukung meningkatnya ketahanan impak ini adalah sifat alam serat kenaf yang lebih lentur/elastis. Pada panel komposit *sandwich*, penggunaan *core KSL* potongan membujur mampu meningkatkan kekuatan bending yang sangat tinggi, namun kekuatan impaknya hampir sama dengan potongan melintang. Kelemahan penggunaan *core* kayu potongan membujur adalah geometri panel dapat berubah (*ngulet*).

Hillger (1998) mengemukakan bahwa ada beberapa macam tipe kerusakan pada pengujian impak yang dapat dideteksi, seperti :retak dan delaminasi pada *skin*, *debonding* antara *skin* dan *core* serta kerusakan didalam *core*.

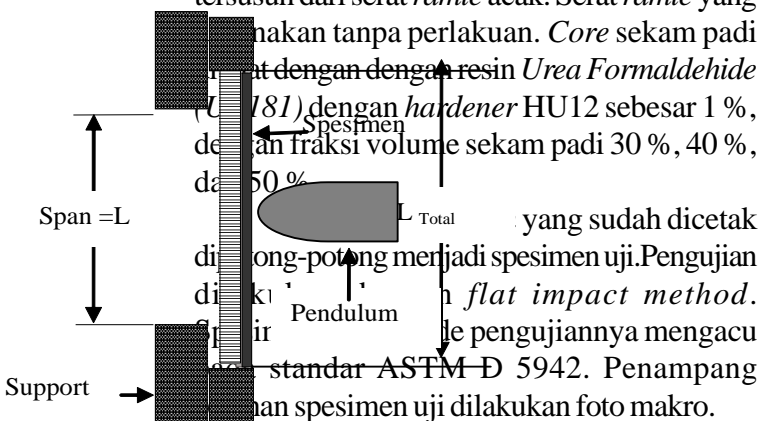
Luas kerusakan impak pada struktur *sandwich* dipengaruhi oleh material *core* dari

tumpukan laminasi permukaan *sandwich*, ukuran, massa, kecepatan pendulum dan kemampuan dari komponen *sandwich* untuk menyerap beban kejut. Pada struktur *sandwich* dengan *core foam* delaminasi dapat dideteksi, yaitu daerah yang terimpak, yang berada di antara *skin* dan *core* (Gaedke, 2001).

METODE PENELITIAN

Bahan utama penelitian adalah serat *ramie* acak dengan *density* 1,6 gr/cm³, *core* sekam padi dengan *density* 0,85 gr/cm³, *unsaturated poliester type 157 BQTN, hardener MEKPO* dengan kadar 1%, dan *adhesive epoxy resin* dan *epoxy hardener* dengan rasio 1:1 dengan *density* 0,5 ml/cm². Serat *ramie* yang digunakan tanpa perlakuan. Pembuatan komposit *sandwich* dilakukan dengan metode *press mold*. Fraksi volume serat acak komposit (*skin*) ditentukan 40%, yang dikontrol dengan ketebalan komposit *sandwich* saat pencetakan.

Komposit *sandwich* tersusun dari dua lamina komposit (*skin*) dengan *core* sekam padi di bagian tengahnya. Lamina komposit (*skin*) tersusun dari serat *ramie* acak. Serat *ramie* yang digunakan tanpa perlakuan. *Core* sekam padi acak dengan resin *Urea Formaldehide* (U781) dengan *hardener* HU12 sebesar 1 %, dengan fraksi volume sekam padi 30 %, 40 %, dan 50 % yang sudah dicetak di bong-potong menjadi spesimen uji. Pengujian dilakukan dengan *flat impact method*. Metode pengujiannya mengacu standar ASTM D 5942. Penampang dan spesimen uji dilakukan foto makro.



Gambar 1. Spesimen Uji Impak Charpy

Gambar 2. Pemasangan Spesimen Uji Impak (*Flat wise Impact*)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan sesuai standar ASTM D 5942 – 96 *sandwich* sebagai berikut:

$$W = GxR(\cos b - \cos a) \quad (1)$$

$$a_{cu} = \frac{W}{h \times b} \times 10^3 = \frac{W}{h \times b} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

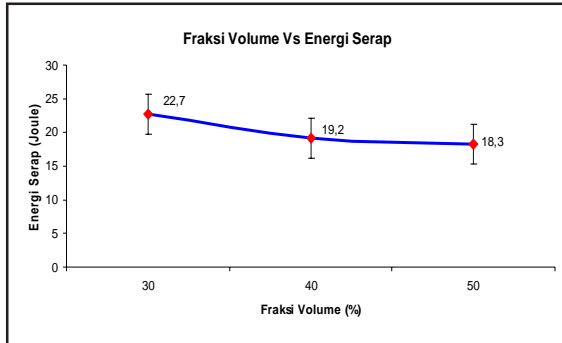
Tabel 1. Energi Serap Uji Komposit *Sandwich*.

Fraksi Volume (%)	Energi Serap W(Joule)
30	22.7
40	19.2
50	18.3

Tabel 2. Kekuatan Impak Komposit *Sandwich*.

Fraksi Volume (%)	Kekuatan Impak $a_{cu}(J/mm^2)$
30	104.6
40	88.1
50	84.9

Komposit *sandwich* yang diperkuat serat ramie acak, dengan *core* sekam padi, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pada hal yang sama juga terjadi pada perhitungan kekuatan impact pada tabel 2.



Gambar 3. Energi Serap Uji Impact Komposit *Sandwich*.



Gambar 4. kekuatan Impact Komposit *Sandwich*

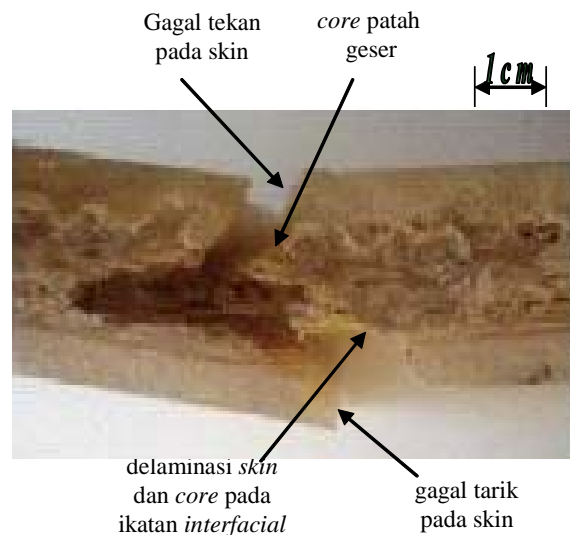
Dari pengujian impact *Charpy*, diperoleh kemampuan energi serap komposit *sandwich core* sekam padi seperti pada gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut, energi serap menurun seiring dengan penambahan fraksi volume. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich* menunjukkan secara signifikan penurunan kemampuan menyerap energi impact. Sifat material yang lebih lunak (sekam padi) dan penambahan fraksi volume menyebabkan memiliki kemampuan menyerap energi yang lebih rendah.

Bila ditinjau dari segi kekuatan impact, penambahan fraksi volume *core* menurunkan

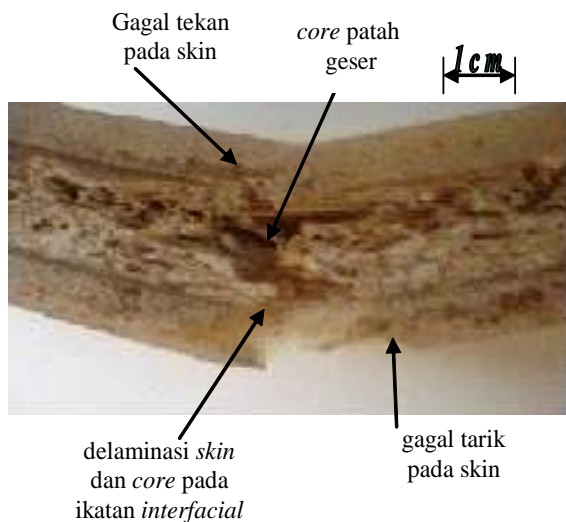
kekuatan impact komposit *sandwich*. Kekuatan impact komposit *sandwich* yang diperkuat serat ramie acak dengan *core* sekam padi memiliki sifat keuletan bahan ini dapat dikatakan lebih baik.

Penampang Patahan

Gambar 5. Permukaan Patah Komposit *Sandwich, Core* Sekam Padi pada $V_f=30\%$



Gambar 6. Permukaan Patah Komposit *Sandwich, Core* Sekam Padi pada $V_f=40\%$



Gambar 7. Permukaan Patah Komposit Sandwich, Core Sekam Padi pada $V_f=50\%$

Kegagalan impact komposit sandwich core sekam padi pada $V_f=30\%$, $V_f=40\%$, dan $V_f=50\%$ dapat dilihat dalam gambar 5, 6, dan 7. Kegagalan ini umumnya diawali dengan retakan pada komposit skin yang menderita tegangan tarik. Kemudian, beban impact tersebut didistribusikan pada core sehingga menyebabkan core mengalami kegagalan. Skin yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya core.

Dari spesimen uji mengalami kegagalan tekan pada komposit skin atas, patah geser core dan kegagalan tekan pada kedua skin. Mekanisme patahan terjadi karena kegagalan komposit sandwich akibat beban impact berawal dari skin komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan core, delaminasi skin dan core pada ikatan interfacial.

nisme patahan terjadi karena kegagalan komposit sandwich akibat beban impact berawal dari skin komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan core, delaminasi skin dan core pada ikatan interfacial.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Efek penambahan fraksi volume core menurunkan energi serap dan kekuatan impact secara signifikan pada komposit β sandwich.
2. Mekanisme patahan akibat beban impact diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi pada ikatan interfacial..

NOTASI PERSAMAAN

W	= Energi patah/serap (J)
G	= Berat pendulum (N)
R	= Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)
	= Sudut pendulum setelah menabrak benda uji (°)
	= Sudut pendulum tanpa benda uji (°)
	= Kekuatan impact (J /mm ²)
h	= Tebal specimen (mm)
b	= Lebar specimen (mm)

DAFTAR PUSTAKA

Annual Book of Standards, Section 8, D 5942-96, "Standard Test Methods for Determining Charpy Impact Strength of Plastics", ASTM, 1996.

Anonim, 2001, Technical data Sheet, PT Justus Sakti Raya Corporation, Jakarta.

Anonim, www.diabgroup.com, DIAB manufactures and markets products and services based on advanced polymer and composite technologies, Head Office DIAB AB Box 201S-312 22 LAHOLM Sweden.

Eichorn, S.J., Zafeiropoulos, C.A.B.N., Ansel, L.Y.M.M.P., Entwistle, K.M., Escamilla, P.J.H.F.G.C., Groom, L., Hill, M.H.C., Rials, T.G. and Wild, P.M., 2001, Review Current International

Research into Cellulosic Fibers and Composites, Journal of Materials Science, Vol. 36, pp. 2107-2131.

Febrianto, B. dan Diharjo, K., 2004, Kekuatan Bending Dan Impak Komposit Hibrid *Sandwich* Kombinasi Serat Karung Goni Dan Serat Gelas Polyester Dengan *Core* Kayu Sengon Laut, Skripsi, UNS, Surakarta.

Gaedke, M, 2001, *Impact Behavior and Residual Strength of Sandwich Structural Elements Under Static and Fatigue Loading*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Germany.

Hara, et-all, 1986, "*Utilization of Agrowastes for Building Materials*", International Research and Development Cooperation Division, AIST, MITI, Japan.

Hillger, 2003, *Inspection of CFRP and GFRP Sandwich Components*, Wilhelm Raabe Weg 13, D-3 8110 Braunschweig.

Rahmarestia, dkk., 2006. "*Analisis Penggunaan Sumber Energi Biomassa di Bidang Pertanian*" Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, litbang, deptan, Jakarta.

Wahyanto, B. dan Diharjo, K., 2004, Karakterisasi Uji Bending Dan Impak Komposit *Sandwich GRFP* Dengan *Core* Kayu Sengon Laut, Skripsi, UNS, Surakarta.

Yanuar, D, 2002, Pengaruh Berat Serat *Chooped Strand* Terhadap Kekuatan Bending, Impak dan Tarik Komposit *GFRP*, UNS, Surakarta.

STUDI PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN Fe-1,26Al-1,05C

Ratna Kartikasari

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta
Jl. Babarsari No.1 Depok, Sleman, Yogyakarta Telp. (0274) 485390
kartikafajar@yahoo.com

ABSTRAK

Paduan Fe-Al-C merupakan paduan baru kandidat pengganti stainless steel konvensional, dimana unsur Al berperan menggantikan unsur mahal (Cr) pada stainless steel konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C. Bahan baku peleburan terdiri dari: scrap baja Mn rendah, Al murni dan Fe-C. Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi tinggi kapasitas 50 kg dengan alloying di dalam ladle. Austenitisasi sampai temperatur 900°C dilanjutkan dengan quenching dalam media air. Proses temper dilakukan pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C. Pengujian yang dilakukan adalah foto struktur mikro, pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian korosi dalam media 3,5% NaCl dengan metoda kehilangan berat. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C as cast mempunyai struktur ferit dan perlit, kecenderungan pembentukan struktur ferit terjadi dengan semakin tinggi temperatur temper. Kekuatan tarik maksimum terjadi setelah hardening yaitu sebesar 82,7kg/mm² dengan regangan tertinggi sebesar 47,2% setelah temper 450°C. Kekerasan tertinggi sebesar 287,1 VHN terjadi setelah hardening. Hasil pengujian korosi menunjukkan bahwa laju korosi paduan 1,26Al-1,05C as cast akan menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.

Kata Kunci: paduan Fe-Al-C, stainless steel konvensional, alloying, temper.

