



Available at www.mst.ft.ugm.ac.id
Jurnal Sistem Teknik



PENGARUH KARBURISING PADA TUNGKU ARANG TERHADAP KETAHANAN EROSI PADA SUDU TURBIN CROSS FLOW T-14

Nurhardjanto Adi Nugroho^{*1}, Samsudin² dan Viktor Malau²

¹Konsentrasi Teknologi Mikrohidro, Minat Studi Magister Sistem Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
²Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Correspondence : nurhit@yahoo.com

Abstract

This research was aimed to know the influence of carburizing on the T-14 cross flow turbine blades against the change of their micro structure and erosion resistance. The tested material of the blades was the St-37 low carbon steel.

The heat treatment in use were carburizing and quenching. The used carburizer media was 192 grams of charcoal, 66.5 grams of Sodium Carnate (Na_2CO_3) and 8 grams of Calcium Carbonate (CaCO_3). The specimens were heated on a charcoal stove at 900°C in 3 hours and later on it was cooled down in 24 hours of outside temperature. Some of the carburized specimens were quenched at 30°C, increased to 900°C in 90 minutes, stayed on the same temperature of 900°C in 30 minutes and then they were rapidly cooled down in water (H_2O) media. A stretch test was carried on an erosion test machine using the IPAL Sewon manufacturing water sprayer containing 28 mg/l, 83 mg/l, 815 mg/l of TSS of which water spraying velocity was 10.33 m/s in 40 hours.

The results showed an increase the surface hardness of the carburized blades of 131% and of the carburized quenched blades of 332%, compared with the raw material of blades with hardness of 122.26 kg/mm². The hardness of carburized blades were 283 kg/mm², that of the carburized quenched blades were 528 kg/mm². It was evident that the carburized turbine blade and the carburized quenched blades had no erosion influence, the erosion rate = 0.000 gram/minute. Specimens made of raw material, the largest erosion rate = 7.5×10^{-6} gram/minute in sprayed with IPAL Sewon manufacturing water containing 815 mg/l of TSS and for the specimens normalized at 600°C, the largest erosion rate = 9.16×10^{-6} gram/minute in the sprayed with the IPAL Sewon manufacturing water containing 28 mg/l of TSS.

Sejarah:

Diterima 10 Mei 2010
Diterima revisi 2 Juni 2010
Disetujui 2 Juli 2010
Tersedia online 1 Agustus 2010

Keywords:

Carburizing
Quenching
Micro Structure
Surface Hardness
Erosion Rate

1. Pendahuluan

Pengembangan material sebagai komponen konstruksi dan perkakas yang ada selama ini dimaksudkan untuk memperoleh sifat-sifat yang lebih baik sesuai dengan pemakaian dan penerapan penggunaannya. Hal ini dimaksudkan untuk menentukan tingkat pencapaian perubahan struktur dan sifat-sifat material agar optimum sesuai penggunaan dan kegunaannya.. Penggunaan bahan pada sudu turbin *Cross Flow* T-14 diperlukan permukaan yang keras dan tahan aus (tahan erosi), dengan bagian inti yang relatif lunak dan ulet tetapi tangguh. Hal ini disebabkan permukaan sudu turbin selalu menerima semburan air yang memiliki partikel padat diantaranya berupa pasir secara terus menerus, sehingga sangat dimungkinkan akan cepat terjadi erosi pada permukaan sudu turbin tersebut, yang akan mempengaruhi bentuk permukaan sudu turbin dan berakibat menurunkan efisiensi turbin.. Untuk mengatasi hal tersebut, sangat perlu meningkatkan kekerasan permukaan sudu turbin *Cross Flow* T-14. Penelitian ini juga untuk membuktikan bahwa proses karburising tidak harus dilakukan pada oven listrik, tetapi dapat juga dilakukan dengan menggunakan tungku arang kayu buatan sendiri dengan hasil yang akurat. Pada penelitian ini spesimen sudu turbin hasil proses karburising, diuji ketahanannya terhadap erosi oleh semprotan air lewat nosel pada alat pengujian erosi, dengan kecepatan pancar

sebesar 10,33 m/dt selama 40 jam penyemprotan dengan termin pengukuran penyusutan berat setiap 10 jam. Dari pengujian erosi, akan diperoleh besarnya pengurangan bobot sudu turbin dan laju erosi oleh ketiga macam fluida (cairan) yang disemprotkan melalui nosel, yaitu : Air IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l, Air IPAL Sewon yang mengandung TSS 83 mg/l (memiliki partikel padat 180,78 mg/l) dan Air IPAL Sewon yang mengandung TSS 815 mg/l (memiliki partikel padat 2214,11 mg/l).

