



VOLUME 6 NOMOR 1 MARET 2007

JURNAL TEKNIK



MEDIA PENGEMBANGAN ILMU DAN APLIKASI TEKNIK

Kusharjanto, Abrianto A., Ari Irawan

Pengaruh Waktu Pemanasan dan Jarak Koil pada
Pengerasan Induksi terhadap
Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Krupp1191

Suhartono, Suwito G., Dwiwahyu S., Herri S.

Uji Pengoperasian *Fixed Bed Gasifier* Batubara
Kapasitas 100 kg/jam

Nadiem Anwar

Biogas dari Rumput

Martijanti, Syahminan

Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi
pada Pengelasan Aluminium 6061-T4
dengan Proses GTAW terhadap Sifat Mekanik

Abrianto Akuan

Proses *Babbiting* Bantalan Luncur
Melalui Pengecoran Sentrifugal

Jahny Sast

*The Extraordinary Leader:
Turning Good Manager into Great Leaders*

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JENDERAL ACHMAD YANI
BANDUNG - CIMAHI**



Kusharjanto, Abrianto A., Ari Irawan 457

Pengaruh Waktu Pemanasan dan Jarak Koil pada
Pengerasan Induksi terhadap
Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Krupp 1191

Suhartono, Suwito G., Dwiwahyu S., Herri S. 465

Uji Pengoperasian *Fixed Bed Gasifier* Batubara
Kapasitas 100 kg/jam

Nadiem Anwar 473

Biogas dari Rumput

Martijanti, Syahminan 479

Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi
pada Pengelasan Aluminium 6061-T4
dengan Proses GTAW terhadap Sifat Mekanik

Abrianto Akuan 487

Proses *Babbiting* Bantalan Luncur
Melalui Pengecoran Sentrifugal

Jahny Sast 495

*The Extraordinary Leader:
Turning Good Manager into Great Leaders*



ISSN 1412 8810
Volume 6 No.1 Maret 2007

JURNAL TEKNIK

Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknologi

Penanggung Jawab:

H. Urip Subagio, Ir., MM.

Pemimpin Umum:

Jahny Sast., Ir., M. Sc.

Pemimpin Usaha:

Febrianto Adi Nugroho, Ir., MM.

Pemimpin Redaksi:

Cucu Wahyudin, STP., MT.

Penyunting Ahli:

Prof. Waspodo Martodjo, Ir.

Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Ir.

Prof. Dr. R.J. Widodo, Ir., M. Sc.

Dr. Bambang Widyanto, Ir.

Dr. TMA. Ari Samadhi, Ir., M. Sc.

II. Moch. Memed, Ir., Dipl., HE., APL., SDA.

Endang Padminingsih, Ir., M. Sc.

Penyunting Pelaksana:

Pawawoi, ST., MT. (Ketua)

Martijanti, ST., MT.

Nadiem Anwar, ST., MT.

Tata Usaha:

Heri Azhari

Suwardi

Danang K

Alamat Redaksi:

Jl. Gatot Subroto (Samping PINDAD)

Telp. (022) 7312741

Fax. (022) 7309433

Bandung

E-mail : CYU517@yahoo.com

Pengantar Redaksi

Pengantar Redaksi

Pembaca yang budiman,

Jurnal Teknik kali ini sangat spesial dengan adanya penyunting ahli dari berbagai disiplin ilmu yang ada di fakultas teknik sehingga isi dan bobot akan meningkat. Terbitan ini memuat 5 karya tulis hasil penelitian dan sebuah tinjauan konseptual. Dari hasil penelitian, tulisan pertama diwakili dari **Jurusan Teknik Metalurgi** dengan judul "Pengaruh Waktu Pemanasan dan Jarak Koil pada Pengerasan Induksi terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Krupp 1191" dan "Proses *Babbiting* Bantalan Luncur melalui Pengecoran Sentrifugal", **Jurusan Teknik Kimia**, "Uji Pengoperasian *Fixed Bed Gasifier* Batubara Kapasitas 100kg/jam" dan "Biogas dari Rumpuk", **Jurusan Teknik Mesin**, "Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi pada Pengelasan Alumunium 6061-T4 dengan Proses GTAW terhadap Sifat Mekanik". Sedangkan tinjauan konseptual dengan judul tulisan adalah, "*The Extraordinary Leader: Turning Good Manager into Great Leaders*".

Semoga apa yang kami sajikan kali ini dapat memenuhi harapan pembaca dan peminat ilmu serta aplikasi teknologi.

Diterbitkan oleh Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani

Maret 2007

PENGARUH WAKTU PEMANASAN DAN JARAK KOIL PADA Pengerasan Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Krupp 1191

Kusharjanto*, Abrianto Akuan* dan Ari Irawan**

Proses pengerasan permukaan dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada komponen yang mengalami beban puntir dan gesekan. Salah satu metoda yang dapat dipakai dalam proses ini adalah proses pengerasan induksi. Proses pengerasan permukaan induksi yang dilakukan dalam penelitian ditujukan untuk mengetahui karakteristik baja KRUPP 1191 (DIN. 1.1191) atau baja karbon medium 0,45 % C, dengan memvariasikan parameter waktu proses dan jarak koil pemanas terhadap kekerasan, ketebalan lapisan terkeraskan dan struktur mikro. Variasi parameter waktu adalah 2, 4 dan 6 detik sedangkan jarak koil pemanas terhadap benda kerja 1, 2 dan 4 mm. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan permukaan maksimum sebesar 66,4 HRC diperoleh untuk waktu proses 6 detik dengan jarak 1 mm. Distribusi nilai kekerasan dari permukaan ke inti menunjukkan nilai yang semakin rendah dengan ketebalan lapisan terkeraskan maksimum pada waktu proses 6 detik dengan jarak 1 mm sebesar 16,0 mm atau 100% dari diameter uji. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin lama waktu proses maka ketebalan lapisan terkeraskan semakin besar. Jarak koil dengan variasi 1, 2 dan 4 mm tidak menunjukkan pengaruh yang mencolok bila dibandingkan dengan waktu proses. Struktur mikro yang terbentuk pada daerah terkeraskan adalah martensit sedangkan pada daerah tidak terkeraskan struktur mikronya sama seperti material awal yaitu terdiri dari ferit dan perlit.

1. Pendahuluan

Kepresisian komponen yang terbuat dari baja seperti bantalan, poros, katup mesin dan lain-lain serta kebutuhan akan kekerasan yang sangat tinggi pada permukaan komponen-komponen tersebut, mutlak diperlukan untuk mencegah terjadinya deformasi plastis dan keausan dalam pemakaiannya. Berbagai perlakuan diberikan guna memperlambat terjadinya peristiwa deformasi plastis dan keausan tersebut diantaranya dengan pembentukan lapisan keras pada bagian permukaan bantalan, poros dan katup mesin tersebut dengan berbagai proses pengerasan permukaan (*case hardening*). Proses pengerasan permukaan merupakan proses yang sangat kritis tidak hanya berefek pada biaya produksi dan kualitas komponen tetapi berhubungan juga dengan efisiensi energi dan efek pada lingkungan serta lamanya waktu pengerjaan. Beragamnya jenis proses *case hardening* dengan berbagai ketebalan lapisan

keras akan menghasilkan distribusi kekerasan yang berbeda-beda. Pengerasan dengan nyala api (*Flame hardening*), pengerasan induksi (*induction hardening*), *nitriding* dan *carburizing* merupakan metoda-metoda yang sudah dikenal dan dipakai untuk melakukan proses pengerasan permukaan.

Perbedaan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan pada pengerasan permukaan dengan metoda induksi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pengerasan Induksi (*induction hardening*) merupakan salah satu metoda yang dipakai pada proses pengerasan permukaan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain^[1]:

- Mudah dalam pengontrolan dan pengotomatisasian.
- Lebih sedikit/efisien dalam penggunaan tempat.
- Tidak berisik dan bersih.

Salah satu parameter proses pengerasan Induksi yang dapat dipilih adalah waktu proses pengerasan dan jarak koil pemanas terhadap benda kerja.

Atas dasar pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka dilakukan penelitian terhadap

* Staf Pengajar Fakultas Teknik

Jurusan Teknik Metalurgi

** Alumni Jurusan Teknik Metalurgi

proses *induction hardening* dengan variasi waktu dan jarak koil pemanas serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja KRUPP 1191 untuk komponen-komponen mesin dan otomotif (roda gigi, *shaft*, dan lain-lain).

2. Tujuan

Penelitian mengenai pengaruh waktu dan jarak koil pemanas pada pengerasan permukaan dengan metoda induksi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja KRUPP 1191 ini bertujuan sebagai berikut:

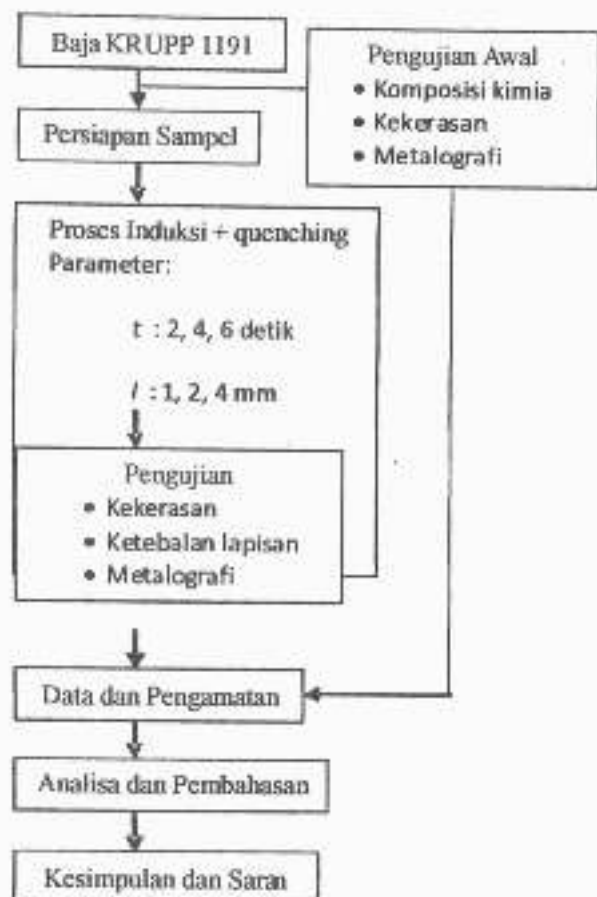
1. Untuk mengetahui dan mempelajari proses pengerasan permukaan dengan metoda induksi serta kemungkinan terbentuknya lapisan keras yang diharapkan.
2. Mempelajari dan membandingkan pengaruh waktu proses terhadap struktur mikro dan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap distribusi kekerasan.
3. Mempelajari dan membandingkan pengaruh jarak koil pemanas terhadap struktur mikro dan ketebalan lapisan keras yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap distribusi kekerasan.

3. Batasan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada proses *induction hardening* untuk baja KRUPP 1191 dengan memvariasikan waktu dan jarak koil pemanas serta pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro. Adapun parameternya adalah:

- waktu proses, t_1 : 2 detik
- t_2 : 4 detik
- t_3 : 6 detik
- Jarak koil pemanas, l_1 : 1 mm
- l_2 : 2 mm
- l_3 : 4 mm

4. Skema Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



ds = diameter spesimen
(10, 14 dan 16 mm)

Gambar 2. Sketsa pengerasan induksi.

Tabel 1. Kodifikasi spesimen.

Nama Kode	Waktu Proses (t) (detik)	Jarak Koil (l) (mm)
$t_{2,4}$	2	4
$t_{4,4}$	4	4
$t_{6,4}$	6	4
$t_{2,2}$	2	2
$t_{4,2}$	4	2
$t_{6,2}$	6	2
$t_{2,1}$	2	1
$t_{4,1}$	4	1
$t_{6,1}$	6	1

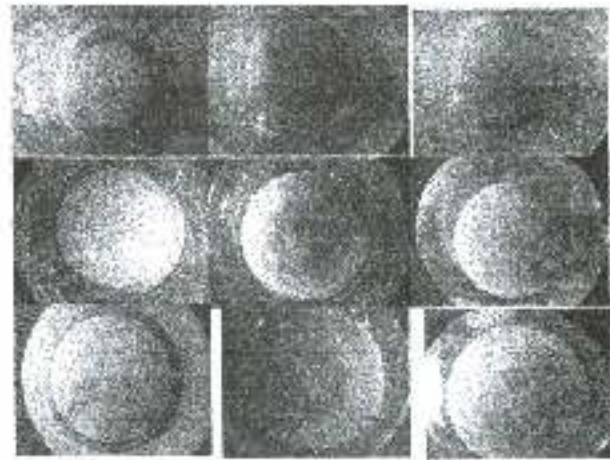
5. Data dan Pengamatan

a. Pemeriksaan Komposisi Kimia

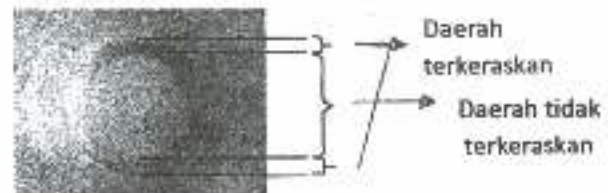
Tabel 2. Komposisi kimia material awal.

Nama Unsur	Hasil Pengujian (% berat)	Standar DIN 1.1191 (% berat)
C	0.44	0.42 - 0.5
Mn	0.79	0.50 - 0.80
Si	0.365	0.40 maks
P	-	0.035 maks
S	-	0.035 maks
Cr	-	0.40 maks
Ni	-	0.40 maks
Mo	-	0.10 maks
Fe	sisa	sisa

b. Pemeriksaan Struktur Makro



Setelah dikeraskan



Gambar 3. Struktur makro specimen awal dan hasil induksi.

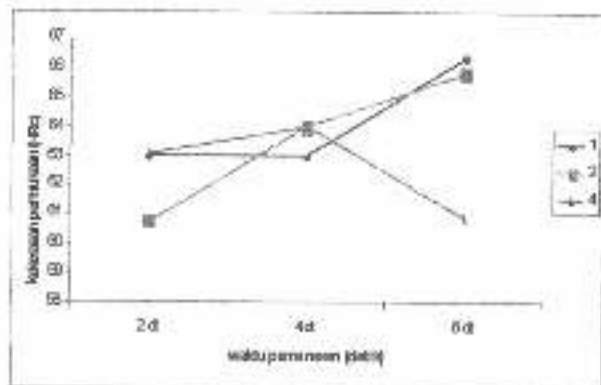
c. Pengujian Kekerasan

Tabel 3. Kekerasan permukaan material awal

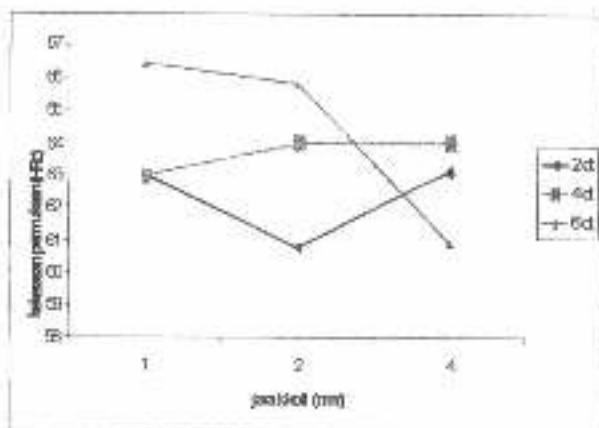
Kekerasan Rata-rata	Spesifikasi Material KRUPP 1191
206.5 (BHN) ~ 16 (HRC)	≤ 207 (BHN)

Tabel 4. Kekerasan permukaan setelah proses induksi

No. Spesimen	HRC Rata-rata
$t_{2,4}$	63.1
$t_{4,4}$	64
$t_{6,4}$	60.9
$t_{2,2}$	60.8
$t_{4,2}$	64
$t_{6,2}$	65.8
$t_{2,1}$	62.8
$t_{4,1}$	63
$t_{6,1}$	66.4



Gambar 4. Pengaruh waktu pemanasan induksi terhadap kekerasan permukaan (HRC).



Gambar 5. Pengaruh jarak koil pemanasan induksi terhadap kekerasan permukaan (HRC).

d. Distribusi Kekerasan

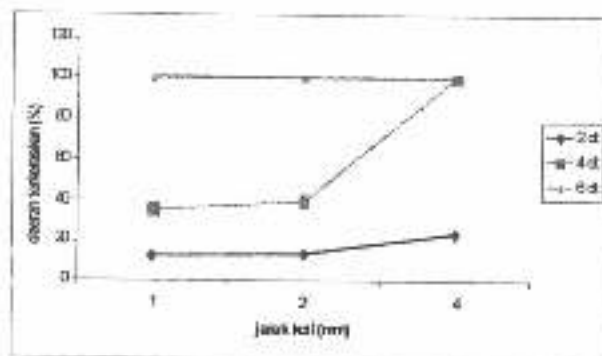
Data distribusi kekerasan setelah proses induksi dapat dilihat pada Tabel 4.

e. Ketebalan Lapisan

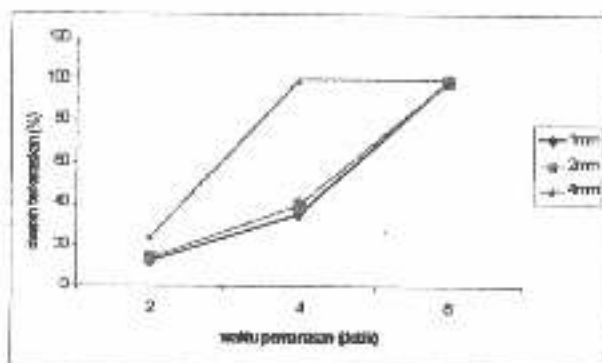
Tabel 5. Tebal lapisan rata-rata dengan pengukuran menggunakan lensa pembesar.

No. Spesimen	Tebal Lapisan Rata-rata (mm)
t_{j_1}	1.28
t_{j_2}	10.2
t_{j_3}	10.2
t_{j_4}	0.967
t_{j_5}	3.15
t_{j_6}	13.9
t_{j_7}	1.033
t_{j_8}	3.13
t_{j_9}	16.0

Catatan: Untuk spesimen t_{j_1} berdiameter 10,2 mm, spesimen t_{j_2} berdiameter 13,9 mm, dan spesimen t_{j_3} berdiameter 16 mm.



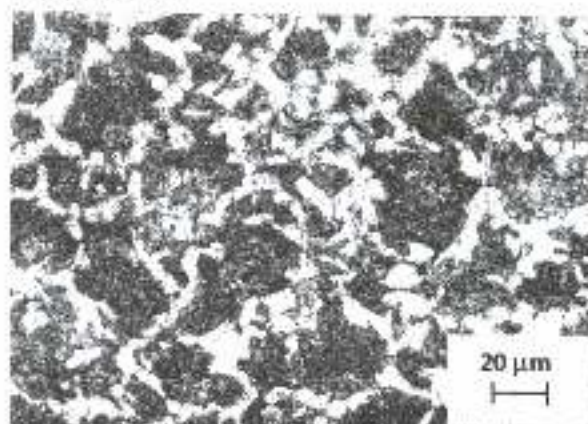
Gambar 7. Pengaruh jarak koil induksi terhadap persentase daerah yang dikeraskan.



Gambar 8. Pengaruh waktu pemanasan induksi terhadap persentase daerah yang dikeraskan setelah proses induksi.