PENDAHULUAN

Stainless steel (baja tahan karat) merupakan paduan berbasis besi (Fe) dengan kadar cromium (Cr) paling sedikit 10,5 % (Shackelford, 1992). Fe-Cr-C adalah paduan baja tahan karat jenis feritik dimana Cr berperan terhadap ketahanan korosi sekaligus berfungsi sebagai penstabil struktur ferit (Leslie, 1983). Keunggulan paduan jenis ini ditentukan oleh keberadaan unsur Cr. Kekurangan yang dimiliki oleh *stainless steel* adalah terutama pada mahalnnya biaya produksi. Karena Cr merupakan

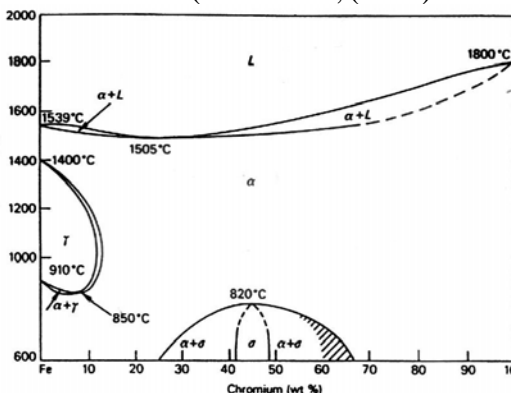
material strategis dan mahal di banyak negara, dimana 95 % cadangan Cr dunia hanya terdapat di Afrika Selatan dan Zimbabwe.

Berdasar pada alasan ekonomi dan strategi maka diperlukan upaya untuk menemukan paduan baru yang dapat menggantikan *stainless steel* konvensional. Diantara sistim paduan yang paling menjanjikan dapat menggantikan peran paduan Fe-Cr-C adalah paduan Fe-Al-C, dimana unsur Al menggantikan unsur Cr (Tjong, 1986 dan Wang, 1988). Unsur aluminium (Al), diketahui keberadaannya di dunia sangat melimpah, yaitu merupakan

kan unsur terbesar ketiga di bumi dan harganya relatif murah (Shackelford, 1992) dan proses produksinya relatif mudah (Frommeyer, 2000).

Paduan Fe-Al-C merupakan kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan beberapa jenis *stainless steel* konvensional pada aplikasi temperatur medium sampai tinggi (Huang, 2002). Paduan Fe-Al-C feritik menunjukkan sifat-sifat fisik, mekanik dan teknologikal, ketahanan korosi dan oksidasi, dan biaya bahan baku yang rendah (Kobayashi, 2005).

Paduan Fe-Al-C *lightweight steel* yang mengandung Al sampai 9% menunjukkan penurunan densitas hingga 10% lebih (Frommeyer, 2000). Sayangnya paduan Fe-Al-C pada temperatur ruang menunjukkan gejala rapuh dengan nilai ketangguhan yang rendah (Jablonska, 2006). Baligheid (1996) melaporkan bahwa penambahan karbon pada Fe-Al dengan kadar Al antara 8,5-16% akan menghasilkan paduan dengan kekuatan yang lebih tinggi dan *machinability* yang lebih baik (Baligheid, 1998). Paduan Fe-Al-C dikembangkan untuk aplikasi struktur pada temperatur sampai dengan 873K (Sikka et al., (1993) and Prakash et al., 1991),



adalah salah satu unsur terbesar di dunia (Tom, 2008), maka paduan ini menjadi kebutuhan industri *stainless steel* konvensional import.

Untuk membuat logam modifikasi dilakukan oleh IKM (Kendaraan Logam), mempelajari sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C.

TINJUAN PUSTAKA

Untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur dalam paduan biner terhadap fasa γ yang dihasilkan, dapat mengacu pada daftar periodik unsur-unsur (Leslie, 1983). unsur-unsur yang berperan sebagai pembentuk struktur ferit disebut sebagai Cr equivalent dan unsur-unsur yang berperan sebagai pembentuk struktur austenit disebut sebagai Ni equivalent (Honey-

combe, 1995) yang secara umum dirumuskan sebagai berikut : $Cr\ equivalent = (Cr) + 2(Si) + 1,5(Mo) + 5(V) + 5,5(Al) + 1,75(Nb) + 1,5(Ti) + 0,75(W)$. $Ni\ equivalent = (Ni) + (Co) + 0,5(Mn) + 0,3(Cu) + 25(N) + 30(C)$

Hubungan antara Cr equivalent dan Ni equivalent digambarkan dalam diagram Schaeffler (Gambar 2).

Unsur paduan yang mempunyai perilaku seperti Cr dalam sistem paduan biner Fe-Cr adalah Al. Diagram kesetimbangan Fe-Al (Gambar 3) memperlihatkan kemiripan dengan diagram kesetimbangan Fe-Cr (Gambar 1) Dari daftar periodik unsur-unsur, juga dapat diketahui bahwa Al mempunyai *gamma loop* (loop γ) seperti Cr.

Kelarutan Al dalam γ -Fe sangat kecil dibandingkan Cr (Avner, 1987). Hal ini berarti, Al hanya dapat ditambahkan dalam jumlah yang sangat terbatas.

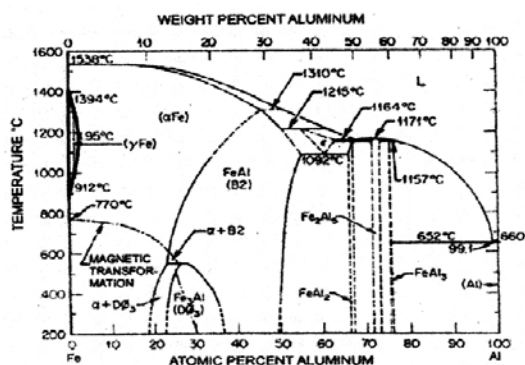
Aluminium adalah logam reaktif yang dapat membentuk lapisan pelindung aluminium-oksida. Lapisan ini mempunyai sifat yang sangat stabil dalam lingkungan netral dan asam, tetapi rentan dalam lingkungan alkali (Fontana, 1988). Paduan Al (*Al alloy*) telah secara luas digunakan dalam industri, tetapi dalam *stainless steel* konvensional, Al hanya ditambahkan dalam jumlah yang kecil. Sistem paduan Fe-Al bersifat feritik pada semua temperatur (setara dengan Fe-Cr *stainless steel*). Fasa γ muncul dalam area yang sangat sempit pada penambahan Al dalam jumlah kecil ($\pm 2\%$) mulai temperatur 912°C sampai dengan 1394°C.

Gambar 1. Diagram Kesetimbangan Fe-Cr (Leslie, 1983)

Gambar 2. Diagram Schaeffler (Honeycombe, 1995) (Honeycombe, 1995)

Pada proses pendinginan lambat fasa γ dalam sistim paduan yang mengandung Al rendah dan C tinggi akan terdekomposisi membentuk fasa eutektik. Sedangkan pada pendinginan cepat akan tertransformasi membentuk struktur martensit.

Menurut Davidson dkk. (1988), penambahan Mn pada *stainless steel* konvensional dalam jumlah besar akan menurunkan sifat-sifat paduan, tetapi dalam jumlah yang sedang akan mempunyai pengaruh yang menguntungkan, karena Mn akan berinteraksi dengan S membentuk Mn-sulfida yang akan berperan dalam meningkatkan ketahanan korosi, khususnya terhadap *pitting corrosion*. Sistim paduan Fe dengan 28-30% Mn, 8-10% Al dan 0,8-1% C di atas 850°C mempunyai struktur austenit lewat jenuh, dengan pemanasan 350-700°C struktur austenit akan terdekomposisi membentuk fasa $(Fe,Mn)_3AlC$ yang akan meningkatkan kekuatan luluh secara signifikan.



Gambar 3. Diagram Keseimbangan Fe-Al (Chao, 2002)

METODE PENELITIAN

Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi tinggi kapasitas 50 kg milik POLMAN Ceper, Klaten, Jawa Tengah dengan alloying dilakukan di dalam *ladle*. Bahan baku peleburan menggunakan scrap baja rendah Mn, aluminium murni dan Ferro-karbon. Coran dibuat dalam bentuk ingot dengan ukuran 3cm x 3cm x 20cm. Target komposisi yang akan dicapai adalah Fe-1,26% berat Al-1,05% berat C. Perhitungan komposisi secara manual dilakukan dengan *material balance* dengan toleransi kehilangan Al sebesar 15%. Ingot paduan Fe-Al-C selanjutnya dipotong menggunakan *meta-cut* dibentuk menjadi specimen uji tarik berdasarkan standard JIS 2201, specimen uji kekerasan dan specimen uji korosi dengan ukuran diameter 14 mm tinggi 10 mm. Proses *heat treatment* terdiri dari *hardening* yaitu pemanasan sampai temperatur 900°C selama 1 jam dilanjutkan *quenching* dalam media air. Temper dilakukan pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C selama 1 jam. Uji korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat berdasar standar ASTM G31. Foto struktur mikro dengan mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Hasil Uji Struktur Mikro Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Gambar 4 menunjukkan struktur mikro paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast*, terlihat bahwa struktur paduan terdiri dari ferit dan perlit yang terdistribusi merata dengan jumlah yang hampir seimbang. Terlihat adanya pola dendritik dalam jumlah yang relatif kecil. Perubahan yang mencolok terjadi setelah austenitisasi pada temperatur 900°C. Struktur ferit mendominasi dengan ukuran butir yang besar-besar sedangkan struktur perlit tersisa sedikit di bagian batas butir ferit (Gambar 5). Struktur perlit semakin berkurang dengan semakin tinggi temperatur temper dan pada temperatur temper 450°C struktur ferit hampir sempurna. Hal ini mem-

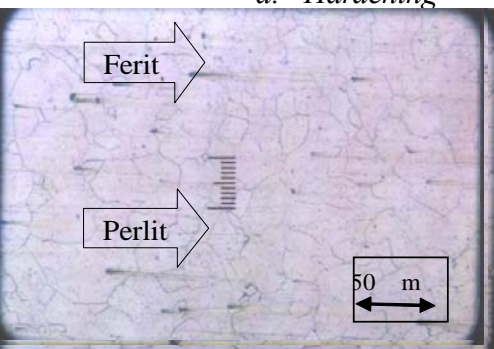
buktikan peran Al sebagai penstabil struktur ferit pada paduan Fe-1,26Al-1,05C.

d. Temper 350°C

Gambar 4. Struktur Mikro 1,26Al-1,05C

e. Temper 400°C

a. *Hardening*



b. Temper 250°C

f. Temper 450°C

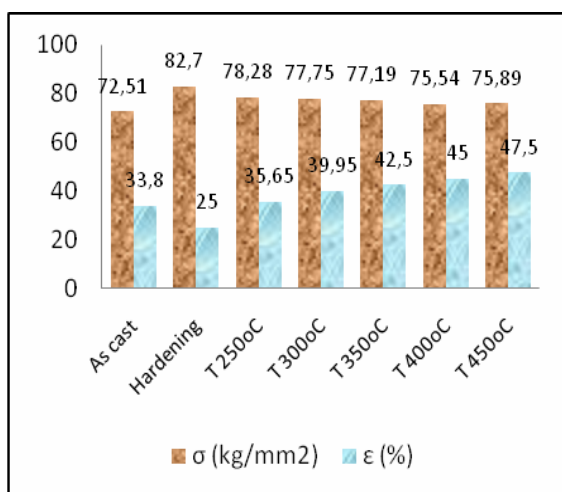
Gambar 5. Pengaruh Temperatur Temper terhadap Struktur Mikro Paduan Fe-1,26Al-1,05C

c. Temper 300°C

2. Analisis Hasil Uji Kekuatan Tarik Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C mempunyai kekuatan tarik sebesar 72,51 kg/mm² (Gambar 6) dengan regangan (ϵ) sebesar 33,8%. Nilai kekuatan tarik ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik baja tahan karat feritik Fe-Cr-C yaitu berkisar 45-50 kg/mm²

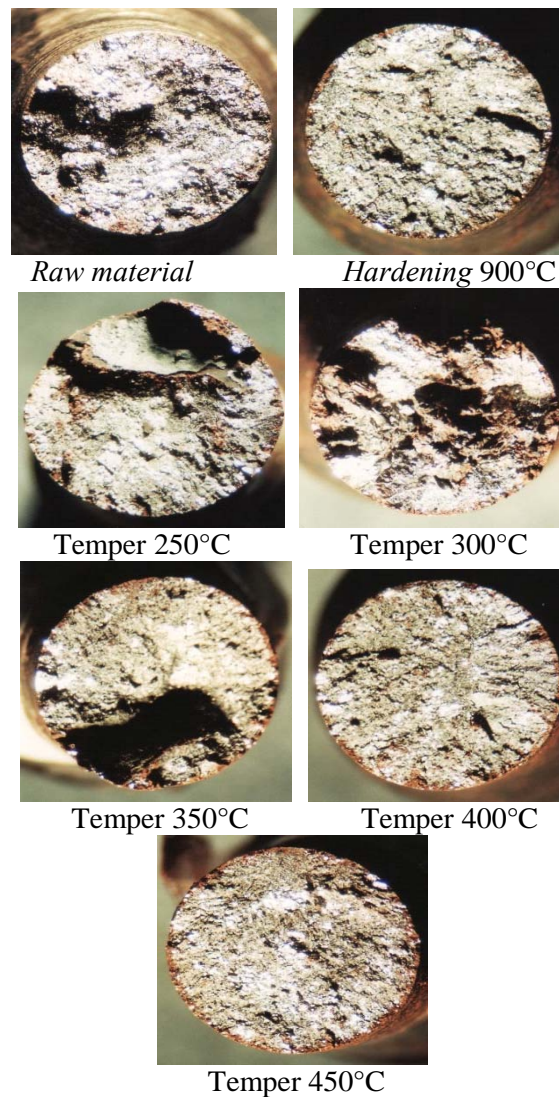
(AZoM™.com, 2009). Hal ini disebabkan kadar karbon yang tinggi dan adanya senyawa intermetalik Fe-Al yang berperan dalam peningkatan kekuatan paduan. Setelah *hardening* terlihat kekuatan tarik meningkat menjadi 82,7kg/mm² yang diikuti dengan penurunan regangan menjadi 25%. Fenomena ini disebabkan terjadinya perubahan struktur yang sangat mencolok dimana struktur ferit dengan ukuran yang besar lebih mendominasi dikelilingi struktur perlit dengan jumlah yang relatif lebih kecil. Senyawa intermetalik Fe-Al setelah *hardening* berperan dalam penurunan regangan. Proses temper akan menurunkan kekuatan. Semakin tinggi temperatur temper kekuatan tarik semakin menurun hingga mencapai nilai minimal sebesar 75,89kg/mm². Fenomena ini disebabkan semakin tinggi temperatur temper maka struktur paduan Fe-1,26Al-1,054C akan cenderung menjadi lebih feritik. Transisi getas-ulet paduan Fe-1,26Al-1,054C dapat dilihat dari permukaan patah specimen uji tarik pada Gambar.7.