Menurut Tata Surdia (1992), perlakuan panas pada baja adalah proses pemanasan sampai pada suhu tertentu dan selama waktu tertentu, kemudian diikuti dengan pendinginan menurut laju pendinginan tertentu yang memperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam batas kemampuan baja yang berbeda dari sifat-sifat semula. Maksud perlakuan panas tersebut secara garis besar menyangkut tentang : meningkatkan kekerasan dan kekuatan, menghilangkan tegangan, melunakkan baja, menormalkan keadaan baja biasa dari akibat pengaruh-pengaruh pengerjaan dan perlakuan panas sebelumnya dan menghaluskan butir-butir kristal atau kombinasi dari maksud-maksud tersebut diatas.

Suratman (1994), kegunaan dari baja sangat tergantung pada sifat-sifatnya yang sangat bervariasi, yang diperoleh melalui pemaduan dan penerapan proses perlakuan panas.

Sifat mekanik dari baja sangat tergantung pada struktur mikronya. Sedangkan struktur mikro sangat mudah diubah melalui proses perlakuan panas. Beberapa macam baja memiliki sifat-sifat yang tertentu sebagai akibat penambahan unsur paduan. Salah satu unsur paduan yang sangat penting dan dapat mengontrol sifat-sifat baja adalah karbon (C).

Anonim (1983), bahwa air yang diambil dari sungai atau saluran pembuangan air mengandung butir-butir pasir yang terangkut dan merusak pipa pesat, turbin serta bangunan-bangunan lainnya. Partikel padat akan menggerus Sudu turbin sehingga kelengkungan Sudu turbin berubah. Hal ini menurunkan efisiensi turbin.

Beumer (1978), bahwa pengokohan adalah salah satu cara untuk memperoleh sifat-sifat bahan yang lebih baik. Pengokohan terjadi pada tiap perubahan bentuk struktur melalui proses pemanasan dalam berbagai perlakuan.

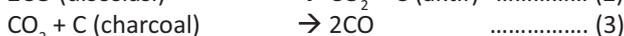
Alexander (1981), kekuatan material suatu bahan adalah tergantung pada proses perlakuan yang diberikan pada saat proses pembuatan, dan juga perlakuan khusus yang diberikan pada bahan atau material tersebut.

Chemical Heat Treatment Of Steel (Case Hardening) adalah suatu macam perlakuan panas atau *heat treatment* pada baja, yang bertujuan untuk mengeraskan hanya pada bagian permukaan (*case*) saja, sedangkan bagian inti tetap, sehingga secara keseluruhan benda masih tetap ulet namun diperoleh permukaan yang lebih keras dan tahan aus. Perubahan sifat permukaan bahan baja dilakukan melalui proses penambahan unsur tertentu secara difusi yang dilaksanakan pada suhu tinggi dan diikuti oleh pengolahan panas tertentu. Permukaan baja juga akan mengalami perubahan komposisi kimia dan struktur sehingga kekerasan permukaan baja bertambah dan lebih tahan aus. Tujuan utama proses pengerasan adalah untuk meningkatkan kekerasan benda kerja dan meningkatkan ketahanan aus. Makin tinggi angka kekerasannya akan semakin tinggi pula ketahanan ausnya. *Pack carburizing* merupakan proses perlakuan panas secara kimia berupa penambahan karbon ke baja dalam bentuk padat. Proses difusi karbon kedalam permukaan bahan dengan cara memanaskan bahan kedalam media atau kotak tertutup yang berisi sumber karbon aktif, sehingga karbon dapat berdifusi masuk kepermukaan bahan tersebut. Proses ini akan berlangsung dengan baik terutama apabila dilaksanakan pada baja karbon rendah. Proses ini merupakan metode yang paling banyak dipergunakan dalam proses pengerasan permukaan.

Selama proses pemanasan, karburiser dalam kotak akan mengalami reaksi yang menghasilkan gas yaitu monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Gas-gas ini terutama diperoleh sebagai hasil oksidasi karbon dari karburiser padat.



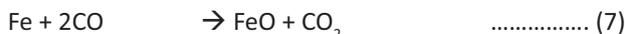
Dengan adanya besi, ternyata gas CO akan berdisosiasi menjadi atom karbon sebagai berikut :



Selain itu energiser (bahan pengaktif) yang ditambahkan akan membantu menghasilkan karbon monoksida yang lebih banyak sehingga karbon akan lebih aktif. Dalam hal ini tidak ada energiser yang hilang seperti terjadi dalam reaksi berikut ini:



Reaksi karburising yang terjadi pada permukaan baja adalah:



Setelah reaksi ini terjadi, akan memproduksi karbon seperti semula, karbon tersebut pada suhu karburising akan diserap oleh lapisan logam pada permukaan dan secara perlahan-lahan akan pindah atau menyebar menuju ke bagian tengah (inti).