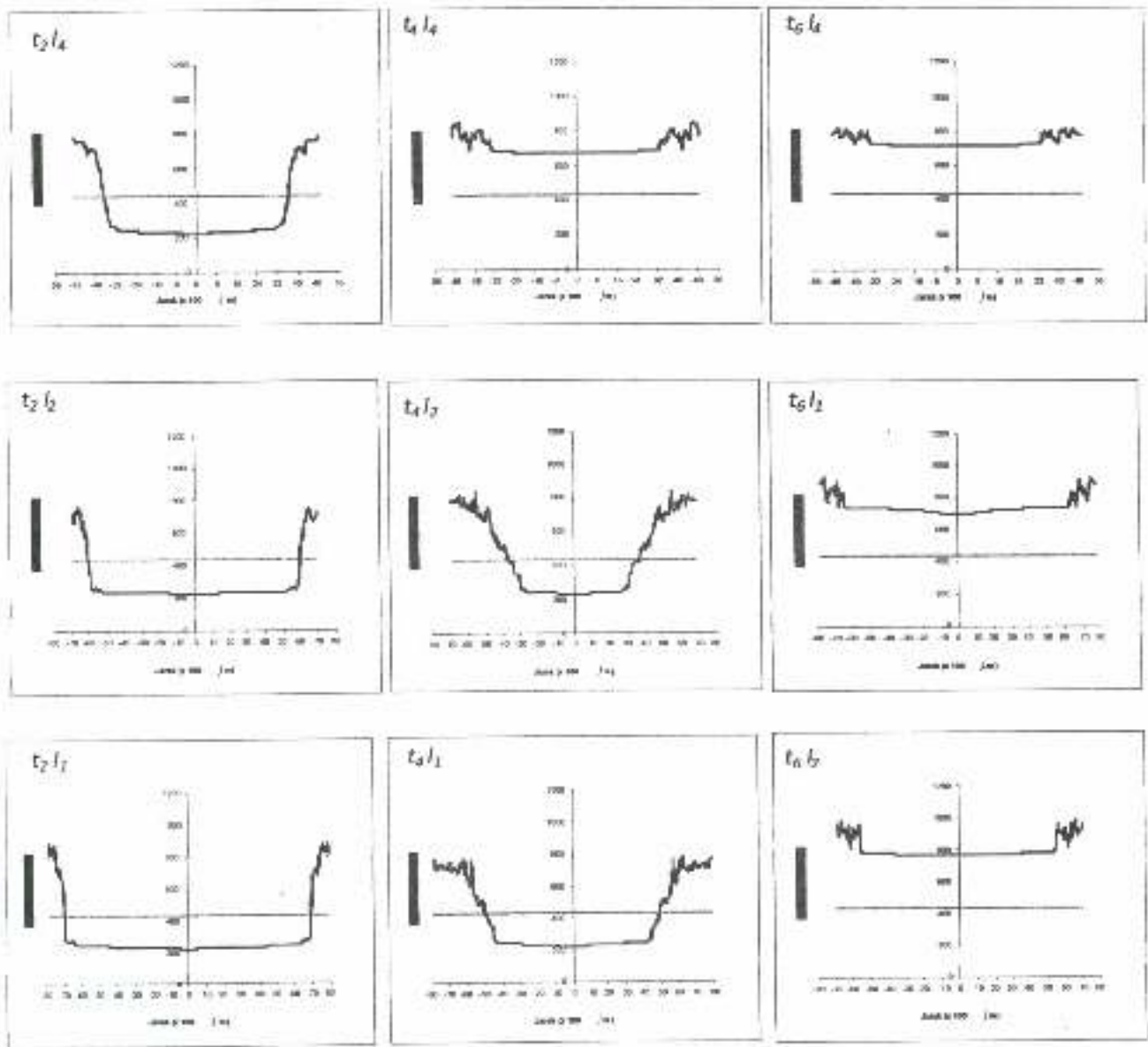
f. Pemeriksaan Struktur Mikro

Material awal

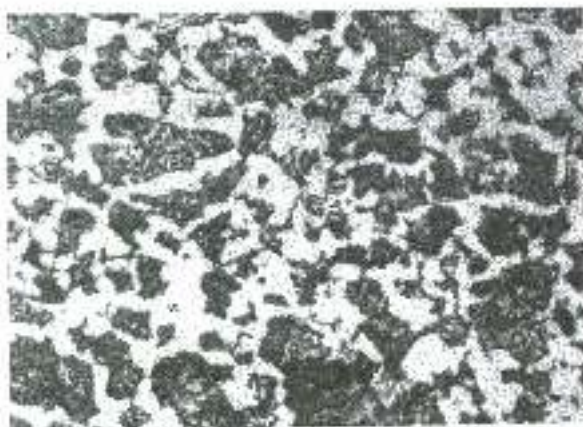


Nital 3%

Gambar 9. Struktur mikro material awal KRUPP 1191 dengan fasa ferit (bagian putih) dalam matriks perlit (bagian hitam).



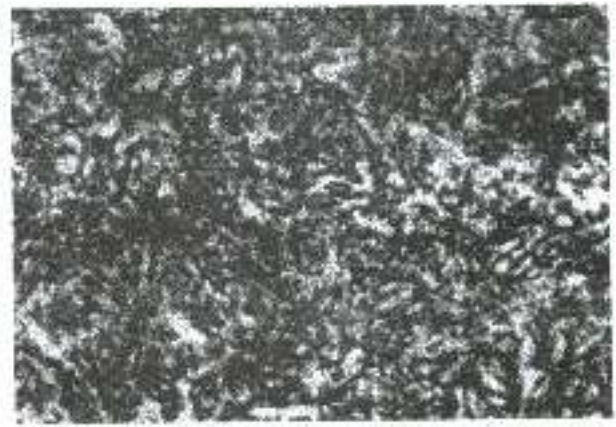
Gambar 6. Grafik distribusi kekerasan dan batasan dari ketebalan lapisan terkeraskan.



Nital 3%

500X

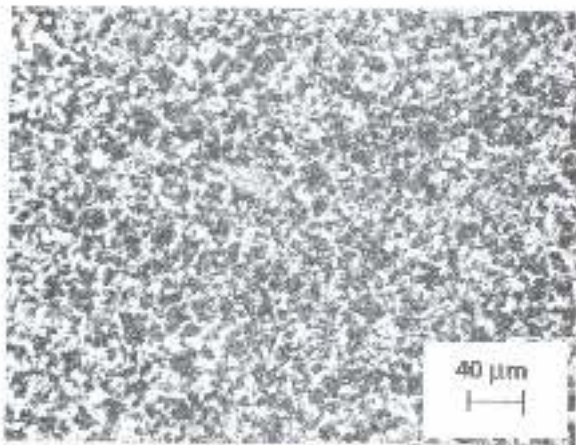
Gambar 10. Referensi struktur mikro baja AISI 1045⁽¹⁾.



Nital 3%

500X

Gambar 11. Referensi struktur mikro baja AISI 1045⁽²⁾.



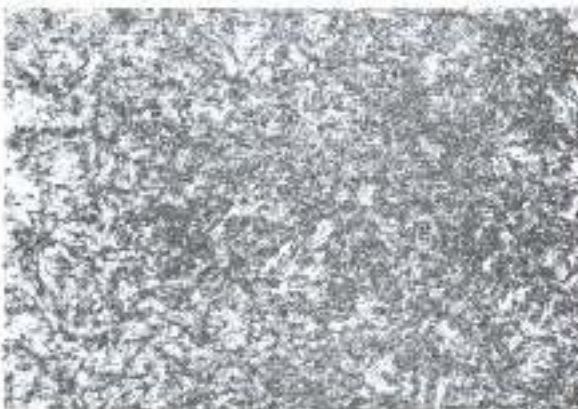
Nital 3%

Gambar 12. Struktur mikro bagian inti, fasa ferit (bagian putih) dan perlit (bagian hitam).



Nital 3%

Gambar 13. Struktur mikro daerah transisi, (daerah terkeraskan) fasa Martensit ; (daerah tidak terkeraskan) fasa ferit (bagian putih) dan perlit (bagian hitam)



Nital 3%

Gambar 14. Struktur mikro daerah terkeraskan, (fasa Martensit).

6. Pembahasan dan Diskusi

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan komposisi kimia dari spesimen uji yaitu baja KRUPP I191, dan kemudian dibandingkan dengan standar materialnya yaitu DIN 1.1191, maka dapat dinyatakan bahwa baja tersebut masih berada pada kisaran komposisi dan sesuai dengan standar materialnya serta termasuk klasifikasi jenis baja karbon medium.

Selain pemeriksaan komposisi kimia, dilakukan juga pengujian kekerasan pada spesimen awal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan spesimen awal sehingga dapat dilihat perubahan kekerasan yang terjadi setelah dilakukan proses pengerasan induksi. Dari data nilai kekerasan awal yang didapat setelah pengujian yang kemudian dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesifikasi material yang disajikan oleh KRUPINDO sebagai perusahaan penyedia material awal, maka material awal sudah sesuai, dengan nilai kekerasan 206,5 BHN masih dibawah nilai spesifikasi materialnya yang bernilai ≤ 207 BHN.

Pemeriksaan lain yang dilakukan adalah pemeriksaan struktur mikro awal yang bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa penyusun material awal pada kondisi anil serta dapat diketahui perubahan-perubahan apa saja yang terjadi setelah dilakukan proses pengerasan induksi. Setelah dilakukan proses metalografi maka dilakukan pengamatan dibawah mikroskop optik dan didapat bahwa struktur mikro awal adalah fasa ferit dalam matriks perlit. Hal tersebut sesuai dengan referensi yang terdapat pada *Metal Handbook ASM vol. 7 "Atlas of Microstructure of Metal Alloys" edisi ke-8* (Gambar 10.). Persentase masing-masing fasa dapat diketahui dengan menggunakan metoda interpolasi yaitu ferit sebanyak 45% dan perlit sebanyak 55%.

Setelah dilakukan pemeriksaan awal kemudian proses pengerasan induksi dilakukan. Variasi yang dilakukan pada proses pengerasan induksi adalah variasi waktu proses pemanasan dan jarak koil pemanas pada benda kerja. Pemilihan waktu dan jarak koil yang dilakukan didasarkan dari berbagai literatur dan tindak lanjut dari penelitian sebelumnya.

Setelah proses pengerasan induksi, dilakukan tahapan metalografi mulai dari pemotongan, pembersihan sampai pengetsaan. Sebelum dilakukan pemeriksaan secara mikro dibawah mikroskop, bagian yang terkeraskan sudah dapat

Secara visual hal yang paling berbeda dari masing-masing variasi parameter yang digunakan adalah luas daerah yang terkeraskan.

Pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 2 detik yaitu spesimen t_{j_4} , t_{j_2} dan t_{j_1} , terlihat bahwa daerah yang terkeraskan sangat kecil dengan batasan yang sangat jelas. Pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 4 detik yaitu spesimen t_{j_4} , t_{j_2} dan t_{j_1} , daerah terkeraskan sudah lebih besar bila dibandingkan dengan waktu proses 2 detik. Bahkan dapat dilihat pada spesimen t_{j_1} , telah terjadi pengerasan secara keseluruhan dari spesimen. Hal ini didasarkan pada tidak adanya batasan yang jelas antara daerah yang terkeraskan dengan daerah yang tidak terkeraskan seperti pada spesimen t_{j_4} , t_{j_2} , t_{j_2} , t_{j_2} . Hal tersebut juga terjadi pada spesimen dengan parameter waktu proses selama 6 detik yaitu spesimen t_{j_4} , t_{j_2} dan t_{j_1} .

Adanya variasi waktu proses dan jarak koil pemanas pada proses pengerasan induksi berpengaruh terhadap perubahan sifat mekaniknya. Dari data nilai kekerasan permukaan dapat dilihat bahwa kekerasan permukaan spesimen dengan makin lama waktu proses, maka kekerasan makin tinggi. Hal ini berkaitan dengan pencapaian temperatur austenisasi. Dengan waktu yang sangat singkat fasa austenit yang terbentuk di permukaan lebih kecil dibandingkan dengan waktu yang lebih lama. Fenomena bahwa semakin lama waktu proses akan mengakibatkan nilai kekerasan yang makin tinggi tidak terjadi pada spesimen t_{j_4} . Hal ini disebabkan telah terjadi *over heating* sehingga menyebabkan terjadinya pembesaran butir yang berakibat pada penurunan nilai kekerasan. *Over heating* tersebut terjadi karena ukuran (diameter) benda kerja yang kecil menyebabkan panas yang merambat dari permukaan menuju inti berbalik ke permukaan lagi sehingga temperatur pada benda kerja akan naik/lebih tinggi dari temperatur austenisasinya. Hal ini berbeda dengan diameter spesimen yang lebih besar. Pada diameter benda kerja yang lebih besar, proses perambatan panas berjalan searah dari permukaan ke inti tanpa terjadi efek pengembalian panas dari inti ke permukaan sehingga tidak terjadi *over heating*. Jarak koil 1, 2 dan 4 mm tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok terhadap nilai kekerasan permukaan

untuk waktu 2 dan 4 detik. Pengaruh jarak koil baru terlihat pada waktu proses 6 detik, dimana semakin jauh jarak koil terhadap benda kerja, maka kekerasan semakin turun. Hal ini berkaitan dengan medan magnet dan arus imbas yang terjadi. Dimana semakin jauh jarak koil, medan magnet dan arus imbas semakin kecil.

Ditinjau dari distribusi kekerasan yang diketahui dari nilai pengujian kekerasan *micro Vickers* dengan jarak antar jejak 100m dari permukaan ke inti, terlihat bahwa semakin besar waktu proses yang digunakan, maka kecenderungan terbentuknya lapisan yang terkeraskan semakin dalam dengan nilai kekerasan yang cenderung menurun. Hal ini berkaitan dengan masukan panas (*heat input*) yang terjadi sesuai dengan persamaan $H=I^2.R.t$. Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa waktu (t) berbanding lurus dengan masukan panas (H) sehingga semakin lama waktu proses semakin besar masukan panas yang terjadi. Kecenderungan ini terjadi pada berbagai jarak koil pemanas. Penurunan nilai kekerasan dari bagian permukaan ke bagian inti tersebut dipengaruhi oleh persentase fasa (austenit) yang terbentuk dan kecepatan pendinginan yang berbeda pada tiap jarak tertentu dari permukaan. Bagian permukaan mengalami laju pendinginan yang sangat cepat dibandingkan bagian dalamnya. Dengan laju pendinginan yang sangat cepat tersebut terbentuk fasa martensit jadi lebih besar dibandingkan bagian dalamnya. Dilihat dari nilai kekerasan dan distribusinya, variasi jarak koil pemanas pada penelitian ini tidak memperlihatkan perbedaan yang mencolok seperti variasi waktu, hal ini karena perbedaan jarak koil sangat kecil dan masih berada pada kisaran yang berefek sama.

Pengukuran batasan daerah terkeraskan dengan daerah tidak terkeraskan, selain dapat diketahui dengan menggunakan lensa pembesar dapat juga diketahui dari hasil pengujian kekerasan. Dengan pengujian kekerasan, batasan diameter kritis baja yang merupakan diameter dimana terdapat 50% martensit dapat diketahui dan untuk baja spesimen uji dengan persentase Karbon 0,44% bernilai 44 HRC. Batasan diameter kritis yang bernilai 44 HRC tersebut ditunjukkan dengan garis hijau.

Dari hasil pengukuran ketebalan lapisan menggunakan lensa pembesar dapat dikemukakan bahwa semakin lama waktu proses, maka ketebalan lapisan terkeraskan semakin besar. Hal ini kembali dipengaruhi oleh masukan panas yang terjadi serta kemungkinan terbentuk fasa (austenit) yang bertransformasi menjadi martensit yang bersifat keras akan semakin besar.

Pengaruh jarak koil terhadap ketebalan lapisan terkeraskan ada kecenderungan semakin kecil dengan jarak koil yang semakin jauh. Hal ini diperkirakan pengaruh dari medan magnet yang timbul semakin kecil dengan jarak koil yang semakin jauh.

Perbedaan ketebalan lapisan yang terkeraskan akan menyebabkan perbedaan pada luas daerah terkeraskan. Nilai persentase luas daerah terkeraskan yang merupakan perbandingan antara luas daerah terkeraskan dengan luas penampang total. Semakin lama waktu pemanasan, maka semakin besar persentase luas daerah terkeraskan.

Hal ini dipengaruhi oleh semakin besar tebal daerah terkeraskan dengan luas spesimen uji yang tetap.

Semakin dekat jarak koil pemanas menyebabkan luas daerah terkeraskan semakin kecil. Hal ini berseberangan dengan literatur yang menyebutkan bahwa semakin dekat jarak koil pemanas, maka daerah terkeraskan semakin besar. Ketidak sesuaian ini kemungkinan disebabkan oleh faktor pembagi (dalam hal ini diameter spesimen uji) yang tidak sama, karena jarak koil 1,2 dan 4 mm diperoleh dengan memvariasikan diameter benda kerja dengan diameter koil yang tetap.

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro (Gambar 13 dan 14) terlihat bahwa setelah dilakukan proses pengerasan induksi terjadi perubahan fasa dari spesimen. Dari gambar struktur mikro terlihat adanya fasa martensit sehingga kekerasan yang dihasilkan mencapai 67 HRC. Martensit terbentuk pada daerah yang terkena efek dari pemanasan yang dilanjutkan dengan pendinginan yang cepat (*quenching*). Martensit yang terbentuk dengan kadar karbon 0,44% adalah martensit jenis *lath* dengan mekanisme geser *slip*.

Struktur mikro transisi yang merupakan batasan antara daerah yang terkeraskan dengan daerah yang tidak terkeraskan ditandai dengan garis merah seperti terlihat pada gambar tersebut. Dari gambar struktur mikro pada daerah inti tersebut dapat diketahui bahwa daerah inti beberapa spesimen tidak terkena efek pemanasan dan pendinginan yang cepat karena pada struktur mikro tidak terjadi perubahan. Hal ini dibuktikan dengan fasa-fasa yang terdapat pada gambar terdiri dari perlit dan ferit sama seperti struktur mikro spesimen awal dengan nilai kekerasan yang tidak terlalu jauh berbeda.

7. Kesimpulan

1. Dengan variasi waktu proses 2, 4 dan 6 detik serta jarak koil pemanas 1, 2 dan 4 mm terhadap baja karbon medium KRUPP 1191, terbentuk lapisan keras di permukaan.
2. Nilai kekerasan dari permukaan ke inti mengalami penurunan, dimana semakin jauh dari permukaan, nilai kekerasan semakin rendah.
3. Semakin lama waktu proses pengerasan induksi, maka ketebalan lapisan rata-rata yang terkeraskan semakin besar (1,093; 5,493; 13,366 mm).
4. Semakin lama waktu proses pengerasan induksi, maka persentase luas daerah terkeraskan semakin besar. Persentase luas daerah terkeraskan semakin besar dengan jarak koil pemanas yang semakin jauh.
5. Variasi jarak koil pemanas, tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok pada nilai kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan terkeraskan.
6. Struktur mikro pada daerah terkeraskan adalah martensit. Sedangkan pada daerah tidak terkeraskan struktur mikronya sama seperti struktur mikro material awal, yaitu terdiri dari fasa ferit dan perlit.
7. Proses pengerasan induksi terhadap komponen-komponen mesin dari material baja karbon medium 0,45 % C atau baja KRUPP 1191, dapat dilakukan pada kondisi waktu proses 6 detik dan jarak koil pemanas 1 mm yang menghasilkan kekerasan permukaan antara 60,8 sampai 66,4 HRC.

Daftar Pustaka

1. ASM, "Metals Handbook Volume 4, Heat Treating", Metals Park, Ohio, 2001.
2. ASM, "Metals Handbook Volume 7, 8th edition, Atlas of Microstructures of Metals Alloy", Metals Park, Ohio, 1974.
3. Avner, SH, "Introduction to Physical Metallurgy", McGrawHill Kogakusha, Ltd, Tokyo, 1974.
4. Kalpakjian, S, "Schmid Manufacturing Engineering and Technology", Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
5. Krauss, G, "Steel: Heat Treatment and Processing Principles", ASM International, Material Park, Ohio, 1990.
6. Reed-Hill, Robert E, Abbaschian, R, "Physical Metallurgy Principles", 3rd edition, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992.

UJI PENGOPERASIAN FIXED BED GASIFIER BATUBARA KAPASITAS 100 kg/jam

Suhartono¹, Suwito Gunadarma¹, Dwiwahju Sasongko dan Herri Susanto²

Unit gasifikasi batubara jenis down draught kapasitas 100 kg/jam untuk mensubstitusi minyak bakar 70 liter/jam melalui proses gasifikasi, menggunakan udara-air sebagai medium penggasifikasi telah terinstalasi pada unit pengering di pabrik teh. Unit gasifikasi terdiri dari reaktor gasifier, siklon, pendingin, kock out drum, blower dan burner.

Gas produser stabil terbakar di burner, tetapi hanya mampu membuat udara panas di unit pengering teh hingga 92 °C (suhu target 100 °C - 120 °C). Diperkirakan tidak tercapainya suhu target disebabkan kapasitas gasifier kurang besar, sehingga gas produser yang disuplai kurang dan pembakaran di burner selalu dalam eksekusi udara yang tinggi.