Gambar 6. Pengaruh Temperatur Temper terhadap Kekuatan Tarik dan Regangan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

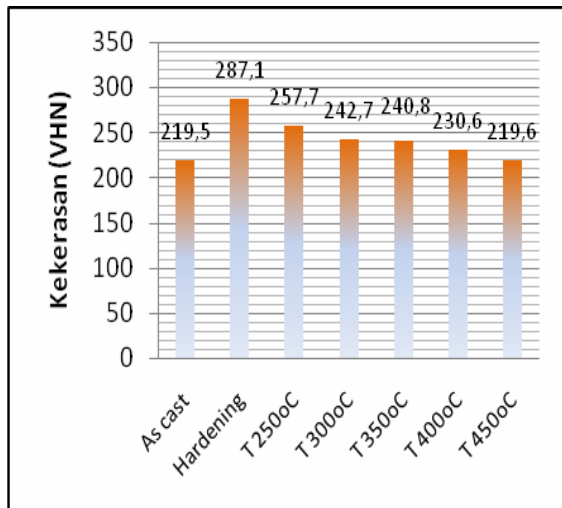
3. Analisis Hasil Uji Kekerasan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Gambar 8. menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* mempunyai nilai



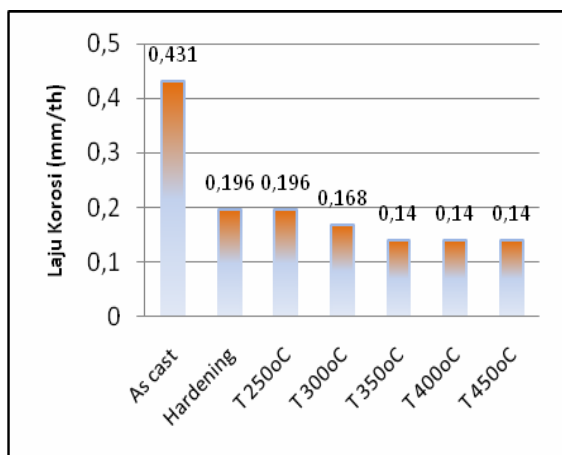
Gambar 7. Makro Permukaan Patah Spesimen Uji Tarik

kekerasan sebesar 219,5 VHN. Nilai kekerasan tertinggi tertinggi terjadi setelah *hardening* yaitu sebesar 287,1 VHN. Semakin tinggi temperatur temper kekerasan paduan Fe-1,26Al-1,05C semakin menurun hingga mencapai nilai minimal pada temper 450°C yaitu sebesar 219,6 VHN. Fenomena ini sesuai dengan fenomena yang terjadi pada struktur mikro paduan Fe-1,26Al-1,05C, dimana dengan heat treatment terjadi kecenderungan perubahan struktur menjadi lebih feritik.



Gambar 8. Pengaruh Temperatur Temper terhadap Kekerasan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

4. Analisis Hasil Uji Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,26Al-1,05C



Gambar 9. Pengaruh Temperatur Temper terhadap Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat. Paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* mempunyai laju korosi sebesar 0,431 mm/th termasuk katagori baik berdasarkan Tabel 1 (tabel MPY) (Fontana, 1987). Laju korosi akan semakin menurun dengan *heat treatment* dan mencapai nilai minimal pada temper 450°C dengan laju korosi

sebesar 0,14 mm/th. Jika dianalisis dari perubahan yang terjadi pada struktur mikro akibat proses *heat treatment* maka penurunan jumlah perlit yang terjadi cenderung menurunkan laju korosi pada paduan Fe-1,26Al-1,05C. Secara keseluruhan berdasarkan tabel 1 laju korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C termasuk dalam katagori baik.

Tabel 1. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Harga MPY

Tingkat ketahanan korosi	MPY	Konversi kesatuan-satuan lain			
		mm/ tahun	$\mu\text{m}/$ tahun	mm/ tahun	pm/ tahun
Luar biasa	<1	<0.02	<25	<2	<1
Sangat baik	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Baik	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Cukup baik	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Kurang baik	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Tidak dianjurkan	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

Sumber : Fontana, 1987

KESIMPULAN

1. Struktur paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* terdiri dari ferit dan perlit yang terdistribusi merata dan dalam jumlah kecil struktur dendrit. Semakin tinggi temperatur temper struktur berubah menjadi lebih feritik.
2. Kekuatan tarik paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* sebesar 72,41 kg/mm² dengan regangan sebesar 33,8%. Kekuatan tarik maksimal terjadi setelah *hardening* dan akan menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.
3. Nilai kekerasan paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* sebesar 219,5VHN. Nilai kekerasan tertinggi terjadi setelah *hardening* dan akan semakin menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.
4. Laju korosi tertinggi terjadi pada paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* yaitu 0,431 mm/th dan semakin menurun dengan semakin tinggi temperatur temper. Secara keseluruhan laju korosi termasuk katagori baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Avner, H.S., 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Baligheid, R.G., Prakash, U., Ramakrishna Rao, V., Rao, P.K., and Ballal N.B., 1996, *Effect of Carbon Content on Mechanical Properties of Electroslag Remelted Fe3Al Based Intermetallic alloys*, Vol. 36, No. 12, 1453-1458.
- Baligheid, R.G., Prakash, U., and Radha Krishna, 1998, *Effect of Carbon Addition on Structure and Mechanical Properties of Electroslag Remelted Fe-20wt.%Al alloy*, Vol. 249, No. 1-2, 97-102.
- Chao, Y.C., and Liu, C.H., 2002, *Effect of Mn Content on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-10Al-xMn-1.0C Alloy*, Materials Transactions, Vol. 3, No. 10, pp. 2635-2642.
- Davidson, R.M., DeBold, T. dan Johnson, M.J, 1988, *Corrosion of Stainless Steel, dalam ASM Handbook*, Metals Park, Ohio
- Environmentalchemistry.com, 2008, Environmental, *Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources*, Periodic Table of Elements.
- Fontana, G.M., 1988, *Corrosion Engineering*, 3th ed., McGraw Hill Inc., Singapore.
- Frommeyer, 2000, *Physical and Mechanical Properties of Iron-Aluminium-(Mn-Si) Lightweight Steels*, The 1999 ATS International Steelmaking Conference, Paris. Sec.4.
- Honeycombe, R.W.K. dan Bhadeshia, H.K.D., 1995, *Steel Microstructure and Properties*, 2nd ed., Edward Arnold, London.
- Huang, B.X., Wang, X.D., Rong, Y.H., Wang, L., and Jin, L., 2006, *Mechanical Behavior and Martensitic Transformation of an Fe-Al-Si-Al-Nb Alloy*, Materials Science and Engineering A, Vol. 438-440, p. 306-311.
- Kobayashi, S., Zaefferer, S., Schneider, A., Raabe, D., and Frommeyer, G., 2005, *Optimisation of Precipitation for Controlling Recrystallization of Wrought Fe3Al Based Alloys*, Intermetallics, 13, 1296-1303.
- Leslie, T., 1983, *The Physical Metallurgi of Steels*, John Willey and Sons Inc., New York.
- Prakash, U. Buckley, R.A., Jones, H. and Sellars, C.M., 1991, *Structure and Properties of Ordered Intermetallics Based on the Fe-Al System*, ISIJ Int., vol 31, no. 10, 1113-1126.
- Shackelford, J.F., 1992, *Introduction to Material Science for Engineers*, 3th ed., McMillan Publishing Company, New York.
- Sikka, V.K., Viswanathan, S., and McKamey, C.G., 1993, in '*Structural Intermetallic*', (ed. R. Darolia et al.), Warrendale, PA, TMS. pp. 483-491
- Tjong, S.C., 1986, *Stress Corrosion Cracking behavior of the duplex Fe-10Al-29Mn-0,4C alloy in 20% NaCl solution at 100°C*, Journal of Material Science, Vol. 21, Hal.: 1166-1170

Wang, S., Zhang, H., dan Chen, S.J., 2000, *Experiment on Fe-Al-Mn Deoxidizing and Alloying of Low-carbon Aluminium Killed Steel*, Journal Iron Steel Vanadium Titanium, Vol. 21, No. 4., hal. 44-49.

PENINGKATAN KEKAKUAN PEGAS DAUN DENGAN CARA QUENCHING

Pramuko Ilmu Purboputro

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Surakarta

Pramuko_ip@ums.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase komposisi kimia, fasa penyusun struktur mikro, kekerasan dan harga impact spesimen raw material maupun hasil perlakuan panas dengan variasi pendinginan dari komponen pegas daun,. Material uji yang digunakan adalah pegas daun L300 dengan pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, impact, struktur mikro dan kekerasan dengan variasi quenching air garam, quenching air quenching oli dan annealing. Dari hasil uji komposisi kimia pegas daun termasuk baja karbon sedang ($C = 0,300\%$). Hasil struktur mikro spesimen raw material didapatkan fasa ferit, perlit halus dan bainit, quenching air garam didapatkan fasa martensit halus dan merata, quenching air didapatkan fasa martensit kasar dan endapan karbida pada batas butir, quenching oli didapatkan sedikit fasa martensit dan banyak endapan karbida pada batas butir serta austenit sisa, annealing didapatkan fasa perlit dan ferit. Hasil uji kekerasan di-dapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen quenching air garam sebesar 598,75 VHN. Hasil pengujian impact harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling liat) adalah spesimen annealing sebesar 0,278 J/mm².

Kata Kunci: *pegas daun, raw material, anil, quench (air, air garam, dan oli)*

PENDAHULUAN

Pada saat ini baja merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri, karena baja mempunyai sifat-sifat fisis dan mekanis yang bervariasi. Pegas daun termasuk ke dalam golongan baja pegas. Baja pegas sebenarnya tidak mempunyai kekerasan tinggi. Baja ini dapat dikeraskan dan ditingkatkan keuletannya dengan beberapa cara, antara lain dilakukan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dapat membentuk (merubah) sifat baja dari yang mudah patah menjadi lebih kuat dan ulet atau juga dapat merubah sifat baja dari yang lunak menjadi sangat keras dan sebagainya. Proses *heat treatment*

itu sendiri merupakan salah satu bagian dari proses produksi, namun *heat treatment* ini hendaknya dipandang terpisah dari rangkaian proses produksi. *Heat treatment* merupakan proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dalam jangka waktu tertentu yang dimaksudkan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu pada logam atau paduan. Pembentukan sifat-sifat inilah yang sangat diperlukan untuk memperoleh material bahan industri yang betul-betul sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya.

Pada penelitian ini selain material asli (*raw material*), juga digunakan spesimen untuk proses pemanasan. Pemanasan yang dilakukan

adalah dengan memanaskan spesimen baja pegas daun ke dalam *oven*. Temperatur austenitisasinya adalah 950°C. Pada temperatur tersebut ditahan selama 30 menit, kemudian dilanjutkan mendinginkannya dengan 4 variasi pendinginan cepat (*quenching*), yaitu : air, air garam, oli dan pendinginan lambat atau dalam dapur itu sendiri (*annealing*).

Dari penjelasan langkah penelitian tersebut di atas kemudian timbul pertanyaan : apakah yang terjadi pada sifat fisis dan mekanis dari perlakuan panas dan variasi pendinginan tersebut, khususnya dalam peningkatan kekerasan dan ketangguhan pada baja pegas daun?

TINJAUAN PUSTAKA

Andi Setiyawan (2003), mengadakan penelitian mengenai pengaruh proses *quenching* terhadap sifat fisis dan mekanis sudu *blower dinamo ampere* pada mobil diesel didapatkan kesimpulan bahwa lama waktu penahanan (*holding time*) pada material ini mempengaruhi sifat mekanis material yaitu terhadap nilai kekerasan. Dimana material dasar tanpa perlakuan memiliki kekerasan rata-rata sebesar 664,1 kg/mm², material hasil *quenching* 850 °C dengan *holding time* 1 jam sebesar 723,64 kg/mm² dan material hasil *quenching* 850 °C dengan *holding time* 2 jam sebesar 730,5 kg/mm².

Analisa proses *quenching* pada *stainless steel* seri 304 produk di pasaran yang dilakukan oleh Chandra Dewa Utama (2004) menyimpulkan berdasarkan uji kekuatan tarik, didapat harga kekuatan tarik untuk spesimen tanpa perlakuan panas dengan harga 342,67 N/mm² lebih tinggi dibanding dengan *heat treatment*. Sedangkan setelah perlakuan panas pada suhu 1000^o C di *quenching* di es harga kekuatan tarik paling rendah yaitu 305,83 N/mm². Sehingga kekuatan tarik sebelum di *heat treatment* lebih meningkat / tinggi daripada setelah mengalami perlakuan panas. Pada perbesaran 200x, untuk hasil foto struktur mikro semua spesimen memperlihatkan adanya butiran-butiran hitam (perlit), butiran-butiran putih (ferit) dan ada juga bintik-bintik hitam (chromium). Ukuran butiran-butiran bertambah besar setelah perlakuan panas. Karbida

pada spesimen tanpa perlakuan panas terlihat lebih banyak dibanding dengan spesimen dengan perlakuan panas. Spesimen yang mempunyai jumlah karbida lebih banyak, mempunyai harga kekerasan lebih tinggi.