2. Metodologi

Spesimen bahan sudu turbin yang dipergunakan adalah baja karbon rendah St-37. Spesifikasi dasar baja St-37 adalah memiliki kekuatan tarik 37-45 kg/mm², regangan 20 %, dan kandungan unsur karbon 0,12%. Untuk meyakinkan bahwa spesimen bahan uji sudah sesuai dengan spesifikasi, terlebih dahulu dilakukan pengujian tarik spesimen menggunakan mesin uji tarik TARNO GROCKI. Hasil pengujian tarik adalah 41,83 kg/mm², sehingga dapat disimpulkan bahwa bahan yang diuji adalah termasuk baja karbon rendah St-37 sesuai spesifikasi bahan yang dipakai.

Spesimen untuk pengujian erosi berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran lebar 10 mm, tebal 1,5 mm, panjang 53,67 mm. Kemudian spesimen dilengkungkan menggunakan mesin *rall*, dengan besar kelengkungan 16^o sesuai bentuk sudu turbin *Cross Flow* T-14. Fluida penyemprot yang dipergunakan untuk menguji keausan erosi adalah air olahan IPAL Sewon yang diambil pada saluran buang, yang telah diuji di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Yogyakarta seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Fluida penyemprot pengujian erosi

MACAM AIR	Volume Air Olahan IPAL Sewon (Liter)	Kadar Campuran	Kandungan TSS (mg/l)	Volume Total (Liter)
Air olahan IPAL Sewon	25	-	28	25
Air olahan IPAL Sewon dengan partikel padat 180,78 mg/l	16	9 Liter air sumur dicampur tanah 1 kg	83	
Air olahan IPAL Sewon dengan partikel padat 2214,11 mg/l	16	9 Liter air sumur dicampur tanah 2 kg	815	

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan alat penguji erosi sudu turbin. Pompa air alat penguji erosi memiliki debit pengaliran sebesar 27 liter/menit. Air bersirkulasi menyemprot spesimen sudu turbin dengan kecepatan 10,33 m/detik. Penetapan kecepatan penyemprotan berdasarkan pada perhitungan kecepatan aliran air air pada sisi masuk sudu turbin turbin dengan ketentuan debit air 0,07m³/detik, *head* 5,66 m. Untuk memperoleh kecepatan air 10,33 m/detik digunakan nosel yang dibuat dari bahan resin dengan luas penampang 43,56 mm², dengan lama waktu

penyemprotan pada masing-masing spesimen, macam air dan perlakuan selama 40 jam dengan termin pengukuran pengurangan bobot spesimen sudu turbin setiap 10 jam penyemprotan. Pada proses pengujian erosi sudu turbin, kondisi spesimen sudu turbin dalam keadaan diam (tidak berputar). Sehingga data hasil pengujian pengurangan bobot spesimen sudu turbin dan tingkat laju erosi spesimen sudu turbin hasilnya akan menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan jika dilakukan pengujian erosi dilakukan pada kondisi sudu turbin dalam keadaan berputar karena dalam kondisi sebenarnya, permukaan sudu turbin akan terkena satu kali penyemprotan dalam satu kali putaran runner (360°).

Proses karburising dengan menggunakan media karburiser 192 gram arang kayu, 66,5 gram Sodium Karbonat atau soda makan (Na_2CO_3) dan 8 gram Kalsium Karbonat atau kapur (CaCO_3). Setelah penutup kotak dipasang, tutup dirapatkan dengan menggunakan tanah liat yang dicampur dengan pasir silika agar oksigen didalam kotak sementasi tidak keluar dan bahan karburiser tidak terbakar. Kotak sementasi dimasukkan dalam dapur arang kayu dalam posisi digantung. Arang kayu ditata diatas dan dibawah kotak sementasi yang digantung. Kemudian arang kayu dinyalakan sampai suhu pemanasan maksimal 900°C . Dalam hal ini suhu pemanasan dijaga dan diatur agar konstan. Pengontrolan suhu menggunakan alat *Thermo Kopel*. Dipanaskan selama 3 jam, kotak sementasi diangkat dan didinginkan diudara luar selama 24 jam. Untuk membandingkan tingkat kekerasan permukaan spesimen baha sudu, sebagian spesimen yang telah dikarburising tersebut dipanaskan dalam oven listrik dengan pemanasan mulai suhu 30°C sampai dengan suhu 900°C selama 90 menit. Kemudian suhu pemanasan ditahan pada suhu 900°C selama 30 menit, lalu dilakukan proses pendinginan kejut (*quenching*) kedalam air (H_2O).