Beberapa faktor gasifikasi yang diperkirakan mempengaruhi proses, antara lain :

a. batubara pecah menjadi partikel lembut, menyebabkan penurunan tekanan yang menghambat aliran,

b. hambatan aliran di ruang reduksi terjadi akibat pelelehan abu, menyebabkan penyumbatan aliran maupun penutupan arang, sehingga sulit bereaksi,

c. kandungan tar masih banyak, karena tidak adanya scrubber yang dipasang di depan pendingin.

Untuk menurunkan temperatur proses gasifikasi yang masih tinggi dan pelelehan abu diatasi dengan air yang disemurkan dalam bentuk kabut (spray) dalam daerah oksidasi melalui pemasangan pocker, penguapan air menyebabkan produksi hidrogen tinggi. Modifikasi lanjut difokuskan pada reaktor gasifikasi berupa perombakan throat (zona reduksi) untuk menurunkan temperatur proses dan meningkatkan pasokan gas hasil.

Kata kunci : Gasifikasi, down draught

I. Pendahuluan

Bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan penting bagi kehidupan manusia. Bahan bakar memberikan kemudahan bagi manusia untuk mengolah bahan menjadi sesuatu yang mudah digunakan oleh manusia. Sampai saat ini masyarakat dan industri, khususnya di Indonesia masih banyak menggunakan bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan akan bahan bakar.

Ketergantungan masyarakat/industri terhadap bahan bakar minyak tersebut, menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menipis, sehingga harga minyak tersebut semakin tinggi akibat kelangkaannya. Karena itu, diperlukan bahan bakar alternatif sebagai **pengganti kebutuhan masyarakat/industri** terhadap bahan bakar minyak.

Di Indonesia, batubara telah lama dikenal sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak, walaupun dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar rumah tangga, batubara masih belum banyak digunakan. Batubara dapat dipakai sebagai bahan bakar langsung atau bahan bakar tidak langsung. Untuk pemakaian di industri batubara dapat diubah terlebih dahulu menjadi gas produser melalui proses gasifikasi

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani

¹PT. Sariwangi AEA Divisi Engineering II, Kebon Sirih No. 4 Bandung

²Departemen Teknik kimia, FTI-ITB, email herri@che.itb.ac.id

produser melalui proses gasifikasi.

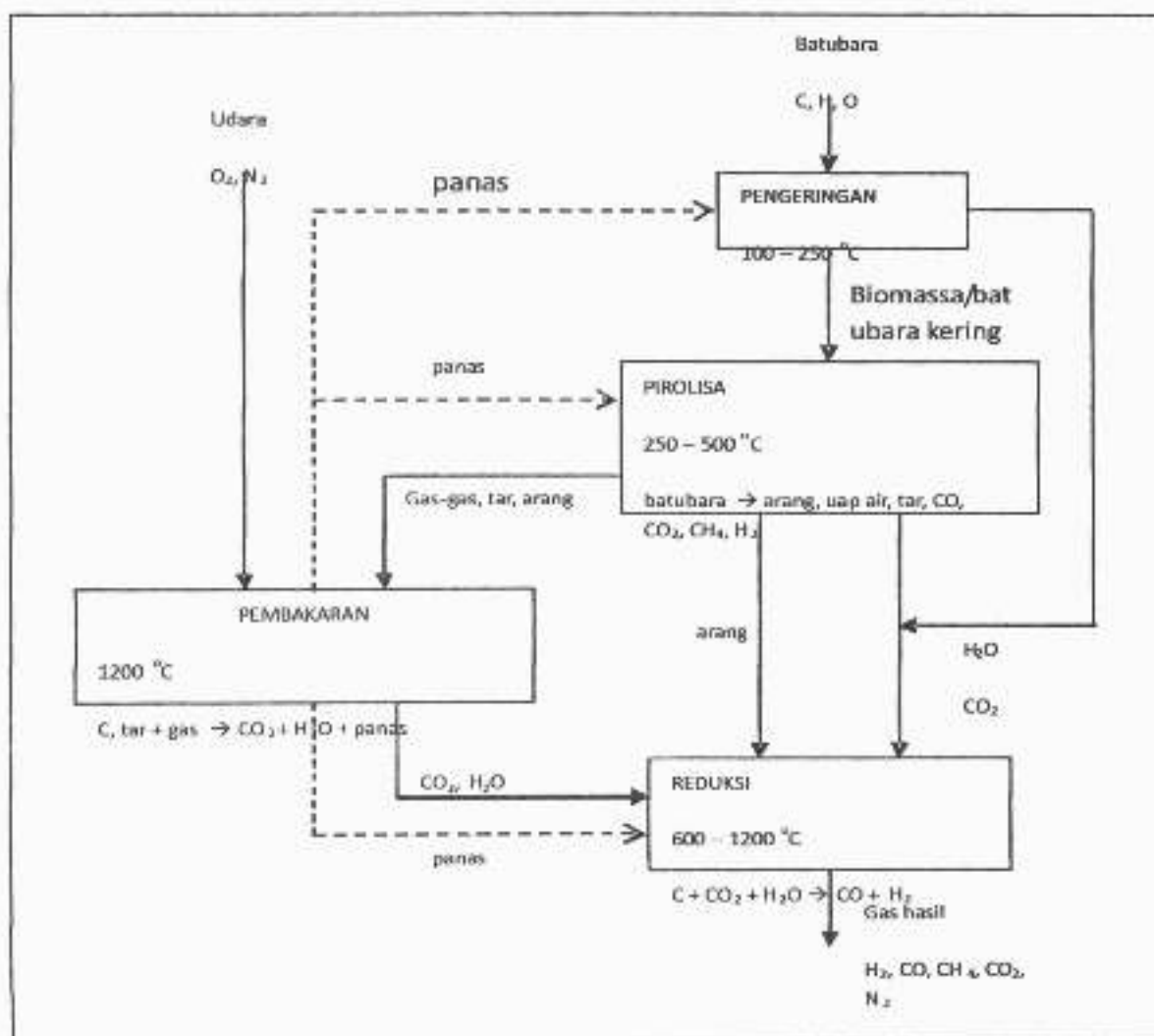
Mengingat semakin naiknya harga dan terbatasnya ketersediaan bahan bakar minyak, PT Sariwangi telah mensubstitusi minyak bakar dengan batubara melalui proses gasifikasi jenis *Fixed Bed Gasifier (Down Draught)* untuk keperluan pengeringan teh hitam di Patuha Wattee Ciwidey-Bandung.

Kehandalan unit ini telah dilakukan uji operasional secara cermat selama 5 bulan. Pengujian perioda panjang ini mencakup; pengoperasian tanpa henti sesuai dengan yang diharapkan (10 jam/hari), kajian teknis pengoperasian, modifikasi dan perawatan peralatan, dan evaluasi kelayakan ekonomi dengan kondisi yang lebih mendekati realitas komersial.

II. Fundamental

Secara sederhana proses gasifikasi dapat dikatakan sebagai reaksi kimia pada temperatur tinggi antara batubara dengan udara, yang tahapannya dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 1).

1. Tahap pengeringan/penguapan. Akibat pengaruh panas, batubara mengalami pengeringan pada temperatur sekitar (25 - 100 °C).
2. Tahap pirolisis. Bila temperatur mencapai 250 °C, batubara mulai mengalami proses pirolisis, yaitu peretakan molekul besar menjadi molekul-molekul kecil akibat pengaruh temperatur tinggi. Proses ini berlangsung sampai temperatur 500 °C. Hasil proses pirolisis ini adalah arang, uap air, uap tar, dan gas-gas.



Gambar 1. Prinsip proses gasifikasi

3. Tahap reduksi. Pada temperatur di atas 600 °C arang bereaksi dengan uap air dan karbon dioksida. untuk menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida sebagai komponen utama gas hasil.
4. Tahap oksidasi. Sebagian kecil batubara atau hasil pirolisis dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas yang diperlukan oleh ketiga tahap tersebut di atas. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200 °C, yang berguna untuk proses perekahan tar lebih lanjut. Tahap-tahap proses di atas dilaksanakan dalam satu alat yang disebut *gasifier* atau reaktor gasifikasi.

Jenis *gasifier* yang sesuai untuk memproses batubara adalah *down-draught*, dengan unggun batubara turun sendiri karena gaya gravitasi dan aliran gas juga turun melewati unggun tersebut.

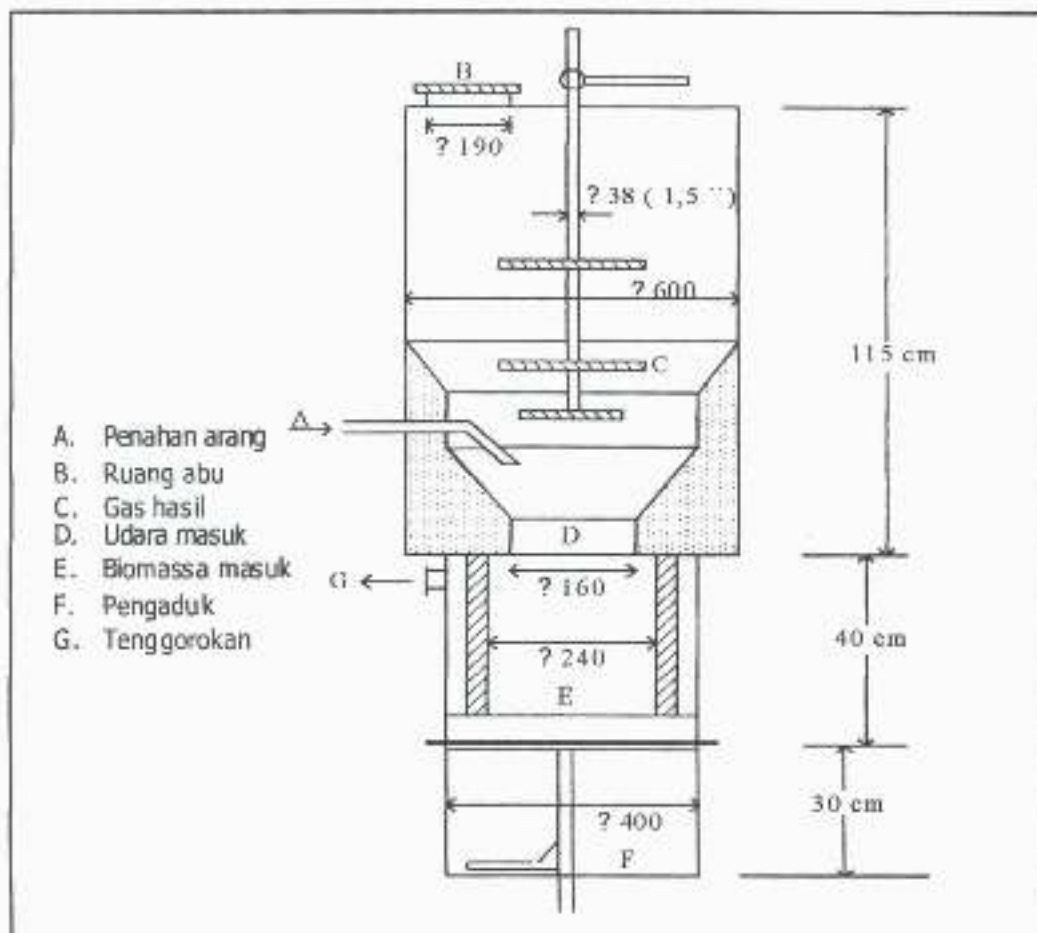
Gasifier ini mempunyai bentuk konvensional berupa silinder dengan satu penyempitan dibagian

tengah yang disebut tenggorokan (Gambar 2). Udara dimasukkan di daerah tersebut. Daerah sekitar tenggorokan inilah yang dimaksud dengan daerah oksidasi. Bentuk konvensional ini cocok untuk memproses asupan yang mempunyai ukuran partikel besar, seperti batubara.

Gas yang keluar dari gasifikasi masih mengandung kotoran dan temperaturnya tinggi, karena itu perlu pengolahan lebih lanjut

- a. Siklon untuk memisahkan debu kasar,
- b. Filter untuk menyaring debu halus,
- c. Pendingin gas,
- d. Pengendap air dan tar yang terkondensasi.

Bentuk peralatan tersebut bermacam-macam, misalnya filter dapat dibuat dari ijuk, batu sabut kelapa dan lain-lainnya. Gas dapat didinginkan dengan semprotan air atau dilewatkan dalam pipa panjang. Sedangkan pemisahan air dan tar dapat dilakukan dalam tangki besar atau saringan.



Gambar 2. Rancangan gasifier biomassa

Gas hasil gasifikasi terutama terdiri dari gas-gas mempan bakar yaitu CO, H₂, dan CH₄ dan gas-gas tidak mempan bakar CO₂ dan N₂. Komposisi gas ini sangat tergantung pada komposisi unsur dalam batubara, bentuk dan partikel batubara, serta kondisi-kondisi proses gasifikasi.

III. Metodologi

Jenis gasifier yang digunakan di pabrik teh merupakan jenis gasifier unggun tetap, batubara ditumpuk di dalam reaktor dan disangga dengan grate. Gasifikasi unggun diam (*fixed-bed*) ini menggunakan campuran udara-air sebagai medium penggasifikasi. Peralatan gasifikasi ini terdiri dari reaktor *gasifier*, siklon, pendingin, *knock out drum*, *blower* dan *burner* (Gambar 3).

Udara dimasukkan melalui *box air* (distributor) yang terletak pada bagian tengah gasifier, sedangkan air dihembuskan melalui *pocker* bagian atas *gasifier* dan abu yang dihasilkan dikeluarkan oleh *rotary grade* melalui bagian bawah *gasifier*.

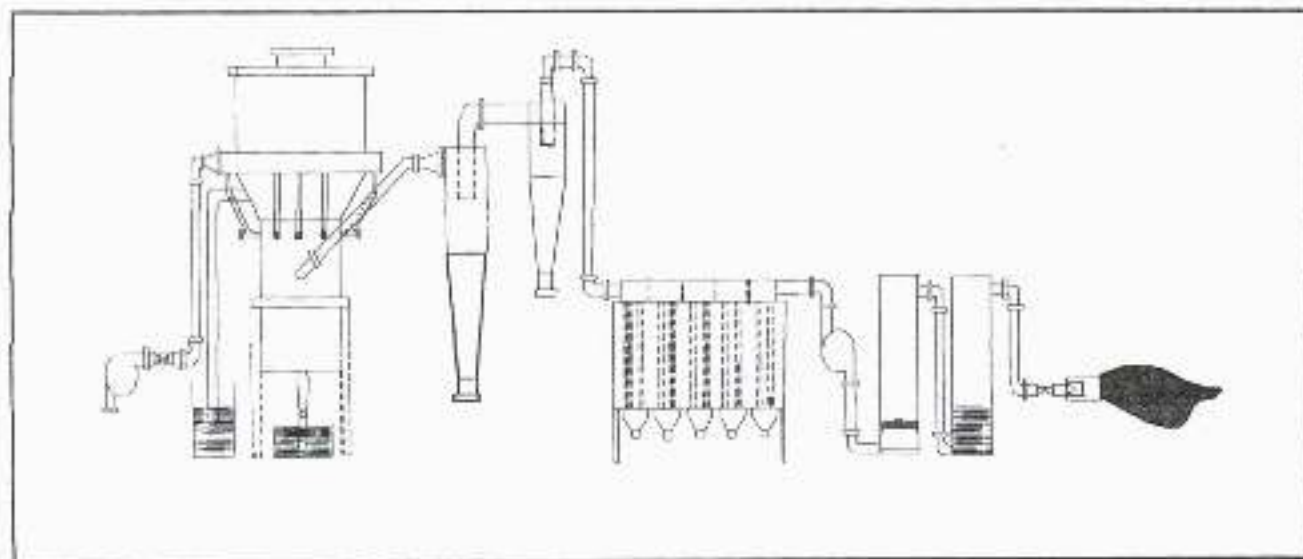
Sifat khas dari *fixed bed gasifier* ini adalah perbedaan temperatur pada berbagai tempat di dalam reaktor. *Gasifier* ini sangat mudah dibuat dan dioperasikan. Jenis ini cocok untuk pengolahan batubara dengan teknologi tepat guna seperti di pabrik teh Patuha Wattee Ciwidey. Sifat penting lain yang dimiliki oleh *fixed-bed reactor* adalah kemampuan untuk menerima batubara yang

mengandung abu dan *moisture* yang tinggi (hingga 35 % berat abu dan 35 % berat *moisture*). Reaktor jenis ini menggunakan batu bara berukuran 2 sampai 50 mm.

Gas mentah keluar dari *gasifier* pada suhu diharapkan antara 370 sampai 595 °C, tergantung dari jenis batu bara yang dipakai. Gas ini mengandung produk karbonisasi seperti ter, minyak, nafta, fenol, ammonia dan sedikit debu batu bara dan abu. Gas mentah ini dilewatkan melalui siklon, pendingin dan *knock out drum*. Gas yang keluar dari *gasifier* terutama terdiri dari CO₂, CO, CH₄, H₂ dan H₂O disuplai ke *burner* sebagai bahan bakar untuk pengering teh hitam.

Target uji pengoperasian yang dilakukan berupa waktu pengoreasian 10 jam, kapasitas batubara 100 kg/jam, gas produser yang dihasilkan tidak mengandung tar (bersih) dan mampu memanaskan udara pengering teh (± 18000 ft³/menit) dengan kisaran suhu 100 °C 120 °C. Pada saat uji operasi gasifikasi berlangsung dilakukan pengamatan besaran yang diperlukan untuk mencapai target yang diharapkan, yaitu :

- Waktu operasi,
- Laju alir volume udara dan gas hasil,
- Hilang tekan pada reaktor,
- Berat umpan batubara,
- Suhu pada bagian gasifier
- Serangkaian modifikasi operasi dan rancangan di dalam dan di luar reaktor.



Gambar 3. Unit gasifikasi di pabrik teh

IV. Hasil dan Pembahasan

Uji pengoperasian unit gasifikasi batubara dapat dibagi ke dalam dua tahapan, yaitu periode uji pengoperasian tanggal 24 Oktober 2005-13 Desember 2005 sebelum diinstalasi pada unit pengering dan periode uji pengoperasian 22 Desember 2005-24 Februari 2006 unit gasifikasi yang sudah terinstalasi pada unit pengering teh.

Kajian teknis yang dilakukan pada uji pengoperasian tahap pertama ini berupa lama waktu tempuh pengoperasian, jenis dan umpan batubara, laju alir volume, serangkaian modifikasi alat, analisa gas hasil, sedangkan hilang tekan dan suhu pada reaktor diamati secara visual, karena belum terpasang instrumen pengukur. Contoh hasil uji pengoperasian disajikan pada tabel 1.

Uji pengoperasian dilakukan dengan umpan 500 kg, dengan kapasitas *blower* dorong sangat besar sekali, sedangkan *gasifier* hanya menampung laju alir udara 140 s/d 220 ft³/menit, jika lebih akan meletup di tangki air (*water seal pipe*). Uji pengoperasian terhenti, disebabkan beberapa hal berikut:

- a. gas produser sebagian keluar melalui *water seal pipe*, yang seharusnya hanya diperuntukan untuk mengeluarkan tar dan kondensat, karena penyumbatan di pipa gas panas oleh penumpukan tar dan abu/arang yang tidak dapat keluar pada *water seal pipe*,
- b. abu yang sangat ringan tidak terbawa ke siklon tetapi turun melalui pipa penurun abu dengan berat jenis lebih ringan dari air, sehingga terapung dan menumpuk dalam *gasifier*,
- c. konfigurasi penyangga arang (*grate*) tidak berfungsi mengalirkan abu ke bawah,
- d. *grate* hancur dan meleleh, menyebabkan batubara kecil yang jatuh dari *grate* masih terbakar yang ditunjukkan suhu reaktor sangat tinggi (bagian bawah),
- e. drum filter yang diisi sekam padi 50 cm menyebabkan penyumbatan karena penumpukan tar.