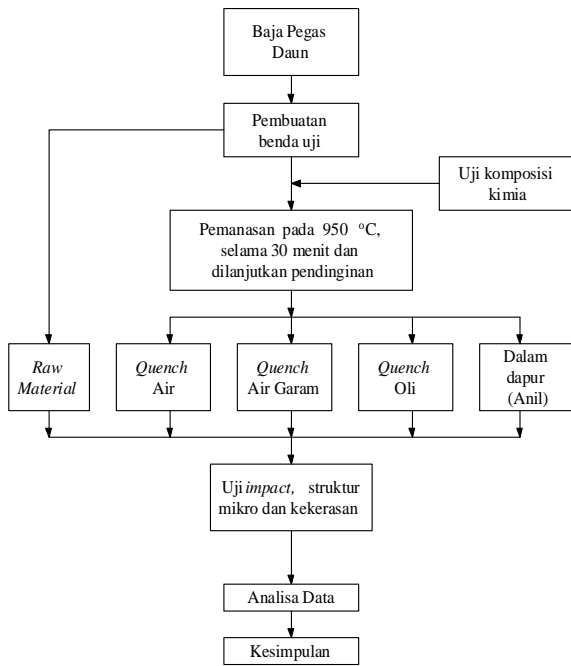
Gatot Budiyanto (2003) melakukan penelitian tentang pengaruh proses *quenching* dan *annealing* terhadap struktur mikro dan kekerasan *sprocket* Toyota Kijang, yang menunjukkan hasil dari data pengujian kekerasan bahwa untuk *raw material* merupakan *material* yang mempunyai harga kekerasan paling tinggi dimana pada bagian ujung didapatkan harga kekerasan 203,4 kg/mm², pada bagian tengah 177 kg/mm², pada bagian induk 159,9 kg/mm². Sedangkan setelah mengalami proses *quench* dan *anneal*, harga kekerasannya menjadi turun dibandingkan dengan *raw material*. Berdasarkan pengamatan struktur mikro untuk tanpa dan dengan proses *quenching* serta *annealing* didapatkan struktur mikro ferit dan perlit saja, dimana untuk *material* proses *quenching* dan *annealing* didapatkan struktur butir yang lebih besar dari pada *raw material* sehingga kekerasannya menjadi turun.

Agung Cahyono (2003) dalam penelitian mengenai peningkatan kualitas kekerasan poros *propeller* dengan perlakuan panas *quenching* menyimpulkan bahwa pada pengujian *impact* didapat harga *impact* rata-rata *raw material* 1,7995 Joule/mm², sedangkan harga *impact* rata-rata spesimen *quench* 1,396 Joule/mm². Serta dari data pengujian kekuatan tarik dapat diketahui kekuatan tarik rata-rata pada *raw material* adalah 599,87 N/mm², sedangkan pada spesimen *quench* harga kekuatan tarik rata-rata adalah 645,9 N/mm².

METODOLOGI PENELITIAN

Alur Penelitian

Alur Penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Alur Penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut;

- a). **Penyiapan Bahan**
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pegas daun jenis mobil Mitsubitsi berbentuk pelat memanjang.
- b). **Pembuatan Benda Uji**
Pemotongan bahan dengan ketebalan 8 mm, menggunakan gergaji pendinginan dengan air untuk menjaga kestabilan struktur internal agar tidak panas. Adapun benda uji penelitian berjumlah 16 buah, masing-masing 3 buah untuk pengujian *impact* sekaligus digunakan untuk pengamatan struktur mikro dan kekerasan. Sedangkan benda uji komposisi kimia berjumlah 1 (satu) buah diambil langsung dari *raw material*.
- c). **Pengujian Komposisi Kimia**
Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa dan mengetahui jumlah (prosentase) kandungan unsur paduan yang terdapat pada spesimen, terutama kadar unsur karbon (C).
- d). **Perlakuan Panas**
Perlakuan panas dengan menggunakan dapur pemanas (*furnace*), pada temperatur pemanasan 950° C dan waktu tahan 30 menit. Alat-alat dan bahan yang digunakan antara

dapur pemanas (*furnace*) sedangkan media pencelup : air tawar suhu ruang, Garam NaCl dan Oli

- e). **Pengujian *Impact***
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keuletan dan ketahanan benda uji terhadap beban dinamis. Uji *impact* digunakan metode *Charpy*
- f). **Pengamatan Struktur Mikro**
Pengamatan dilakukan di bawah mikroskop *Olympus Metallurgical Microscope* dengan pembesaran 200x dan 500x, sedangkan untuk pemotretan dilakukan dengan tambahan alat *Olympus Photomicrographic System*.
- g). **Pengujian Kekerasan**
Pengujian kekerasan pada penelitian ini adalah menggunakan uji kekerasan *Macro Hardness Vickers*. Alat yang digunakan adalah *Macro Vickers Hardness Tester*. Indentor (*penetrator*) yang digunakan berupa piramida intan dengan diagonal-diagonal piramid yang digunakan adalah d_1 (mm) dan d_2 (mm). Sedangkan beban penekanan yaitu 40 kg dengan waktu pembebanan selama ± 5 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian Komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian Komposisi kimia

Unsur Kimia	Prosentase Unsur (%)
Fe	97,07
Si	1,292
Mn	0,735
W	0,040
C	0,300
Cr	0,220
Ni	0,152
Cu	0,122
Mo	0,031
S	0,013
Nb	0,010
P	0,004
V	0,000
Al	0,000
Ti	0,000

Dengan melihat data hasil pengujian komposisi kimia didapatkan 15 unsur. Pada spesimen *spare part* pegas daun mengandung 0,300 % C sehingga berdasarkan unsur karbon diklasifikasikan sebagai baja karbon sedang. Unsur penyusun utama selain besi (Fe) = 97,07 % juga didapatkan unsur silikon (Si) = 1,292 % yang berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras secara keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat, tetapi juga mampu menurunkan tegangan, kemampuan tempa dan meningkatkan kemampuan las. Mangan (Mn) = 0,735 % berguna untuk meningkatkan kekerasan, kekuatan dan mampu diperkeras pada baja.

Unsur tambahan dalam jumlah yang relatif kecil, yaitu : wolfram (W) = 0,04 %; molibden (Mo) = 0,031 %; sulphur (S) = 0,013 %, niobium (Nb) = 0,01 %; fosfor (P) = 0,004 %; vanadium (V) = 0,000 %; aluminium (Al) = 0,000 % dan titanium (Ti) = 0,000 %.

Pengamatan Struktur Mikro

Hasil foto mikro dapat dilihat pada gambar 2 sampai 5.

Dari hasil pengamatan struktur mikro *raw material* (gambar 2) menunjukkan fasa yang tampak adalah bainit. Bainit tersusun atas ferit (warna putih) yang berbentuk bilah (*lath*) dan sementit (Fe_3C) yang mengendap pada batas butir. Kekerasan fasa bainit masih di bawah martensit. Struktur bainit mirip jarum-jarum pendek / butiran beras, sedikit mirip dengan martensit akan tetapi lebih liat dari martensit dan lebih keras dari perlit. Sedikit didapatkan ferit, perlit halus (warna hitam) dan dominasi pada bainit. Proses terbentuknya bainit karena adanya proses austemper pada pembuatan produk sebelumnya.

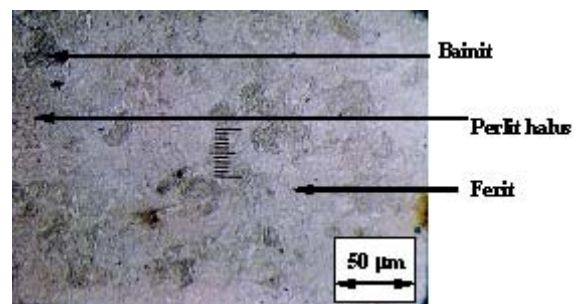
Gambar 3 Struktur mikro *quenching* air garam menunjukkan adanya fasa martensit yang dapat menunjukkan telah terjadinya pendinginan yang sangat cepat (*quench*). Pada *quenching* air garam, martensit yang terbentuk lebih rapat dan merata. Laju dingin cepat menghasilkan ukuran dan struktur butir yang halus. Selama

pemanasan mendekati temperatur austenitisasi sudah terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit. Transformasi selesai pada temperatur M_f . Hampir seluruhnya menjadi martensit.

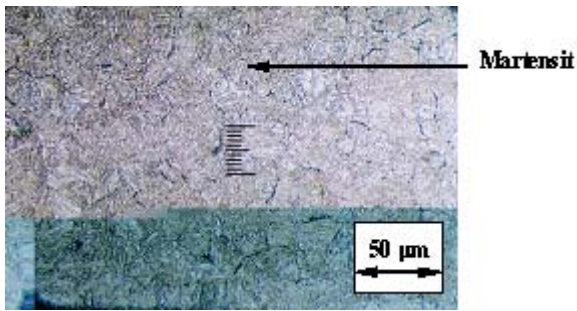
Pada foto Struktur mikro *quenching* air (gambar 4) didapatkan fasa martensit yang orientasi atau penyebarannya tidak merata dan tidak tersusun rapat (meregang). Juga tampak kondisi batas butir yang berukuran besar yang menunjukkan pertumbuhan butir yang cukup banyak. Terjadi pengendapan karbida (*carbide precipitation*) pada batas butir dan tidak ikut dalam reaksi pembentukan martensit, sehingga martensit yang dihasilkan sedikit.

Struktur mikro *quenching* oli ditunjukkan pada gambar 5. Tampak batas butir bertumbuh semakin besar dan martensit dalam bentuk jarum-jarum berukuran besar, menunjukkan pertumbuhan butir yang cukup banyak. Karena suhu akibat pemanasan tidak cepat turun mengakibatkan masih didapatkan karbida mengendap pada batas butir yang menunjukkan belum seluruh karbon larut dalam austenit.

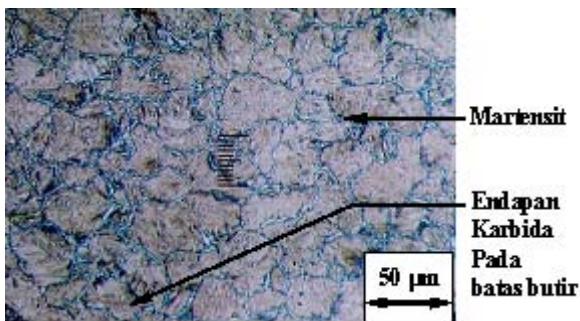
Gambar 6 menunjukkan Struktur mikro *annealing*. Dari hasil anil tampak foto mikro adanya fasa ferit dan perlit. Ferit tampak berwarna putih dan bersifat lunak. Sedangkan perlit berwarna gelap merupakan campuran antara ferit dan sementit (Fe_3C) yang bersifat keras dan liat. Fasa didominasi ferit sehingga sifat keliatan sangat mendominasi. Struktur kristal yang terjadi bentuknya bulat-bulat sehingga sifatnya lunak serta ikatannya lemah



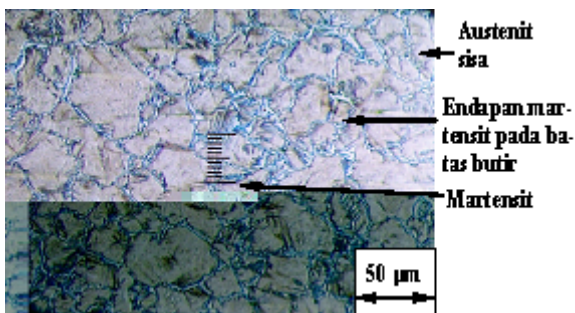
Gambar 2. Struktur Mikro Spesimen *Raw Material* pada Perbesaran 200x



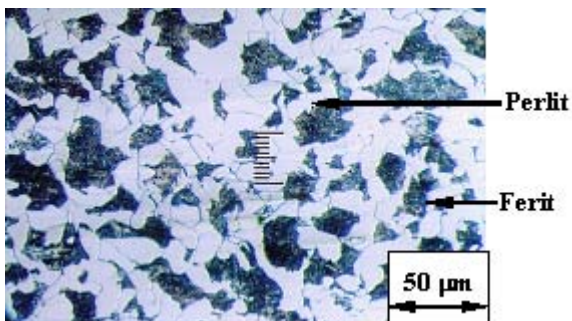
Gambar 3. Struktur Mikro Spesimen Quench Air Garam pada Perbesaran 200x



Gambar 4. Struktur Mikro Spesimen *Quench* Air pada Perbesaran 200x



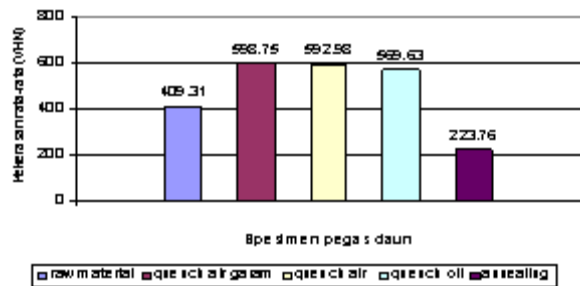
Gambar 5. Struktur Mikro Spesimen *Quench* Oli pada Perbesaran 200x



Gambar 6. Struktur Mikro Spesimen *Anil* pada Perbesaran 200x

Hasil Pengujian Kekerasan

Histogram hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 7. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen *quenching* air garam sebesar 598,75 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah yaitu : spesimen *quenching* air sebesar 592,98 VHN, spesimen *quenching* oli sebesar 569,63 VHN, spesimen *raw material* sebesar 409,31 VHN dan paling rendah spesimen *annealing* sebesar 223,76 VHN.



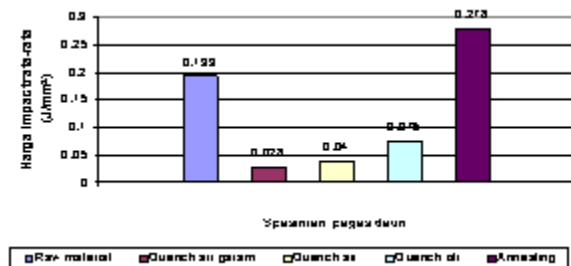
Gambar 7. Histogram Harga Kekerasan Rata-rata

Spesimen *quenching* air garam memiliki harga kekerasan rata-rata tertinggi sebesar karena laju panas paling rendah atau dengan pendinginan paling cepat. Dengan penambahan garam dapur 10 % efektif untuk mengurangi hambatan thermal (lapisan uap) yang terbentuk ketika pencelupan benda uji dalam keadaan panas ke air. Sehingga transformasi fasa dapat berjalan cepat sekali menuju terbentuknya fasa martensit secara penuh dan dibuktikan dengan tercapainya harga kekerasan paling tinggi. Harga kekerasan rata-rata spesimen *quenching* air di bawah spesimen *quenching* air garam, hal ini disebabkan pada *quenching* air terdapat hambatan panas untuk lepas ke air ketika proses selup. Pada saat pertama kali terjadi kontak antara benda dengan air akan terjadi pendinginan cepat hanya sesaat, karena akan segera terbentuk uap air yang menempel dipermukaan benda (*vapour blanket stage*), yang menghalangi perpindahan panas dari benda ke air. Kekerasan rata-rata spesimen *quenching* oli lebih rendah daripada *quenching* air, karena

pendinginan oli (minyak) lebih lambat daripada air. Hal ini disebabkan pada waktu pencelupan timbul gelembung udara yang terperangkap dalam minyak sehingga mengganggu pengaliran panas dari benda kerja ke minyak. Adanya gelembung udara yang menempel di permukaan benda kerja akan mengakibatkan kekerasan lebih rendah daripada *quenching* air. Harga kekerasan rata-rata paling rendah pada spesimen *annealing*. Hal ini disebabkan penggunaan pendingin udara yang diam (dalam dapur/penyekat thermal) dimana mempunyai kapasitas pendinginan yang rendah. Dengan laju pendinginan yang rendah maka didapati keuntungan yang lebih daripada *quenching* yaitu akibat *thermal stress* dapat diperkecil sehingga benda uji dapat terbebas dari retak/distors.