Untuk menganalisis perubahan sifat mekanis spesimen hasil proses karburising, dilakukan uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik atau filar merk Olympus TGH dengan pembesaran pengukuran foto struktur mikro 100 kali.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji struktur mikro

Dengan proses karburising, unsur C masuk kepermukaan sehingga membentuk struktur Perlit (terdiri dari ferit dan sementit) yang berwarna gelap. Pada bagian paling tepi, struktur perlit paling bannyak dan semakin ketengah semakin berkurang. Hal ini ditunjukkan oleh warna permukaan paling tepi berwarna gelap, semakin ketengah semakin terang. Pada proses karburising ini struktur Martensit belum muncul sehingga tidak nampak pada saat difoto. Untuk spesimen yang dikarburising kemudian *diquenching*, perlit akan berubah menjadi martensit. Perlit yang dipanaskan pada suhu 900°C dan kemudian dikejutkan (*diquenching*), strukturnya akan berubah menjadi martensit. Ciri martensit adalah berwarna putih, cerah dan bergaris. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan permukaan spesimen semakin tinggi.

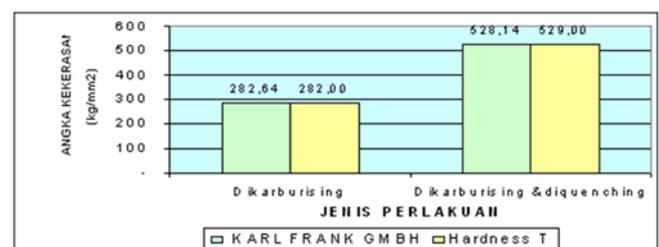
Sebagai pembanding, disajikan hasil uji struktur mikro pada bahan dasar atau *row material* (Penelitian Paryana, 2003) Struktur mikronya terdiri dari Ferit (berwarna putih) dan Perlit (berwarna sedikit gelap). Dengan perlakuan panas pada suhu 400°C dan pada suhu 600°C (penelitian Priyo Suwarso, 2003), strukturnya

terdiri dari perlit dan ferit. Struktur perlit dan ferit mengalami perubahan pada diameter butiran yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan spesimen menurun.

Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada bagian permukaan spesimen yang dikarburising = $282,64\text{ kg/mm}^2$ dan $282,00\text{ kg/mm}^2$. Hasil pengujian kekerasan pada bagian permukaan spesimen yang dikarburising kemudian *diquenching* adalah sebesar $529,00\text{ kg/mm}^2$ dan $528,14\text{ kg/mm}^2$.

Hasil pengujian kekerasan sisi melintang dan sisi memanjang spesimen yang dikarburising dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian kekerasan sisi memanjang pada 10 strip pertama (titik 1) adalah 237 Kg/mm^2 , titik2 = 217 Kg/mm^2 , titik3 = 205 Kg/mm^2 , titik 4 = 180 Kg/mm^2 , titik 5 = 200 Kg/mm^2 , titik6 = 220 Kg/mm^2 , dan kekerasan pada strip ke 100 (titik 7) adalah 232 Kg/mm^2 .



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan

Hasil pengujian kekerasan sisi melintang pada 10 strip pertama (titik 1) adalah 242 Kg/mm^2 , titik2 = 226 Kg/mm^2 , titik 3 = 208 Kg/mm^2 , titik 4 = 184 Kg/mm^2 , titik 5 = 204 Kg/mm^2 , titik6 = 227 Kg/mm^2 , dan kekerasan pada strip ke 100 (titik 7) adalah 237 Kg/mm^2 . Dari kedua pengujian kekerasan sisi memanjang dan melintang dapat disimpulkan bahwa kekerasannya semakin ketengah semakin kecil.