Upaya yang dilakukan terhadap kajian teknis pengoperasian yang telah dilakukan untuk memperbaiki kinerja unit gasifier, adalah :

- a. Percobaan dilakukan dengan memodifikasi *blower* dorong dipindah menjadi *blower* hisap (tanpa *blower* dorong). Pasokan udara hanya melalui hisapan *blower*, dengan laju rendah 120

- b. perbaikan *burner* dengan menambah lubang udara sekunder, dibuat jet (difuser) dari pipa 3 inci ke 2,5 inci dan dilengkapi "swirl",
- c. penyangga arang bergerak (*grate drive*) diturunkan 2 cm, dengan harapan debu tidak menumpuk dan lebih cepat turun, dengan putaran 1 kali/jam,
- d. dibuat lubang-lubang kecil transparan untuk melihat fenomena yang terjadi pada setiap bagian yang mendapat kendala (*gasifier* bagian bawah, siklon, dan pipa penghisap),
- e. umpan batubara segar dengan dilakukan pengayakan terlebih dahulu, dengan harapan debu yang dihasilkan tidak terlalu banyak, batubara besar sempat tertahan lebih lama dan terbakar.

Perbaikan alat dan teknis pengoperasian dapat memperbaiki kinerja unit gasifier yang ditunjukkan oleh waktu pengoperasian berlangsung lama (sesuai dengan jumlah umpan batubara), rentang penyulutan awal 7 - 15 menit (tergantung jenis batubara), gas produser terbakar stabil di *burner* dengan warna biru sampai kemerahan (tergantung jenis batubara). Sayang sekali, hasil analisa gas yang dilakukan di PPTM-Tekmira belum memberikan kesimpulan apapun.

Uji pengoperasian yang dilakukan di Patuha Wattee terinstalasi dengan unit pengering teh hitam, dengan jarak 40 meter dari unit gasifikasi. Beberapa hasil uji pengoperasian disajikan pada tabel 2.

Uji pengoperasian dilakukan dengan kondisi operasi dan modifikasi teknis sebagai berikut; umpan batubara 800 kg-1000 kg, laju alir udara hisap (tanpa udara pendorong) berkisar 120 ft³/menit-140 ft³/menit, *grate plate* dibuat tegak dengan *space* yang lebih lebar dari 1 cm, kaki-kaki unit pendingin dan filter dicelupkan dalam air (kolam), waktu pengadukan dengan siklus putaran 40-50 menit/1 kali. Gas produser disuplai pada unit pengering teh dengan panjang pipa gas hasil \pm 40 meter dari keluaran *filter*

Dari uji yang dilakukan, gas produser terbakar stabil dan mampu beroperasi nonstop hingga lebih dari 8 jam, namun hanya mampu menaikkan suhu udara pengering hingga suhu 92 °C saja (target 100 °C -120 °C), hal ini diduga karena beban udara yang dipanaskan terlalu besar (18000 ft³/menit) dibanding dengan suplai gas yang dihasilkan.

Tabel 1. Hasil uji pengoperasian periode pertama

No.	Tanggal	Umpan Batubara	Waktu	Keterangan
1.	24/10/2005	500 kg	1 jam	Gas hasil putih dan sebagian keluar dari <i>water seal pipe</i>
2.	27/10/2005	500 kg	3 jam	Api stabil warna biru dan memerah setelah jam kedua
3.	12/10/2005	500 kg	4 jam	Gas terbakar stabil dan warna biru hingga transparan
4.	28/11/2005	500 kg	1 jam	Suhu reaktor tinggi, grate hancur, gas hasil hilang
5.	13/12/2005	800 kg	4 jam	Gas hasil banyak terbakar stabil pada dua <i>burner</i>

Tabel 2. Hasil uji pengoperasian periode kedua

No.	Tanggal	Umpan Batubara	Waktu	Suhu Udara Pengereng Teh	Keterangan
1.	22/12/2005	900 kg	8 jam	-	Api stabil, sisa batubara seragam (8 jam), satu lempeng grate hancur
2.	27/12/2005	900 kg	4 jam	52 °C	Api stabil, dihentikan karena suhu belum tercapai.
3.	04/01/2006	1000 kg	4 jam	52 °C	Dihentikan karena suhu yang diinginkan belum tercapai
4.	26/01/2006	900 kg	3.5 jam	92 °C	Suhu cenderung turun, grate utuh
5.	23/01/2006	500 kg	3.5 jam	92 °C	Dihentikan karena batubara habis
6.	24/02/2006	800 kg	6 jam	102 °C	Api stabil, reaktor panas sekali

Kendala-kendala teknis dan operasi yang masih ada, antara lain:

- suhu reaktor yang masih tinggi (reaktor membara),
- lempengan *grate plate* sering hancur,
- laju alir udara yang kecil (*blower* hisap),

Perbaikan teknis yang dilakukan berupa penambahan *blower* (dorong dan hisap), semburan air (*pocker*) kisaran 30 liter/jam, memperpanjang tenggorokan (zona reduksi 74 cm), mengurangi 1 siklon dan pendingin mampu menaikkan kapasitas

laju alir udara mencapai 270 ft³/menit dan dengan bantuan *burner* kecil (bahan bakar solar) dapat memanaskan udara pengereng teh hingga 102 °C selama operasi 6 jam, namun reaktor masih terlihat membara.

Kajian kelayakan ekonomi dengan kondisi yang lebih mendekati realitas komersial belum dilakukan, karena target suhu yang diharapkan belum tercapai dan belum ada data biaya investasi, konsumsi solar, konsumsi listrik, upah/jumlah operator dan sebagainya. Secara kasar jika unit

operasi ini berjalan baik (dapat beroperasi 10 jam nonstop), 100 kg/batubara (Rp 450/kg) dapat mensubstitusi konsumsi bahan minyak bakar (solar) sebesar 70 liter/jam (Rp 5200/liter).

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

1. Suhu target pengering teh (100°C - 120°C) belum dicapai, karena suplai gas produser kurang dan kapasitas reaktor kurang besar.
2. Lempengan *grate* sering hancur, karena suhu reaktor masih yang terlalu tinggi.
3. Konfigurasi *grate*, *burner*, modifikasi zona reduksi (*throat*), pemasangan *pocker* (semburan air), variabel operasi lain dan karakteristik batubara memberi pengaruh yang signifikan terhadap kelancaran operasi, gas yang dihasilkan dan kesetabilan api.

V.2 Saran-saran

1. Kapasitas blower hisap diperbesar, minimal 1,5 kali *blower* dorong untuk meningkatkan suplai gas hasil, diharapkan dapat memenuhi target suhu pengering.
2. Zona reduksi diperpanjang (100 cm), untuk mendinginkan suhu reaktor.
3. Pemasahan indikator temperatur dan tekanan.
4. Reaktor diperbesar untuk memperbesar suplai gas dan mencapai target suhu yang diharapkan.

Keterangan :

Makalah ini telah diseminasikan pada Seminar Nasional Teknik Kimia, Tanggal 18-19 Juli 2006, UNSRI, Palembang

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada Bapak Suwito Gunadarma dan Bapak Gojali Cs dari PT. Sariwangi Patuha Watte Ciwidey Bandung, yang telah memberikan kesempatan adn akomodasi selama uji pengoperasian unit gasifikasi, baik ketika di Bandung maupun di Patuha Ciwidey.

Daftar Pustaka

✍ G. Kolios, J. Frauhammer, G. Eigebenger, Autothermal Fixed-Bed Reactor Concept, Chemical Engineering Science 55 (2000) 5935-5967, Oktober 2004.

✍ Bingyan, Xu dkk, Circulating Fluidized Bed Gasifier For Biomassa, Paper No. 9407, Chinese Academy of Science, China.

✍ Devi Lapamudra, Krzyztof, Ptasinski, A review of The Prymary Measure for Tar elimination in Biomass Gasification Processes, Biomass & Bioenergy 24 (2003) 125-140, 2003.

✍ H.E.M. Satssen and Knoef, Small Scale Gasification system, Biomass Tecnology Group BV, Netherland, 2003.

✍ _____, Coal Gasification for Power Generation, Chepron Texaco Wordlwide Power & gasufication, 13 September, 2002.

✍ _____, State of The Art Gas Tecnologies For Zero Emission IGCC's, Lurgi Oel-Chemie, Juli, 2002.

✍ _____, New Project of Saving Energy and Envirionment Prtotection, Xiamen J &K, China, 2005.

✍ Susanto, H, Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 KW di Haur Geulis, Indramayu, ITB, September, 2005.

✍ Terry Johnson, Graeme Pleasance, Clean Coal Technology for Brown Coal Power Generation, The Australian Coal Review, 1996.

✍ Wijaya, Riza, Muhammad Subkhan, Penelitian Gasifikasi Batubara Kaltim, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Kimia, Institut Teknologi Bandung, 1996.

✍ Groeneveld, M.J., The Co-current Moving Bed Gasifier, Doctor Dissertation, TH Twente, 1980

✍ Kjellstrom, B., Practical Design of Producer Gas Systems, lecture note at the Producer Gas Course, Bandung, Maret 1985

✍ Manurung, R., Rice Gasification in Open Core Gasifier, Doctor Dissertation, ITB/Univ. of Groningen, 1994

✍ Manurung, R; H. Susanto and Sudarno H, Experiences in the Operation of Rice Husk Gasification for Rural Electricity, paper presented at ASEAN Conference on Energy from Biomass, Penang, Oktober 1986

✍ Susanto, H., Moving Bed Gasifier with Internal Recycle and Separate Combustion of Pyrolysis Gas, Doctor Dissertation, ITB, 1984

✍ Susanto, H; A. Koopman, and Sudarno H, Field Experiences of 15 and 60 kW Wood Gasification for Rural Electricity, paper presented at ASEAN Conference on Energy from Biomass. Penang, Oktober 1986.

- ✍ Susanto, Field Experiences on The Operation of Biomass Gasification System for Rural Electricity, ITB, Januari, 2005.
- ✍ Suhatono & Suganal, Perancangan Anglo Untuk Pembakaran Batubara Sakal Industri Kecil dan Rumah Tangga, UNJANI-PPTM, Bandung, 2005.
- ✍ Yeni S, Suhartono, Pemilihan Anglo untuk Pembakaran Briket Biocoal, UNJANI & PPTM, Bandung, 2003.
- ✍ Sumaryono, Teknologi Pembakaran Briket Batubara di Klaten, Jawa Tengah, 2000.
- ✍ Susanto, Fild Experience on The Operation 15 kW Gasification System For Rural Electricity, ITB, 2003.
- ✍ Ghazali, 3, D. Sasongko and Sudarno H, "Experiences in Using Rubbertree Wood as Feed stocks for Producer Gas Generator", the Second Int. Producer Gas Conference, Bandung, March 1985.
- ✍ Manurung, R and A.A.C.M. Beenackers, "An Open Core Rice Husk Gasifier for Small Scale Application", *ibid.*
- ✍ Soehadi R and H. Susanto, "Economic Analysis and Scenario on the Design for the Development of Gasification on National Scale", the Work shoo on Wood Energy Development in Indonesia, Dir. Forest Exploitation Jakarta, March 1988.

BIOGAS DARI RUMPUT

Nadiem Anwar*

Biogas adalah hasil perombakan bahan organik oleh berbagai jenis mikroorganisme pada kondisi anaerobik. Biogas dapat dihasilkan dari berbagai bahan baku, salah satunya adalah rumput yang sangat mudah tumbuh di lingkungan yang sangat bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan biogas dari rumput dalam dijester alir kontinyu menyerupai PFR dengan volume cairan 25 L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumput dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Waktu aklimatisasi untuk pembuatan biogas dari rumput, kurang dari 74 hari dengan waktu tinggal hidrolis 100 hari. Komposisi biogas yang dihasilkan telah memenuhi komposisi minimal gas metana untuk dapat dibakar, yaitu: 40,7 % V 54,8 % V. Untuk waktu tinggal hidrolis 100 hari dengan umpan 160 g rumput per liter umpan, diperoleh 3 L biogas per hari per 25 L volume cairan dengan tekanan gas 1 atm.

Kata kunci: anaerobik, biogas, dijester, rumput

Pendahuluan

Penurunan persediaan bahan bakar minyak serta harganya yang cukup tinggi memaksa kita untuk mencari alternatif sumber bahan bakar yang lain. Salah satu bahan bakar yang potensial adalah biogas karena dapat diperbaharui serta ramah lingkungan. Komponen utama biogas adalah metana 50-60 % V dengan kandungan energi sekitar 6,1 kalori/L (600 Btu per ft³), lebih rendah dari metana murni dengan kandungan energi 995 Btu/ft³ dan gas alam 1.000 Btu/ft³ (Mattocks, 1984). Meskipun demikian, biogas dapat menjadi sumber bahan bakar yang penting karena dapat dihasilkan pada kondisi yang terkendali dan bahan bakunya dapat diperbaharui.

Biogas adalah hasil perombakan bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi tanpa udara (anaerob) yang dihasilkan secara alamiah dari perombakan sisa tanaman di tempat-tempat yang kondisinya mirip sawah, kolam atau rawa. Biogas dapat dihasilkan dari limbah organik seperti sisa-sisa tanaman, biji-bijian dan limbah hewan maupun manusia.

Masyarakat Cina kuno telah memanfaatkan biogas yang berasal dari campuran sisa-sisa sayuran dengan kotoran ternak yang dibiarkan dalam sebuah ruangan tertutup. Masyarakat di Inggris dan Bombay mengumpulkan limbah organik dalam wadah tertutup dan menggunakan gas yang dihasilkannya untuk memasak dan penerangan. Instalasi biogas telah dibangun di Jerman, Amerika, Australia, Aljazair, Perancis dan negara-negara lain

sebagai tambahan pasokan energi karena krisis energi selama perang dunia kedua. Para peternak sapi perah di beberapa tempat di Jawa Barat, telah memulai memanfaatkan rabuk sapi sebagai bahan baku biogas.

Proses perombakan anaerobik, menghasilkan dua produk yaitu biogas dan kompos berbentuk lumpur yang merupakan pupuk berkualitas tinggi. Nitrogen dalam bahan organik yang dirombak menjadi amonium pada proses anaerobik, lebih stabil dan terikat dalam tanah sehingga mudah diabsorpsi oleh tanaman.

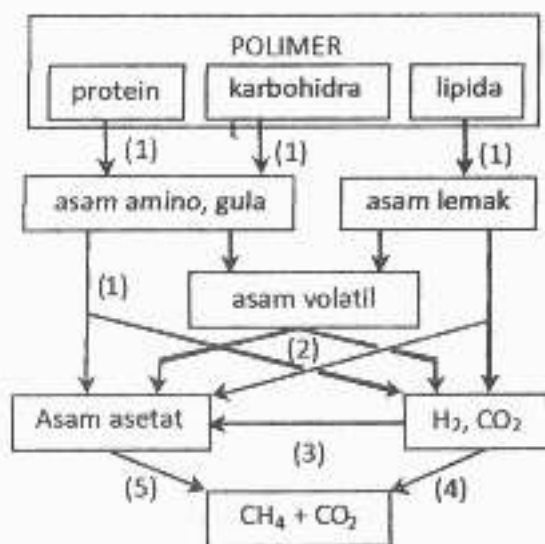
Biogas juga dapat dibuat dari limbah pertanian yang bersumber di pedesaan, sehingga masyarakat pedesaan dapat mengatasi sendiri kelangkaan bahan bakar minyak. Indonesia sebagai negara yang memiliki lahan pertanian yang sangat luas memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan biogas.

Perombakan Bahan Organik Secara Anaerobik

Pembuatan biogas adalah proses perombakan bahan organik kompleks oleh bakteri-bakteri anaerobik. Biogas biasanya terdiri dari 50-60 % metana dan 40-50 % CO₂, uap air, sedikit nitrogen, sulphur serta senyawa lainnya. Metana dalam biogas dari limbah cair industri tahu dapat mencapai 73-83 % (Anwar, 2005).

Kelompok bakteri yang berperan dalam perombakan bahan organik secara anaerobik:

- (1) Bakteri fermental (hidrolitik, non-hidrolitik)
- (2) Bakteri asetogenik
- (3) Bakteri asetogenik perombak hidrogen
- (4) Bakteri pereduksi CO₂
- (5) Bakteri asetoklastik metanogen



Gambar 1. Skema proses perombakan anaerobik

Faktor yang berpengaruh terhadap unjuk kerja Dijester

Bakteri pembentuk metana sulit beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Bakteri tersebut sensitif terhadap perubahan makanan (substrat), kehadiran bahan beracun, tekanan gas, suhu, waktu tinggal, keseimbangan asam basa, konsentrasi padatan, pengadukan, pengolahan awal, rasio karbon-nitrogen dan cuaca (Mattocks-1984, McCarty, 4-1964)

Konsentrasi Substrat

Perombakan bahan organik oleh mikroorganisma mencakup difusi substrat ke permukaan sel kemudian menerobos dinding sel dan reaksi biokimiawi dalam sel. Gradien konsentrasi substrat merupakan gaya penggerak pada proses perpindahan massa dan sebagai pembatas pada reaksi biokimiawi.

Cairan dalam dijester biasanya mengandung 515 % total padatan. Limbah yang akan dirombak biasanya dicampur, 1 bagian limbah padat dengan 2,5 bagian air. Tanaman yang layu atau agak kering memerlukan penambahan air lebih besar. Potongan tanaman yang masih muda memerlukan

memerlukan air lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman yang lebih tua. Prosentase air dalam sayuran dan limbah tanaman bervariasi dari 40 sampai 95 %.

Suhu Operasi

Proses anaerobik melibatkan berbagai jenis bakteri. Sebuah dijester dapat dioperasikan dalam tiga rentang suhu, yaitu: suhu rendah (psikropilik) lebih rendah dari 30 °C, suhu sedang (mesophilik), 30-38 °C dan suhu tinggi (termophilik) 50-70 °C (Mattocks, 1984). Pembentukan biogas lebih cepat pada suhu lebih tinggi. Stabilisasi suhu sangat penting, variasi plus-minus 1 °C setiap hari dapat mengakibatkan mikroorganisme pembentuk metana tidak aktif. Jika asam tidak terombak, pH akan turun dan menurunkan aktivitas seluruh sistem (Grady and Lim, 1980, Mattocks 1984). Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mengatasi rendahnya suhu adalah dengan menyiram umpan dengan air yang dipanaskan menggunakan sinar matahari (Mattocks, 1984).

Keseimbangan Asam-Basa

Bakteri penghasil metana hidup bersama saling menguntungkan dengan bakteri lain yang mengkonsumsi umpan, menghasilkan asam-asam sederhana. Jika asam yang dihasilkan lebih banyak dari yang dapat dirombak oleh bakteri pembentuk metana, maka pH turun dan mengakibatkan penurunan aktivitas mikroorganisme pembentuk metana. Produksi metana terhambat total pada pH di bawah 6,2 (McCarty, 2-1964, Grady dan Lim, 1980). Oleh karena itu populasi bakteri pembentuk asam harus seimbang dengan populasi bakteri pembentuk metana. Keseimbangan ini biasanya dicapai dalam waktu 2540 hari (Mattocks, 1984), ditandai dengan pH dalam dijester yang stabil sekitar 7 (McCarty, 4-1964). Penurunan pH dapat diatasi dengan menambahkan kapur atau senyawa buffer lain ke dalam dijester (Mattocks, 1984).

Kehadiran Bahan Beracun

Bahan-bahan tertentu yang terdapat dalam limbah, pada konsentrasi tertentu dapat memperbesar aktivitas bakteri, tetapi pada konsentrasi lebih tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri anaerobik. Aktivitas bakteri anaerobik diperbesar dengan kehadiran kation-

kation logam ringan 100200 ppm kation Na, 200400 ppm K, 100200 ppm Ca dan 75150 ppm Mg, yang jika diperbesar lagi berubah menjadi inhibitor. Bakteri pembentuk metana terhambat oleh asam-asam volatil dan amonium metanol di atas 1.000 ppm, amoniak 150 ppm dan, sulfida 100 ppm, Fe^{2+} 110 ppm, Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{+} Cu^{2+} pada konsentrasi di bawah 10^4 ppm (McCarty, 3-1964, Grady dan Lim, 1980). Beberapa macam obat-obatan (antibiotik yang digunakan di peternakan), makanan tambahan, pestisida dan herbisida dapat memberikan pengaruh negatif terhadap mikroba, khususnya bakteri metanogenesis (Mattocks, 1984).

Pengolahan Awal Umpan

Bahan baku seringkali memerlukan pengolahan awal untuk meningkatkan perolehan metana. Pengolahan menggunakan alkali ataupun asam dapat memecahkan rantai organik kompleks menjadi molekul lebih sederhana sehingga perombakannya lebih mudah. Substrat-substrat yang tidak mengandung asam volatil siap rombak, seperti serbuk gergaji ataupun kulit padi, perlu dilakukan pengolahan awal terlebih dahulu.