Pengujian Impact

Histogram hasil pengujian impact dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Histogram Perbandingan Harga Impact Rata-rata

Dari hasil pengujian *impact* didapatkan harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling liat) pada spesimen *annealing* sebesar $0,278 \text{ J/mm}^2$ dan berturut-turut menuju posisi terendah yaitu : spesimen *raw material* sebesar $0,193 \text{ J/mm}^2$, spesimen *quenching* oli sebesar $0,075 \text{ J/mm}^2$, spesimen *quenching* air sebesar $0,04 \text{ J/mm}^2$ dan terendah (paling getas) spesimen *quenching* air garam sebesar $0,028 \text{ J/mm}^2$. Spesimen *annealing* merupakan spesimen yang paling liat hal ini disebabkan pendinginan dengan laju yang paling lambat akan membentuk butiran kristal logam bulat-bulat dengan jarak yang berjauhan sehingga ikatan antar butir lemah dan memudahkan

terjadinya pergeseran (dislokasi) atau cacat garis. Disisi lain, spesimen *quenching* air garam merupakan spesimen yang paling getas dengan harga *impact* rata-rata terendah ($0,028 \text{ J/mm}^2$). Hal ini disebabkan adanya pendinginan cepat (kondisi laju panas rendah) maka tidak ada energi thermal yang memungkinkan atom-atom logam untuk melompat.

Pada pengujian *impact* ini juga dianalisa bentuk permukaan penampang patahan. Dari foto-foto tersebut tampak bahwa permukaan penampang patahan spesimen *annealing* memiliki permukaan patahan yang berbentuk runcing atau tidak rata dan mengkilat, jika potongan disambungkan terdapat banyak deformasi bahan. Hal ini menunjukkan bahwa patahan masih lebih ulet daripada spesimen *raw material*, *quenching* air, *quenching* air garam dan *quenching* oli. Pada spesimen *quench* air garam merupakan patah getas (keliatan rendah) permukaan patahan lebih nampak rata (buram) serta didapatkan sedikit sekali runcing. Pada spesimen *quenching* air garam memiliki pola patahan dengan butiran tampak halus yang menunjukkan sifat kekerasannya yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian dan analisa dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia pegas daun termasuk baja karbon sedang ($C = 0,300 \%$) dengan unsur penyusun utama adalah besi ($Fe = 97,07 \%$); silikon ($Si = 1,292 \%$) dan mangan ($Mn = 0,735 \%$).
2. Dari hasil pengamatan struktur mikro spesimen *raw material* didapatkan fasa ferit, perlit halus dan bainit, *quenching* air garam didapatkan fasa martensit halus dan merata, *quenching* air didapatkan fasa martensit kasar dan endapan karbida pada batas butir, *quenching* oli didapatkan sedikit fasa martensit dan banyak endapan karbida pada batas butir serta austenit sisa, *annealing* didapatkan fasa perlit dan ferit.
3. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen *quenching* air garam sebesar $598,75$

- VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah yaitu : spesimen *quenching* air sebesar 592,98 VHN, spesimen *quenching* oli sebesar 569,63 VHN, spesimen *raw material* sebesar 409,31 VHN dan paling rendah spesimen *annealing* sebesar 222,176 VHN.
4. Dari hasil pengujian *impact* didapatkan harga ketangguhan rata-rata tertinggi (paling

liat) adalah spesimen *annealing* sebesar 0,278 J/mm² dan berturut-turut menuju posisi terendah yaitu : spesimen *raw material* sebesar 0,193 J/mm², spesimen *quenching* oli sebesar 0,075 J/mm², spesimen *quenching* air sebesar 0,04 J/mm² dan terendah (paling getas) adalah spesimen *quenching* air garam sebesar 0,028 J/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, G., 2003, Tugas Akhir : *Pengaruh proses quenching dan annealing terhadap struktur mikro dan kekerasan sprocket Toyota Kijang*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Cahyono, A., 2003, Tugas Akhir : *Penelitian Mengenai Peningkatan Kualitas Kekerasan Poros Propeller dengan Perlakuan Panas Quenching*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Dewa Utama, C., 2004, Tugas Akhir : *Proses Quenching pada Stainless Steel Seri 304 Produk di Pasaran*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Setiyawan, A., 2003, Tugas Akhir : *Penelitian Mengenai Pengaruh Proses Quenching Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Sudu Blower Dinamo Ampere pada Mobil Diesel*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Surdia, T.; Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan ke-4, PT. Pradnya Paramita, Jakarta

PENGARUH PENGGUNAAN KOIL *RACING* TERHADAP UNJUK KERJA PADA MOTOR BENSIN

Subroto

Jurusan Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

JL. A. Yani Pabelan-Kartasura Tromol Pos 1 Telp. (0271) 715448 Surakarta.

ABSTRAK

Untuk mendapatkan pembakaran yang optimal pada motor bensin dipengaruhi banyak hal antara lain: perbandingan udara-bahan bakar, homogen campuran, waktu penyalaan, besarnya tegangan koil, jarak elektrode busi dan lain-lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan pengaruh penggunaan koil standart dengan koil racing terhadap unjuk kerja pada motor bensin. Pengujian unjuk kerja motor bensin dilakukan menggunakan dynamometer hidraulik, dengan cara membebenani gaya pengereman pada putaran tertentu. Torsi dihitung berdasarkan gaya pengereman yang terjadi dikalikan dengan panjang lengan pada dynamometer, selanjutnya torsi diketahui daya dapat dihitung. Pengukuran konsumsi bahan bakar dapat diketahui pada gelas ukur waktu pengujian berlangsung. Motor bensin dengan koil standart diuji unjuk kerjanya digunakan sebagai pembanding, kemudian dilanjutkan pengujian unjuk kerja dua koil racing. Penelitian menghasilkan kesimpulan penggunaan jenis koil berpengaruh terhadap unjuk kerja pada motor bensin. Penggunaan Koil Racing menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik yaitu daya, dan torsi lebih besar dengan konsumsi bahan bakar yang lebih kecil.

Kata Kunci: motor bensin, koil, unjuk kerja

PENDAHULUAN

Sarana transportasi dalam kehidupan ini merupakan sarana yang tidak dapat dihindari pemakaiannya, terlihat dari kebutuhan transportasi sebagai penunjang perekonomian. Sarana transportasi ini semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya taraf perekonomian masyarakat, hal ini dapat kita rasakan dengan pemerataan hasil-hasil pembangunan yang telah dilakukan oleh pemerintah. Dari berbagai macam sarana transportasi yang beroperasi maka jenis motor bakar toraklah yang banyak dioperasikan, dan pemakaian akan bahan bakar pun sangatlah dominan.

Di sisi lain seiring dengan meningkatnya sarana transportasi yang telah memberikan ber-

macam-macam kemudahan serta kelebihan, akan memberikan dampak yang negatif atau kurang menguntungkan. Dampak-dampak tersebut diantaranya juga dapat diperhatikan pada segi penyediaan sumber daya alam (kandungan minyak bumi) maupun segi kesehatan lingkungan.

Dalam segi penyediaan sumber daya alam, sebagaimana kita ketahui bahwa minyak bumi sampai dengan saat ini masih merupakan sumber energi andalan utama di dunia, padahal minyak bumi tidak dapat diproduksi dalam pabrik. Dengan demikian persediaan minyak bumi dapat dikatakan terbatas, untuk itu harus diusahakan efisiensi dalam pemakaiannya.

Dengan semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar, akan berdampak pada produksi

gas sisa-sisa hasil pembakaran yang semakin besar pula. Ini berarti semakin meningkatnya polusi udara. Salah satu cara yang dapat dilakukan guna mengefisienkan pemakaian bahan bakar dalam menghemat pemakaian minyak bumi adalah dengan mengusahakan proses pembakaran di dalam ruang bakar sebaik mungkin. Alasan inilah yang juga dilakukan oleh para mekanik dalam proses menghasilkan daya yang maksimal pada mesin. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan yaitu dengan cara memperbesar perbandingan kompresi yang akan meningkatkan angka kompresi dan tekanan pembakaran, pencampuran atau penggunaan bahan bakar yang tepat serta dengan cara merubah sistim pengapian dalam mesin motor tersebut. Dengan usaha memperhatikan dan menyempurnakan parameter yang mempengaruhinya, salah satu di-antaranya adalah pengubahan sistem pengapian dalam hal ini penggantian Koil Standart Pabrik dengan menggunakan Koil Khusus *Performance* Tinggi (Koil Racing) yang hal ini dilakukan untuk memperbaiki proses pembakaran didalam ruang bakar.

Terdorong keingintahuan terhadap pengaruh penggantian Koil pada Mesin Sepeda Motor, maka dilakukan penelitian Pengaruh Penggunaan Koil Racing terhadap Unjuk Kerja pada mesin sepeda motor Honda Astrea Grand.

Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini dirumuskan masalah yaitu: Apakah dengan penggantian Koil Racing akan berpengaruh terhadap unjuk kerja

Batasan Masalah

Pembatasan masalah dimaksudkan agar permasalahan yang dibahas tidak melebar, maka dalam penelitian ini hanya dibatasi pada penelitian perbandingan pengaruh penggunaan Koil Racing dengan Koil Standart Keluaran Pabrik terhadap unjuk kerja mesin Honda Astrea Grand.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan pengaruh penggunaan Koil Racing dengan Koil Standart terhadap Unjuk Kerja mesin Honda Astrea Grand.

TINJAUAN PUSTAKA

Boentarto (2002), dalam bukunya *Peraawatan dan Pemeliharaan Motor Bensin* menjelaskan, Koil merupakan komponen pengapian yang menentukan baik tidaknya pembakaran sedangkan pembakaran menentukan boros tidaknya bensin. Koil pengapian dengan *performance* tinggi (*Koil Racing*) digunakan untuk menghasilkan tegangan percikan bunga api yang tinggi, koil ini mampu menyediakan penyimpanan energi besar yang dapat digunakan para mekanik dalam memodifikasi sebuah motor. Tegangan yang dihasilkan pada penggunaan koil ini jauh lebih besar yaitu mencapai 10.000 - 25.000 volt sehingga bunga api listrik yang terjadi pada busi jauh lebih besar dan kuat.

Setyawan (2000), dalam penelitiannya dengan judul *Peningkatan Unjuk Kerja Mesin Bensin 4 Langkah dengan Penggunaan Busi Splitfire SF 392D Dan Kabel Busi Hurricane*, bahwa busi sangat berpengaruh untuk menghasilkan busur api listrik terhadap kesempurnaan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan menggunakan busi *Splitfire* SF 392 D dan kabel busi *Hurricane*, maka waktu pengapian harus disesuaikan untuk mendapatkan daya yang optimal. Peningkatan daya rata-rata yang dihasilkan dari pengujian adalah sebesar 3,8%.

Prasetia (2005), dalam penelitiannya mengenai *Pengaruh Jarak Kerenggangan Elektroda Busi Terhadap Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar Pada Mesin Sepeda Motor Suzuki Shogun*, bahwa busi sangat berpengaruh untuk menghasilkan bunga api listrik terhadap kesempurnaan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa besarnya jarak kerenggangan elektroda busi untuk mencapai efisiensi penggunaan bahan bakar pada keadaan putaran mesin rendah 4000 rpm adalah 0,8 mm yaitu 253,9 g / hp h. Penggunaan bahan bakar pada putaran mesin 9000 rpm yang paling boros dihasilkan pada jarak kerenggangan elektroda busi 1,3 mm yaitu sebesar 93,1 g / hp h. Untuk jarak kerenggangan elektroda busi 0,7 mm sampai dengan 0,8 mm sebagaimana yang

ditentukan dalam buku pedoman pemakaian dan perawatan shogun adalah termasuk ukuran yang sesuai untuk dapat mencapai efisiensi pemakaian bahan bakar baik pada kondisi putaran mesin rendah (4000 rpm) maupun putaran mesin tinggi (9000 rpm).

Dasar Teori

Sistim ignition umumnya terdiri dari : *switch ignition, coil ignition, magneto* dan busi. Sistim *ignition* yang dipakai pada sepeda motor secara umum dapat diklasifikasikan oleh tiga tipe berikut ini:

1. Sistim *ignition magneto*
Magnit yang dipakai pada sepeda motor digunakan sebagai penghasil tegangan listrik biasanya juga berfungsi sebagai roda daya. Dimana magnit ditempatkan pada poros engkol (crankshaft).
2. Sistim *ignition Baterai (Accu)*
Dengan penggunaan baterai akan memudahkan mesin untuk distart karena tegangan yang dihasilkan oleh baterai lebih stabil sehingga sistim pengapian tidak mudah rusak.
3. Sistim CDI (Capasitor Discharge Ignition)
Sistim CDI merupakan penyempurnaan dari sistim kontak pada platina yang mudah teroksidasi atau kotor dan mengakibatkan mesin susah distart. Dengan tujuan menghilangkan kesukaran pada titik-titik kontak, maka dikembangkanlah sistim CDI.