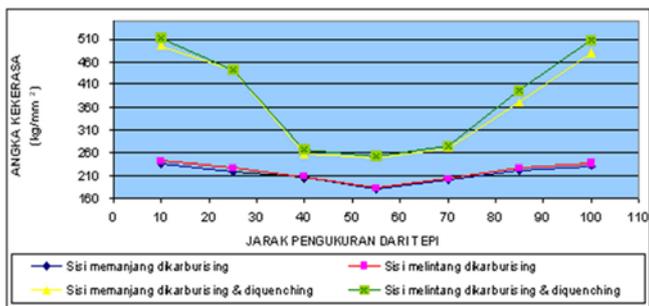
Hasil pengujian kekerasan sisi melintang dan sisi memanjang spesimen yang dikarburising kemudian *diquenching* dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian kekerasan sisi memanjang pada 10 strip pertama (titik 1) adalah 495 Kg/mm^2 , titik2 = 442 Kg/mm^2 , titik3 = 257 Kg/mm^2 , titik 4 = 249 Kg/mm^2 , titik 5 = 268 Kg/mm^2 , titik6 = 370 Kg/mm^2 , dan kekerasan pada strip ke 100 (titik 7) adalah 479 Kg/mm^2 . Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan spesimen pada sisi memanjang semakin ketengah semakin kecil. Hal ini berarti bahwa tingkat kekerasan baja pada bagian ujung permukaan sisi memanjang adalah paling keras dan semakin ketengah semakin lunak.

Hasil pengujian kekerasan sisi melintang pada 10 strip pertama (titik 1) adalah 512 Kg/mm^2 , titik2 = 442 Kg/mm^2 , titik3 = 267 Kg/mm^2 , titik 4 = 252 Kg/mm^2 , titik 5 = 274 Kg/mm^2 , titik6 = 395 Kg/mm^2 , dan kekerasan pada strip ke 100 (titik 7) adalah 507 Kg/mm^2 .

Dari kedua hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kekerasan spesimen semakin ketengah semakin kecil.

Hasil Pengujian Tarik dan Regangan

Hasil pengujian tarik dan hasil pengujian regangan ditunjukkan pada Gambar 2.



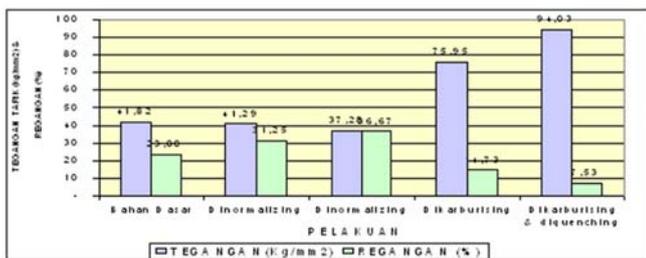
Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Pada Sisi Memanjang Dan Sisi Melintang

Dari hasil pengujian tarik pada spesimen bahan dasar (*row material*) tegangan tariknya sebesar 41,82 kg/mm². Standar kekuatan tarik baja St-37 adalah 37-45 kg/mm². Dari hasil pengujian regangan, spesimen yang dkarburising regangannya= 14,73%, spesimen yang dkarburising kemudian diquenching regangannya=7,53%. Sebagai pembandingan (penelitian Paryana, 2003), regangan spesimen *bahan dasar* atau *row material* = 23,80%, (penelitian Priyo Suwarso,2003), spesimen yang dipanaskan pada suhu 400°C regangannya=31,25% dan spesimen yang dipanaskan pada suhu 600°C regangannya= 36,67%, Diantara kelima macam perlakuan tersebut, regangan terkecil terjadi pada spesimen yang dkarburising kemudian diquenching, karena spesimen memiliki kekerasan yang semakin tinggi.

Pengujian Erosi

Dalam melakukan pengujian erosi menggunakan mesin uji erosi, spesimen disemprot dengan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l; 83 mg/l dan 815 mg/l, selama 40 jam penyemprotan.

1. Hasil penelitian uji erosi spesimen yang dkarburising dapat dilihat pada gambar 3.

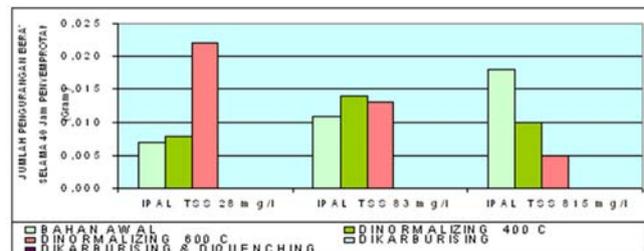


Gambar 3. Hasil pengujian tarik dan Regangan

2. Hasil penelitian uji erosi untuk spesimen yang dkarburising kemudian diquenching dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa untuk semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon, ternyata tidak terjadi pengurangan berat pada termin pengukuran setiap 10 jam penyemprotan dan selama 40 jam penyemprotan, erosi adalah 0,000 gram. Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen yang

dkarburising dan spesimen yang dkarburising kemudian diquenching, memiliki ketahanan terhadap keausan erosi oleh semprotan air olahan IPAL Sewon pada semua macam kandungan TSS selama 40 jam.