Limbah-limbah yang banyak mengandung serat memerlukan penanganan khusus. Limbah dengan serat-serat panjang seperti jerami harus dipotong-potong terlebih dahulu atau ditumbuk. Semua jenis limbah akan dirombak lebih cepat jika telah dipotong dan dipecah sampai ukuran yang kecil. Efisiensi perombakan dapat ditingkatkan menggunakan sedikit sekali nikel, kobalt dan besi.

Pengadukan

Pengadukan diperlukan untuk mengatasi gradien konsentrasi atau memindahkan mikroba dari substrat yang telah dirombak ke substrat yang belum dirombak, karena perombakan anaerobik dikontrol oleh difusi massa ke permukaan sel. Pengadukan juga membantu meminimalkan pengumpulan padatan di bagian atas cairan. Kegagalan untuk memecahkan tumpukan serat atau buih dapat mengakibatkan terbawanya substrat oleh aliran gas sehingga menyumbat aliran gas.

Rasio Karbon-Nitrogen

Jika rasio karbon terhadap nitrogen terlalu rendah ataupun terlalu tinggi atau berfluktuasi, laju perombakan dapat menurun atau bahkan berhenti.

Perbandingan karbon terhadap nitrogen yang baik adalah 2030 bagian karbon dan 1 bagian nitrogen (Mattocks, 1984), dengan bagian karbon siap dirombak cukup besar dan yang lebih penting adalah menjaga kuantitas dan karakteristik umpan yang tetap.

Beberapa rantai karbon ada yang sangat sulit dipecah, misalnya lignin. Kandungan lignin meningkat dengan bertambahnya umur tanaman. Rumput yang tua mengandung lebih banyak lignin. Jadi setiap substrat yang berasal dari tanaman tua, mungkin kurang baik sebagai bahan baku biogas, karena banyak mengandung lignin yang sulit dicerna.

Faktor yang Mempengaruhi Ukuran Dijester

Perancangan dijester bergantung kepada jenis dan ketersediaan limbah. Dijester yang besar dirancang setelah diyakini melalui serangkaian pengujian kondisi operasi dan melalui analisis. Dijester kecil biasanya dirancang hanya berdasarkan pengalaman. Keuntungan dijester kecil dibandingkan dengan yang besar adalah hampir tidak diperlukan pengadukan untuk meminimalkan *scum*, sehingga laju produksi biogas persatuan volume dijester bisa lebih besar. Kelemahan dijester kecil adalah sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu lingkungan.

Jenis dan Ketersediaan Bahan Baku

Jumlah rabuk yang dihasilkan hewan ternak tiap hari berfluktuasi. Misalnya dipeternakan ayam potong setiap hari dapat dihasilkan rabuk 610 kg per 1000 kg ayam, 4 kg rabuk per 100 kg berat kambing, 80 kg rabuk per 1000 kg berat sapi perah, 60 kg rabuk per 1000 kg sapi pedaging, 10 kg rabuk per 200 kg berat babi, 45 kg rabuk per 1000 kg berat kuda, 0,2 kg rabuk per 4 kg berat ayam. Rabuk dari dua ekor anak sapi biasanya menghasilkan gas yang cukup untuk memasak bagi keluarga beranggota empat orang dan rabuk hewan lainnya tidak jauh berbeda (Mattocks, 1984).

Jika kita akan menggunakan limbah pertanian sebagai bahan baku biogas, kita perlu mengetahui jumlah maksimum yang tersedia. Bunga bakung dapat tersedia sepanjang tahun sedangkan jerami hanya tersedia pada musim panen.

Laju Pembebanan Organik

Laju pembebanan organik adalah banyaknya bahan organik dapat dirombak yang diumpangkan tiap hari per satuan volume digester. Padatan tetap dan sebagian padatan volatil merupakan bahan tidak terombak. Pada laju pembebanan yang tinggi, pengumpulan dilakukan mendekati kontinyu atau tiap satu jam, sedangkan pada laju pembebanan rendah, umpan dapat dimasukkan satu kali per hari.

Laju pembebanan bergantung kepada jenis limbah yang akan diumpangkan ke digester. Digester biasanya dirancang dengan laju pembebanan 3 kg padatan tiap m³ volume digester (Mattocks, 1984). Perlu diperhatikan bahwa digester harus dirancang berdasarkan jumlah limbah yang dapat dikumpulkan dan diumpangkan ke digester, bukan berdasarkan jumlah limbah yang diproduksi.

Waktu Tinggal Hidrolik

Waktu tinggal hidrolik (hydrolic Retention time, HRT) adalah waktu rata-rata padatan tinggal di dalam digester atau volume bahan yang selalu ada dalam digester dibagi dengan rata-rata jumlah umpan perhari. HRT dapat bervariasi dari 10 sampai 60 hari (Mattocks, 1984) dan merupakan parameter penting karena berpengaruh terhadap efisiensi digester.

Digester yang terkendali memerlukan waktu tinggal padatan 20-25 hari. Waktu tinggal yang lebih singkat lagi beresiko mengakibatkan *wash out*, yaitu kondisi saat bakteri pembentuk biogas yang terbawa aliran keluar lebih besar dari yang dihasilkan dalam digester sehingga mengakibatkan populasi bakteri berkurang terus sampai habis.

Jenis Digester

Digester dapat dioperasikan secara *batch* maupun kontinyu. Digester kontinyu dikelompokkan menjadi empat, yaitu tipe India, Cina, Pengolah Limbah Kota dan Gabungan (Gambar 2). Digester jenis India atau Khadi (Gambar 2a) didasarkan pada prinsip bahwa gas yang dihasilkan akan naik ke kubah yang ada di bagian atas digester. Substrat diumpangkan di salah satu sisi dan aliran keluar di sisi lain. Gas yang dihasilkan dan terkumpul di bagian bawah kubah akan menekan kubah ke atas dan kubah akan turun jika gas dialirkan keluar. Ruang penampung gas pada digester jenis Cina berupa kubah tetap (Gambar 2b). Substrat diumpangkan pada salah satu sisi dan aliran keluaran

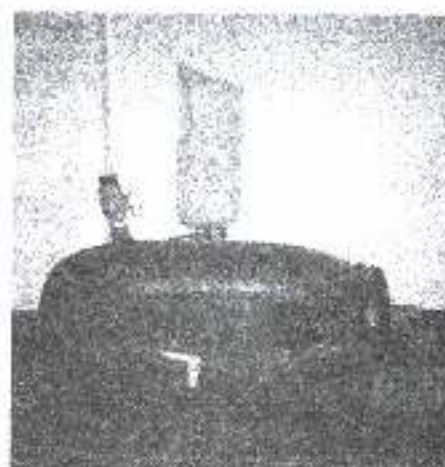
pada sisi lain. Gas yang dihasilkan terkumpul di bawah kubah dan di atas isi tangki. Kenaikan volume gas akan mendesak isi digester mengalir keluar.

Digester jenis pengolah limbah kota memiliki prinsip dasar yang sama dengan jenis India maupun Cina, tapi lebih kompleks dan lebih efisien. Isi digester diaduk menggunakan pedal atau oleh sirkulasi gas. Suhu digester dikendalikan dengan ketat dan keluaran digester dipekatkan terlebih dahulu. Digester jenis pengolah limbah kota secara prinsip dapat dibuat dengan skala lebih kecil dengan teknologi yang lebih sederhana.

Digester jenis gabungan (Gambar 2c) pada prinsipnya sama dengan yang lain tetapi bahan konstruksinya mudah didapat atau menggunakan bahan-bahan bekas, kantong plastik atau drum 200 liter. Pembuatan digester gabungan tidak hanya mempertimbangkan keekonomisan konstruksi, tapi harus juga memikirkan efisiensi dan produktivitas.

Pelaksanaan Penelitian

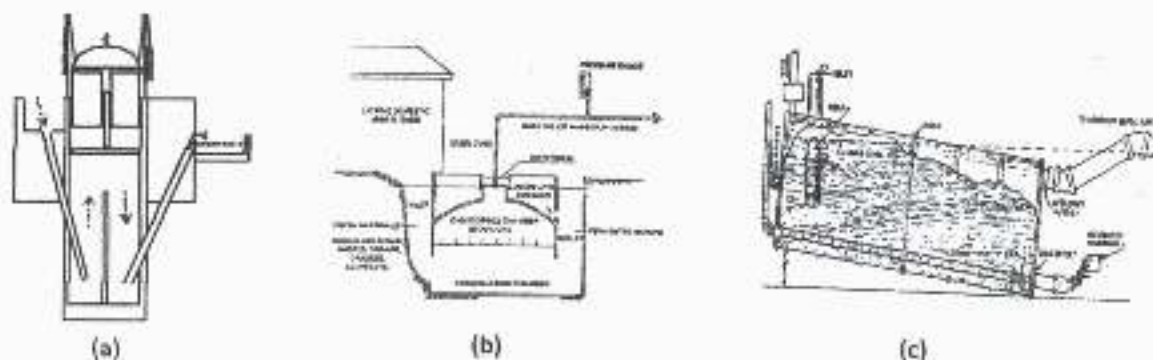
Digester yang digunakan terbuat dari drum plastik 50 L seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Drum plastik dipilih karena materialnya dianggap tidak larut sehingga kemungkinan muncul bahan beracun sangat kecil. Drum plastik juga tidak terkorosi oleh biogas yang dihasilkan.



Keterangan gambar:

1. tangki digester
2. tempat pemasukan umpan
3. penampung gas
4. tempat pengeluaran

Gambar 3. Digester yang digunakan



Gambar 2. Contoh jenis dijester, (a) jenis India, (b) jenis China, (c) jenis gabungan

Rumen sapi dicampur dengan rumput 1 : 1, kemudian campuran tersebut dicampur dengan air (1 bagian padatan 2 bagian air) dengan volume total kurang lebih 25 L (50 % volume total). Dijester dibiarkan selama satu minggu untuk mengaktifkan mikroorganisme di dalamnya. pH campuran dalam dijester dipantau setiap hari, jika pH turun ditambahkan air kapur kurang lebih 25 mL.

Rumput yang diumpukan diperoleh dari halaman sekitar UNJANI. Rumput dipotong kurang lebih 1 cm kemudian ditumbuk untuk memecahkan lignin, karena lignin merupakan bagian yang sulit dicerna oleh mikroorganisme. Rumput yang telah ditumbuk ditimbang sebanyak 80 g kemudian dicampur dengan air sampai volume 500 mL sehingga menghasilkan perbandingan padatan terhadap air 1 : 4.

Aklimatisasi dilakukan selama 70 hari dipilih lebih besar dari yang dinyatakan oleh Mattokcs (1984) agar aklimatisasi betul-betul telah tercapai. Selama aklimatisasi umpan dimasukkan satu kali tiap 2 hari sebanyak 500 mL umpan sehingga menghasilkan waktu tinggal hidrolis 100 hari. Pemberian umpan dilakukan tiap 2 hari untuk meminimalkan perubahan kondisi dalam dijester. Jika $pH < 7$, setiap hari ditambahkan air kapur ke dalam umpan sampai pH 7. pH diukur menggunakan kertas pH universal.

Setelah 70 hari dengan pH yang relatif konstan, gas yang dihasilkan mulai diukur laju produksinya dengan cara mengganti penampung gas setiap volume penampung tampak penuh (6 L). Komposisi biogas diukur menggunakan kromatografi gas.

Hasil dan Pembahasan

Hasil percobaan disajikan pada Tabel 1, yaitu berupa hasil pengukuran pH, gas yang dihasilkan

dan komposisi biogas.

Tabel 1 menunjukkan terjadi lonjakan komposisi metana antara hari ke 74 dengan hari ke 78 dari 9,3 % menjadi 43,4 % (penambahan 34,1 %), dan penurunan drastis CO_2 dari 79,5 % menjadi 33,3 % (penurunan 46 %). Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas bakteri pereduksi CO_2 (kelompok 4), pembentuk asam asetat (kelompok 3) dan pengurai asam asetat (kelompok 5) telah aktif.

Komposisi biogas tercatat turun cukup besar pada hari ke 86 yaitu dari 46,00 % menjadi 32,91 % kemudian naik lagi sampai 42,50 %. Hal ini dimungkinkan karena adanya udara masuk melalui saluran keluaran pada saat pengeluaran cairan. Kesalahan ini dapat dilihat juga dari sangat tingginya komposisi nitrogen, dengan perbandingan nitrogen terhadap oksigen mendekati 4, yaitu perbandingan nitrogen dan oksigen dalam udara., sehingga rentang komposisi gas dapat dianggap 40,7 - 54,8 %.

Di dalam dijester masih terdapat oksigen dan nitrogen. Nitrogen dan oksigen berasal dari udara awal atau udara yang terbawa oleh aliran umpan, atau pada saat pengeluaran cairan karena dalam reaksi anaerobik tidak dihasilkan oksigen tapi masih mungkin dihasilkan nitrogen. Adanya nitrogen dan oksigen tersebut menurunkan komposisi metana sehingga dapat menyulitkan penggunaan biogas. Hal ini dapat diminimalkan dengan memperbaiki sistem pengumpanan dan sistem pengeluaran cairan.

Kesimpulan

1. Rumput potensial digunakan sebagai bahan baku biogas.
2. Waktu aklimatisasi untuk pembuatan biogas dari rumput, kurang dari 78 hari dengan waktu tinggal hidrolis 100 hari

Tabel 1 Komposisi biogas, pH dan volume gas terhadap waktu

Hari ke	pH	Vol gas (ml/2 hari)	Komposisi biogas (5 V/V)			
			CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂
70	7 - 8	± 6000	4.5	72.0	17.6	5.9
74	7 - 8	± 6000	9.3	79.5	7.6	3.7
78	7 - 8	± 6000	43.4	33.3	16.8	6.4
82	7 - 8	± 6000	46.0	34.9	13.6	5.7
86	7 - 8	± 6000	32.9	12.3	52.7	12.3
90	7 - 8	± 6000	42.5	6.9	41.2	9.4
94	7 - 8	± 6000	54.8	7.8	25.2	12.2
108	8	± 6000	40.7	13.0	30.2	16.2

3. Komposisi biogas dari rumput telah memenuhi komposisi minimal gas metana untuk dapat dibakar, yaitu: 40,7%V 54,8%V.
4. Untuk waktu tinggal hidrolis 100 hari dengan umpan 160 g rumput per liter, diperoleh 3 L biogas per hari per 25 L volume cairan dengan tekanan gas 1 atm.

Saran

1. Masih perlu dipelajari pengaruh beberapa variabel lain terhadap kualitas biogas terutama:
 - a. pengaruh waktu tinggal hidrolis
 - b. perbandingan padatan terhadap air
 - c. jenis rumput umpan
 - d. disain alat
2. Perlu di rancang ulang sistim pemasukan dan pengeluaran untuk menghindari masuknya udara ke dalam dijester.

Pustaka

1. Anwar, N., (2005), *Pengolahan limbah Cair Industri tahu Secara Anaerobik*, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri, Jurusan Teknik Mesin - Teknik Kimia Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
2. Grady, Jr. C.P.L., Lim, H.C., 1980, *Biological Wastewater Treatment-Theory and Application*, Marcel Dekker Inc., New York, hal. 834-852.
3. Mattocks, R., *Understanding Biogas Generation*, ISBN: 0-86619-204-2, [C]1984, Volunteers in Technical Assistance

4. Mattocks, R., *Understanding Biogas Generation*, ISBN: 0-86619-204-2, [C]1984, Volunteers in Technical Assistance
5. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, II: Environmental Requirments and Control*, Public Work, October, p 123-126.
6. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, III: Toxic Material and Their Control*, Public Work, November, p 91-94.
7. McCarty, P.L., 1964, *Anaerobic Wastewater Treatment Fundamentals, IV: Process Design*, Public Work, December, p 107-112.

PENGARUH VARIASI JENIS LOGAM PENGISI PADA PENGELOAN ALUMINIUM 6061-T4 DENGAN PROSES GTAW TERHADAP SIFAT MEKANIK

Martijanti*, Syahminan*

Pengelasan merupakan teknologi yang banyak digunakan untuk penyambungan logam. Namun hasil pengelasan yang diterapkan pada paduan aluminium tidak selalu menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik, hal ini dapat disebabkan salah satu faktornya adalah dalam menentukan jenis logam pengisi. Penentuan jenis logam pengisi ini akan menentukan kekuatan hasil las dari paduan aluminium. Untuk melihat sejauh mana pengaruh jenis logam pengisi tersebut, maka pada penelitian ini penulis menentukan tiga jenis logam pengisi yaitu ER 4043, ER 2319, ER 5056 pada proses pengelasan GTAW untuk paduan Aluminium 6061-T4.

Dari hasil pengujian tarik diperoleh nilai kekuatan tarik terbesar pada paduan Aluminium 6061-T4 yang menggunakan jenis logam pengisi ER 4043 yaitu sebesar 19,694 kgf/mm². Hasil distribusi kekerasan untuk ketiga jenis logam pengisi nilai kekerasan paling rendah terletak pada daerah HAZ sehingga pada pengujian tarik spesimen patah rata-rata di daerah HAZ karena pada daerah tersebut terjadi overaged region.

Kata Kunci: Teknologi pengelasan, Logam pengisi, Paduan Aluminium, Sifat mekanik

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam yang luas penggunaannya dan telah masuk ke dalam semua sektor utama industri, seperti angkutan, konstruksi, listrik dan alat rumah tangga. Luasnya penggunaan ini disebabkan aluminium memiliki sifat yang berbeda dari logam lain seperti ringan, kuat, mudah dibentuk, tahan korosi dan tak beracun.

Salah satu proses pengerjaan untuk aluminium adalah proses penyambungan aluminium dengan cara menggunakan pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Aluminium merupakan material yang peka terhadap oksidasi pada temperatur tertentu, oleh karena itu pada proses pengelasan aluminium harus memperhatikan beberapa faktor penting antara lain

proses pada waktu pengelasan harus tepat, pemilihan jenis filler (logam pengisi), kuat arus dan tegangan yang digunakan harus sesuai pada waktu pengelasan.

Pada penelitian ini dari beberapa faktor tersebut di atas, maka penulis lebih menitikberatkan untuk meneliti sejauhmana pengaruh variasi logam pengisi pada pengelasan aluminium 6061-T4 dengan proses GTAW terhadap sifat mekanik. Pembatasan Masalah pada penelitian

antara lain :

- Ø Logam pengisi yang digunakan seri 4043, 2319 dan 5056
- Ø Logam yang dilas adalah Aluminium 6061-T4 dengan tebal 1,2 mm.
- Ø Besar arus yang digunakan 65 ampere dan tegangan 16 volt
- Ø Untuk mendapatkan hasil analisa terhadap filler, maka dilakukan pengujian terhadap logam hasil pengelasan dengan menguji kekuatan tarik dan kekerasan
- Ø Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia dari logam induk yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia dengan metoda spektrometri, untuk mengetahui apakah material yang digunakan sesuai dengan standar aluminium 6061-T4.

DASAR TEORI

Pemilihan logam pengisi harus dipertimbangkan secara optimal. Perhitungan yang optimal dari sambungan dapat dilihat dengan menganalisis bentuk akhir dari sambungan, apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan seperti hasil pengelasan memiliki ketangguhan yang tinggi dan keberadaan cacat sekecil mungkin.

Faktor-faktor utama yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan sebuah logam

Tabel 1 Kesesuaian Logam Pengisi dan Logam Induk²¹

Logam Induk	AC4D	AC4C ADC12	AC7A	A7NO1	6061 6063 6101 6151	5056	5154	5083	5052	5005 A5NO1	1100 1200 3003 3203	1060 1070
1060 1070	-	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 1100	ER 1100	ER 1070
1100 1200 3003 3203	-	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 4043	ER 1100	
5005 A5NO1	ER 4043	ER 4043	ER 5154	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 4043	ER 4043		
5052	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5154			
5083	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5183				
5154	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5154					
5056	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356						
6061 6063 6101 6151	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 5356	ER 4043							
A7NO1	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 5356								
AC7A		ER 4043	ER 4043									
AC4C ADC12	ER 4043	ER 4043										
AC4D	ER 4043											

pengisi untuk pengelasan aluminium adalah²¹:

1. mudah untuk dilas atau hasil pengelasan bebas dari retak
2. kekuatan tarik atau kekuatan geser pengelasan
3. keuletan pengelasan
4. service temperature kerja
5. ketahanan korosi

Kemudahan pengelasan merupakan pertimbangan pertama pada sebagian besar aplikasi pengelasan.