Koil

Koil merupakan salah satu bagian terpenting dalam pengapian pada motor *Spark Ignition Engines*, karena Koil merupakan komponen pengapian yang menentukan baik tidaknya proses pembakaran dalam ruang bakar sedangkan baik tidaknya pembakaran akan menentukan boros tidaknya bensin. Koil difungsikan sebagai pengubah arus tegangan rendah menjadi tegangan tinggi untuk menghasilkan pijaran bunga api listrik pada busi dan dilihat dari fungsinya koil merupakan sumber nyata dari tegangan yang dibutuhkan dalam proses pembakaran. Koil menghasilkan tegangan tinggi dengan prinsip induksi dimana tegangan

listrik pada battery, tegangan battery adalah rendah (6-12 Volt) dan dinaikan sampai 5000-25.000 Volt.

Sistim pengapian ini meliputi sumber arus (battery/accu atau generator), kunci kontak, CDI/ platina, Koil, kabel dan busi. Tegangan tinggi menimbulkan pengapian koil yang mempunyai dua belitan, belitan tegangan rendah dan tegangan tinggi. Kedua-duanya membeliti sekeliling suatu inti, jika titik kontak menutup, arus aliran melalui belitan tegangan rendah dan inti menjadi magnit. Lapangan magnit menurun dengan sangat cepat apabila titik kontak terbuka dan dengan lapangan magnit berubah induksi tegangan tinggi dalam belitan tegangan tinggi, tenaga magnetik berubah menjadi tenaga listrik sehingga tegangan dapat naik sampai sekitar 25.000 Volt.

Secara fisik koil dikonstruksi mirip dengan trafo yang dirancang untuk operasian saluran rendah, dari sudut fungsinya koil merupakan sumber yang nyata dari tegangan pembakaran. Pada bagian tengahnya koil berisi batangan logam yang dilapisi dengan inti besi, sekitar inti dan yang terisolasi dililit penyekat kumparan sekunder (tegangan tinggi) dengan jumlah lilitan kawat tembaga yang sangat tipis dan lebih banyak dari pada kumparan primer. Dibagian luar dari penyekat dan bagian yang terisolasi dililit penyekat kumparan primer dengan lilitan kawat tembaga yang lebih besar, perbandingan lilitan antara penyekat sekunder dan kumparan primer adalah 60 sampai dengan 150.

Berdasarkan bentuk serta kegunaannya Koil dapat dibedakan menjadi beberapa bagian:

1. Desain Koil Standart
Koil pengapian ini digunakan untuk pengapian tegangan tinggi pada mesin sepeda motor, guna mengurangi gangguan dari luar konstruksi koil tersebut dibungkus dengan plastik yang dicairkan dan dilekatkan dengan konstruksi bentuk standart.
2. Desain Koil pengapian performance tinggi (Koil Racing)
Koil ini sedikit berbeda dengan koil standart dimana koil ini sengaja diciptakan untuk menghasilkan tegangan yang tinggi guna menyempurnakan proses pembakaran yang

terjadi pada ruang bakar. Pada dasarnya Koil Racing merek KITACO K2R dikonstruksikan hampir sama dengan koil Standart Pabrik, namun dalam penelitian ini tidak membahas mengenai perbedaan atau kesamaan yang ada pada koil.

Dalam beberapa hal koil pengapian performance tinggi tidak mampu mengurangi panas yang diakibatkan dari tagangan listrik keudara luar. Koil yang sedemikian itu tidak dapat dibuat dengan ukuran yang lebih besar untuk memberikan permukaan radiasi lebih. Meskipun demikian, sebagai jawaban atas masalah itu penghambat penyekat primer dikurangi lewat penggunaan kumparan tembaga yang lebih besar. Dengan demikian pembatasan koil puncak bentuk aliran total rangkaian resistor tidak mengalami perubahan, tahanan seri tersebut mengurangi beban panas pada koil pengapian karena aliran panas dibangkitkan pada resistor. Dengan cara itu energi pengapian yang tersedia memadai sebagai pengganti pengurangan energi baterai sewaktu-waktu. Proses itu dinamakan “dorongan start tegangan”

Prestasi Mesin

Prestasi mesin adalah kemampuan mesin ditinjau dari daya, torsi, dan SFC terhadap putaran mesin.

a. Pengukuran Torsi

Torsi adalah perkalian antara gaya dengan jarak yang dapat dirumuskan seperti :

$$T = F \cdot l = m \cdot g \cdot l \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- T = Momen Torsi (Nm)
- m = Massa yang terukur dalam dynamometer (kg)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- l = Panjang lengan pada dynamometer (m)

b. Daya

Daya adalah kerja yang dihasilkan sebuah mesin dalam suatu percobaan, yang dapat dirumuskan :

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60000} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- P = Daya mesin (kW)
- n = Putaran mesin (rpm)
- T = Torsi (Nm)

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar satu kW selama satu jam, dapat dirumuskan:

$$SFC = \frac{mf}{P} \text{ (kg/kW.hr)} \dots\dots\dots(3)$$

$$mf = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot \tilde{n}_{bb} \text{ (kg/h)} \dots\dots(4)$$

dimana :

- mf = konsumsi bahan bakar (kg/h)
- P = daya (kW)
- b = volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)
- t = waktu yang diperlukan untuk mengosongkan buret (s)
- \tilde{n}_{bb} = massa jenis bahan bakar(kg/l)

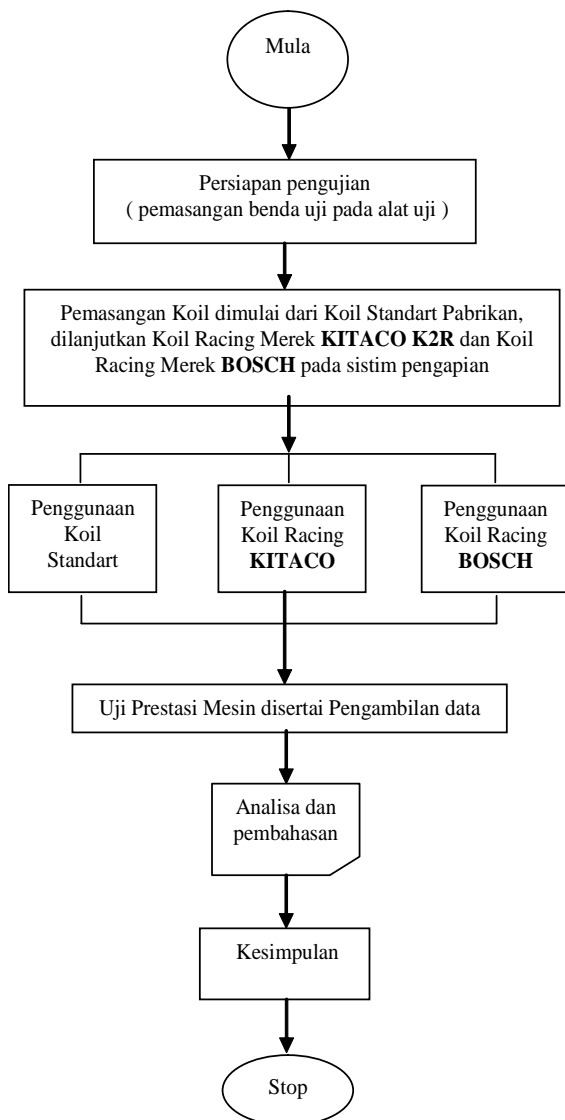
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini desain yang digunakan termasuk desain eksperimen dengan melakukan beberapa perlakuan dan tindakan pengamatan terhadap suatu variabel, yang dilakukan secara sistematis. Dimana dalam desain ini suatu perlakuan yaitu penggunaan Koil *Performance* Tinggi (Koil Racing) dikenakan pada suatu obyek penelitian yaitu mesin sepeda motor Honda Astrea

Alat-alat Penelitian

1. Mesin Dinamometer
2. Tool Set
3. Alat ukur
 - Hand Tachometer Digital, untuk mengatur putaran mesin.
 - Buret, untuk mengukur volume bahan bakar.
 - Stopwatch, untuk mengukur waktu dalam setiap perlakuan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sampel/Spesimen Uji

Dalam penelitian ini, sampel yang digunakan merupakan produk yang telah beredar dipasaran atau populasinya dapat kita temui dipasaran atau dalam kehidupan sehari-hari yaitu sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin sepeda motor Honda Astrea Grand
2. Koil yang digunakan ada tiga jenis yaitu Koil standart keluaran pabrik, Koil Racing merek KITACO K2R dan Koil Racing merek BOSCH.

Lokasi Penelitian

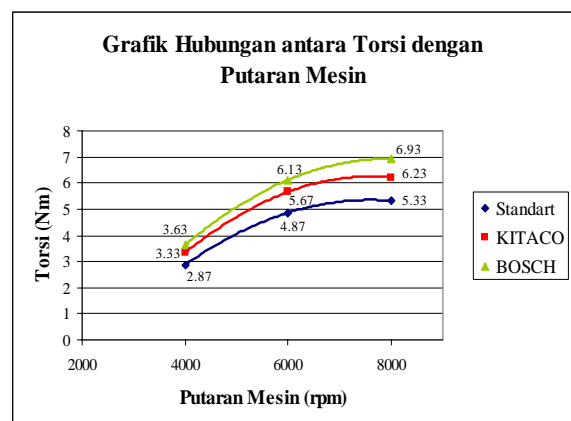
Penelitian yang dilaksanakan bertempat di Laboratorium Konversi Energi FT – UGM

Jalannya Penelitian

Sebelum mesin dioperasikan, perlu adanya pemeriksaan bahan bakar pada tangki bahan bakar, suplai air yang mengalir pada dynamometer. Melakukan pemasangan koil pada sistim pengapian dimulai dari koil standart pabrik, koil *Racing* merek KITACO K2R dan merek BOSCH secara bergantian.

Setelah pemeriksaan selesai kemudian mesin dioperasikan untuk pemanasan awal pada putaran 1000-3000 rpm selama 2-3 menit. Kemudian naikkan putaran menjadi 4000 rpm setelah beberapa saat mulai melakukan pengambilan data, catat torsi yang dihasilkan pada dynamometer dan waktu konsumsi bahan bakar per 4 cc perlakuan ini diulang sebanyak tiga kali. Hal yang sama akan diperlakukan untuk putaran mesin 6000 dan 8000rpm. Setelah pengambilan data selesai turunkan putaran mesin dan matikan, kemudian pada sistim pengapiannya diganti menggunakan Koil merek KITACO, tahapan dan perlakuan dalam pengambilan data sama dengan penelitian yang sebelumnya dan akan diulang kembali pada pengambilan data terhadap koil merek BOSCH.

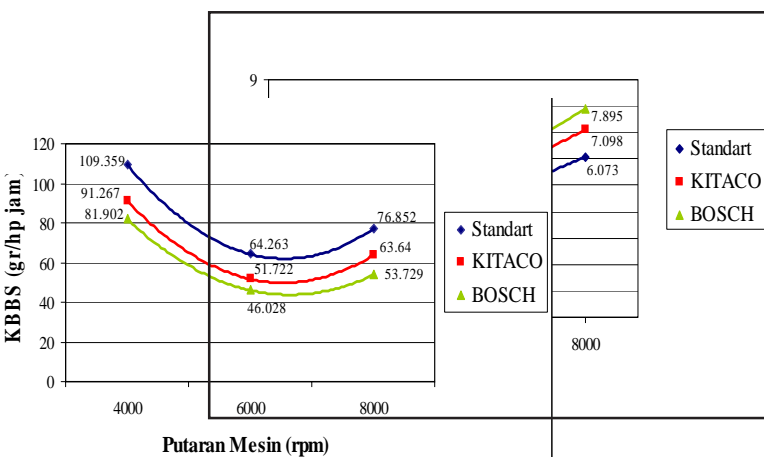
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Hubungan antara Torsi dengan Putaran Mesin

Analisa Grafik pada Gambar 2:

Dari grafik hubungan Torsi terhadap Putaran mesin (gambar 2) menunjukkan bahwa penggunaan Koil standart menghasilkan torsi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan Koil Racing. Pada putaran mesin 8000 rpm Torsi tertinggi dihasilkan oleh Koil Racing merek BOSCH yaitu 6,93 Nm, pada Koil Racing merek KITACO K2R menghasilkan sebesar 6,23 Nm dan torsi terendah dihasilkan Koil standart sebesar 5,33 Nm. Pada putaran menengah 6000 rpm torsi tertinggi juga dihasilkan oleh Koil Racing merek BOSCH yaitu 6,13 Nm pada Koil Racing merek KITACO K2R menghasilkan sebesar 5,67 Nm dan terendah sebesar 4,87 Nm dihasilkan oleh Koil standart. Sedangkan pada putaran rendah 4000 rpm torsi tertinggi juga dihasilkan Koil Racing merek BOSCH sebesar 3,63 Nm pada Koil Racing KITACO K2R menghasilkan sebesar 3,33 Nm, dan Koil standart menghasilkan torsi terendah u 2,87 Nm.

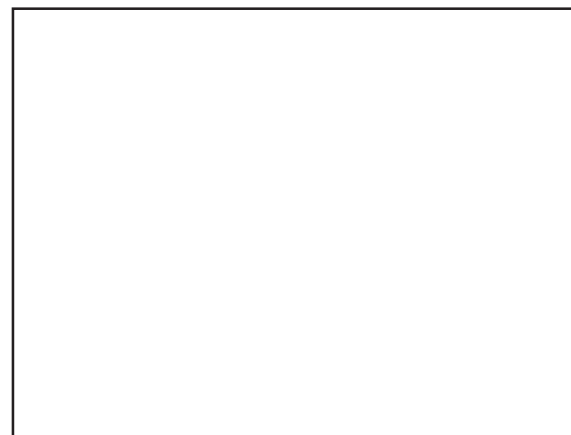


Gambar 3. Hubungan antara Daya dengan Putaran Mesin

Analisa Grafik pada Gambar 3:

Dari grafik hubungan Daya terhadap Putaran mesin (gambar 3) menunjukkan bahwa besarnya Daya akan meningkat sebanding dengan naiknya putaran mesin. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa Koil Racing tetap menghasilkan Daya yang lebih baik dibandingkan Koil Standart baik pada putaran mesin 4000, 6000, dan 8000rpm. Pada 4000 rpm daya tertinggi dihasilkan Koil Racing BOSCH sebesar 2,069

kW pada Koil KITACO K2R sebesar 1,896 kW dan terendah dihasilkan Koil standart sebesar 1,632 kW. Pada putaran menengah 6000 rpm Koil BOSCH menghasilkan 5,238 kW pada Koil KITACO K2R menghasilkan 4,84 kW dan Koil standart menghasilkan daya terendah sebesar 4,151 kW. Sedangkan putaran tinggi 8000 rpm Koil BOSCH menghasilkan daya sebesar 7,895 kW pada Koil KITACO K2R sebesar 7,098 kW dan pada Koil standart sebesar 6,073 kW.