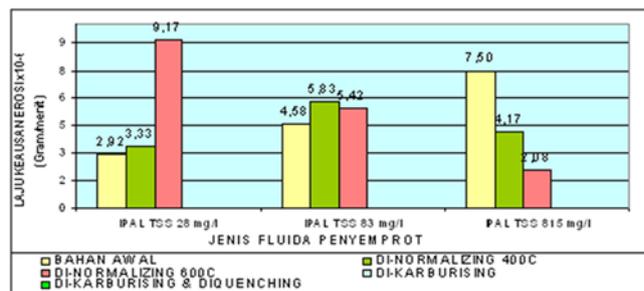
3. Sebagai pembandingan disajikan hasil penelitian pengujian erosi oleh Paryana, yang menggunakan spesimen bahan dasar (*row material*) tanpa mengalami perlakuan panas. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik erosi spesimen selama 40 Jam (2400 menit)

Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pada setiap termin pengukuran setiap 10 jam penyemprotan oleh semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon, ternyata terjadi pengurangan berat yang bervariasi (pengurangan berat tidak selalu sama dalam setiap 10 jam penyemprotan). Dan selama 40 jam penyemprotan, diperoleh angka erosi oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l = 0,007 gram, yang mengandung TSS 83 mg/l = 0,011 gram. Erosi terbesar adalah 0,018 gram, terjadi pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 215 mg/l.

4. Sebagai pembandingan berikutnya disajikan hasil penelitian pengujian erosi oleh Priyo Suwarso, yang menggunakan spesimen dengan perlakuan *Normalizing* pada suhu 400°C. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Laju Erosi Tiap Menit

5. Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pada termin pengukuran setiap 10 jam penyemprotan oleh semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon, ternyata terjadi pengurangan berat yang bervariasi (pengurangan berat tidak selalu sama dalam setiap 10 jam penyemprotan). Dan selama 40 jam penyemprotan, diperoleh angka erosi oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l = 0,008 gram, yang mengandung TSS 815 mg/l = 0,010 gram dan keausan terbesar adalah 0,014 gram, terjadi pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 83 mg/l. Untuk penelitian pengujian

erosi spesimen dengan perlakuan *Normalizing* 600°C, hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pada termin pengukuran setiap 10 jam penyemprotan oleh semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon, ternyata terjadi pengurangan berat yang bervariasi (pengurangan berat tidak selalu sama dalam setiap 10 jam penyemprotan). Dan selama 40 jam penyemprotan, diperoleh angka erosi oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 83 mg/l = 0,013 gram, yang mengandung TSS 815 mg/l = 0,005 gram dan keausan terbesar adalah 0,022 gram, terjadi pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l.

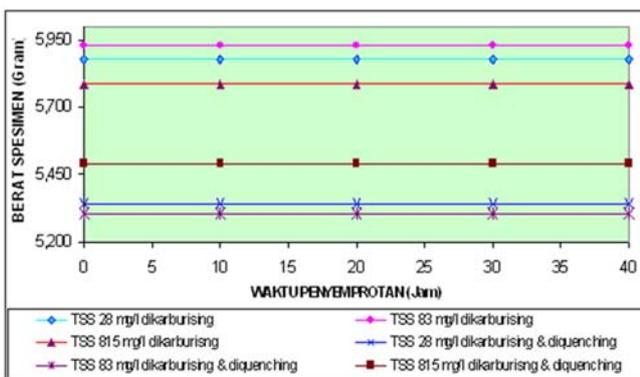
Pengujian Laju Erosi

Laju erosi spesimen dapat dinyatakan dengan : jumlah kehilangan atau pengurangan material (massa) (ASM Handbook, Vol. 11).

$$\text{Laju keausan (w)} = \frac{m_i - m_f}{t} = \frac{m}{t} \text{ atau } \frac{m}{S} \dots\dots\dots (8)$$

dimana t adalah lama pengujian atau S adalah panjang luncur *disk*. Pengerukan atau pengurangan material biasanya dinyatakan dengan kehilangan volume ($V_i - V_f$) atau kehilangan massa ($m_i - m_f$) atau kehilangan ketebalan ($h_i - V_f$). *Subscript* (i) merupakan kondisi awal dan (f) adalah kondisi akhir dari proses tersebut.

Hasil pengukuran laju erosi tiap menit, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu Dengan Berat Akibat Penyemprotan

Dari hasil pengujian laju erosi akibat penyemprotan air olahan IPAL Sewon dalam bermacam kandungan TSS (*Total Suspended Solid*), dapat disimpulkan bahwa laju erosi terbesar spesimen bahan dasar (*raw material*) adalah pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 815 mg/l, yaitu sebesar $7,500 \times 10^{-6}$ gram/menit. Laju erosi terbesar spesimen yang *dinormalizing* pada suhu 400°C adalah pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 83 mg/l, yaitu sebesar $5,833 \times 10^{-6}$ gram/menit. Laju erosi terbesar spesimen yang *dinormalizing* pada suhu 600°C adalah pada penyemprotan oleh air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l, yaitu sebesar $9,167 \times 10^{-6}$ gram/menit. Laju erosi spesimen yang dikarburising pada

suhu 900°C adalah 0,000 gram/menit, pada penyemprotan oleh semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon. Dan laju erosi spesimen yang dikarburising pada suhu 900°C kemudian *diquenching* adalah 0,000 gram/menit, pada penyemprotan oleh semua macam kandungan TSS dalam air olahan IPAL Sewon.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh karburising pada sudu turbin *Cross Flow* T-14 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pemotretan struktur mikro : Bahwa pada bahan dasar (*raw material*) sudu turbin *Cross Flow* T-14 dan sudu turbin yang mengalami perlakuan *dinormalizing* pada suhu 400°C dan 600°C, struktur mikronya terdiri dari ferit yang berwarna putih dan perlit yang berwarna sedikit gelap. Namun pada sudu yang *dinormalizing* memiliki diameter butiran yang lebih besar dibandingkan dengan diameter butiran pada bahan dasar (*raw material*). Hal menunjukkan bahwa kekerasannya lebih kecil. bila dibandingkan dengan kekerasan bahan dasar yaitu 120,63 kg/mm² : 122,26 kg/mm² (*dinormalizing* 400°C) dan 109,52 kg/mm² : 122,26 kg/mm² (*dinormalizing* 600°C) Sudu turbin *Cross Flow* T-14 yang mendapatkan perlakuan karburising, terbentuk struktur perlit (terdiri dari ferit dan sementit) yang berwarna gelap. Pada bagian paling tepi, struktur perlit paling banyak, makin ketengah semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekerasan permukaan bagian paling tepi adalah paling keras, makin ketengah semakin lunak. Apabila dibandingkan dengan bahan dasar (*raw material*), sudu turbin yang mendapatkan perlakuan karburising memiliki kekerasan lebih besar yaitu 283 kg/mm² : 122,26 kg/mm². Sudu turbin *Cross Flow* T-14 yang mendapatkan perlakuan karburising kemudian *diquenching*, struktur perlit berubah menjadi martensit yang berwarna putih, cerah dan bergaris. Pada bagian paling tepi, struktur martensit paling banyak, makin ketengah semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekerasan permukaan bagian paling tepi adalah paling keras dibandingkan dengan yang dikarburising. Apabila dibandingkan dengan bahan dasar (*raw material*), sudu turbin yang mendapatkan perlakuan karburising kemudian *diquenching* memiliki kekerasan lebih besar yaitu :528 kg/mm² : 122,26 kg/mm².
2. Dari hasil pengujian kekerasan Vickers : Sudu turbin *Cross Flow* T-14 yang mendapatkan perlakuan dikarburising kekerasan permukaannya 283 kg/mm². Apabila dibandingkan dengan bahan dasar (*raw material*) yang memiliki kekerasan permukaan 122,26 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 160,74 kg/mm² = 131%. Apabila dibandingkan dengan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 400°C yang memiliki kekerasan permukaan 120,63 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 162,37 kg/mm² = 133%. Apabila dibandingkan dengan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 600°C yang memiliki kekerasan permukaan

109,52 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 173,48 kg/mm² = 142%

Sudu turbin yang mendapatkan perlakuan dikarburising kemudian di *quenching* kekerasan permukaannya 528 kg/mm². Apabila dibandingkan dengan bahan dasar (*raw material*) sudu turbin yang memiliki kekerasan permukaan 122,26 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 405,74 kg/mm² = 332%. Apabila dibandingkan dengan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 400°C yang memiliki kekerasan permukaan 120,63 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 407,37 kg/mm² = 333%. Apabila dibandingkan dengan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 600°C yang memiliki kekerasan permukaan 109,52 kg/mm², terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 418,48 kg/mm² = 342%

3. Dari hasil pengujian tarik : Tegangan tarik terbesar ada pada sudu turbin yang mengalami proses dikarburising kemudian di *quenching* yaitu sebesar 94,03 kg/mm². Regangan terbesar ada pada sudu turbin yang *dinormalizing* 600°C sebesar 36,67%, hal menunjukkan bahwa sudu turbin tersebut paling lunak.
4. Dari hasil pengujian erosi : Laju erosi pada sudu turbin yang dikarburising dan sudu turbin yang dikarburising kemudian di *quenching* adalah 0,000 gram/menit dan memiliki pengurangan berat 0,000 gram selama 40 jam penyemprotan. Laju erosi pada bahan dasar sudu turbin terbesar adalah 0,0000075 gram/menit dan pengurangan berat selama 40 jam penyemprotan adalah sebesar 0,018 gram, oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 815 mg/l. Laju erosi pada sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 600°C oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l yaitu sebesar 0,000009167 gram/menit, dan pengurangan berat terbesar selama 40 jam penyemprotan adalah 0,022 gram. Hal ini menunjukkan bahwa apabila dibandingkan dengan bahan dasar sudu turbin dan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 400°C dan sudu turbin yang *dinormalizing* pada suhu 600°C, sudu turbin yang memiliki ketahanan terhadap erosi oleh semprotan air olahan IPAL Sewon yang mengandung TSS 28 mg/l, 83 mg/l dan 815 mg/l ada pada sudu turbin yang di karburising dan sudu turbin yang dikarburising kemudian di *quenching*, yaitu sebesar 0,000 gram/menit.

Sehingga terbukti, bahwa semakin tinggi angka kekerasannya akan semakin tinggi pula ketahanan ausnya

Daftar Pustaka

- Alexander, J. M. 1981. *Strength of Material*, v.1, Fundamental. John Wiley & Sons, New York.
- Avner, Sidney.H, 1974, *Introduction to physical Metallurgy*, Second edition, Mc. Graw Hill, New York.
- Brooks, C.R., 1979, *Heat Treatment of Ferrous Metals*, Washington. DC, Hemishpere Publishing Co. Ltd, USA.
- Budinski, K, G, 1996, *Engineering Material Properties and selections*, 5th edition, Prentice Hall Inc, New Jersey
- Bataev, A. A, Tushinki, L. I, anda Bataev, V. A, 1996, Effect of the Ferrite-Cementitite Structure on the Rate of Abrasion Wear in Steel, *Metal Science and Heat Treatment, MHTRAN*, Vol 38 no. 6, pp 262-264.
- Benham, P. P and Crawford, R. J. 1989. *Mechanics of Engineering Material*.
- Both, W. and Vlient van G. L. J. 1984. *Teknologi Untuk Bangunan Mesin*. Bahan-bahan 1.
- Broek, D. 1982. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. 3rd ed. Martinus Nijhoff Publishers. The Hague.
- Burke, J. J and Weiss (eds). 1979. *Application of Fracture Mechanics to Design*. Plenum Press, New York.
- Crawford, R. J and Benham, P. P. 1989. *Mechanics of Enggineering Material*
- Dieter, G.E, 1988. *Metalurgi Mekanik*, 1. Sriati Djaprie. Penerbit Erlangga, Yogyakarta.
- Kalpakjian, S, 1985, *Manufacturing Processes for Engineering Material*, Addison-Wisley Publishing Company, Massachusetts.
- Sorokin, G. M, and Bobrov, S. N, 1998, Fundamental Principles for Choosing Steel on the Basis of Resuls of Wear Test, *Metal Science and Treatment, mhtran*, Vol. 40 no. 2, pp 76-78.
- Suratman, R, 1994, *Panduan Proses Perlakuan Panas*, Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Saito, S. and Surdia, T. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*
- Shackelford, J. F. 1992. *Introduction to Material Science For Engineering*. Maxwell Macmillan, Canada
- Thelning, KE, 1984, *Steel and Its Heat Treatment*, Second edition, Butterworths and Co, London.
- Zakharov, B., 1982, *Heat Treatment of Metal*, Foreign Language Publishing Mouse, Moscow.
- Paryana, 2003, *Pengaruh Partikel Padat Dan Natrium Klorida Dalam Air Olahan IPAL Sewon Terhadap Korosi Sudu Turbin*, Tesis, Pascasarjana UGM, Yogyakarta
- Priyo Suwarso, 2003, *Pengaruh Perlakuan Panas Pasca Pembentukan Pada Turbin Cross Flow T-14 Flow T-14 Terhadap Erosi*, Tesis, Pascasarjana UGM, Yogyakarta