Pada umumnya paduan aluminium tak mampu perlakuan panas dapat dilas dengan logam pengisi dari komposisi dasar yang sama dengan logam induknya. Pada paduan aluminium mampu perlakuan panas agak lebih kompleks secara metalurgis dan lebih sensitif terhadap retak hot short. Untuk mencegah terjadinya retak hot short sebaiknya digunakan logam pengisi yang sejenis dan memiliki temperatur cair yang rendah, sehingga daerah lasan akan memberikan komposisi

penyusutan yang besar dan tidak memungkinkan terjadinya segregasi komposisi dan daerah tersebut mengalami proses pembekuan bersamaan⁽¹²⁾.

Pada konstruksi pengelasan selalu digunakan logam pengisi yang mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih baik atau setara dengan logam induk karena pada proses pengelasan kekuatan dan keuletan logam dapat berubah. Agar kekuatan dan keuletan hasil pengelasan lebih baik maka pemilihan logam pengisi harus memperhatikan kombinasi yang sesuai antara komposisi kimia dari logam pengisi dan logam induk.

Suatu aluminium memiliki kekuatan yang tinggi tetapi belum tentu memiliki keuletan yang tinggi pula. Hal ini dapat dijelaskan bahwa keuletan dari hasil las aluminium mampu perlakuan panas dapat menurun bila aluminium tersebut dilakukan postweld heat treatment (PWHT) yaitu proses peningkatan kekuatan pada heat affected zone (HAZ) dengan perlakuan panas seperti melakukan aging di atas temperatur kamar⁽¹³⁾. Berdasarkan standart AWS, logam pengisi yang sesuai untuk logam yang akan dilas seperti terlihat pada tabel 2.4 dibawah ini⁽¹⁴⁾.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang diteliti adalah Aluminium seri 6064-T4. Pengelasan dilakukan di Welding Departement PT. Dirgantara Indonesia. Proses penyambungan dilakukan pada paduan aluminium 6061-T4 adalah

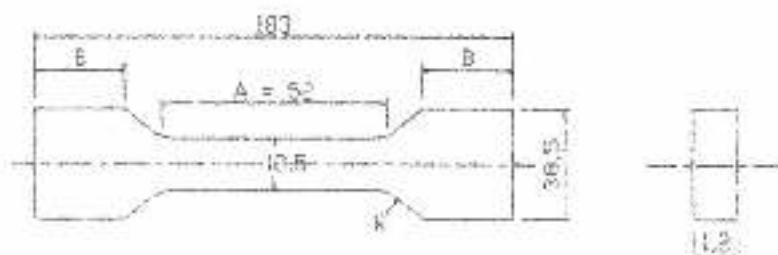
jenis pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) las Busur Gas dengan Elektroda tak terumpan.

Mesin Las	: Miller, Cyncrowave-300
Proses Pengelasan	: secara manual
Tegangan terukur	: 18 Volt
Arus yang digunakan	: 65 Ampere
Kecepatan Las	: 5 cm/menit
Arah pengelasan	: mendatar
Jenis sambungan	: Butt joint
Elektroda	: Zirconium Tungsten dengan diameter 1,6 mm
Polaritas	: DC (DCRP)
Logam pengisi (<i>Filler Metal</i>)	: 4043, 2319, 5056 dan diameter 1,2 mm
Gas Pelindung	: gas argon
a. Tekanan	: 6 Bar
b. Kecepatan Gas	: 6 lt/menit

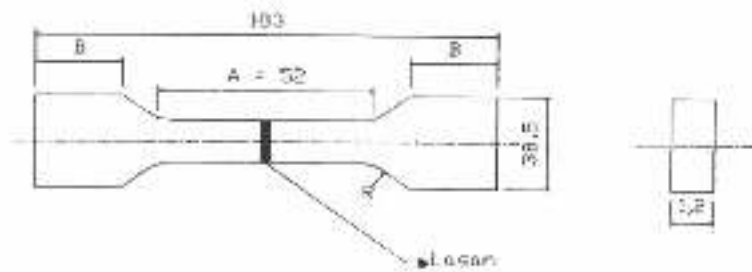
Komposisi logam dasar ditunjukkan pada tabel 1. Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM B557. (lihat pada gambar 1) dan spesimen hasil pengelasan dapat dilihat pada gambar 2. Spesimen pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3. Pengujian kekerasan menggunakan metoda mikro hardness vikress dengan beban yang digunakan adalah 0,3 kgf dan Jarak antara jejak = 300 mikrometer. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap daerah perubahan pada logam setelah pengelasan (logam induk, HAZ, dan logam lasan).

Tabel 1 Komposisi Kimia Material Awal

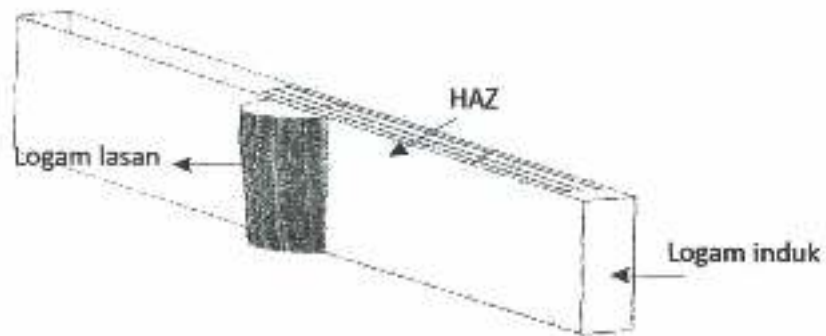
Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Benda uji 1	0.5634	0.6754	0.3546	0.1534	0.8563	0.0523	0.2543	0.1532	Sisanya
Benda uji 2	0.5463	0.6574	0.3657	0.1536	0.8467	0.0537	0.2489	0.1546	Sisanya
Rata-rata	0.5549	0.6664	0.3602	0.1535	0.8515	0.0530	0.2516	0.1539	-



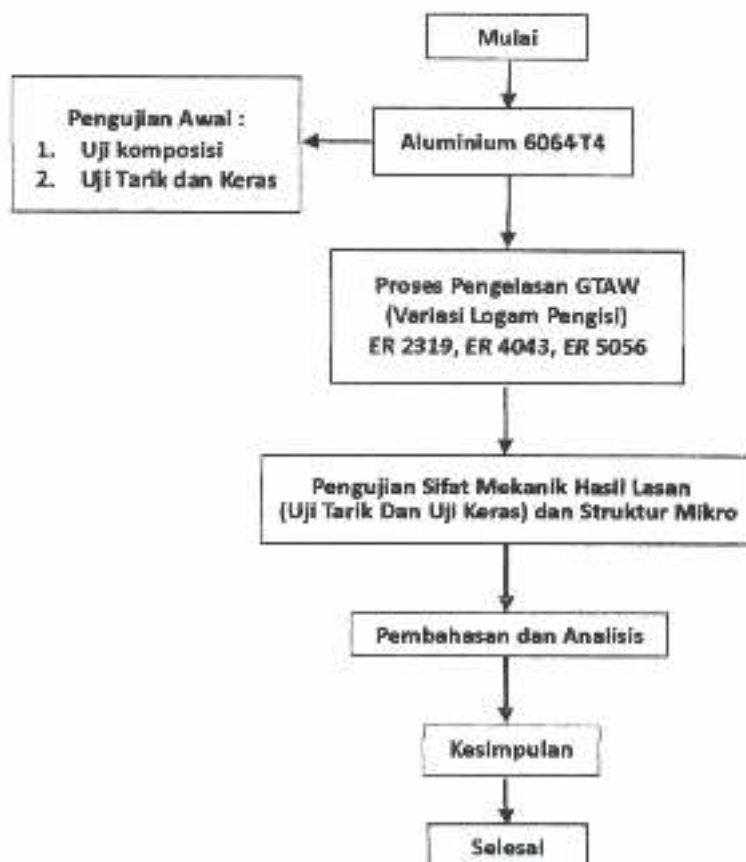
Gambar 1 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik berdasarkan



Gambar 2 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik setelah proses pengelasan



Gambar 3 Penampang uji kekerasan



Gambar 4 Skema Tahap-tahap Penelitian

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Analisis Hasil Pengujian tarik

Hasil uji tarik yang diperoleh pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 2, tabel 3, tabel 4 dan tabel 5. Pada tabel 2 sampai dengan tabel 5 harga kekuatan tarik pada paduan Aluminium 6061-T4 dari hasil pengelasan GTAW dibandingkan dengan kekuatan Aluminium 6061-T4 sebelum proses pengelasan adalah paduan Aluminium hasil proses pengelasan dengan menggunakan logam pengisi ER 2319 mengalami penurunan **34,90 %**, sedangkan pada paduan Aluminium 6061-T4 dengan menggunakan logam pengisi ER 4043 mengalami penurunan **30,34 %** dan menggunakan logam pengisi ER 5056 mengalami penurunan sebesar **36,64 %**.

Dari variasi logam pengisi yang digunakan pada proses pengelasan Aluminium 6061-T4 maka kekuatan tarik terbesar adalah **19,694 kgf/mm²** dengan menggunakan logam pengisi ER 4043 dan kekuatan tarik terkecil adalah **17,913 kgf/mm²** dengan menggunakan logam pengisi ER 5056. Maka untuk proses pengelasan pada paduan aluminium 6061-T4 dari ketiga logam pengisi yang

digunakan sebaiknya jenis logam pengisi yang digunakan untuk paduan aluminium 6061-T4 adalah ER 4043, karena dilihat dari penurunan kekuatan tarik jika dibandingkan dengan menggunakan logam pengisi ER 4043 dan kekuatan tarik terkecil adalah **17,913 kgf/mm²** dengan menggunakan logam pengisi ER 5056. Maka untuk proses pengelasan pada paduan aluminium 6061-T4 dari ketiga logam pengisi yang digunakan sebaiknya jenis logam pengisi yang digunakan untuk paduan aluminium 6061-T4 adalah ER 4043, karena dilihat dari penurunan kekuatan tarik jika dibandingkan dengan kekuatan tarik paduan Aluminium yang tidak mengalami proses pengelasan nilai penurunannya paling kecil dan dibandingkan dengan jenis logam pengisi ER 2319 dan 5056 nilai kekuatan tariknya paling besar dan hal ini sesuai dengan standar yang diberikan oleh AWS yang dapat dilihat pada tabel tentang Kesesuaian Logam Pengisi dan Logam Induk bahwa paduan Aluminium seri 6061 yang dilakukan proses penyambungan dengan paduan Aluminium seri 6061 maka logam pengisinya adalah 4043.

Tabel 2 Hasil pengujian tarik material awal

Spesimen	Beban Tarik Max (kgf)	Tegangan Tarik Max (kgf/mm ²)	Tegangan Luluh (kgf/mm ²)	Regangan Putus (kgf/mm ²)
1	299.55	28.36	14.02	19.78
2	299.97	28.18	14.06	19.70
Rata-rata	299.76	28.27	14.04	19.74

Tabel 3 Hasil pengujian tarik dengan jenis logam pengisi ER 2319

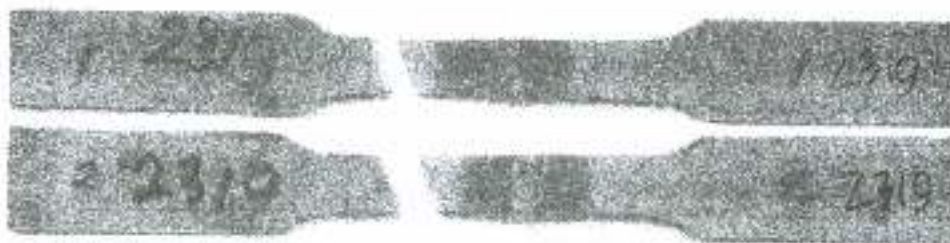
Spesimen	Beban Tarik Max (kgf)	Tegangan Tarik Max (kgf/mm ²)	Tegangan Luluh (kgf/mm ²)	Regangan Putus (kgf/mm ²)
1	354.80	18.18	7.56	11.54
2	369.61	18.63	7.57	15.62
Rata-rata	362.21	18.41	7.56	13.58

Tabel 4 Hasil pengujian tarik dengan jenis logam pengisi ER 4043

Spesimen	Beban Tarik Max (kgf)	Tegangan Tarik Max (kgf/mm ²)	Tegangan Luluh (kgf/mm ²)	Regangan Putus (kgf/mm ²)
1	371.1	19.33	10.77	11.95
2	398	20.06	8.48	12.23
Rata-rata	384.55	19.69	9.62	12.09

Tabel 5 Hasil pengujian tarik dengan jenis logam pengisi 5056

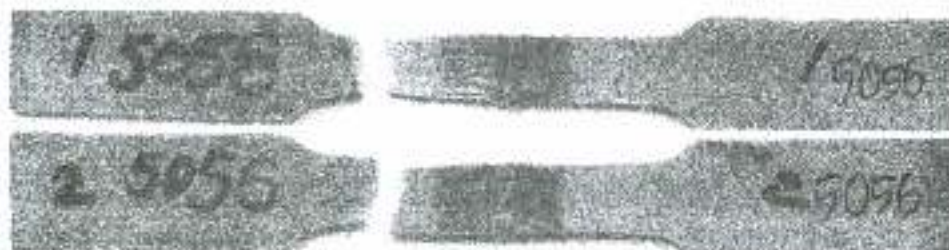
Spesimen	Beban Tarik Max (kgf)	Tegangan Tarik Max (kgf/mm ²)	Tegangan Luluh (kgf/mm ²)	Regangan Putus (kgf/mm ²)
1	346.05	17.58	7.51	10.38
2	388.19	18.24	7.59	14.43
Rata-rata	367.12	17.91	7.55	12.61



Gambar 5 Specimen Hasil Uji Tarik Dengan Filler 2319



Gambar 6 Specimen Hasil Uji Tarik Dengan Filler 4043



Gambar 7 Specimen Hasil Uji Tarik Dengan Filler 5056

4.1 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Harga distribusi rata-rata kekerasan pada HAZ memiliki harga yang rendah dibandingkan logam induk dan logam lasan pada ketiga jenis logam pengisi yang digunakan pada proses pengelasan GTAW paduan Aluminium 6061 T4, karena terjadinya pengkasaran presipitat atau terbentuknya daerah pelunakan. Pengkasaran atau daerah pelunakan tersebut dikenal dengan istilah overaged region dan hampir seluruh spesimen uji tarik hasil pengelasan mengalami patah di daerah tersebut hal ini dapat dilihat pada gambar 5, 6, dan 7

Dari Tabel 6 bahwa distribusi kekerasan pada

proses pengelasan paduan aluminium 6061-T4 dengan menggunakan ketiga variasi logam pengisi ER 4043 mempunyai nilai kekerasan pada daerah lasan pada umumnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan logam induk hal ini berdasarkan hasil penelitian (Ahmad Kafrawi N)^{3rd 4} disebabkan oleh kontribusi unsur Mg dari logam pengisi dengan kandungan unsur Mg yang tinggi akan larut pada di daerah logam lasan dan disebabkan laju pendinginan yang cepat dan pada daerah tersebut seolah-olah mengalami pengembalian kekerasan dengan larut padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).

Tabel 6 Hasil pengujian kekerasan Vickers

No	Filler	Daerah Pengujian		
		Logam Induk	HAZ	Logam Lasan
1	2319	76.50	74.00	91.00
		77.00	74.50	87.60
		77.40	75.60	91.80
	Rata-rata	76.97	74.70	90.13
2	4043	77.00	77.40	95.00
		77.20	74.50	97.60
		77.40	75.60	97.80
	Rata-rata	77.20	74.40	96.80
3	5056	76.50	74.00	80.50
		77.00	73.00	82.00
		77.40	74.00	81.80
	Rata-rata	76.97	73.66	81.43

KESIMPULAN

1. Dari ketiga jenis logam pengisi yang digunakan pada proses pengelasan GTAW paduan aluminium 6061-T4 yang mempunyai nilai kekuatan tarik terbesar adalah 19,694 kgf/mm² dengan menggunakan filler ER 4043.
2. Hasil distribusi kekerasan pada proses pengelasan GTAW untuk paduan Aluminium 6061-T4 maka daerah HAZ memiliki nilai kekerasan paling rendah dibandingkan dengan logam induk maupun logam lasan karena terbentuk daerah pelunakan (*overaged region*).

SARAN

Perlu adanya tindak lanjut penelitian tentang proses ini sehingga nantinya didapat material hasil pengelasan yang mempunyai sifat mekanis yang baik seperti variasi masukan panas, pengujian lebar daerah pengelasan, uji spektrometri pada daerah lasan, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wiryosumarto Harsono, 1996, Teknologi Pengelasan logam, Jakarta, Pradnya Paramita

2. Committee, AWS Hand Book, 1982, Welding Hand Book, volume IV : Metals and Their Weldability: America Welding Society
3. Ahmad Kafrawi Nasution, "Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi dan Masukan Panas Pada Pengelasan Aluminium 6013-T4 Dengan Proses GTAW Terhadap Sifat Mekanik", TESIS S-2, ITB, Bandung.
4. Slamet Wahyudi dan Ahmad Efan Nurilmaulidi, "Analisis Pengaruh Variasi Proses Age Hardening Terhadap Sifat Mekanis Hasil Las Paduan Aluminium", Jurnal Teknik, UNBAR, 2000.

BIODATA PENULIS

- * **Martijanti, S.T.,M.T.**, adalah dosen biasa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.
- Syahminan , S.T.**, adalah dosen biasa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

PROSES BABBING BANTALAN LUNCUR MELALUI PENGECORAN SENTRIFUGAL

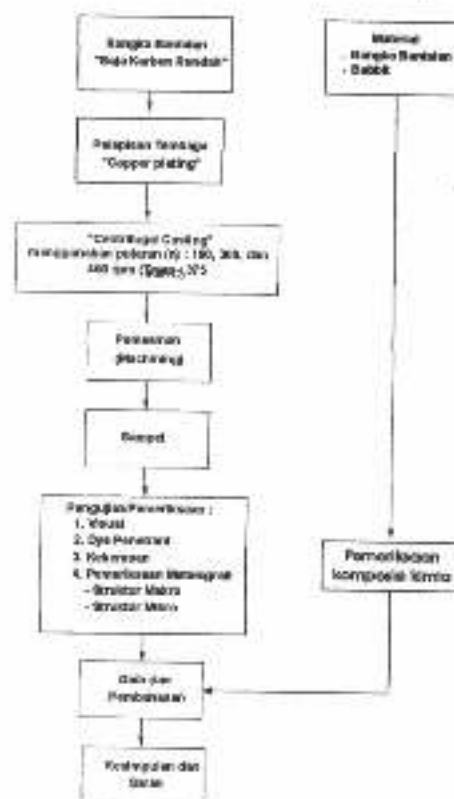
Abrianfo Akuan*

Pelapisan paduan timah pada bantalan melalui proses pengecoran sentrifugal, dapat menghasilkan lapisan babbitt yang optimum pada kecepatan putar 190 rpm dengan struktur dendritik dan terbentuk senyawa intermetalik pada daerah interface-nya sehingga dapat meningkatkan daya lekat lapisan.

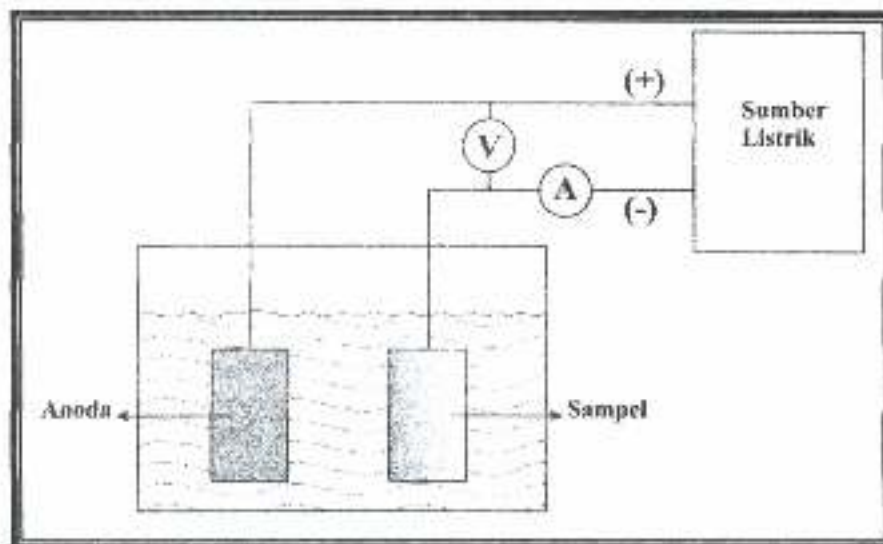
1. PENDAHULUAN

"Plain bearing" adalah suatu bantalan luncur yang menerima beban melalui gesekan. Sebuah plain bearing sering juga disebut sebagai "bushing", "babbit" atau "journal bearing". Pada umumnya plain bearing berupa silinder yang dibelah dua dan disebut "shell" atau rangka bantalan. Bantalan ini sangat banyak digunakan dan dapat diamati pada berbagai macam peralatan, khususnya pada poros engkol dan bantalan batang engkol pada mesin kendaraan. Bantalan dapat memberikan kelicinan pergesekan yang rendah antara dua beban permukaan berlawanan dengan permukaan yang lainnya. Pergerakan keduanya bisa berupa perputaran poros (gerakan rotasi) atau gerakan linier.

Rangka bantalan umumnya terbuat dari baja, besi cor, atau paduan tembaga. Dinding bagian dalam dari bantalan ini biasanya dilapisi dengan paduan timah hitam (Pb-base) atau paduan timah putih (Sn-base) yang disebut sebagai logam "babbit". Logam babbitt ini harus dapat melekat dengan kuat pada rangka bantalan. Seiring dengan berjalannya waktu dengan umur pakai yang begitu lama maka bantalan ini akan mengalami keausan pada bagian permukaan *base metal* yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti beban yang diterima terlalu berlebihan ataupun kekuatan dari bahan itu sendiri. Dalam bidang *maintenance*, *problem unit bearing* merupakan salah satu pokok permasalahan utama yaitu bagaimana cara untuk melakukan *repair* terbaik pada *bearing* tersebut.



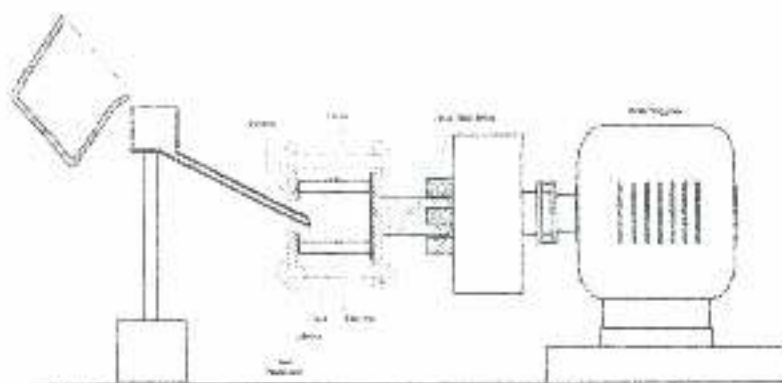
Gambar.1 Skema proses penelitian.



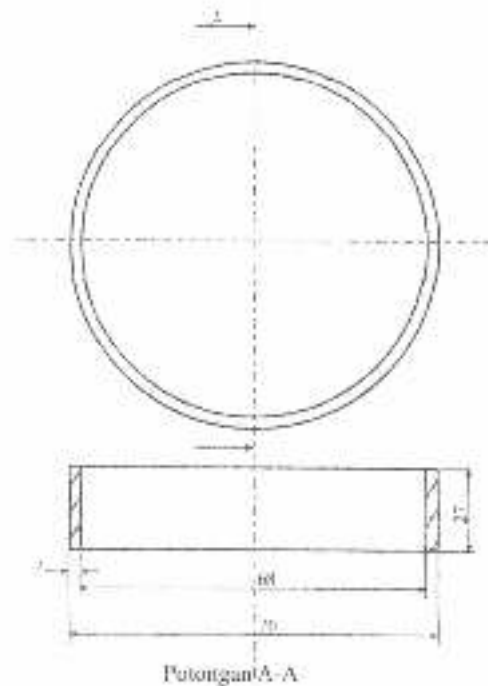
Gambar 2. Skema proses pelapisan

Tabel 1. Parameter proses pelapisan tembaga.

Elektrolit	Konsentrasi (g/l)	Tegangan (V)	Rapat Arus (A/dm ²)	Temperatur (°C)	Anoda
Sianida Tembaga (CuCN)	45	6	1 - 4	50	Cu
Sianida Kalium (KCN)	95				
Kalium Hidroksida (KCN)	5				
Garam Rochelle	45				



Gambar 3. Skematis proses pengecoran sentrifugal secara horizontal dengan menggunakan mesin bubut.



Gambar 4. Bentuk dan ukuran sampel setelah dilapis babbitt (satuan dalam mm).

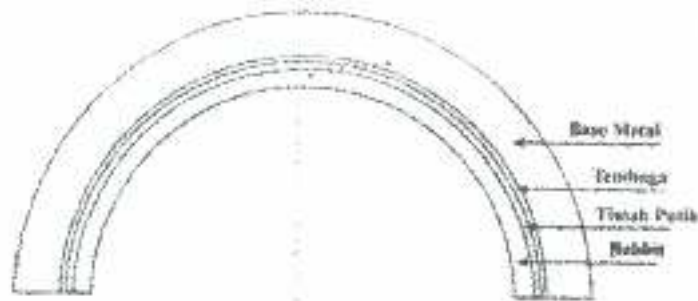
Tahapan proses pelapisan tembaga adalah sebagai berikut :

1. Tahap awal dilakukan dengan *degreasing* yaitu pencucian dengan larutan alkali yang bertujuan untuk menghilangkan lemak secara kimiawi, dengan menggunakan larutan NaOH 5% pada temperatur 60°C.
2. Tahap pencucian dengan air mengalir (*rinsing*).
3. Tahap berikutnya adalah pembersihan dengan menggunakan HCl yang bertujuan untuk menghilangkan oksida atau karat yang ada pada permukaan spesimen.
4. Tahap pelapisan tembaga.
5. Tahap Pembersihan akhir adalah dengan air mengalir (*rinsing*) sampai bersih.

Tahapan proses Babbiting melalui pengecoran sentrifugal, adalah sebagai berikut :

1. Permukaan sampel yang telah dibersihkan dari sisa-sisa *stop off* (pembersihan bisa dilakukan dengan menggunakan air mengalir atau MEK), dilapis dengan flux yaitu campuran dari campuran dari 50% zinc chloride dan 50% air secara tipis dan merata.
2. Install sampel dengan alat bantu sehingga secara skematik seperti pada gambar berikut 3.

3. Pasang sampel bantalan luncur yang telah diinstall pada mesin sentrifugal *casting* kemudian lakukan *preheat* dengan temperatur sekitar 250°C 300°C (mendekati titik cair timah) pada bantalan dalam keadaan berputar dengan kecepatan putar 190 rpm.
4. Panaskan logam babbitt dalam sebuah cawan dengan volume sekitar 150 gr, lakukan penahanan temperatur yang berkisar antara 375°C 400°C.
5. Segera tuangkan logam babbitt ke dalam bantalan melalui saluran masuk.
6. Setelah logam babbitt di dalam bantalan mulai membeku (tidak mencair) lakukan pendinginan pada bantalan yang berputar dengan menggunakan air yang disemprot sampai temperatur bantalan mencapai temperatur sekitar 100°C, bongkar dari cetakan kemudian bersihkan.
7. Untuk hasil proses pelapisan lain baik yang dilapis dengan tembaga dan tanpa dilapis tembaga maupun yang dilapis dengan timah dan tanpa dilapis timah lakukan proses sentrifugal *casting* dengan langkah yang sama dengan variasi putaran mesin sentrifugal 300 rpm dan 460 rpm.



Gambar 14. Skema lokasi titik-titik pemotretan struktur mikro dan pengujian kekerasan.

3. Data dan Pembahasan

3.1 Data komposisi kimia

Tabel 2. Hasil analisa komposisi kimia logam dasar.

No.	Unsur				
	C	Mn	S max	P max	Fe
1	0.12	0.37	0.050	0.040	Sisa
2	0.12	0.37	0.050	0.040	Sisa
Rata-rata	0.12	0.37	0.050	0.040	Sisa
Standar (*)	0.08 - 0.13	0.3 - 0.6	0.050	0.040	Sisa

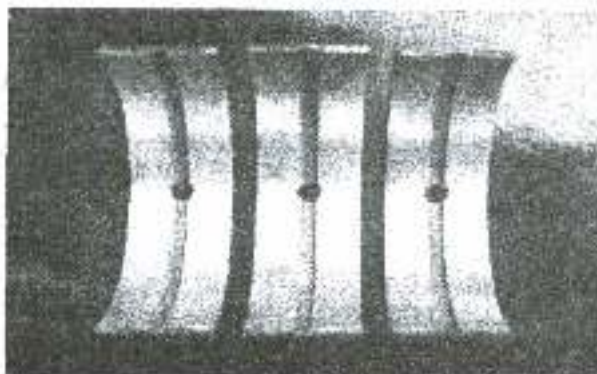
(*) AISI 1010, satuan dalam % berat

Tabel 3. Hasil analisa komposisi kimia logam babbitt dengan metode atomic emission spectrometry.

No.	Unsur				
	Cu	Sn	Sb	As	Pb
Hasil uji	1.243	20.583	15.423	0.16	Sisa
Standar (*)	1 - 2	20 min	15 min	0.15 min	Sisa

(*) ASTM B23 grade 6, satuan dalam % berat

3.2. Data Pemeriksaan Visual



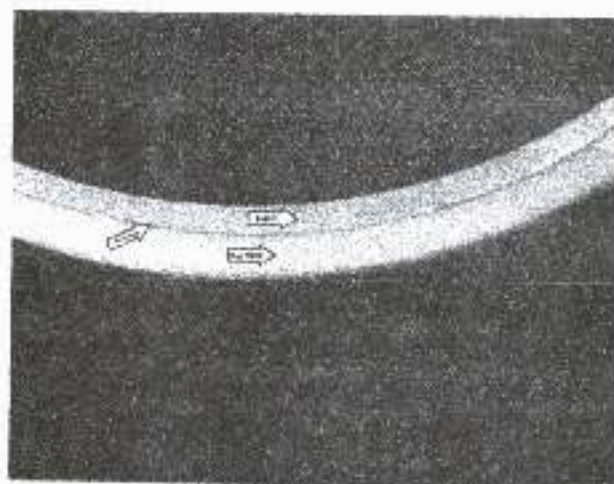
Gambar 5. Contoh foto makro penampang permukaan hasil proses pelapisan tembaga. (0,8X)



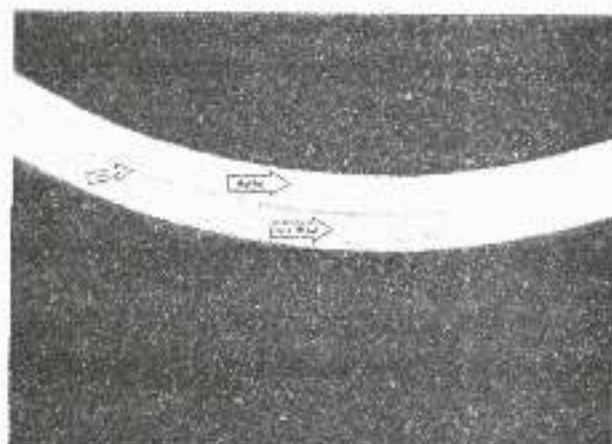
Gambar 6. Contoh foto makro penampang permukaan hasil proses pengecoran sentrifugal (babbiting). (0,8X)



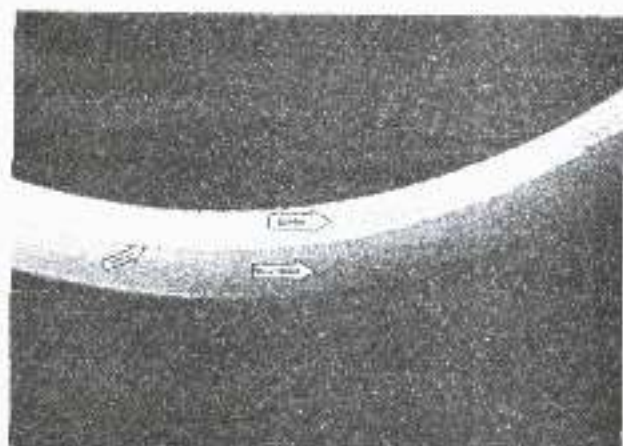
Gambar 7. Contoh foto makro penampang permukaan hasil proses finishing. (0,8X)



Gambar 10. Foto makro penampang melintang lapisan Cu-Babbitt; n : 460 rpm. (2X)



Gambar 8. Foto makro penampang melintang lapisan Cu-Babbitt; n : 190 rpm. (2X)

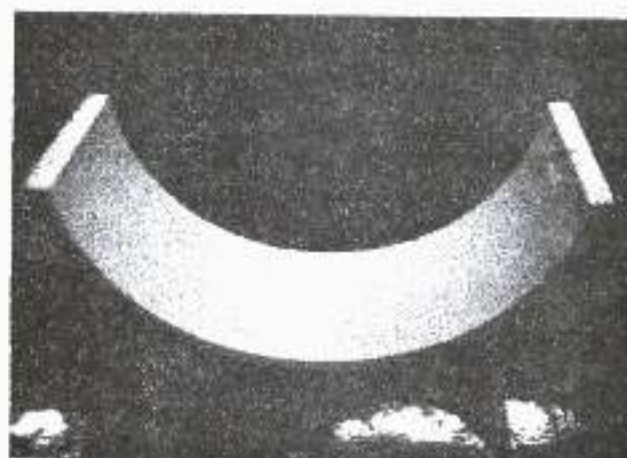


Gambar 9. Foto makro penampang melintang lapisan Cu-Babbitt; n : 300 rpm. (2X)

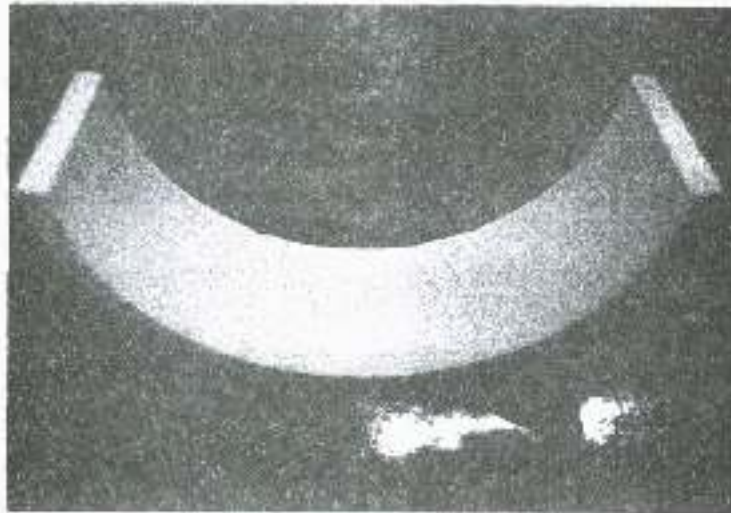
3.3 Data Pemeriksaan Dye Penetrant



Gambar 11. Foto makro permukaan dan penampang melintang lapisan Cu-Babbitt, n : 190 rpm. (0,8X)



Gambar 12. Foto makro permukaan dan penampang melintang lapisan Cu-Babbitt, n : 300 rpm. (0,8X)



Gambar 13. Foto makro permukaan dan penampang melintang lapisan Cu-Babbit, n : 460 rpm (0,8X)

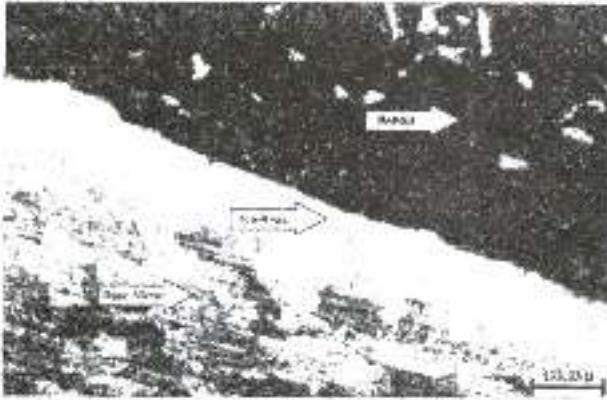
Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan pada setiap daerah lapisan.

Titik Pengujian \ Lapisan	1	2	3	Rata-rata
Logam Dasar	210.3	208.5	212.5	210.4
Tembaga (Cu)	79.0	77.9	82.1	79.7
Logam Putih (Babbit)	10.5	23.1	22.5	18.7

Tabel 5. Hasil pengujian kekerasan pada daerah lapisan babbitt

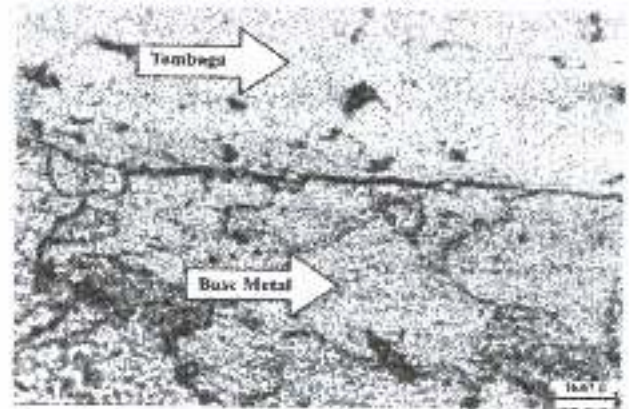
Titik Pengujian	Unsur		
	190 (rpm)	300 (rpm)	460 (rpm)
1	21.3	24.0	24.8
2	22.5	23.5	25.6
3	21.7	22.3	26.1
Rata-rata	21.8	23.3	25.5

3.5. Data Metalografi



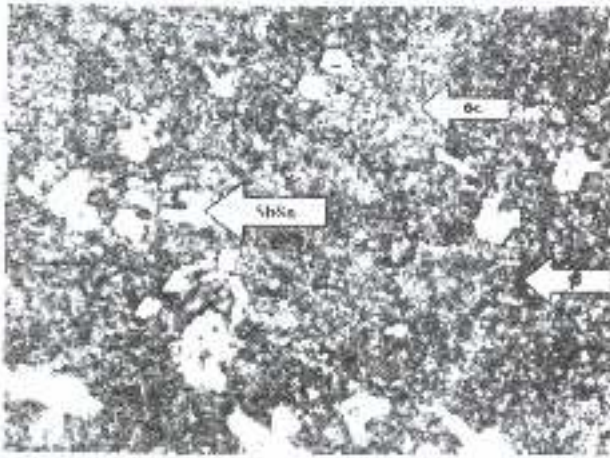
Etsa : nital 5%

Gambar 15. Struktur Mikro lapisan base metal-Cu-babbit; n : 190rpm.



Etsa : nital 5%

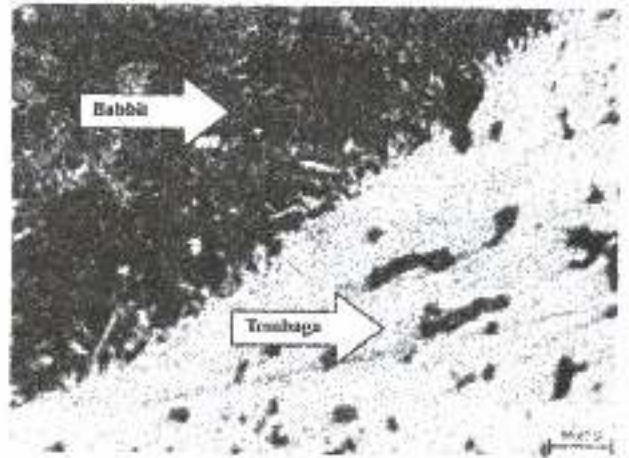
Gambar 18. Struktur Mikro base metal- lapisan Cu; n : 190 rpm



Etsa : nital 5%

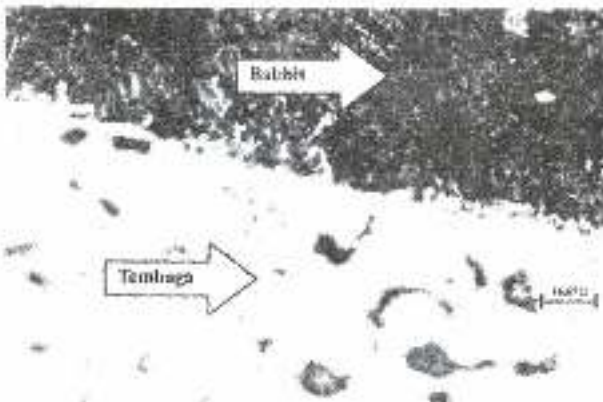
300X

Gambar 16. Struktur Mikro lapisan babbit; n : 190 rpm



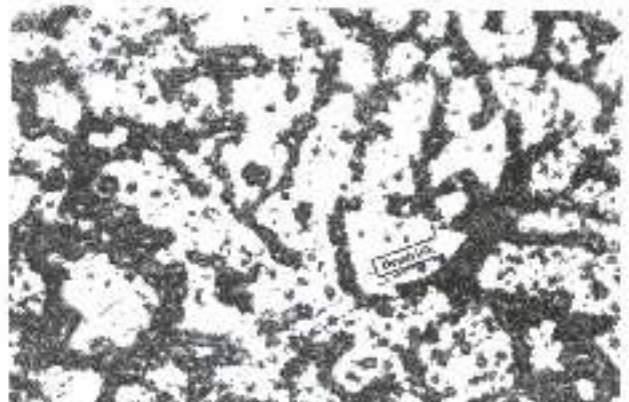
Etsa : nital 5%

Gambar 19. Struktur Mikro lapisan Cu-babbit; n : 300 rpm



Etsa : nital 5%

Gambar 17. Struktur Mikro lapisan Cu-babbit; n : 190 rpm



Etsa : nital 5%

300X

Gambar 20. Struktur Mikro lapisan babbit; n : 300 rpm

3.6. Pembahasan

Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia logam dasar (tabel 2), sesuai dengan standar AISI 1010 dan termasuk ke dalam klasifikasi baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0.12%. Dengan demikian sifat mekanik dari material logam dasar sebagai bahan bantalan luncur ini bersifat lunak dan ulet yang memiliki struktur perlit dalam matriks ferit. Selain unsur karbon yang terdapat dalam material logam dasar, juga terdapat unsur-unsur lain seperti Mn, tujuan dari penambahan unsur Mn ini adalah untuk mengikat sulfur agar terhindar dari cacat rapuh panas. Selain unsur Mn juga terdapat unsur Cr, dalam hal ini unsur Cr tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik material logam dasar karena mempunyai kandungan komposisi yang relatif sedikit yaitu sebesar 0.02%.

Hasil pemeriksaan komposisi kimia yang juga dilakukan terhadap logam babbitt (tabel 3), sesuai dengan standar ASTM grade 6 dan diklasifikasikan kedalam paduan dasar timah hitam (*lead base alloy*). Unsur-unsur yang relatif berpengaruh terhadap sifat mekanik dalam komposisi kimia logam babbitt ini seperti Sn yang mempunyai kandungan komposisi kimia yang relatif tinggi sebesar 20.853%, dan unsur Sb dengan kandungan komposisi kimia sebesar 15.423%. Fungsi dari unsur Sb ini adalah membentuk fasa kedua yaitu SbSn (menyerupai bentuk kotak atau kubus), paduan ini diklasifikasikan juga sebagai paduan terner Pb-Sn-SbSn eutektik atau disebut sebagai *pseudo-binary* eutektik.

Pemeriksaan visual, dilakukan pada bagian penampang permukaan dan melintang sampel, yang dimulai dari hasil proses pelapisan tembaga (*electroplating*), hasil pengecoran sentrifugal (*babbiting*), dan setelah *finishing*. Dari hasil pelapisan tembaga (Cu) (gambar 6) terlihat bahwa permukaan dari hasil pelapisan tembaga menunjukkan warna *orange tua*. Setelah proses pelapisan diatas maka dilakukan proses pengecoran dengan hasil proses pengecoran sentrifugal (*babbiting*) ditunjukkan pada gambar 7. Hasil dari proses pengecoran sentrifugal (*babbiting*) ini menunjukkan bahwa struktur bagian penampang permukaan dari logam paduan (*babbit*) relatif halus. Dari proses pengecoran sentrifugal kemudian (*babbiting*) dilanjutkan dengan tahap *finishing* melalui proses pemesinan (*machining*) (gambar 8) dengan hasil pengamatan pada bagian penampang

permukaan bantalan lebih mengkilat dan halus. Pemeriksaan visual hasil proses pemesinan juga dilakukan pada bagian penampang melintang dari bantalan (gambar 9 sampai gambar 11). Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa lapisan *interface* pada lapisan logam dasar dengan tembaga maupun Cu-Babbitt relatif lebih baik dan tidak terdapat pemisahan antara lapisan (*interface contamination*).

Berdasarkan hasil pemeriksaan *dye penetrant*, setelah disemprot dengan *developer* (gambar 12 sampai gambar 14), memberikan indikasi bahwa hasil proses pengecoran sentrifugal (*babbiting*) baik yang dilakukan, memiliki tampak visual pada bagian penampang permukaan yang tidak mengandung cacat porositas, atau *blow hole* (rongga yang halus dan bulat/lonjong yang mempunyai diameter lebih besar dari porositas yaitu sekitar 3 mm atau kurang).

Meningkatnya nilai kekerasan dari setiap lapisan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis material dan struktur Kristal, seperti yang terlihat pada tabel 4, yang menunjukkan bahwa kekerasan tiap lapisan berbeda-beda. Nilai kekerasan dari logam dasar yaitu sebesar 210.4 HV, logam dasar baja karbon rendah ini mempunyai struktur kristal BCC dan mempunyai titik cair 1536°C. Sedangkan nilai kekerasan dari lapisan tembaga adalah sebesar 79.7 HV dan mempunyai temperatur cair 1083°C. Pada temperatur kamar (25°C) struktur kristal logam ini adalah FCC dan dapat memiliki nilai kekerasan yang berkisar antara 50 HV-100 HV. Untuk logam timah putih, nilai kekerasannya berkisar antara 18 HV-33 HV. Logam ini relatif lunak dan ulet serta mudah dibentuk pada temperatur kamar. Struktur kristal dari logam putih ini adalah FCC dan mempunyai titik cair yang relatif rendah yaitu sebesar 231.9°C, nilai kekerasan logam ini ditunjukkan pada tabel 4, dengan nilai kekerasan 18.7 HV.

Selain pengaruh dari beberapa faktor diatas, kekerasan juga dipengaruhi oleh temperatur dan kecepatan proses pengecoran sentrifugal, kecepatan pembekuan, serta ikatan senyawa yang terbentuk. Hal ini berhubungan erat dengan kekerasan pada daerah *interface* dari lapisan tembaga dan lapisan babbitt (Tabel 5), yang menunjukkan bahwa kekerasan dari setiap lapisan yang dipengaruhi oleh proses pendinginan, dimana semakin cepat pendinginan maka struktur butir

yang dihasilkan akan semakin halus (*gambar 15, 19 dan 21*) yang diperoleh dari semakin tingginya kecepatan putar proses pengecoran sentrifugal yaitu 190 rpm, 300 rpm, dan 460 rpm. Pada proses pendinginan dari keadaan cair (*liquid*), butir akan mengalami pertumbuhan sampai ukuran relatif besar yang dipengaruhi oleh panas laten, sebagai akibat dari adanya proses pendinginan yang sedang atau cepat, maka butir-butir yang sedang mengalami pertumbuhan akan terhambat dengan adanya panas laten yang hilang. Hubungan antara besar butir dengan kekerasan diungkapkan melalui teori *Hall-Petch*, yang mengungkapkan bahwa semakin besar butir maka nilai kekuatan atau kekerasan semakin menurun. Selain faktor tersebut, nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh kerapatan butir yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal yang digunakan. Hal ini dapat dilihat pada nilai kekerasan dari lapisan babbitt pada *tabel 5*, yang menunjukkan bahwa semakin cepat putaran sentrifugal, n dalam proses *babbitting*, maka kekerasan lapisannya semakin meningkat yaitu 21.8 HV, 23.3 HV dan 25.5 HV. Hal ini juga berhubungan dengan kekerasan pada daerah *interface* yang berkaitan erat dengan fenomena pembekuan. *Interface* merupakan suatu batas daerah lapisan antara yang pada umumnya terdapat ikatan senyawa intermetalik (*intermetallic compound*) (*gambar 17, 19 dan 21*). Unsur Cu merupakan salah unsur yang paling baik dibandingkan dengan unsur lain (Sn dan Sb yang membentuk intermetalik SbSn) (*gambar 15*) karena unsur Cu jika berikatan dengan unsur Sn akan membentuk struktur kristal primer Cu_3Sn , yang dapat meningkatkan kekerasan dan sangat baik digunakan untuk aplikasi bantalan luncur. Semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh unsur Cu, Sn, atau Sb selama proses pembekuan, maka semakin banyak unsur-unsur tersebut yang berdifusi dan saling berikatan membentuk senyawa intermetalik dan dapat mengakibatkan peningkatan kekerasan. Dengan kata lain, semakin cepat proses pembekuan dari variasi putaran sentrifugal yang digunakan maka tingkat harga kekerasan yang dihasilkan pada daerah *interface* akan semakin menurun yang disebabkan oleh kurangnya waktu yang dibutuhkan bagi unsur-unsur Cu, Sn, atau Sb untuk terjadinya interdifusi dari dan ke logam paduan babbitt atau Cu.

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro, yang dilakukan pada lapisan Cu, *interface*, lapisan Babbitt, dan logam dasar, seperti yang terlihat pada

pada *gambar 15, 17 dan 18*, menunjukkan bahwa struktur logam dasar terdiri dari fasa perlit (warna hitam) dalam matriks ferit (warna putih). Pada daerah *interface* antara logam dasar dan tembaga tidak terjadi difusi unsur Cu ke logam dasar. Hal ini disebabkan karena proses pelapisan Cu pada logam dasar, dilakukan secara *electroplating* sehingga tidak adanya pemanasan atau pencairan logam dasar dan Cu. Hal sebaliknya terjadi pada lapisan Cu dan lapisan Babbitt, dimana pada *interface*-nya terjadi difusi, baik dari logam babbitt maupun dari logam Cu. Struktur mikro dari lapisan babbitt seperti yang ditunjukkan pada *gambar 16*, mengandung fasa α dalam matriks α serta unsur Sb yang sangat berpengaruh dalam proses pembentukan fasa kedua yaitu senyawa intermetalik SbSn. Struktur yang terbentuk dari logam *babbitt* ini adalah dendritik, ukuran dari struktur dendritik yang terbentuk, sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan. Semakin tinggi kecepatan putar (n) dalam proses pengecoran sentrifugal maka proses pendinginan relatif semakin cepat dan struktur dendritik yang terbentuk akan semakin halus.

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada proses *babbitting* menunjukkan bahwa pada *interface* terjadi interdifusi antara lapisan Cu dan lapisan babbitt yang membentuk senyawa intermetalik Cu_3Sn , yang dapat meningkatkan kekerasan lapisan.
2. Semakin tinggi kecepatan putar pengecoran sentrifugal (*babbitting*) maka proses pembekuan lapisan *babbitt* akan semakin cepat, sehingga waktu yang dibutuhkan bagi unsur Cu, Sn, dan Sb untuk berdifusi akan semakin singkat, dan struktur dendritik yang dihasilkan akan semakin halus.
3. Kecepatan putar yang paling optimum dalam proses *babbitting* ini adalah 190 rpm, dimana kecepatan putar ini akan mempengaruhi kekerasan *interface*.
4. Logam dasar sebagai material bantalan luncur adalah baja karbon rendah AISI 1010 dengan kandungan karbon 0.12%, sedangkan lapisan babbitt sebagai bahan pelapis adalah paduan dasar timah hitam (*lead base alloy*) ASTM B23 grade 6.

4.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses babbiting melalui proses pengecoran sentrifugal ini dengan perlakuan awal proses *hot dip tinning* terlebih dahulu dan gabungan antara *elektroplating* tembaga (Cu) dan *Hot dip Tinning* (Sn).

Daftar Pustaka

1. ASM, *Metal Hand Book*. Vol 4. 10th edition. 1991.
2. ASM, 8th Edition "*PROPERTIES AND SELECTION of METALS*", Volume 1, Sleeve Bearing Materials, USA,.
3. DOD-STD-2188, "*BABBITTING AND REBABBITTING BEARING*", USA, Department of Defense, 1985.
4. P.R. Beeley, "*FOUNDRY TECHNOLOGY*", London Butter Worths, 1972.
5. SULARSO, "*DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*", Depertemen Mesin Institut Teknologi Bandung.

* **Abrianto Akuan ST., MT.** merupakan salah satu staf pengajar di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Metalurgi

THE EXTRAORDINARY LEADER: TURNING GOOD MANAGER INTO GREAT LEADERS

Jahny Sast

Buku berjudul *The Extraordinary Leader : Turning Good Managers into Great Leaders* yang ditulis oleh John H. Zenger dan Joseph Folkman, McGraw Hill, 2003, ini mengulas kepemimpinan berdasarkan studi empirik. Analisis yang dikemukakan didasarkan pada sejumlah data bahwa semua kompetensi kepemimpinan yang penting dan berbeda dapat dikelompokkan menjadi lima kelas, yaitu (1) karakter, (2) kemampuan personal, (3) keahlian interpersonal, (4) fokus pada hasil, dan (5) memimpin perubahan organisasi.

Terdapat 20 cara pandang tentang kepemimpinan. Beberapa di antaranya adalah pemimpin itu dibentuk dan bukan dilahirkan (*ore made, not born*), kepemimpinan dapat dikembangkan melalui pengembangan diri, kualitas kepemimpinan dalam organisasi harus melebihi kualitas puncak seseorang.

Baik merupakan musuh dari unggul (*Good is the enemy of excellence*) adalah salah satu pesan yang dikemukakan oleh penulis buku ini. Pemimpin yang luar biasa haruslah memiliki komitmen yang signifikan untuk bertahan di dalam organisasi yang dipimpinya. Jika pemimpin yang baik menganggap *turnover rate* 12% itu biasa, maka seorang pemimpin yang luar biasa harus menganggapnya 4%. Usaha untuk mengubah perilaku karyawan harus dicapai dengan memastikan bahwa perilaku manajernya sejalan dan berhubungan. Semakin banyak pemimpin hebat yang dikembangkan oleh sebuah organisasi, semakin kuatlah organisasi itu.

Lima karakter tersebut harus berfungsi sebagai tiang penyangga dan kekuatan untuk mengangkat kepemimpinan ke tingkat yang lebih tinggi dan secara statistik, kompetensi itu berhubungan secara signifikan.

Di antara kelimanya, karakter merupakan titik sentral, sedangkan elemen lainnya merupakan komponen. Kemampuan personal meliputi pengetahuan teknis, pengetahuan produk, keahlian analisis dan memilih solusi masalah, keahlian profesional, inovasi, inisiatif, dan penggunaan teknologi informasi secara tepat. Fokus pada hasil

mencakup kemampuan mewujudkan gagasan menjadi aksi dan peningkatan kinerja. Keahlian interpersonal mencakup kemampuan berkomunikasi secara lugas dan lancar, inspiratif, serta siap mengajar dan membantu. Memimpin perubahan organisasi berarti mampu menjadi pemimpin perubahan. Perubahan sendiri terdiri atas dua jenis, yaitu perubahan taktikal (misalnya; proses kerja yang baru, rencana kompensasi yang baru, perubahan organisasi), dan perubahan bersifat strategik (misalnya; visi baru, mendefinisikan ulang fokus bisnis, dan strategi baru seperti program *six sigma*).

Model COP, kompetensi (*Competency*), kebutuhan organisasi (*Organizational needs*), dan kecintaan (*Passion*). Titik dari kepemimpinan berada di perpotongan antara ketiganya. Orang yang berada dititik tersebut seharusnya bisa memberikan nilai yang lebih baik, berkinerja tinggi, bekerja relatif lebih banyak daripada yang lainnya, tidak mencari pekerjaan baru, memberi motivasi kerja kepada bawahannya, mengembangkan keahlian-keahlian baru di dalam organisasi, dan *having fun*.

Mengapa kita tidak memiliki kepemimpinan yang lebih baik?, karena kepemimpinan sangatlah kompleks dan kerap kali didasarkan pada asumsi yang keliru, akibatnya memberi konsekuensi yang tidak diharapkan atau berujung pada kegagalan karena hasil dari eksekusi yang buruk.

Seorang pemimpin yang memiliki karakter kuat tapi juga memiliki sejumlah kelemahan adalah jauh lebih baik daripada seorang pemimpin yang tidak memiliki kelemahan tapi juga tidak memiliki karakter (kekuatan).

Lima kesalahan fatal yang menghancurkan kepemimpinan menurut pandangan penulis buku ini adalah ketidakmampuan belajar dari kesalahan, kurangnya keahlian dan rendahnya kemampuan interpersonal, kurang terbuka terhadap ide-ide baru, kurang akuntabel, dan miskin inovasi. Kelimanya memiliki dua persamaan, yaitu sangat jelas dan bersumber pada kurangnya keahlian sosial.

Sebagai solusinya, penulis menganjurkan dosis umpan balik (*feedback*) yang banyak dan dari berbagai arah.

Beberapa kesimpulan dari studi kasus yang ditulis dalam buku ini adalah pengembangan dimulai dari pemahaman terhadap kepemimpinan yang unik, bahwa setiap orang merupakan bagian dari tim, dan pemimpin harus mampu bekerjasama dengan lingkungan kepemimpinan yang berubah cepat. Studi kasus ini juga mengajarkan bahwa untuk mengembangkan kepemimpinan, dibutuhkan kemampuan komunikasi yang signifikan, dimulai dengan menemukan kekuatan alami (bukan kemampuan yang dibentuk dan mengada-ada), serta informasi dan pengetahuan tentang kepemimpinan.

PETUNJUK BAGI PENULIS

1. Naskah belum pernah diterbitkan dalam media cetak lain, diketik dengan spasi satu pada kertas HVS (A4) menggunakan pengolah kata Microsoft Word (MS-Word), maksimal 15 halaman.
2. Artikel yang dimuat dalam Jurnal Teknik ini meliputi tulisan hasil penelitian, gagasan konseptual, kajian dan aplikasi teori, tinjauan konseptual, dan resensi buku dalam bidang sains dan teknologi.
3. Artikel (hasil penelitian) memuat:
 - Judul
 - Nama Penulis (tanpa gelar akademik)
 - Abstrak (bahasa Indonesia/bahasa Inggris)
 - Kata-kata kunci
 - Pendahuluan (memuat latar belakang masalah dan sedikit tinjauan Pustaka, serta masalah/tujuan penelitian)
 - Metode Penelitian
 - Hasil Penelitian
 - Pembahasan
 - Kesimpulan dan Saran
 - Daftar Pustaka
 - Biodata Penulis
4. Artikel (konseptual/setara hasil penelitian) memuat:
 - Judul
 - Nama Penulis (tanpa gelar akademik)
 - Abstrak (bahasa Indonesia/bahasa Inggris)
 - Kata-kata kunci
 - Pendahuluan
 - Subjudul (sesuai dengan kebutuhan)
 - Penutup (kesimpulan dan saran)
 - Daftar Pustaka
 - Biodata Penulis
5. Artikel 2 (dua) eksemplar dan CD dikirim paling lambat 1 (satu) bulan sebelum bulan penerbitan kepada:

Redaksi Jurnal Teknik
Jl. Gatot Subroto (Samping PT. PINDAD)
Bandung
Tlp: (022)7312741
E-mail: cyu517@yahoo.com

6. Kepastian pemuatan atau penolakan naskah akan diberitahukan secara tertulis. Penulis yang artikelnya dimuat akan mendapat imbalan **Rp. 75.000,- dan 1 (satu) buah Jurnal Teknik** sebagai bukti. Artikel yang tidak dimuat tidak akan dikembalikan, kecuali atas permintaan penulis.