Gambar 4. Hubungan antara KBBS dengan Putaran Mesin

Analisa Grafik pada Gambar 4:

Dari grafik hubungan antara Konsumsi Bahan Bakar Spesifik dengan Putaran mesin (gambar 4) menunjukkan bahwa penggunaan Koil Racing mengkonsumsi bahan bakar lebih irit jika dibandingkan Koil Standart akan tetapi Koil Racing Merek BOSCH mengkonsumsi bahan bakar paling irit baik pada putaran 4000, 6000 dan 8000 rpm. Pada putaran 4000rpm Koil BOSCH mengkonsumsi bahan bakar sebesar 81,902 gr/hp jam pada Koil KITACO K2R mengkonsumsi sebesar 91,267 gr/hpjam sedangkan pada Koil standart sebesar 109,359 gr/hpjam. Pada putaran menengah 6000rpm Koil BOSCH mengkonsumsi sebesar 46,028 gr/hpjam pada Koil KITACO mengkonsumsi sebesar 51,722 gr/hpjam dan pada Koil standart mengkonsumsi sebesar 64,263 gr/hpjam, sedangkan pada putaran tinggi 8000rpm Koil BOSCH mengkonsumsi sebesar 53,729 gr/hpjam

hpjam, pada Koil KITACO mengkonsumsi sebesar 63,64 gr/hpjam, dan pada Koil standart mengkonsumsi bahan bakar sebesar 76,852 gr/hpjam.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan data hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian diketahui penggunaan koil *racing* memperoleh hasil unjuk kerja mesin yang lebih baik dibanding koil standart pabrikan.
2. Penggunaan koil *racing* menghasilkan daya yang lebih baik/tinggi pada setiap putaran mesin dibanding koil standart, hal ini

disebabkan proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang terjadi dalam ruang bakar lebih baik atau lebih cepat, sehingga daya yang dihasilkan menjadi tinggi pula.

3. Koil Racing mengkonsumsi bahan bakar lebih sedikit (irit) dibandingkan Koil Standart Pabrikan akan tetapi merek BOSCH mengkonsumsi bahan bakar yang paling sedikit (irit) dibanding kedua koil yang lain.
4. Dalam penelitian diketahui bahwa Koil Racing BOSCH menghasilkan Unjuk Kerja Mesin yang terbaik, diikuti oleh Koil Racing KITACO K2R dan ketiga dihasilkan oleh Koil Standart Pabrikan.

DAFTAR PUSTAKA

Arend, BPM, Barendschot, H., 1980, *Motor Bensin*, Erlangga, Jakarta.

Arismunandar. W, Koichi, 1997, *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Arismunandar.w, 2002, *Motor Penggerak Mula*, ITB, Bandung.

_____ , 2005, *Modifikasi Mesin atau Kimia*, LIPI, Jakarta.

Buntarto, 2000, *Perawatan Motor Bensin*, Gama, Semarang.

Sitompul. D, 1991, *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, Erlangga, Jakarta.

Sunarta, Nakula, Furuhamu, Shoichi, 1995, *Motor Bakar Serbaguna*, Pradya Paramita, Jakarta.

Supriatna. Y, 1998, *Listrik pada Otomotif*, Angkasa, Jakarta.

Sumarsono, 1999, *Perawatan Kelistrikan pada Otomotif*, Angkasa, Jakarta.

Setyawan (2000), *Peningkatan Unjuk Kerja Mesin Bensin 4 Langkah dengan Penggunaan Busi Splitfire SF 392D Dan Kabel Busi Hurricane*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Prasetya (2005), *Pengaruh Jarak Kerenggangan Elektroda Busi Terhadap Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar Pada Mesin Sepeda Motor Suzuki Shoguna*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Willard. w, Pulkabrek, 1997, *Engineering Fundamental Of The International Combustion Engine*, Second Edition, Prantice Hall, New jersey.

STUDI PEMBUATAN BESI COR MAMPU TEMPA UNTUK PRODUK SAMBUNGAN PIPA

Agus Yulianto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UMS

Jl. A. Yani Pabelan – Kartosuro, Tromol Pos 1 Telp. (0271) 715448 Surakarta

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui proses pembuatan sambungan pipa (pipe fitting) dari besi cor putih dilakukan untuk dapat mengetahui kualitas dengan cara melakukan pengujian material setelah melalui proses heat treatment dengan cara proses annealing di antaranya pengujian : struktur mikro, kekerasan dan tarik. Dari produk pengecoran tersebut akan dibagi menjadi dua spesimen benda uji, yaitu satu (sambungan pipa) untuk proses annealing laboratorium dengan uji struktur mikro, uji kekerasan serta uji tarik dan satu (coran poros) untuk proses annealing pabrik dengan uji tarik. Dari pengujian pengujian struktur mikro terdapat fasa perlit dan sementit. Pengujian kekerasan diperoleh harga kekerasan rata-rata untuk daerah tengah 325 kg/mm^2 dan daerah gigi 351 kg/mm^2 . Dari hasil uji tarik diperoleh harga rata-rata kekuatan tarik untuk spesimen annealing pabrik, yaitu $194,86 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan spesimen annealing laboratorium harga rata-rata kekuatannya adalah $158,85 \text{ N/mm}^2$.

Kata Kunci: annealing, struktur mikro, kekerasan, tarik.

PENDAHULUAN

Sambungan pipa (*pipe fitting*) banyak dijumpai dilingkungan kita sehari-hari baik itu di toko-toko material maupun di PDAM. Dan dengan berkembangnya teknologi dimana industri sudah semakin maju dan persaingan produk yang semakin meningkat maka konsumen dihadapkan pada beberapa jenis pilihannya pada sambungan pipa (*pipe fitting*).

Dari berbagai macam produk dan bentuk sambungan pipa besi cor, masyarakat pada umumnya banyak menggunakan produk-produk tertentu yang dipasarkan di daerah tersebut tanpa mengetahui kualitas dari sambungan pipa. Untuk mendapatkan kualitas yang lebih baik maka material dari sambungan pipa perlu dilakukan proses perlakuan panas (proses *heat treatment*). Dimana proses ini merupakan kombinasi proses pemanasan dan pendinginan pada laju tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat besi yang diinginkan

kan pada batas kemampuan dari besi cor tersebut.

Proses *heat treatment* yang akan dilakukan pada sambungan pipa (*pipe fitting*) besi cor yakni dengan cara *annealing* yang berfungsi untuk mengurangi kekerasan, menghilangkan tegangan sisa, dan mengurangi adanya segregasi (pemisahan). Untuk itu kami mencoba meneliti dan menganalisa suatu material agar dapat diketahui serta unsur-unsur yang terkandung pada material tersebut.

BATASAN MASALAH

Untuk menjelaskan ruang lingkup dari permasalahan dan mempermudah analisa masalah dalam makalah ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Material

Material yang akan digunakan adalah sambungan pipa (*pipe fitting*) besi cor putih setelah perlakuan panas.

2. Pengujian yang dilakukan
 - a. Perlakuan panas *annealing*
 - b. Pengujian struktur mikro
 - c. Pengujian kekerasan
 - d. Pengujian tarik

TUJUAN PENELITIAN

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian kualitas sambungan pipa (*pipe fitting*) besi cor putih ini nantinya diharapkan bagi konsumen atau pengguna dapat mengetahui kualitas sambungan pipa (*pipe fitting*) besi cor berdasarkan dari analisa struktur mikro, harga kekerasan, dan kekuatan tariknya.

LANDASAN TEORI

Tri Murtopo (2002) meneliti tentang “Pengaruh Proses Perlakuan Panas Pada Baja Tahan Karat Produksi Pengecoran Logam di Klaten”. Dari hasil uji struktur mikro mempunyai struktur feritnya lebih banyak dan mempunyai ukuran butir yang lebih besar maka benda itu akan mempunyai harga kekerasan yang kecil. Sedangkan berdasarkan uji tarik, benda yang telah mengalami perlakuan panas dan pendinginan baik pendinginan diudara bebas maupun pendinginan didalam oven dengan cerobong terbuka atau pendinginan didalam oven dengan cerobong tertutup, mempunyai kekuatan tarik yang menurun bila dibandingkan dengan benda sebelum mengalami panas. Hal ini disebabkan karena lambatnya laju pendinginan yang terjadi, sehingga akan menimbulkan butiran yang terbentuk menjadi besar. Butiran yang besar ini akan membuat kekuatan baja menjadi rendah sehingga baja mudah putus.

Waspodo Martojo dan Ahmad T. Joenoes (2000) meneliti tentang “Peningkatan Kekuatan Mekanik dari Besi Cor Nodular Melalui Paduan dan Proses Perlakuan Panas *Austempering*” bahwa proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan material sampai suhu *austenisasi*nya kemudian didinginkan dengan cara kejut pada suhu di atas temperatur standar pada larutan garam pada suhu sekitar 250 °C sampai 450 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan panas menyebabkan fasa *austenit* tidak sempat bertransformasi menjadi

fasa *ferit* atau *perlit*, tetapi berubah menjadi *bainit* atau *accicular ferrit*.

Agus Joko Santoso (2003) meneliti tentang “Pengaruh Proses *Annealing* Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Kekerasan *Sprocket* Toyota Kijang” pada proses ini nampak adanya fasa *ferit* dan *perlit*, sehingga dihasilkan struktur butir *ferit* dan *perlit* yang lebih besar yang dapat mempengaruhi harga kekerasannya terutama pada *ferit* yang mempengaruhi kelunakan pada *sprocket* tersebut, hal ini disebabkan adanya unsur C yang berdifusi kebatas butir.

Besi Cor

Besi cor (*cast iron*) adalah campuran antara besi dan karbon yang berisi beberapa unsur lain seperti Si, Mn, S, dan P kandungan karbon tinggi sehingga besi cor bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa. Besi cor mempunyai sifat fisis atau mekanis yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh unsur paduan yang terkandung di dalamnya. Kandungan karbon dalam besi cor antara 2% - 6,6% tetapi yang dibuat dalam perdagangan antara 2,5% - 4%.

Jenis-jenis utama dari besi tuang dapat kita bagi ke dalam :

1. Besi tuang kelabu (besi cor)
2. Besi tuang putih
3. Besi tuang yang dapat ditempa
4. Besi tuang nodular

Besi tuang kelabu atau besi cor (FC) adalah jenis material yang sering digunakan oleh manusia untuk menunjang kehidupannya. Besi cor adalah besi (Fe) yang mengandung unsur pospor. Keunggulan besi cor adalah proses pembuatan yang mudah dan murah serta penggunaan peralatannya cukup sederhana. Untuk memperoleh besi tuang kelabu sebagai dasarnya digunakan besi kasar kelabu. Besi kasar kelabu mempunyai kadar silisium tinggi (0,5 hingga 1,5%) dan kadar mangan yang rendah. Oleh karena itu pembentukan zat arang bebas meningkat. Besi tuang kelabu setelah pendinginan mengandung grafit, grafit muncul sebagai pelat-pelat tipis dalam besi tuang. Pelat-pelat tipis inilah yang kita sebut dengan lamel. Dan lamel inilah yang sifatnya getas (mudah retak atau pecah) jika kena pukulan impact (pukulan tiba-tiba) maupun beban lentur, akibat dari grafit atau lamel.

Besi Cor Putih

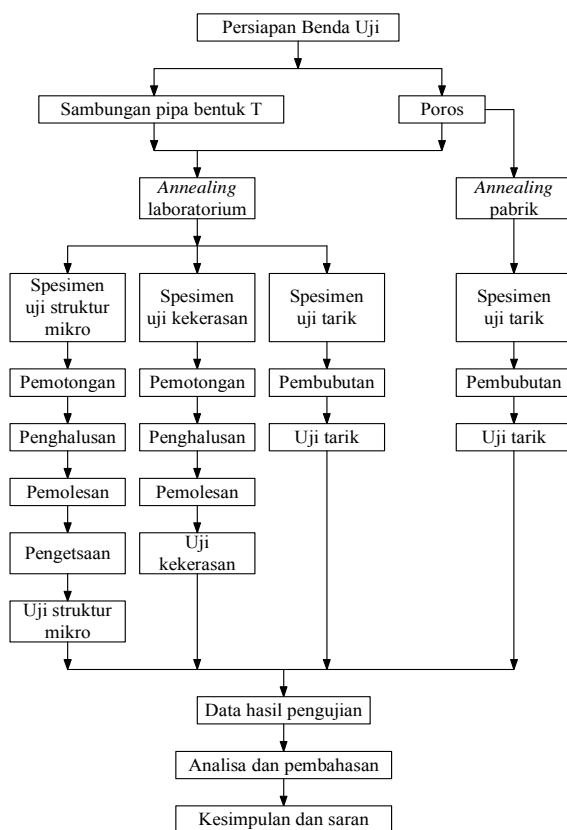
Besi cor putih banyak digunakan untuk pembuatan suku cadang yang tahan gesekan karena jumlah karbida yang besar 30% (volume) tahan terhadap kikisan. Grafit berbentuk gumpalan dalam logam padat. Grafit ini tidak memiliki tepi-tepi yang tajam seperti serpih grafit. Memiliki keuletan tertentu dan lebih mampu tempa.

Besi Cor Mampu Tempa

Dibuat dari besi cor putih yang dimasukkan ke dalam tanur dalam waktu yang lama. Struktur sementit dari besi cor putih berubah menjadi ferit atau perlit dari karbon yang tertemper mengendap. Besi cor macam ini sangat baik keuletannya dan perpanjangannya dibandingkan dengan besi cor kelabu, lagi pula tidak cocok untuk coran yang tipis dan kecil karena sebelum proses perlunakan keuletannya rendah.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Persiapan Benda Uji

Besi cor merupakan material yang sangat keras, oleh karena itu dalam proses pemotongannya dilakukan dengan cara dipukul dengan menggunakan palu. Setelah material ini pecah kemudian diambil yang kecil untuk dilakukan pengujian struktur mikro dan kekerasan.

Agar dapat mempermudah dalam proses pengujian maka material tersebut di *mounting* terlebih dahulu. Adapun maksud dari *mounting* ini adalah supaya benda uji dapat diletakkan pada mesin uji dengan benar tanpa adanya pergeseran yang mengakibatkan kesalahan dalam pengujian.

Penghalusan Permukaan dan Pemolesan

Spesimen yang sudah di *mounting* kemudian dilakukan penghalusan pada permukaannya dengan menggunakan ampelas yang paling kasar sampai pada yang halus dengan nomor 120, 180, 400, 600, 1000.

Selama proses pengampelasan dilakukan pendinginan dengan menggunakan air secara terus menerus agar tidak menimbulkan panas dan permukaan benda uji lebih rata dan halus.

Proses pemolesan ini bertujuan untuk menghilangkan bekas pemakanan akibat proses pengampelasan. Pemolesan dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilat sampai tak ada goresan sehingga struktur benda uji semakin jelas dibawah mikroskop.

Pengetsaan

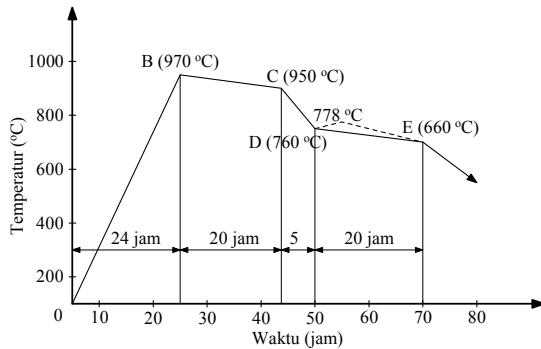
Proses pengetsaan dilakukan hanya pada benda uji yang akan dilihat struktur mikronya. Bahan etsa yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *nitrid acid* (HNO_3) dan 15 ml air selama ± 1 menit. Kemudian dipanaskan dengan menggunakan *hair dryer*. Maksud dari pengetsaan ini adalah untuk menghilangkan lapisan yang menutupi permukaan akibat proses sebelumnya sehingga dapat dilakukan pemotretan dibawah mikroskop dan struktur mikronya dapat terlihat dengan jelas.

C. Proses Annealing

Annealing merupakan proses pemanasan suatu bahan dengan jalan memanaskan bahan sampai temperatur didaerah *austenit*, dibiarkan

beberapa saat tergantung dari besar kecilnya bahan. Kemudian didinginkan didalam dapur itu sendiri dengan menghentikan pemberian panas sesuai dengan suhu kamar $\pm 27^{\circ}\text{C}$. Proses *annealing* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Annealing* Pabrik



Gambar 2. Siklus *Annealing* Pabrik CV. ATMAJA JAYA

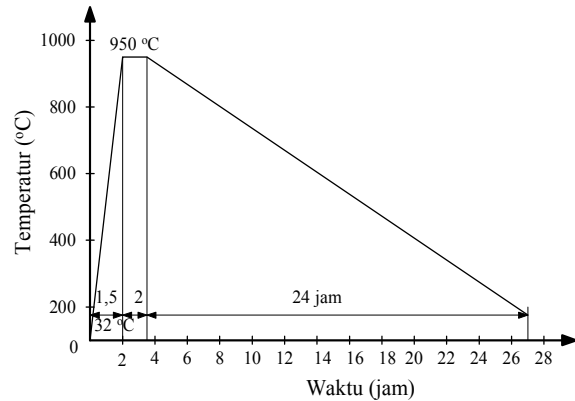
Keterangan:

- A : Penyalaan I, kompor yang di nyalakan 4 buah dan api diusahakan menjadi gas.
- A→B : Suhu api tinggi 970°C , waktu yang diperlukan ± 24 jam dan diusahakan gas api lebih cepat.
- B→C : Selama ± 20 jam suhu api dipertahankan dengan penurunan suhu $\pm 1^{\circ}\text{C}$ sampai 2°C tiap jam hingga mencapai 950°C .
- C→D : Sesudah mencapai 950°C , 4 (empat) kompor dimatikan selama ± 5 jam hingga suhu mencapai 760°C .
- D→E : Setelah mencapai 760°C dilakukan penyalaan II dengan menggunakan 2 (dua) kompor, suhu api dinaikkan 778°C setelah itu diturunkan lagi $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai 6°C dalam tiap jam hingga mencapai 660°C selama 20 jam.
- E : Pada saat suhu sudah mencapai 660°C , 2 (dua) kompor dimatikan.

2. *Annealing* Laboratorium

Dalam proses *annealing* ini material dimasukkan kedalam dapur dengan suhu kamar

mencapai 32°C , setelah $\pm 1,5$ jam suhu mencapai 950°C . Pada saat suhu mencapai 950°C ditahan selama 2 jam setelah itu dapur dimatikan selama 24 jam kemudian material diambil dengan suhu mencapai 180°C .



Gambar 3. Siklus *Annealing* Laboratorium D3 UGM

D. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) merupakan salah satu sifat penting suatu bahan. Uji tarik dapat dipakai untuk mengetahui bahan liat atau tidak dengan cara mengukur perpanjangannya.

Penelitian ini menggunakan mesin uji tarik universal.

E. Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengamati struktur mikro dari material besi cor sambungan pipa (*pipe fitting*) setelah melalui proses *annealing*. Struktur ini akan terlihat jelas apabila permukaan spesimen benar-benar rata, halus, mengkilap tanpa ada goresan dan mengalami proses pengetsaan terlebih dahulu. Kemudian dicari fokus yang sesuai lalu dipotret dengan *Microscope Olympus Photomicrographic System*.

F. Pengujian kekerasan

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan Brinell. Pengujian ini didasari pada kemampuan permukaan untuk menerima beban *penetrator* dari mesin uji kekerasan.

Alat yang digunakan adalah *Brinell Hardness Tester*. Dipilihnya alat ini karena sangat cocok untuk material besi cor, disamping itu juga mudah dalam pengoperasiannya dan hasil kekerasannya secara langsung dapat dibaca.

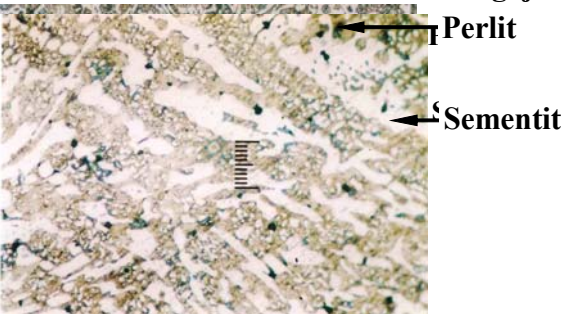
Pada metode ini *penetrator* yang digunakan berupa bola baja berdiameter 2,5 mm sebagai penekan. Beban yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 187,5 kg/mm² dengan lama pembebanan 15 detik.



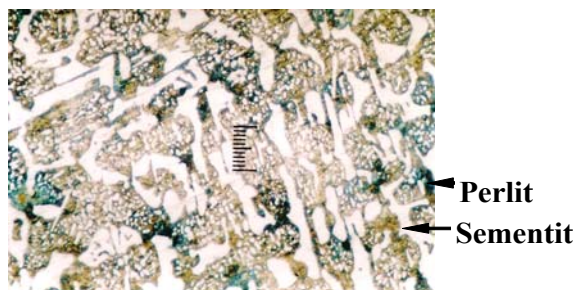
Gambar 4. Lokasi Titik Spesimen Uji Kekerasan

DATA DAN HASIL PENELITIAN

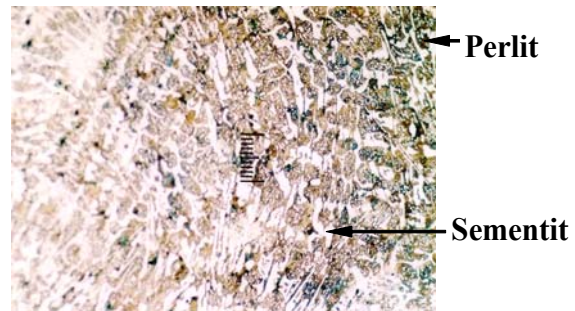
1. Data dan Hasil Pengujian Struktur Mikro



Gambar 5. Struktur Mikro Sambungan Pipa T untuk Daerah Gigi Pembesaran 200 x



Gambar 6. Struktur Mikro Sambungan Pipa T untuk Daerah Gigi Pembesaran 500 x



Gambar 7. Struktur Mikro Sambungan Pipa T untuk Daerah Tengah Pembesaran 200 x

Gambar 8. Struktur Mikro Sambungan Pipa T untuk Daerah Tengah Pembesaran 500x

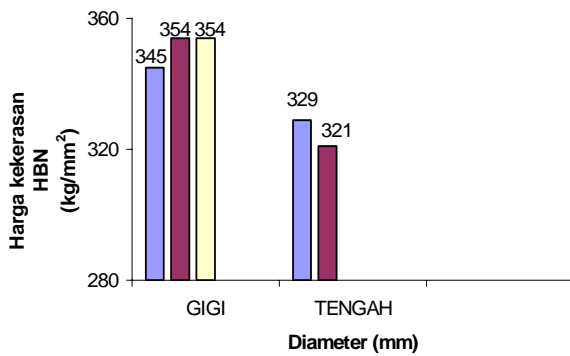
2. Data dan hasil pengujian kekerasan

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Sambungan Pipa T untuk Daerah Tengah

No.	Jarak dari tepi (mm)	D (mm)	Harga kekerasan (HBN) kg/mm ²	Harga kekerasan rata-rata (kg/mm ²)
1	acak	0,84	329	325
2	acak	0,85	321	

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Sambungan Pipa T untuk Daerah Gigi

No.	Jarak dari tepi (mm)	D (mm)	Harga kekerasan (HBN) kg/mm ²	Harga kekerasan rata-rata (kg/mm ²)
1	acak	0,82	345	351
2	acak	0,81	354	
3	acak	0,81	354	



Gambar 9. Histogram Harga Kekerasan Sambungan Pipa T

3. Data dan hasil pengujian tarik

Tabel 3. Harga Kekuatan Tarik *Annealing* Pabrik

No.	Beban F (N)	Luas Penampang Ao (mm ²)	Tegangan Tarik σ (N/mm ²)	Regangan ϵ (%)
1.	20450	63,585	321,617	14,68
2.	4330	63,585	68,098	4,34

Tabel 4. Harga Kekuatan Tarik *Annealing* Laboratorium

No.	Beban F (N)	Luas Penampang Ao (mm ²)	Tegangan Tarik σ (N/mm ²)	Regangan ϵ (%)
1.	8490	63,585	133,522	6,8
2.	11710	63,585	184,163	10,3

PEMBAHASAN

1. Pengujian Struktur Mikro

Hasil foto struktur mikro pada sampel uji terdapat struktur perlit dan sementit, dimana bagian tersebut yang mendominasi adalah sementit. Sifat sementit itu sendiri sangat keras dan getas, serta sifat perlit ulet dan baik sekali ketahanan ausnya.

2. Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada sampel uji yang dilakukan adalah sebanyak 5 titik yaitu

2 titik untuk daerah tengah dan 3 titik untuk daerah gigi. Hal ini dilakukan agar data lebih akurat dan teliti. Hasil pengujian kekerasan dengan metode Brinell pada besi cor putih untuk produk sambungan pipa setelah melalui proses *annealing* laboratorium diperoleh harga kekerasannya sebagai berikut:

- Untuk daerah tengah harga kekerasan pada bagian titik 1 dengan HBN 329 dan titik 2 diperoleh HBN 321, sedangkan harga kekerasan rata-rata dari kedua titik yaitu HBN 325.
- Untuk daerah gigi harga kekerasan pada bagian titik 1 dengan HBN 345, sedangkan titik 2 dan 3 sama yaitu HBN 354 dan untuk harga kekerasan rata-rata dari ketiga titik yaitu HBN 351.

3. Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik untuk *Annealing* Pabrik Spesimen I didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 321,617 N/mm². Sedangkan untuk Spesimen II sebesar 68,098 N/mm². Dari hasil pengujian tarik untuk *Annealing* Laboratorium Spesimen I didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 133,522 N/mm². Sedangkan untuk Spesimen II sebesar 184,163 N/mm².

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data penelitian dan analisa yang didapat maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Dari pengamatan pada hasil pemotretan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa struktur mikronya terdiri dari perlit dan sementit.
- Nilai rata-rata kekerasan menurut metode Brinell dari besi cor putih untuk produk sambungan pipa (*pipe fitting*) dalam bentuk T untuk daerah tengah sebesar 325 kg/mm², sedangkan untuk daerah gigi sebesar 351 kg/mm².
- Sebelum melakukan pengujian tarik, spesimen uji tarik di *annealing* terlebih

dahulu. Proses *annealing* yang dilakukan adalah *annealing* pabrik dan *annealing* laboratorium. Dari hasil pengujian tarik maka dapat diperoleh harga kekuatan tariknya.

a. *Annealing* pabrik

Batang no. 1 diperoleh harga kekuatan tariknya sebesar 321,617 N/mm² sedang-

kan untuk batang no. 2 harga kekuatan tariknya sebesar 68,098 N/mm².

b. *Annealing* laboratorium

Batang no. 1 diperoleh harga kekuatan tariknya sebesar 133,522 N/mm² untuk batang no. 2 harga kekuatan tariknya sebesar 184,163 N/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- Martojo, W ; T. Joenoes, A., 2000, *Peningkatan Kekuatan Mekanik dari Besi Cor Nodular Melalui Paduan dan Proses Perlakuan Panas Austempering*, ITB, Bandung
- Santoso, A.J., 2003, *Pengaruh Proses Annealing Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Kekerasan Sprocket Toyota Kijang*, UMS, Surakarta
- Supardi, E., 1999, *Pengujian Logam*, Cetakan ke-2, PT. Angkasa, Bandung
- Surdia, T; Chijiwa, K., 2000, *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan ke-8, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Tri Murtopo, 2002 *Pengaruh Proses Perlakuan Panas Pada Baja Tahan Karat Produksi Pengecoran Logam di Klaten*, UMS, Surakarta
- Van Vlack, L. H., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta