STUDI EKSPERIMENTAL KONDENSOR PIPA KONSENTRIK

Sartono Putro
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Kotak Pos 1 Pabelan Surakarta
email: sartono_putro@ums.ac.id

ABSTRAK

Kondensor merupakan salah satu alat utama dalam proses pembuatan minyak atsiri. Penggunaan kondensor yang masih sederhana dalam pengolahan minyak atsiri oleh para petani minyak atsiri, mendorong untuk dilakukan penelitian ini. Kegiatan meliputi perancangan dan pengujian model kondensor untuk mengetahui kapasitas kondensat, daya pompa, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan variasi Bilangan Reynold fluida dingin.

Jenis kondensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah kondensor pipa konsentrik dengan aliran fluida berlawanan arah. Fluida dingin mengalir pada sisi shell *dan fluida panas mengalir pada sisi* tube*. Bahan* shell *dari* mild steel *dengan dimensi: diameter luar 50,6 mm, diameter dalam 49,7 mm, dengan panjang 1500 mm. Adapun bahan* tube *dari tembaga dengan diameter luar 25,7 mm sedangkan diameter dalamnya 23,6 mm dengan panjang* tube *1700 mm. Adapun jumlah kondensor yang digunakan dua buah dipasang secara seri atas bawah. Data-data yang diambil adalah temperatur masuk dan keluar fluida dingin, temperatur masuk fluida panas, kapasitas kondensat dan beda tekanan masuk dan keluar fluida dingin.*

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah dengan meningkatnya bilangan Reynold, maka kapasitas kondensat, daya pompa serta koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya mengalami peningkatan. Pada bilangan Reynold 2000, 4000, 6000, 8000 dan 10000, diperoleh kapasitas kondensat sebesar 0,00148; 0,00179; 0,00204; 0,00246; 0,00262 kg/s, besarnya daya pompa 0,129; 0,256; 0,401; 0,597; 0,836 W, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya 21,090; 28,867; 30,832; 35,811; 37,793 W/m^{2}K.

Kata Kunci: *kondensor, pipa konsentrik, aliran berlawanan, bilangan Reynold, kondensat.*

PENDAHULUAN

Kondensor merupakan salah satu alat utama dalam proses pembuatan minyak atsiri. Saat ini banyak petani minyak atsiri yang melakukan proses produksinya dengan peralatan yang sangat sederhana utamanya dalam penggunaan kondensor. Laksamanahardja dkk. (2003), menjelaskan bahwa minyak atsiri banyak digunakan dalam industri obat-obatan, *flavor*, *fragrance* dan parfum. Indonesia telah mengekspor 14 jenis minyak atsiri, ini berarti terdapat peluang besar bagi petani untuk berperan dalam agro industri minyak atsiri. Selain mengekspor, Indonesia juga mengimpor beberapa jenis minyak atsiri dalam jumlah yang

besar. Pada tahun 1998, ekspor minyak atsiri tercatat 27,30 ton dengan nilai 120,26 juta dolar Amerika, sedangkan im-pornya 54,32 ton dengan nilai 200,13 juta dolar Amerika. Data ini menunjukkan bahwa peluang untuk mengembangkan agro industri minyak atsiri cukup besar karena penggunaan turunan minyak atsiri pada berbagai industri dalam negeri juga besar.

Masih menurut Laksamanahardja dkk. (2003), impor minyak atsiri Indonesia yang masih tinggi antara lain disebabkan teknologi pengolahan minyak atsiri di Indonesia belum mampu mengikuti perkembangan teknologi di negara lain yang telah maju pesat. Umumnya petani minyak atsiri masih menerapkan teknologi yang bersifat tradisional sehingga kontinuitas pengadaan dan konsistenan mutu yang tidak terjamin.

Penggunaan peralatan penyulingan yang sederhana masih diterapkan para petani minyak atsiri di daerah Musuk, Boyolali. Kondensor yang digunakan berupa kolam besar berukuran 9×3×2,5 meter yang didalamnya ditempatkan pipa berdiameter 2 inchi yang dipasang zig-zag dengan panjang mencapai 72 meter. Kondensor jenis ini tidak memenuhi kriteria *heat exchanger*, sehingga menarik untuk dilakukan rancang bangun model kondensor yang sesuai dengan teori *heat exchanger* agar dapat menghasilkan kapasitas kondensat yang tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Sukirno (2004), meneliti variasi panjang alat penukar kalor terhadap performa alat penukar kalor pipa konsentrik aliran searah dan berlawanan. Variasi panjang pipa yaitu 1m, 2m, dan 3m, untuk fluida panas menggunakan minyak oli SAE 20W-50 yang berada di luar pipa dan fluida dingin menggunakan air yang berada di dalam pipa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa semakin panjang pipa alat penukar kalor akan mengakibatkan rugi panas yang semakin besar. Rugi panas yang terjadi dengan panjang 1m untuk aliran searah lebih besar dibanding dengan aliran yang berlawanan. Hal ini karena aliran berlawanan memiliki dimensi alat penukar kalor lebih pendek dibanding dengan alat penukar kalor aliran searah.

Sedangkan Ardani (2004), telah melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur masukan oli terhadap performa alat penukar kalor tipe *shell and tube*. Variasi temperatur adalah 60 ^{o}C, 70 ^{o}C dan 80 ^{o}C, dengan jarak sekat 36 mm, debit 1500 l/jam. Hasil yang diperoleh dari penelitiannya adalah temperatur masukan yang tinggi menyebabkan nilai koefisien perpindahan panas akan semakin turun. Adapun *pressure drop* sisi *shell* terlihat bahwa semakin tinggi temperatur masukan oli maka *pressure drop* dari *shell* akan semakin turun, hal ini diakibatkan perubahan propertis dari fluida akibat temperatur terutama harga viskositas dan densitas oli. Untuk temperatur semakin tinggi harga viskositas fluida semakin turun, dan densitas oli juga semakin kecil.

Sementara itu Evanudin (2005), melakukan penelitian dengan variasi potongan sekat horisontal 20%, 40% dan 50% untuk aliran searah pada alat penukar kalor tipe *shell and tube* satu lintasan dengan jarak antar sekat konstan 36 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar pemotongan sekat, maka *pressure drop* sisi *shell* akan semakin kecil. Pemotongan sekat yang semakin besar juga menyebabkan koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin menurun. Penurunan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada sisi *shell* terjadi karena pada pemotongan sekat yang lebih besar maka aliran *by pass* yang terjadi akan semakin besar, pemotongan sekat yang semakin besar juga akan menurunkan jumlah fraksi *tube*.

Handoyo (2000), dalam penelitian tentang pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas suatu *shell and tube* dengan udara sebagai fluida kerja didapatkan hasil bahwa efektivitas naik seiring dengan kenaikan kecepatan hingga suatu harga tertentu dan kemudian akan turun. Efektivitas *shell and tube heat exchanger* lebih tinggi jika udara panas mengalir dengan kecepatan tinggi di sisi *tube* dan udara dingin mengalir dengan kecepatan rendah di sisi *shell*. Hal ini disebabkan gas memiliki kerapatan lebih rendah dibanding cairan. Demikian pula udara panas memiliki kerapatan lebih rendah dibanding udara dingin, karena kerapatan udara panas lebih

rendah maka agar koefisien perpindahan panas konveksinya tinggi sedang luasan tidak diperbesar, udara panas harus mengalir dengan kecepatan tinggi di sisi *tube*.

Landasan Teori

Sesuai hukum kesetimbangan panas, maka panas yang masuk sama dengan panas yang dilepaskan. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$q_c = q_h \quad \text{..... (1)}$$

$$\dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,o} - T_{c,i}) = \dot{m}_h \times Cp_h \times (T_{h,i} - T_{h,o})$$

q = Kalor yang dipindahkan (Watt).
C_p = Panas jenis (J/kgK)
$\dot{m}$ = Laju aliran massa (kg/s)
T = Temperatur (K).
$_{c,h}$ = Fluida dingin, fluida panas
$_{i,o}$ = Masuk, keluar

Persamaan laju perpindahan panas dengan metode LMTD (*log mean temperature diference*) sebagai berikut (Incropera, 1996):

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \text{.....(2)}$$

dengan:
q = Kalor yang dipindahkan (Watt).
U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m^2K).
A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2).
DT_{LMTD} = Beda temperatur rata-rata (K)

Beda temperatur rata-rata *parallel flow:*

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{ho} - T_{co}) - (T_{hi} - T_{ci})}{\ln(T_{ho} - T_{co})/(T_{hi} - T_{ci})} \quad \text{....(3)}$$

counter flow:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{ho} - T_{ci}) - (T_{hi} - T_{co})}{\ln(T_{ho} - T_{ci})/(T_{hi} - T_{co})} \quad \text{.....(4)}$$

Apabila temperatur fluida masuk dan keluar belum diketahui, harus dilakukan prosedur iterasi. Untuk menghindari kelamaan dalam penghitungan, digunakan metode yang lebih mudah yaitu dengan metode yang berdasarkan atas efektivitas penukar kalor. Efektivitas suatu penukar kalor didefinisikan sebagai berikut (Incropera, 1996):

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} \quad \text{.....(5)}$$

ε = Efektivitas
q_{max} = Kalor maksimum yang dipindahkan (Watt).

Fluida yang memiliki beda suhu maksimum adalah fluida yang memiliki nilai laju aliran massa minimum, hal ini disebabkan energi yang di terima fluida yang satu mesti sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang satu lagi, sehingga persamaan untuk perpindahan panas maksimum diperoleh:

$$q_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{hi} - T_{ci}) \quad \text{.....(6)}$$
$C_{\min} = C_c = C_h$, apabila: $C_c < C_h$, maka
$q_{\max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$. Apabila $C_h < C_c$
$q_{\max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$
C = *heat capacity rate*

NTU-Efektifitas dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut: (Incropera, 1996).

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{\min}} \quad \text{.....(6)}$$

NTU = Jumlah satuan perpindahan

Untuk silinder berlubang yang terkena lingkungan konveksi pada permukaan, luas bidang tergantung dari diameter dalam pipa dan tebal dinding.

Koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk bagian dalam *tube* ( ) dan bagian luar *tube* (U_o) adalah (Incropera, 1996).

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{f,o} + \frac{r_o}{k}\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_o}{r_i}\right)R_{f,i} + \left(\frac{r_o}{r_i}\right)\frac{1}{h_i}} \quad \text{..... (7)}$$

.....(8)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi fluida (W/m^{2}K).
k = Koefisien perpindahan kalor konduksi *tube* (W/m^{2}K).
r_o = Jari-jari luar *tube* (m)
r_i = Jari-jari dalam *tube* (m)
R_{fo} = faktor kotoran di luar *tube* (m^{2}K/m)
R_{fi} = faktor kotoran di dalam *tube* (m^{2}K/m)

Untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi sangat rumit karena nilai koefisien perpindahan panas konveksi dalam sebuah sistem tergantung pada geometri permukaan dan sifat-sifat termal fluida (konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas). Bilangan Nusselt (Nu) merupakan ukuran untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi dengan lebih mudah.

…….(9)

D = Diameter *tube* (m)

Nilai Bilangan Nusselt untuk aliran turbulen dalam *tube* berkembang penuh diberikan oleh Dittus dan Boelter (Incropera, 1996).

$$Nu = 0{,}023 \times \mathrm{Re}^{4/5} \times \mathrm{Pr}^{n} \text{ .....(10)}$$

Re = Bilangan Reynold
Pr = Bilangan Prandt
n = 0,3 untuk pendinginan= 0,4 untuk pemanasan

Sedangkan untuk aliran laminer di dalam *tube* dirumuskan sebagai berikut (Sieder dan Tate dalam Holman, 1997):

$$Nu = 1{,}86 \cdot (\mathrm{Re}_d \cdot \mathrm{Pr})^{1/3} \cdot \left(\frac{D}{L}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0{,}14} \text{ .....(11)}$$

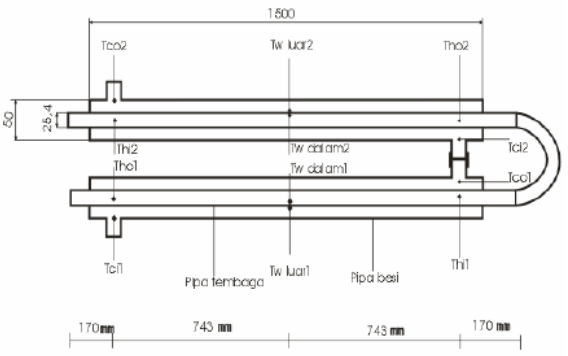
μ = Viskositas dimanik (kg/ms)
= Viskositas dimanik dinding (kg/ms)
L = Panjang *tube* (m)

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Fluida pendingin yang mengalir dalam kondensor adalah dengan air yang langsung diambil dari sumber air.
2. Fluida panas yang digunakan adalah hasil penguapan air yang dipanaskan dalam bejana.

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian merupakan model kondensor pipa konsentrik dari baja karbon untuk bagian *shel* dan tembaga untuk *tube*.

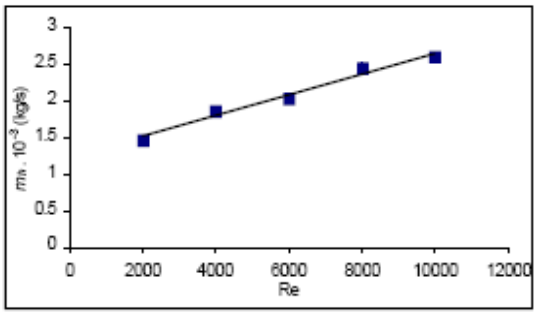


Gambar 1. Skema Alat Uji

Fluida dingin (air) dialirkan pada bagian *shell* kondensor yang mengalir dari bawah (T*ci,1*) menuju ke atas hingga sampai keluar (T*co,2*). Sedangkan fluida panasnya mengalir pada bagian *tube* dari atas (T*hi,2*) hingga keluar ke bawah (T*ho,1*).

Prosedur pengambilan data:

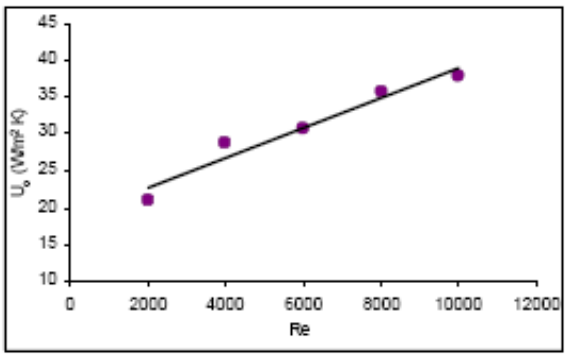
1. Menyalakan kompor hingga air dalam bejana mendidih.
2. Mengalirkan fluida dingin dengan pompa air.
3. Mengatur aliran fluida dengan melihat skala pada *flow meter*. Aliran diatur dengan memutar keran hingga sesuai dengan aliran yang diharapkan.
4. Pengambilan data dilakukan setelah adanya aliran kondensat yang konstan.
5. Pengambilan data meliputi:
   a. Temperatur air masuk (*Tci*)
   b. Temperatur air keluar (*Tco*)
   c. Temperatur uap masuk kondensor (*Thi*)



Gambar 3. Hubungan Kapasitas Kondensat dengan Bilangan Reynolds (Re) Fluida Dingin

Gambar 4 memperlihatkan kenaikan Bilangan Reynold fluida dingin meningkatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Hal ini mendukung penjelasan sebelumnya bahwa peningkatan Bilangan Reynold fluida dingin dapat meningkatkan kapsitas kondensat. Data penelitian menunjukkan besarnya koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah adalah 21,090 W/m^2K, 28,859 W/m^2K, 30,832 W/m^2K, 35, 812 W/m^2K, 37,794 W/m^2K. Hasil ini berbanding lurus dengan Bilangan Reynolds fluida dingin.

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



ensor

( )

out fluida

gan variasi

ngin 2000,

Pengukuran dan perhitungan pengaruh Bilangan Reynold fluida dingin terhadap:
1. Kapasitas kondensat
2. Koefisien perpindahan kalor total
3. Daya pompa

tian ini, kapasitas kondensat
nolds 2000 adalah 1,4806 × 10
kapsitas kondensat tertinggi
kg/s untuk Bilangan Reynolds
menunjukkan bahwa meningkatnya Bilangan Reynolds akan meningkatkan
nsat. Meningkatnya Bilangan
kibatkan kecepatan aliran fluida
pendingin yang mengalir pada kondensor semakin
fluida pendingin yang besar, maka
an yang terjadi akan semakin cepat
dalam pertukaran kalor dengan fluida dingin

Pengolan data dan penarikan kesimpulan

Pembuatan laporan

Gambar 4. Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh dengan Bilangan Reynolds (Re) Fluida Dingin

Meningkatnya Bilangan Reynold fluida dingin juga meningkatkan jumlah kalor yang dilepas ke lingkungan. Dengan tidak diisolasinya permukaan dinding luar *shell*, maka dapat mempermudah pelepasan kalor fluida dingin ke lingkungan. Kondisi ini menguntungkan untuk operasi kondensor. Hasil pengolahan data eksperimen, menunjukkan kalor yang terbuang

untuk Bilangan Reynolds dari yang kecil hingga besar berturut-turut adalah 3,396 kW, 4,206 kW, 4,565 kW, 5,457 kW, dan 5,6343 kW.

Gambar 5. Pengaruh Bilangan Reynolds (Re) Fluida Dingin Dengan Kalor yang Dilepas ke Lingkungan

Kapasitas kondensat juga dipengaruhi temperatur masuk fluida dingin. Penelitian ini menggunakan fluida dengin dengan temperatur aliran masuk tidak konstan. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur masuk fluida dingin maka kapasitas kondensat semakin menurun. Kemampuan air menyerap kalor adalah perkalian kalor jenis dan selisih temperatur sesuai laju aliran massa. Propertis air dalam hal ini kalor jenis (Cp) nilainya menurun dengan meningkatnya temperatur. Namun demikian untuk Bilangan Reynold pada aliran turbulen, pengaruh perubahan temperatur masuk fluida dingin tidak signifikan.

Gambar 6. Pengaruh Temperatur Masuk Fluida Dingin dengan Kapasitas Kondensat untuk Bilangan Reynold Fluida Dingin 2000

Gambar 7. Pengaruh Kapasitas Kondensat terhadap Daya Pompa

Kenaikan Bilangan Reynold fluida dingin yang dapat meningkatkan kapasitas kondensat, juga memiliki implikasi kenaikan daya pompa. Hal ini dapat dimengerti karena naiknya Bilangan Reynold berarti debit aliran juga naik sehingga kebutuhan daya pompa juga naik.

Gambar 8 menjelaskan hubungan Bilangan Reynold fluida dingin dengan kapasitas kondensat dan daya pompa. Kenaikan kapasitas kondensat dapat dikatakan linier, sedangkan kenaikan daya pompa mendekati fungsi kuadrat. Optimasi operasional kondensor untuk pembuatan minyak atsiri harus dihitung harga minyak atsiri dengan biaya listrik penggerak pompa.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data yang telah diuraikan sebelumnya, dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin meningkatnya bilangan Reynolds fluida dingin maka kapasitas kondensat mengalami peningkatan. Hal ini karena debit aliran fluida yang terjadi semakin besar, sehingga proses pertukaran kalor antara fluida panas dan fluida dingin lebih cepat terjadi. Dari hasil penelitian, untuk Bilangan Reynolds 2000, kapasitas kondensatnya 1,4806 10^{-3} kg/s. Sedangkan untuk bilangan Reynolds 10000, kapasitas kondensatnya $2,6168 \times 10^{-3}$ kg/s.
2. Dengan meningkatnya bilangan Reynolds maka koefisien perpindahan kalornya meningkat pula. Hal ini karena aliran yang terjadi semakin terbulen sehingga mempercepat proses pertukaran panas antara fluida

dingin dengan fluida panas. Bilangan Reynolds 2000, koefisien perpindahan kalornya 21,090 W/m^{2}K dan bilangan Reynolds 10000, koefisien perpindahan kalornya 37,794 W/m^{2}K.

3. Kapasitas kondensat yang meningkat maka daya pompanya meningkat pula, karena kenaikan daya pompa diperlukan untuk menaikkan laju aliran massa yang akan mempercepat pertukaran kalor. Kapasitas kondensat yang diperoleh 1,481.10-3 kg/s, 1,879.10-3 kg/s, 2,042.10-3 kg/s, 2,457.10-3 kg/s dan 2,617.10-3 kg/s sedangkan daya pompanya 0,129 W, 0,256 W, 0,401 W, 0,597 W, dan 0,836 W.
4. Semakin tinggi temperatur masuk fluida dingin maka kapasitas kondensat semakin menurun. Kemampuan air menyerap kalor adalah perkalian kalor jenis dan selisih temperatur sesuai laju aliran massa. Propertis air dalam hal ini kalor jenis (Cp) nilainya menurun dengan meningkatnya temperatur. Namun demikian untuk Bilangan Reynold pada aliran turbulen, pengaruh perubahan temperatur masuk fluida dingin tidak signifikan.

PERSANTUNAN

Terimakasih kepada Bapak Ir. Subroto, M.T. dan Saudara Agus Purwanto atas kerjasamanya dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ardani, M., 2004, *Kaji Eksperimental Temperatur Masukan Oli dengan Jarak Sekat Terhadap Performa Alat Penukar Kalor Tipe Selongsong dan Tabung*, Tugas Akhir no. R39/Mes/FT/04, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Evanudin, Y., 2004, *Kaji Eksperimental Alat Penukar Panas Tipe Selongsong dan Tabung Satu Lintasan dengan Variasi Potongan Sekat Horisontal Untuk Aliran Searah*, Tugas Akhir S1 Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Handoyo, A. E., 2000, *Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger*, jurnal Teknik Mesin vol. 2 no. 2 . Okt 2000 : 86-90, Universitas Kristen Petra, Surabaya. http:/puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/iptek.htm. Didownload pada: kamis, 20 maret 2008, 23.05 WIB.

Holman, J.P., 1997, *Perpindahan Kalor*, edisi keenam, Erlangga, Jakarta.

Incropera, F.P., 1996, *Foundamental Heat and Transfer*, John Wiley and Sons, Canada.

Laksamanahardja., Rusli., Sumangat., dan Hidayat., 2003, *Model Penyulingan Minyak Atsiri Skala Kelompok Tani*, Balai Besar Pengembangan Alat dan Mesin Pertanian. http://library.usu.ac.id/download/fp/tekper-sentosa.pdf. Didownload pada: minggu, 30 september 2007, 12.21 WIB.

Sukirno, 2004, *Kaji eksperimen Pengaruh Panjang Terhadap Performa Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Aliran Sejajar dan Berlawanan Arah*, Tugas Akhir no. R38/Mes/FT/04, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

PENGARUH KOMPOSISI BATUBARA TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DAUN CENGKEH SISA DESTILASI MINYAK ATSIRI

Nur Aklis
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura
email: nur_aklis@ums.ac.id

ABSTRAK

Limbah proses destilasi (penyulingan) minyak atsiri daun cengkeh yang berupa daun cengkeh kering sering dianggap sebagai limbah industri dan kurang dimanfaatkan. Penggunaan daun cengkeh kering sisa proses destilasi minyak atsiri hanya digunakan sebagai pendukung dari bahan bakar proses tersebut dengan dibakar secara langsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pembakaran daun cengkeh sisa destilasi jika padukan dengan batubara dengan beberapa variasi dalam bentuk briket.

Penelitian diawali dengan pengumpulan bahan dasar berupa daun cengkeh sisa proses destilasi, batubara lignit dan aspal sebagai perekat, daun cengkeh dan batubara kemudian dihancurkan dan selanjutnya dicampur dengan binder berupa aspal. Variasi yang digunakan adalah variasi komposisi, yaitu 100% batubara, 100% daun cengkeh, 80% batubara dan 20% daun cengkeh, 60% batubara dan 40% daun cengkeh, 40% batubara dan 60% daun cengkeh, dan semuanya menggunakan binder aspal dengan komposisi 10% dari berat total briket dan ditekan dengan tekanan sebesar 250 kg/cm^2. Pengujian karakteristik pembakaran dilaksanakan untuk mengetahui temperatur, massa sisa dan laju pembakaran yang dihasilkan oleh campuran batubara dan daun cengkeh. Pengujian ini dilakukan pada sebuah tungku pembakaran dan pengambilan data dilakukan setiap 1 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi berpengaruh pada karakteristik pembakaran. Penambahan batubara akan mempertinggi temperatur pembakaran dan memperlama waktu pembakaran.Waktu pembakaran paling lama mencapai 44 menit dan tempertur tertinggi hingga 304^{o}C yang dimiliki biobriket dengan komposisi 100% batubara.

Kata Kunci: *daun cengkeh, batubara, variasi komposisi*

PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah energi yang tidak dapat diperbarui, tetapi dalam kehidupan sehari-hari bahan bakar minyak masih menjadi pilihan utama sehingga akan mengakibatkan menipisnya cadangan minyak bumi di dalam bumi.Sementara batu-bara dan gas bumi belum dimaksimalkan pemanfaatannya untuk konsumsi dalam negeri.

Limbah industri yang selama ini sering menimbulkan permasalahan. Sebab menjadi salah satu penyebab pencemaran lingkungan. Begitu pula limbah dari pabrik-pabrik yang berbahan dasar sumber daya alam hayati. Sebagai contohnya daun cengkeh kering sisa proses destilasi minyak atsiri.

Minyak cengkeh merupakan salah satu produk unggulan Kabupaten Boyolali disamping

ternak dan hasil sapi serta kerajinan tembaga. Berdasarkan data yang didapatkan, di Kabupaten Boyolali sentra minyak cengkeh terletak di Desa Musuk Kecamatan Musuk dengan jumlah unit usaha potensial sebanyak 4 buah.

Bahan baku yang digunakan adalah daun cengkeh kering, air dan bahan bakar, semua bahan baku tersebut mudah diperoleh dengan harga relatif terjangkau. Untuk bahan bahan bakarnya menggunakan kayu bakar dan batu bara ditambah sebagian menggunakan ban bekas.

Daun kering sisa proses destilasi merupakan sisa dari proses penyulingan daun cengkeh untuk bahan baku minyak atsiri. Sisa proses yang merupakan limbah sebenarnya memiliki peluang untuk menjadi bahan bakar proses destilasi sehingga akan mendatangkan keuntungan dari aspek lingkungan dan aspek ekonomisnya.

Peluang tersebut perlu dikaji melalui penelitian yang diharapkan dapat menjawab pertanyaan tentang bagimanakah pengaruh penambahan batubara dengan beberapa variasi campuran pada karakteristik pembakaran daun cengkeh sisa destilasi dalam bentuk briket.

TINJAUAN PUSTAKA

Hariyanto (2005) meneliti karakteristik pembakaran biobriket campuran ampas aren dan batu bara.Didapatkan bahwa semakin banyak kandungan ampas aren dalam briket mengakibatkan laju pembakaran semakin cepat,ini dikarenakan kandungan volatile matter pada ampas aren yang tinggi.Disamping itu didapatkan bahwa semakin banyak kandungan batubara mengakibatkan temperatur briket akan semakin tinggi.ini dikerenakan nilai kalor batubara yang lebih tinggi dari ampas aren.

Pitono (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi briket campuran enceng gondok dan batubara terhadap karakteristik pembakaran briket dan didapatkan bahwa kompisisi biobriket 100 % enceng gondok massa sisanya yang tertinggi mencapai 0,85 gram. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi kadar abu yang terkandung pada bahan dasar briket maka akan semakin banyak sisa abu diakhir proses pembakaran dan sebaliknya.Semakin banyak kandungan batubara dalam biobriket laju penurunan massanya akan semakin lama, hal ini dikarenakan tingginya nilai *fixed carbon* yang dimiliki oleh batubara. Hal ini juga berakibat temperatur puncak akan dicapai dalam waktu yang lama dan biobriket habis dalam waktu yang lama pula.Semakin tinggi kadar karbon dan nilai kalori yang dimiliki bahan dasar briket maka semakin tinggi temperatur pembakarannya. Ini terlihat pada biobriket komposisi 70% enceng gondok dan 30% batubara, yang mampu mencapai temperatur 381 ^{0}C pada waktu pembakaran 11 menit. Sedang temperatur terendah terdapat pada biobriket dengan komposisi 100% enceng gondok dengan temperatur maksimum 353 ^{0}C yang dicapai pada waktu 8 menit.

Dasar Teori

Batubara adalah substansi heterogen yang dapat terbakar dan terbentuk dari banyak komponen yang mempunyai sifat saling berbeda. Batubara dapat didefinisi sebagai batuan sedimen yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba (*peatification*). Perubahan-perubahan (metamorfosa) yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan karena adanya tekanan, pemanasan (*coalification*) yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dan tekanan tinggi. Hal ini tejadi karena ada gerakan bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras (Herbawamurti, 2005)

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik pembakaran batubara antara lain :

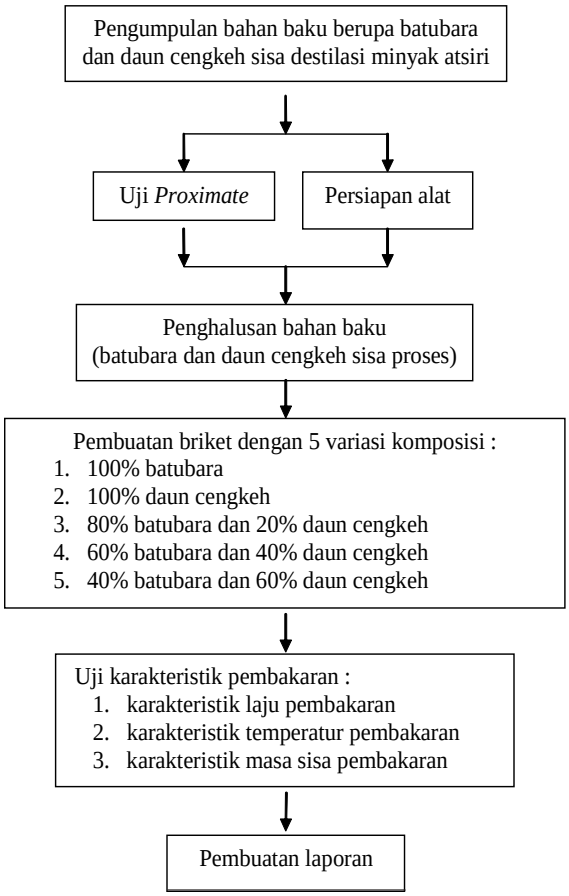
1. Kecepatan aliran udara
2. Ukuran partikel
3. Jumlah udara pembakaran
4. Temperatur udara pembakaran
5. Sifat batubara, yang terdiri dari :
   - Kadar air
   - Kadar abu
   - Zat-zat yang mudah menguap (*Volatile matter*)
   - Kadar kalori

- Temperatur penyalaan (*Ignition Temperature*)
- Ukuran Batubara

Briket batubara adalah bahan bakar padat yang terbuat dari batubara dengan sedikit campuran perekat. Briket Batubara mampu menggantikan sebagian dari kegunaan minyak tanah sepeti untuk pengolahan makanan, pengeringan, pembakaran dan pemanasan. Bahan baku utama briket batubara adalah batubara yang sumbernya berlimpah di Indonesia dan mempunyai cadangan untuk selama lebih kurang 150 tahun. Teknologi pembuatan briket tidaklah terlalu rumit dan dapat dikembangkan oleh masyarakat maupun pihak swasta dalam waktu singkat.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut,

1. Pengumpulan Bahan Baku
   Bahan baku yang digunakan adalah daun cengkeh sisa proses penyulingan dan batubara. Sebagai bahan pengikat dipilih aspal.
2. Pengujian Bahan Baku
B ahan baku yang sudah terkumpul diuji di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Pusat Studi Pangan dan Gizi Universitas Gajah Mada.
3. Pengolahan Bahan Baku
   Proses dilakukan sebagai persiaapan pembuatan briket.
4. Pembuatan Briket
   Briket dibuat dengan perbandingan komposisi 100% batubara,100% daun cengkeh, 80% batubara : 20% daun cengkeh, 60% batubara: 40% daun cengkeh, dan 40% batubara: 60% daun cengkeh. Bioriket dibuat dengan ukuran diameter 2,8 dan dengan berat 5 gram. Briket dapat dilihat pada gambar 2.
5. Uji Karakteristik Pembakaran
   Pengujian Pembakaran bertujuan untuk mengetahui karakteristik pembakaran biobriket. Pengujian ini dilakukan pada sebuah tungku pembakaran.Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit.

Gambar 2. Briket Pengujian

Alat Pengujian

Pengujian dilakukan di alat uji pembakaran yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin UMS dengan bantuan alat ukur stpwatch, termokopel reader. Skema alat uji dapat dilihat pada gambar 3

Gambar 3. Skema Alat Uji

Keterangan :

⋯⋯▶ : Aliran udara

1. Blower
2. Saluran by pass
3. Katup pengatur aliran udara
4. Tungku 1
5. Tungku 2
6. Termokopel temperatur uadara
7. Termokopel temperatur udara *pre-heater*
8. *Digital termocouple reader*
9. Termokopel temperatur briket
10. Termokopel temperatur dinding
11. *Kawat ke timbangan digital*
12. *Electronik profesional scale* (timbangan digital

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Kandungan Bahan Dasar

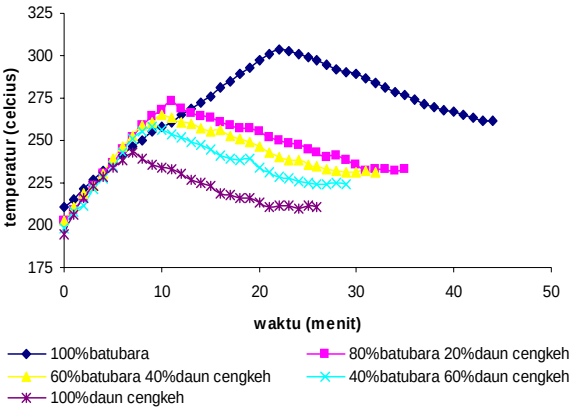
Karakteristik Bahan Baku

Tabel 1. menunjukkan kandungan bahan dasar daun cengkeh sisa destilasi. Kandungan *volatile matter* yang tinggi akan mempermudah penyalaan dan kadar kalori yang tinggi akan menyebabkan temperatur pembakaran yang tinggi.

Tabel 1. Kandungan Bahan Baku

2. Hasil pengujian Pembakaran

Karakteristik Temperatur Pembakaran



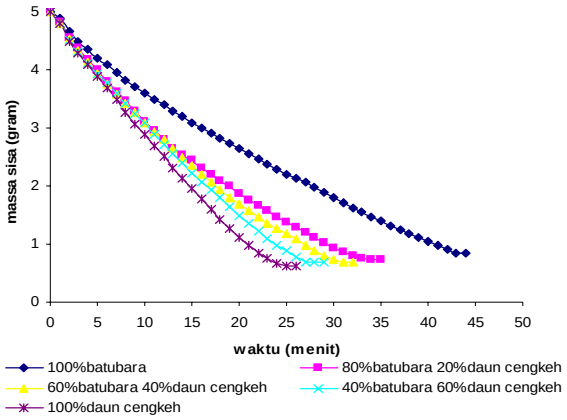
Gambar 4. Karakteristik Temperatur Pembakaran Biobriket

Gambar 4. menunjukkan hubungan antara temperatur pembakaran terhadap waktu Pada pembakaran briket dengan komposisi 100% daun cengkeh menghasilkan temperatur tertinggi pada temperatur 243 dalam waktu 7 menit, briket dengan komposisi 40% batubara dan 60% daun cengkeh menghasilkan temperatur tertinggi pada temperatur 258 dalam waktu 9 menit, briket dengan komposisi 60% batubara dan 40% daun cengkeh mampu menghasilkan temperatur tertinggi pada temperatur 265 dalam waktu 10 menit, briket dengan komposisi 80% batubara dan 20% daun cengkeh mampu menghasilkan temperatur tertinggi pada temperatur 273 dalam waktu 11menit dan temperatur tertinggi dihasilkan oleh briket dengan komposisi 100% batubara pada temperatur 304 dalam waktu 22 menit. Perbedaan pencapaian temperatur tertinggi pada tiap biobriket berbeda.

Semakin banyak batubara dalam biobriket maka akan menyebabkan semakin tingginya temperatur pembakaran yang dihasilkan. Tinggi temperatur dipengaruhi oleh kandungan kalori dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*).

Karakteristik Massa Sisa Pembakaran

Gambar 5. menunjukkan hubungan antara massa sisa dengan wakyu. Dalam gambar terse-



Gambar 5. Karakteristik Massa Sisa Pembakaran Biobriket

but terlihat bahwa briket dengan komposisi 100% batubara mempunyai massa sisa 0.85gram pada menit ke-43, briket dengan komposisi 80% batubara dan 20% daun cengkeh mempunyai massa sisa 0.74 gram pada menit ke-34, briket dengan variasi komposisi 60% batubara dan 40% daun cengkeh mempunyai massa sisa 0.7 gram pada menit ke-31, briket dengan komposisi 40% batubara dan 60% daun cengkeh mempunyai massa sisa 0.68 gram pada menit ke-28, dan briket dengan komposisi 100% daun cengkeh mempunyai massa sisa 0.62gram pada menit ke-25.

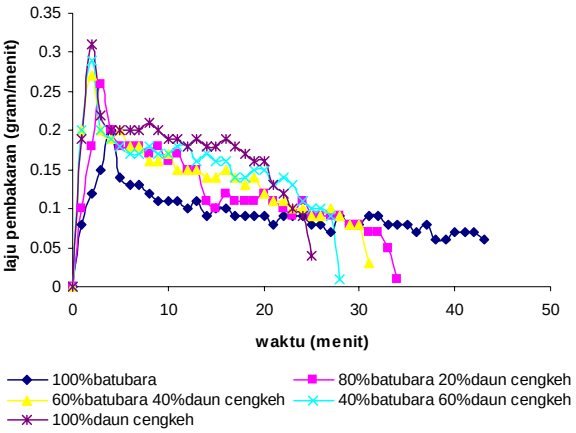
Briket pada waktu pembakaran nol menit mempunyai massa yang sama sebesar 5 gram. Pada pembakaran terlihat adanya gejala pengurangan massa yang berbeda antara komposisi satu dengan yang lain. Semakin lama waktu pembakaran maka semakin jelas adanya perbedaan pengurangan massa.

Semakin tinggi prosentase batubara dalam komposisi briket maka briket semakin banyak sisa pembakarannya atau abu yang terbentuk dan sebaliknya semakin tinggi prosentase daun cengkeh maka akan semakin sedikit abu yang terbentuk.

Karakteristik Laju Pembakaran

Setelah mengetahui dan menganalisis hubungan pengurangan massa briket terhadap waktu, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan laju pembakaran. Gambar 6 menunjukkan pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran. Dasar dari perhitungan laju pembakaran adalah data massa sisa.

Gambar 3 menunjukkan briket dengan komposisi 100% daun cengkeh mempunyai laju pembakaran tertinggi pada menit ke-2 dengan laju pembakaran 0.31gram/menit. Briket dengan komposisi 40% batubara dan daun 60% cengkeh mempunyai laju pembakaran tertinggi pada menit ke 2 dengan laju pembakaran 0.29 gram/menit, briket dengan komposisi 60% batubara dan 40%daun cengkeh mempunyai laju pembakaran tertinggi pada menit ke 2 dengan laju pembakaran 0.27 gram/menit.



Gambar 6. Karakteristik Laju Pembakaran Biobriket

Briket dengan komposisi 80% batubara dan 20% daun cengkeh mempunyai laju pembakaran tertinggi pada menit ke 3 dengan laju pembakaran 0.26gram/menit dan briket dengan komposisi 100% batubara mendapatkan laju pembakaran tertinggi pada menit ke 4 dengan laju pembakaran 0.20gram/menit.

Dari terlihat laju pembakaran yang hampir sama terjadi pada komposisi 80% batubara 20% daun cengkeh, 60% batubara 40% daun cengkeh, dan 40% batubara 60% daun cengkeh, dan ini terjadi pada menit ke-3 sampai menit ke-13, akan tetapi pada menit ke-14 pada komposisi 80% batubara 20% daun cengkeh terjadi penurunan laju pembakaran yang cukup besar, Ini terjadi karena tingkat homogenitas campuran batubara dan daun cengkeh, sehingga

pada sisi yang banyak terdapat kandungan daun cengkeh maka akan terbakar terlebih dahulu. Ini juga menjelaskan bahwa kandungan *zat volatile matter* akan sangat berpengaruh dalam kecepatan pembakaran dan mempengaruhi waktu pembakaran itu sendiri.

Waktu yang dibutuhkan briket dalam mencapai laju pembakaran tertingginya berbeda-beda. Laju pembakaran dipengaruhi oleh sifat dasar dari daun cengkeh yang mudah terbakar, semakin banyak massa yang terbakar laju pembakarannya akan semakin tinggi. Dimana nilai volatile matter yang tinggi akan mempermudah proses pembakaran biobriket.

Dengan naiknya kadar batubara dalam biobriket maka kadar *fixed karbon* akan semakin meningkat sehingga biobriket akan sulit terbakar dan memakan waktu yang cukup lama untuk proses pembakarannya.

KESIMPULAN

1. Semakin banyak komposisi batubara dalam briket akan menyebabkan semakin tinggi temperatur yang dapat dicapai dalam proses pembakaran.
2. Semakin banyak kandungan abu dalam briket maka akan menyebabkan massa sisa briket akan semakin banyak.
3. Semakin banyak kandungan *volatile matter* dalam briket maka akan menyebabkan laju pembakaran yang semakin singkat.

PERSANTUNAN

Terima kasih kami ucapkan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) Ditjen Pendidikan Tinggi Dinas Pendidikan Nasionanal yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah Dosen Muda.

DAFTAR PUSTAKA

Herbawamurti, T E., 2005. *Pemanfaatan Energi Batubara.* Badan Pengajian dan Penerapan Teknologi, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

Sukandarrumidi, 1995. *Batubara dan Gambut*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Pitono, 2007. *Analisis Karakteristik Pembakaran Campuran Biobriket Enceng Gondak dan Batubara Dengan Variasi Komposisi.* Tugas Akhir S1. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

JET PUMP SEBAGAI POMPA HAMPA

Daru Sugati
Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta
Jl. Babarsari No.1.Depok, Sleman, Yogyakarta, Telp.0274.485390
Email: daru_wates@ yahoo.com

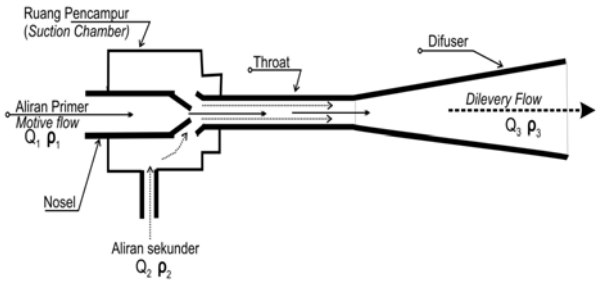
ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan karakteristik sebuah jet-Pump yang difungsikan sebagai pompa hampa atau vakum. Sebagai fluida primer atau motive fluid digunakan air dan fluida sekunder digunakan udara. Parameter yang diteliti adalah hubungan debit aliran sekunder terhadap derajat kevakuman dan efisiensi jet pump pada berbagai variasi variasi L_{th}/d_{th} bervariasi 9,7, dan 5 , S_n bervariasi 1, 1.5, dan 2 $\acute{a} = 15^0$, serta tekanan Motive fluid bervariasi 228 cm Hg, 190 cm Hg, 152 cm Hg. Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang signifikan antara debit aliran vakum terhadap derajat kevakuman. Debit aliran vakum cenderung menunjukkan penurunan terkolelasi dengan menurunya tekanan sisi sekuder. Efisiensi maksimum terjadi pada tekanan motive 228 cm Hg, $S_n=2$, dan $L_{th}/d_{th}= 9$ dan M=0,32 yaitu sebesar 13,5

Kata Kunci: *Jet pump, pompa hampa, nosel, throat.*

PENDAHULUAN

Jet Pump adalah sebuah alat yang mampu memberikan beda tekanan fluida sehingga fluida mampu mengalir tanpa menggunakan bagian yang bergerak. Keunggulan dari *jet pump* menjadikan alat ini digunakan untuk mengalirkan fluida dalam berbagai fase. Komponen utama *jet pump* terdiri dari nosel, *throat, difuser* dan ruang pencampur atau ruang induksi, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Jet Pump

Kinerja *jet pump* dipengaruhi oleh konfigurasi dari komponen utama tersebut. Untuk menyatakan unjuk kerja dari sebuah *jet pump* dinyatakan dengan parameter efisiensi. Pengujian beberapa konfigurasi *jet pump* akan memberikan karakteristik yang berbeda. *Jet pump* sebagai pompa vakum adalah *jet pump* yang difungsikan sebagai alat untuk memvakumkan (memberikan tekanan dibawah tekanan atmosfir) melalui sisi aliran sekundernya.

Penelitian tentang *jet pump* untuk aliran cair-cair sudah lama dan banyak dilakukan para peneliti. Stepanoff (1957) menjelaskan faktor yang mempengaruhi efisiensi *jet pump*. Ada beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi *jet pump* yakni: Pertama, rasio luas penampang nosel (R) dan *throat* yaitu efisiensi terbesar didapat pada R = 0.28 yang besarnya 35 %. Kedua, adalah fungsi bilangan Reynolds dalam hal ini pengaruh viskositas dimana semakin besar bilangan Reynolds maka efisiensi semakin naik.

Penelitian yang dilakukan telah memberikan gambaran bahwa efisiensi *jet pump* dipengaruhi oleh beberapa parameter. Beberapa penelitian yang telah dilakukan tidak menggunakan udara sebagai fluida pada sisi sekunder. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan menggunakan udara sebagai fluida pada sisi sekunder.

Teori *jet pump* dikembangkan dari teori Bernoulli. Tekanan statis pada saluran masuk nosel dikonversikan menjadi energi kinetik dengan membiarkan cairan mengalir secara bebas melalui sebuah nosel tipe konvergen. Aliran yang berkecepatan tinggi mengangkut fluida masuk ke daerah pencampuran sehingga menghasilkan fluida campuran pada kecepatan menengah. Sisi difuser kemudian mengkonversikan head dinamik kembali menjadi tekanan statis pada ujung *jet pump*.

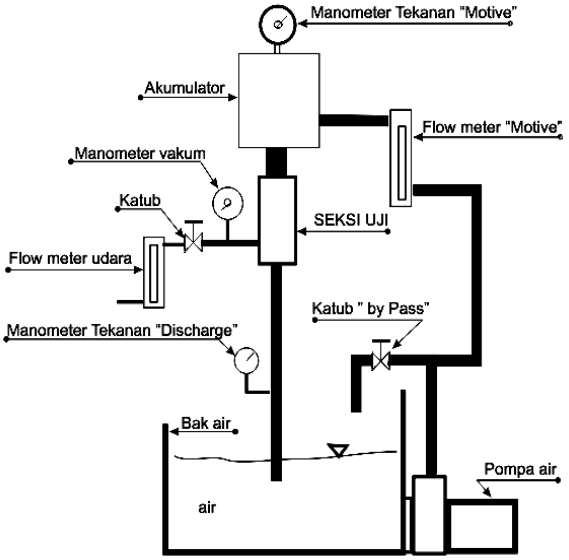
Indikator yang dipakai untuk menyatakan unjuk kerja adalah efisiensi *jet pump* terhadap beberapa besaran lain. Besaran besaran nondimensional yang dipakai pada pengujian jet pump adalah:

1. Rasio luas penampang antara nosel dan *throat*, $R = A_{no}/A_{th}$
2. Rasio kapasitas aliran sekunder dan primer, $M = Q_2/Q_1$
3. Rasio tekanan, $N = (P_d - P_s)/(P_i - P_d)$
4. Rasio kecepatan, $\bar{V} = (V_{2o}/V_{1o}) = MR(1 - R)$
5. Rasio luas penampang difuser, $a = A_{th}/A_{di}$

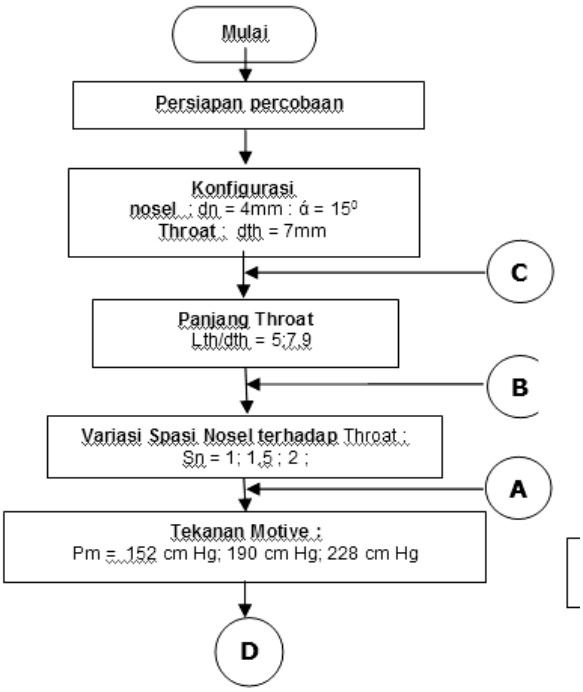
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimen, skema instalasi pengujian, tampak pada Gambar 2.

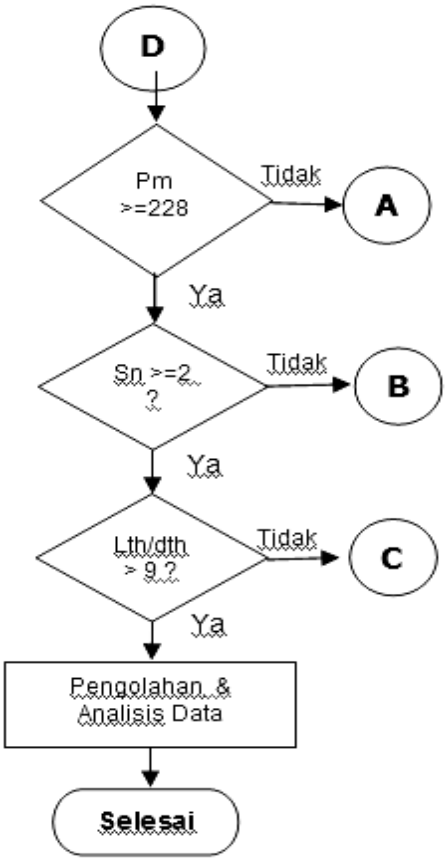
Variasi pengujian yang dipakai adalah perubahan spasi nosel (S_n), perubahan tekanan motive, rasio diameter troat terhadap panjangnya (L_{th}/d_{th}). Proses penelitian mengikuti prosedur seperti yang tersaji pada Gambar 3.a. dan Gambar 3.b.



Gambar 2. Skema Instalasi Penelitian



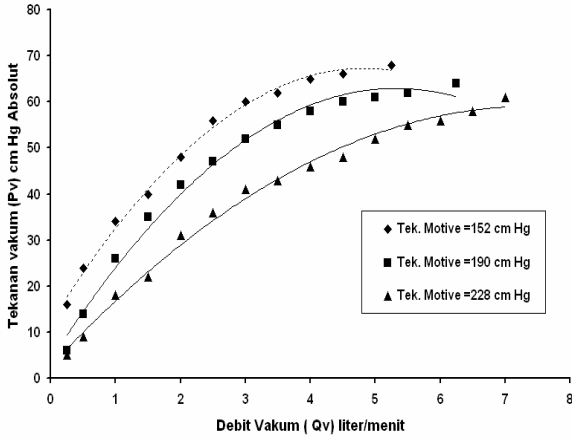
Gambar 3.a. Diagram Alir Proses Penelitian



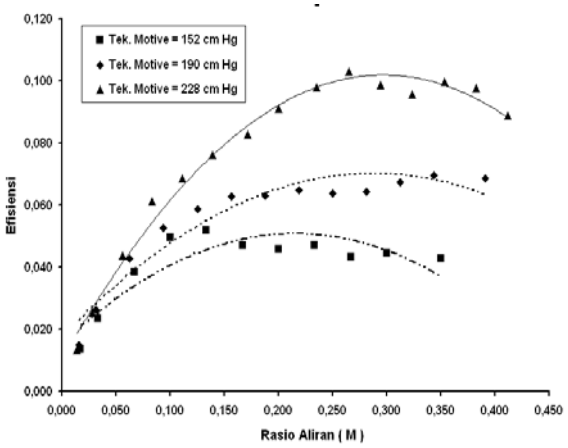
Gambar 3.b. Diagram Alir Proses Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

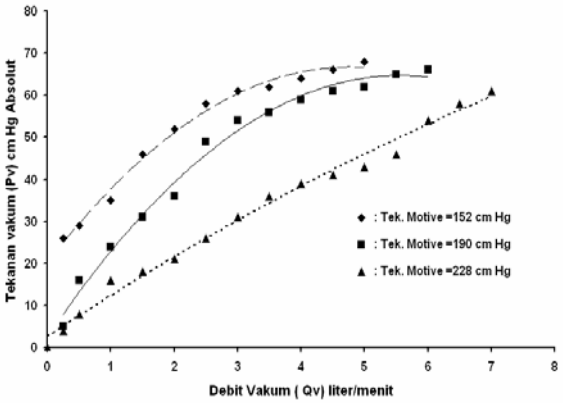
Gambar 4. hingga Gambar 19 menyajikan grafik – grafik hasil pengukuran pada ekperimen.



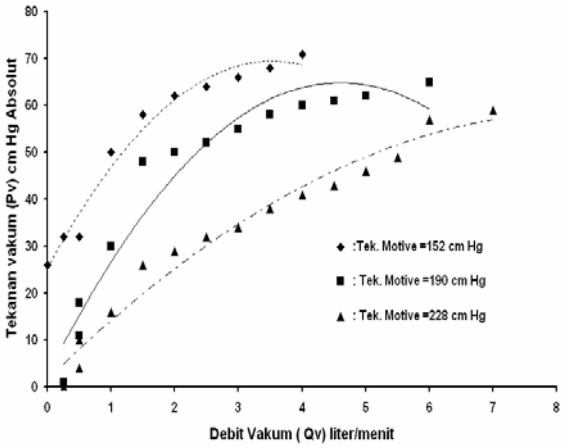
Gambar 4. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n=1, L_{th}/d_{th}= 9



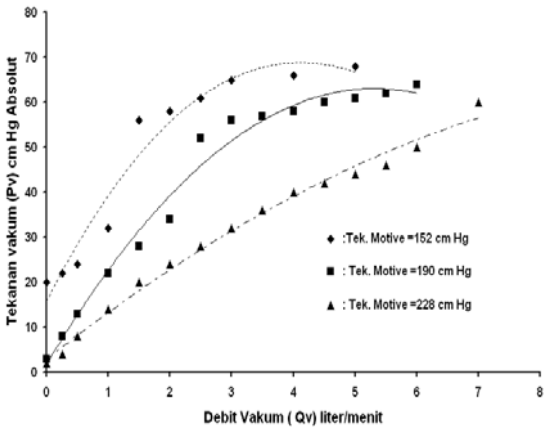
Gambar 5. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n=1, L_{th}/d_{th}= 9 dan



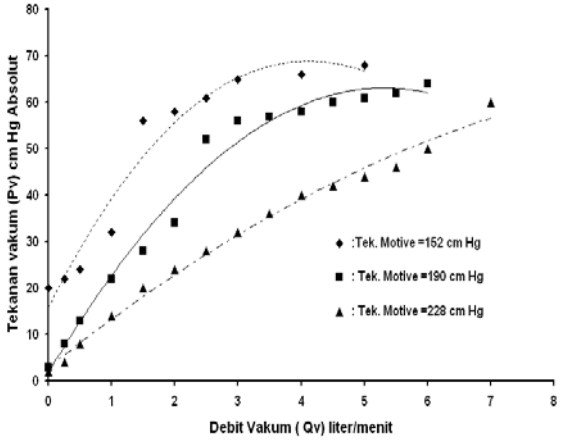
Gambar 6. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n=2, L_{th}/d_{th}=9



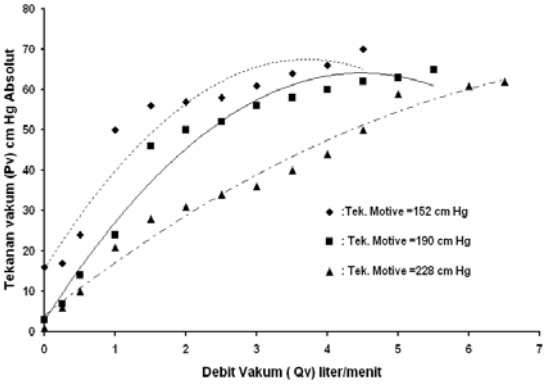
Gambar 7. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n=1, L_{th}/d_{th}= 7, dan á =15^0.



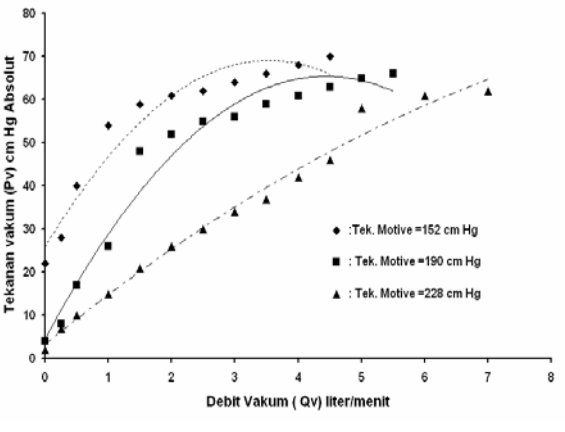
Gambar 8. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =1, L_{th}/d_{th}=7



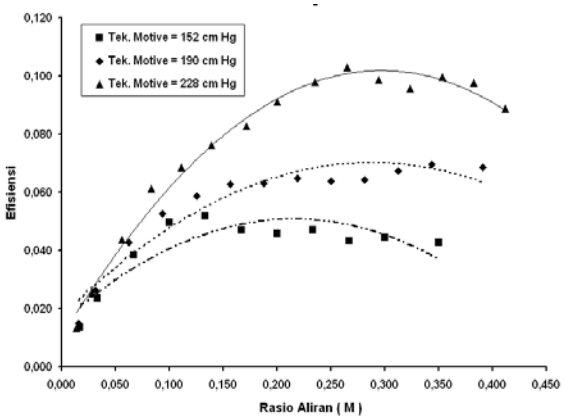
Gambar 9. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n =2, L_{th}/d_{th} = 7



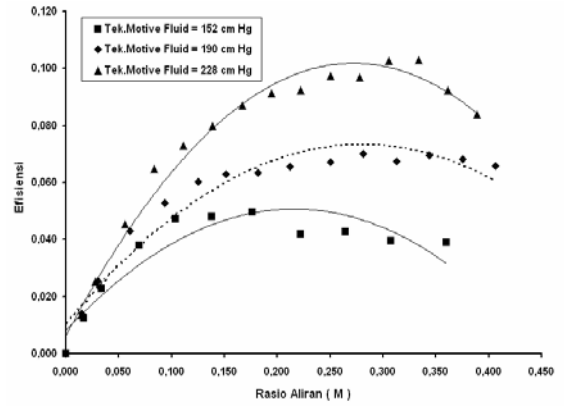
Gambar 10. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n =1, L_{th}/d_{th} = 5.



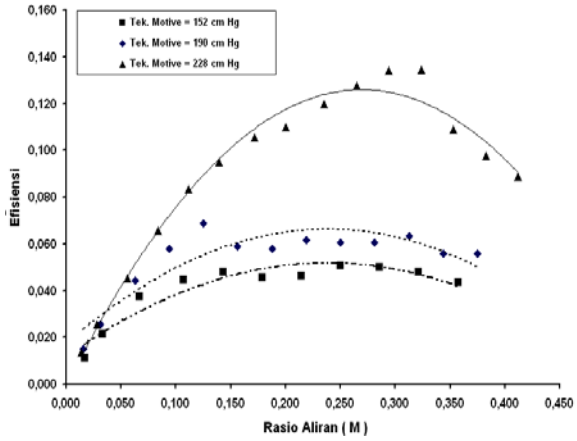
Gambar 11. Hubungan Tekanan Vacum (P_v) terhadap Debit Aliran (Q_v) pada S_n =2, L_{th}/d_{th} = 5



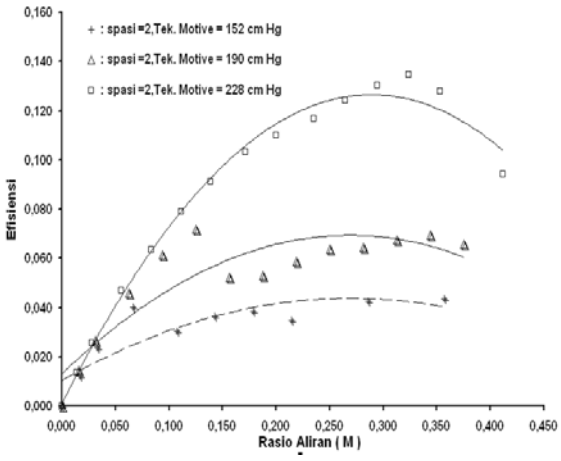
Gambar 12. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =1, L_{th}/d_{th} = 9



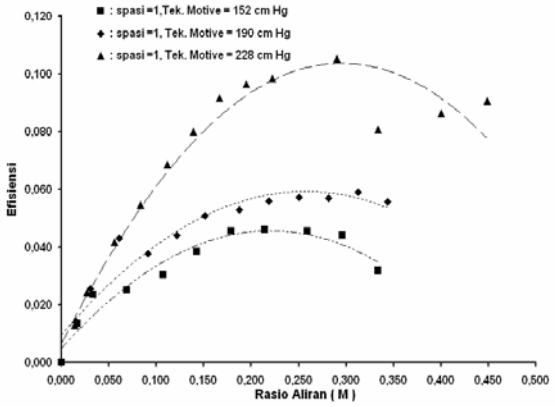
Gambar 13. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =1.5, L_{th}/d_{th} = 9



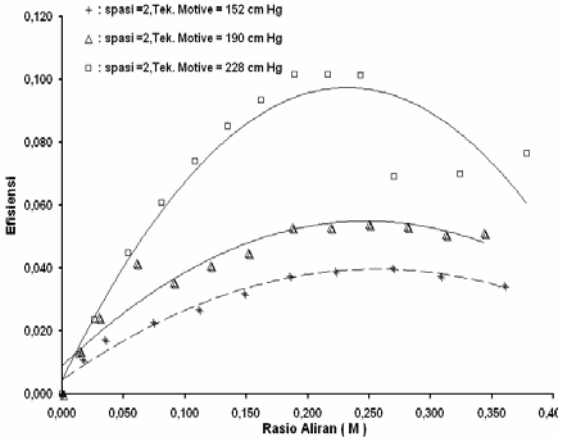
Gambar 14. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =2, L_{th}/d_{th}= 9



Gambar 15. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =2, L_{th}/d_{th}= 9

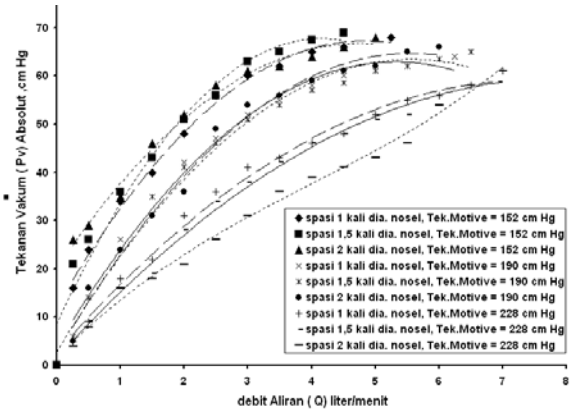


Gambar 16. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =1, L_{th}/d_{th}= 5



Gambar 17. Hubungan Efisiensi terhadap Rasio Aliran (M) pada S_n =2, L_{th}/d_{th}= 5

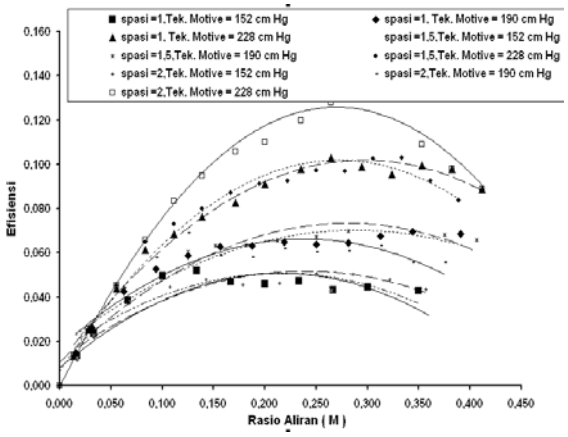
Gambar 4 hingga Gambar 10, merupakan hasil pengukuran tekanan *vakum* dan debit aliran *vakum* dengan memvariasikan spasi nosel (S_n) dan perbandingan diameter *throat* terhadap panjang *troath* (L_{th}/d_{th}.). Gambar-gambar tersebut mempunyai pola-pola dengan kecenderungan yang sama, seperti yang tampak pada Gambar 18.



Gambar 18. Pengaruh Perubahan S_n Terhadap Debit dan Tekanan

Pada Gambar 18. menunjukkan pengelompokan data, yang menunjukan bahwa perubahan spasi (S_n) berkisar antara 1 hingga 2 kali diameter nosel tidak berpengaruh secara signifikan, pengaruh signifikan terjadi jika perubahan dilakukan pada tekanan *motive*. Tekanan *motive* yang lebih tinggi cenderung meningkatkan debit aliran terhadap tekanan *vakum*

Gambar 10 hingga Gambar 17, merupakan hubungan efisiensi terhadap Rasio Aliran (M), dengan memvariasikan spasi nosel S_n dan perbandingan diameter *throat* terhadap panjang *troath* L_{th}/d_{th}. Gambar-gambar tesebut mempunyai kecenderungan yang sama, seperti yang terlihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pengaruh Perubahan S_n terhadap Efisiensi *Jet Pump*

Pada Gambar 19, menunjukkan pengelompokan data-data, dengan kecenderungan data-data mengelompok berdasarkan tekanan *motive*. Tekanan motive yang tinggi cenderung memberikan nilai efisiensi yang lebih baik pada semua tingkat rasio aliran (M). Efisiensi menurun pada seluruh variasi tekanan *motive* terhadap penurunan rasio aliran (M).

Berdasarkan data-data hasil pengukuran dan pengolahan data, efisiensi maksimum dapat disajikan pada tabel.1. dengan berbagai variasi perlakuan.

Pada tabel 1. menunjukkan bahwa efisiensi maksimum terjadi pada tekanan *motive* 228 cm Hg, pada berbagai variasi $L_{th}/d_{th.}$ Spasi nosel terhadap *throat* (S_n)**.** Perubahan panjang *throat* menunjukkan pengaruhnya terhadap efisiensi. $L_{th}/d_{th} = 9$, memberikan angka-angka efisiensi terbesar yaitu 13,5%, (S_n)=2. Kecenderungan penurunan efisiensi maksimum pada tekanan *motive* (P_m) =228 cm Hg, dan S_n=2 terhadap L_{th}/d_{th}, menunjukkan bahwa penurunan efisiensi akan terkorelasi terhadap berkurangnya

Tabel 1. Efisiensi Maksimum pada Berbagai Variasi

$\frac{L_{th}}{d_{th}}$	P_m (cm Hg)	Variabel		
		S_n	M	η
9	152	1	0,133	5,2
	190	1	0,391	*6,9*
	228	2	0,324	**13,5**
7	152	2	0,357	4,0
	190	2	0,344	*7,0*
	228	2	0,294	**13,4**
5	152	1	0,179	4,6
	190	1	0,313	*5,9*
	228	2	0,189	**10,1**

angka L_{th}/d_{th}. Ditinjau dari derajat kevakuman sisi sekunder, penurunan efisiensi ini diikuti dengan tingkat kehampaan yang meningkat berdasarkan angka pada variabel rasio aliran (M) yang cenderung menurun terhadap menurunnya angka L_{th}/d_{th}.

Efisiensi yang diperoleh dari penelitian dengan fluida sekunder berupa udara memberikan angka yang relatif rendah dan tidak lebih dari 13,5 %, jauh lebih rendah dibandingkan terhadap *jet pump* dengan fluida sekunder berupa cairan. Hal ini diakibatkan oleh sifat fisis udara yang mempunyai massa jenis yang rendah dan pada tingkat kevakuman absolut semakin rendah cenderung menurunkan efisiensi diakibatkan sifat udara yang kompresibel sehingga mempengaruhi konversi momentum yang terjadi pada ruang pencampur dan rendahnya viskositas fluida sekunder (Stefanof, 1957)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Efisiensi *jet pump* yang digunakan sebagai pompa vakum dengan variasi L_{th}/d_{th} bervariasi 9,7, dan 5 , S_n bervariasi 1, 1.5, dan 2, serta tekanan *Motive* bervariasi 228 cm Hg, 190 cm Hg, 152 cm Hg, diperoleh efisiensi maksimum terjadi pada tekanan

motive 228 cm Hg, S_n=2, dan L_{th}/d_{th}= 7 , yaitu sebesar 13,5 %.

2. Pengaruh perubahan spasi nosel hingga dua kali diameter penampang nosel tidak berpengaruh secara siknifikan terhadap efisiensi *jet pump*, pada variasi perubahan yang dilakukan.
3. Perubahan siknifikan terjadi dengan perubahan tekanan motive, meningkatnya tekanan motive hingga 228 cm Hg dari 152 cm Hg, meningkatkan efisiensi pada seluruh variasi.

DAFTAR PUSTAKA

Karassik. J.I, Krutzsch. W.C., Fraser.W.H.,1976. Pump Hand Book, p.4.1-4.25., McGrawhill-Book Company, New York.

Sanger, N.L.,1970, An Experimental Investigation of Seveal Low Area-Ratio Water Jet Pump, Journal of Basic Engineering.

Stepanoff, A.J,1957, Centrifugal and Axial Flow Pump, 2nd ed, p 402-424, John Wiley & Sons, Inc, New York.

PROSES *QUENCHING* DAN *TEMPERING* PADA *SCMnCr2* UNTUK MEMENUHI STANDAR JIS G 5111

Agung Setyo Darmawan
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura
agungsetyod@yahoo.com

ABSTRAK

Baja SCMnCr produksi PT. Baja Kurnia Klaten mempunyai harga kekerasan 210.8 H_B dan kekuatan tarik 539.21 N/mm^2. Baja produksi PT. Baja Kurnia Klaten ini belum memenuhi standar JIS G 5111 untuk Baja SCMnCr. Oleh karena itu dilakukan proses quenching yang dilanjutkan dengan proses tempering pada baja SCMnCr2 untuk memenuhi standar tersebut. Proses quenching dilakukan dengan temperatur austenitisasi 850 ^{o}C. Proses tempering dilakukan dengan temperatur penahanan 600 ^{o}C dan variasi waktu penahanan 20, 30, dan 45 menit. Sesudah dilakukan proses heat treatment, Baja SCMnCr2 diuji strukturmikro, kekerasan, dan kekuatan tariknya. Foto struktur mikro baja SCMnCr2 setelah diquenching dan kemudian ditempering memperlihatkan fasa ferit dan martensit temper. Setelah dilakukan quenching dan tempering, harga kekerasan untuk waktu penahanan 20, 30, dan 45 menit adalah 298.6 H_B, 285 H_B, dan 254.7 H_B dan harga kekuatan tarik untuk waktu penahanan 20, 30, dan 45 menit adalah 931.73 N/mm^2, 846.54 N/mm^2, dan 878.18 N/mm^2. Harga kekerasan dan kekuatan ini sudah memenuhi standar JIS G 5111. Kenaikan harga kekerasan dari sebelum ke sesudah proses heat treatment disebabkan oleh terbentuknya fasa martensit temper. Sementara, penurunan kekerasan akibat waktu penahanan tempering yang semakin lama disebabkan oleh membesar dan semakin banyaknya fasa ferit.

Kata Kunci: *SCMnCr2, quenching, tempering, JIS G 5111*

PENDAHULUAN

Baja banyak digunakan dalam bidang teknik. Salah satu keuntungan pemakaian baja adalah karena sifat mekaniknya yang mempunyai rentang cukup lebar yang dapat disesuaikan dengan kegunaannya. Pemakaian baja dalam kehidupan masyarakat dan dunia industri mensyaratkan faktor sifat mekanik tertentu yang sesuai dengan standar. JIS *(Japanese Industrial Standard)* adalah salah satu dari beberapa macam standarisasi di dunia. JIS sendiri dikeluarkan oleh negara Jepang sebagai salah satu acuan dalam dunia teknik. Standarisasi ini digunakan agar produk baja dapat digunakan secara aman.

Sifat mekanik, sebagai contoh, kekuatan tarik dipengaruhi oleh ukuran butir. Perlakuan Panas (*Heat treatment*) dapat digunakan untuk mengatur ukuran butir dan meningkatkan sifat mekanik material [Anderson, 2003].). Definisi perlakuan panas adalah pengubahan struktur-

mikro, dengan memberikan pemanasan dan mengatur laju pendinginan sehingga diperoleh strukturmikro yang diinginkan. Yang tidak berubah pada proses perlakuan panas ini adalah komposisi bahan. Sedang definisi strukturmikro sendiri adalah konfigurasi distribusi fasa untuk suatu komposisi tertentu.

Contoh proses perlakuan panas adalah full anealling, normalizing, quenching dan tempering. Pada full anealling dan normalizing baja karbon, semakin cepat laju pendinginan, semakin kecil butir yang terjadi [Callister Jr., 2007]. Sementara quenching akan mengakibatkan terbentuknya fasa martensit yang kuat, keras, dan getas, yang akan dapat ditingkatkan ketangguhannya dengan proses *tempering*.

Full anneal adalah pemanasan baja ke temperatur 30^{o}C diatas garis A_3 atau A_1 (tergantung pada kandungan karbon), ditahan pada temperatur tersebut untuk mendapatkan fasa austenit yang homogen, kemudian didinginkan secara lambat pada tungku. Hasil unluk baja hypoeutectoid adalah perubahan fasa dari austenit ke perlit lamellar kasar (butir besar) vang lunak, bebas tegangan, dan ferit yang halus. Kata pelunakan *(annealing)* saja jika digunakan pada paduan besi (Fe) menunjukkan proses *full anneal*. Jika digunakan pada paduan non besi kata pelunakan *(annealing)* menyatakan perlakuan panas yang dirancang untuk melunakkan struktur hasil pengerjaan dingin dengan rekristalisasi dan atau kemudian pertumbuhan butir.

Karena memerlukan waktu yang lama dan mahal, dalam beberapa kasus *full anneal* diganti dengan ***normalizing.*** Pada *normalizing*, pendinginan dilakukan di udara (laju pendinginan lebib cepat dibandingkan ditungku) dan menghasilkan struktur perlit yang halus. Baja di *normalizing* untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih besar dibanding jika dengan *full anneal*.

Menurut Widyatmadji (2001), perlakuan panas *normalizing* memberikan perubahan terhadap struktur mikro dan kekuatan baja. Makin tinggi temperatur austenisasi dan makin lama waktu tahan, kekuatan baja makin menurun, namun ketangguhannya akan meningkat.

Tempering pada baja dilakukan dengan memanaskannya pada temperatur sedikit 723^{o}C. Perlakuan panas ini umumnya dilakukan setelah proses celup cepat (***quenching***). Tujuan dari *tempering* adalah untuk mendapatkan baja yang lebih tangguh (tough) dan juga liat (ductile) tanpa banyak mengurangi kekuatan (strength).

Ketahanan aus besi cor liat feritik berdasarkan penelitian Sahin (2008) berkurang setelah mengalami proses tempering pada temperatur 500^{o}C dengan waktu penahanan 1 dan 5 jam.

Mulyanti (1996) meneliti pengaruh perlakuan panas pada paduan baja mangan austenit dimana kekerasan akan turun dan harga impak akan naik jika dilakukan proses temper, disebutkan juga bahwa dengan naiknya temperatur austenitisasi, maka kekerasan akan turun dan harga impak akan naik.

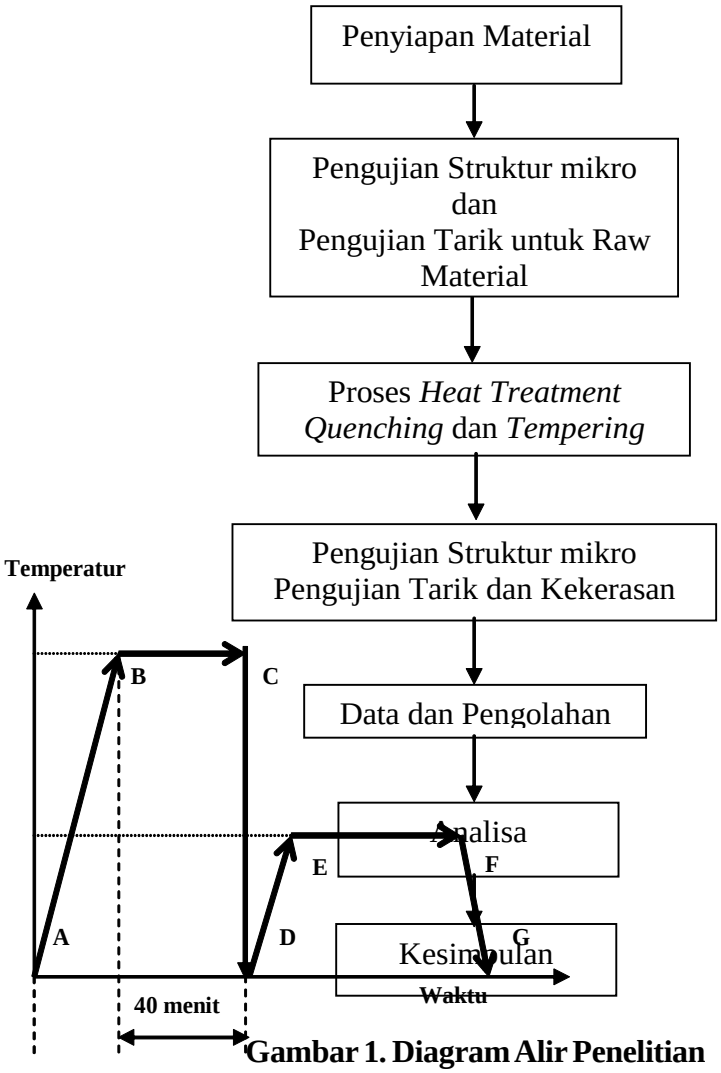
Glownia (2008) melakukan penelitian pengaruh pemaduan mikro terhadap keoptimalan proses tempering. Keoptimalan proses tempering dapat dinaikkan dengan presipitasi karbonnitrida.

Usaha untuk memenuhi standar JIS G 5111 pada baja cor SCMnCr2 produksi PT. Baja Kurnia Klaten telah dilakukan oleh Darmawan dkk. (2008). Pengujian kekuatan pada raw material baja ini memperlihatkan hasil di bawah standar yaitu kekuatan tariknya 539.21 N/mm^2. Oleh karena itu dilakukan proses normalizing dan tempering pada baja SCMnCr2 untuk memenuhi standar tersebut. Sesudah dilakukan proses heat treatment Baja SCMnCr2 diuji strukturmikro dan kekuatan tariknya. Foto struktur mikro baja SCMnCr2 setelah dinormalizing dan kemudian ditempering memperlihatkan butir yang lebih kecil dibanding raw materialnya.. Setelah dilakukan normalizing dan tempering harga kekuatan naik menjadi 685.51 N/mm2 dan akan menurun menjadi 664.21N/mm^2 ketika waktu penahanan tempering diperlama menjadi 45 menit. Hal ini disebabkan karena meningkatnya ukuran butir ferit dan perlit.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan sesuai diagram alir penelitian seperti terlihat pada gambar 1. Material yang akan diuji adalah *Low Alloy Steel Casting*, *SCMnCr2* produksi PT. BAJA KURNIA Ceper Klaten. Pembuatan *specimen* uji tarik mengikuti standar JIS Z 2201.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan *Heat Treatment*

Heat Treatment yang terdiri dari dua proses yaitu *quenching* dan *tempering* dilaksanakan sesuai gambar 2, dengan temperatur pemanasan 850ÚC untuk temperatur Austenitisasi pada proses *quenching* dan 600ÚC untuk temperatur *tempering*. Adapun proses *heat treatment* yang dilakukan pada potongan material sebelum dibentuk benda uji (*specimen*) adalah sebagai berikut :

1. Spesimen dimasukkan ke dalam tungku pemanas (*furnace*), kemudian tungku pemanas di set pada temperatur 850^{o}C, setelah temperatur tungku pemanas mencapai 850^{o}C, spesimen ditahan selama 40 menit dalam suhu tersebut.
2. Setelah tertahan selama 40 menit dalam temperatur 850^{o}C, *specimen* dikeluarkan dari tungku pemanas dan didinginkan dengan dicelup ke air hingga mencapai suhu kamar (proses *quenching*).
3. Kemudian dilanjutkan dengan proses *tempering* yakni dengan langkah awal mengeset tungku pemanas pada temperatur 600^{o}C lalu ditahan dengan variasi waktu 20 menit (*specimen* A), 30 menit (*specimen* B), dan 45 menit (*specimen* C).

Gambar 2. Diagram proses *Normalizing* diikuti *Tempering*

Keterangan gambar 2 adalah sebagai berikut:

Garis AB = Proses pemanasan hingga mencapai temperatur 850Ú C.

Garis BC = Proses penahanan pada temperatur 850Ú C selama 40 menit.

Garis CD = Proses *quenching* (pendinginan dengan dicelup ke air sampai temperatur kamar).

Garis DE = Proses pemanasan hingga temperatur 600Ú C.

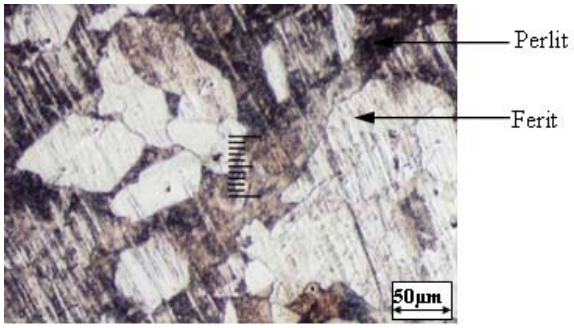
Garis EF = Proses penahanan pada temperatur (a) selama 20 menit untuk *specimen* A (b) selama 30 menit untuk *specimen* B (c) selama 45 menit untuk *specimen* C.

Garis FG = Proses pendinginan dengan udara sampai temperatur kamar di udara terbuka.

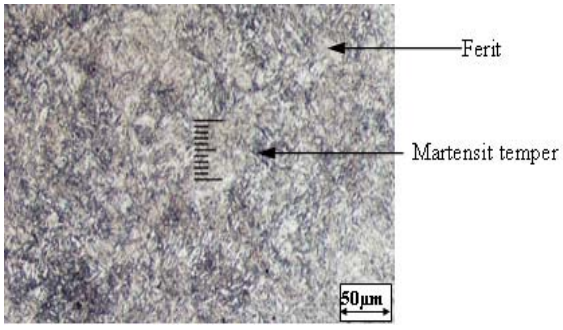
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Analisa Data Hasil Pengujian Struktur Mikro.

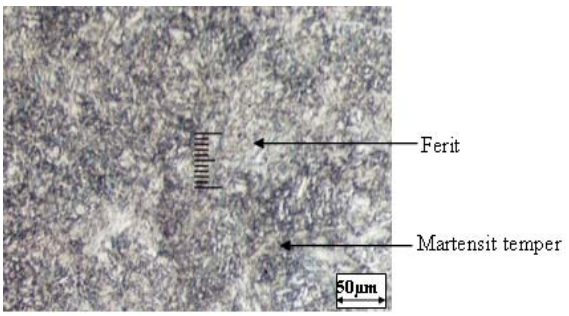
Struktur mikro ini dilihat dengan *Olympus Metallurgical Microscopes* dengan pembesaran 200 kali, dari pemotretan dengan kamera didapatkan gambar 3, 4 ,5 dan 6.



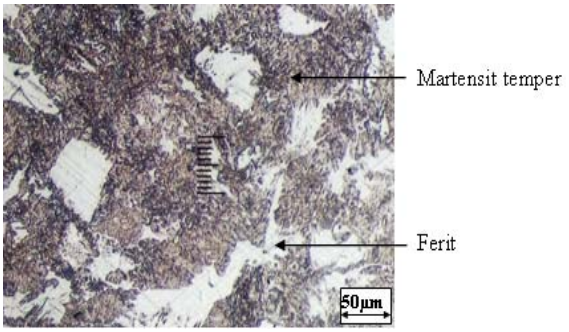
Gambar 3. Struktur Mikro dari *Raw Material*



Gambar 4. Struktur Mikro dari *Specimen* A



Gambar 5. Struktur Mikro dari *Specimen* B



Gambar 6. Struktur Mikro dari *Specimen* C

Raw material mempunyai struktur mikro yang terdiri dari fasa ferit dan perlit (gambar 3). Fasa ini akan bertransformasi menjadi ferit dan martensit temper setelah mengalami proses quenching dan tempering, dimana jika waktu penahanan tempering lebih panjang, maka butir yang terjadi akan lebih besar (Gambar 4 – 6).

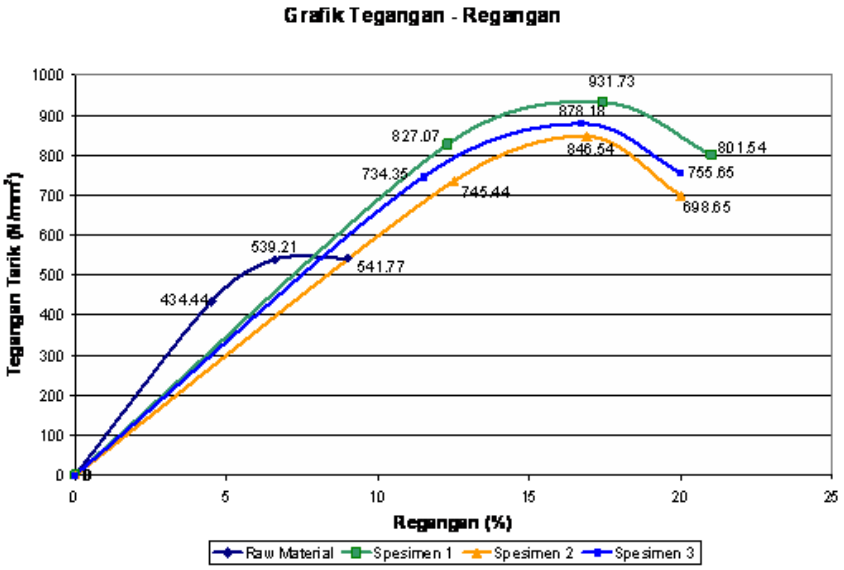
Hasil dan Analisa Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik untuk baja *SCMnCr2* berdasarkan standar JIS G 5111 adalah minimum 590 kgf/mm^2. Diagram alir tegangan-regangan teknik hasil pengujian tarik di perlihatkan pada gambar 7. Tabel 1 memperlihatkan data kekuatan tarik dan kekuatan luluh. Gambar 8 memperlihatkan perbandingan kekuatan tarik maksimum dari *ScMnCr2* sebelum dan sesudah proses treatment.

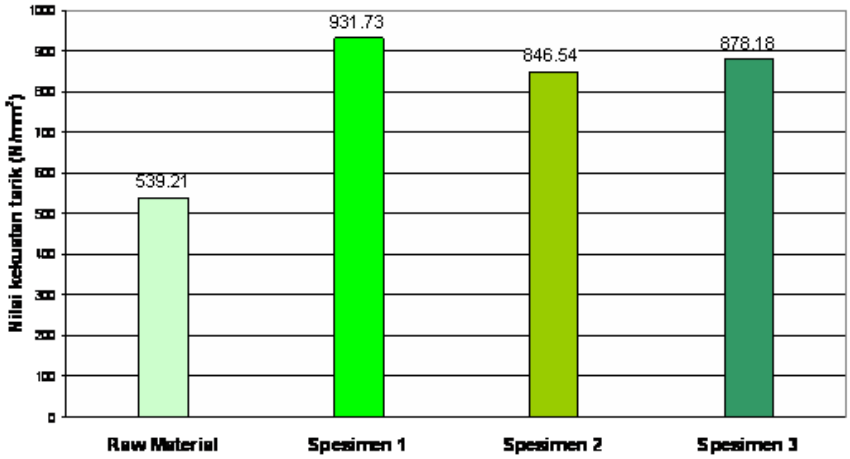
Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik Bahan ScMnCr2 Sebelum dan Sesudah Proses Treatmen.

Spesimen	Kekuatan Luluh (N/mm^2)	Kekuatan Tarik (N/mm^2)
RM	434.44	539.21
A	827.07	931.73
B	734.35	846.54
C	745.44	878.18

Keterangan:
RM : Raw Material
A : Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi 850°C Quenching + Temper 600°C 20 menit
B : Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi 850°C Quenching + Temper 600°C 30 menit
C : Spesimen Treatment Temperatur Austenitisasi 850°C Quenching + Temper 600°C 45 menit



Gambar 7. Diagram Alir Tegangan-Regangan Teknik Hasil Pengujian Tarik



Gambar 8. Perbandingan Kekuatan Tarik Sebelum dan Sesudah Proses Heat Treatment

Kekuatan tarik bahan setelah di heat treatment mengalami peningkatan, semakin lama waktu penahanan, kekuatan akan cenderung menurun karena butir membesar. Proses ini masih memperlihatkan bahwa proses heat treatment yang digunakan berhasil mengubah harga kekuatan sehingga memenuhi standar JIS G 5111.

Hasil dan Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan

Standar JIS G 5111 mensyaratkan kekerasan minimum baja *SCMnCr2* adalah 183 BHN. Hasil pengujian kekerasan diperlihatkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Grafik Kekerasan Rata-Rata (BHN)

Kekerasan setelah proses heat treatmen memperlihatkan kenaikan. Meskipun demikian, jika waktu penahanan diperpanjang kekerasan akan turun, karena butir membesar. Kekerasan hasil proses heat treatment ini memenuhi standar JIS G 5111.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kekuatan tarik dan kekerasan, proses quenching yang diikuti proses tempering dengan waktu penahanan sampai 45 menit berhasil memenuhi standar JIS G 5111.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan Dwi Setiawan Piyarto terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, J.C., 2003, *Material Science for Engineers*, Nelson Thornes, Cheltenham.

Callister, Jr., William D., 2007, *Materials Science and Enginering; An Introduction*, John Wiley & Sons, New York

Darmawan, A.S., Masyrukan, Ariyandi, R., 2007, *Proses Quenching Dan Tempering Pada SCMnCr2 Untuk Memenuhi Standar JIS G 5111*, Media Mesin ISSN 1411-4348, Teknik Mesin UMS, Surakarta.

G³ownia, J., Kalandyk, J. B., 2008, *Effect of Precipitation strengthening in low alloyed Mn-Ni cast steel*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 207, Issues 1-3, Pages 147-153.

Mulyanti, 1996, *Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Paduan Baja Mangan Austenit*, UI Jakarta.

Sahin, Y., Erdogan, M., Cerah, M., 2008, *Effect of martensite volume fraction and tempering time on abrasive wear of ferritic ductile iron with dual matrix*, Wear, Volume 265, Issues 1-2, Pages 196-202.

Widyatmadji, 2001, *Pengaruh Perlakuan Panas Normalisasi Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja 1K3816AT Untuk Aplikasi Casing & Tubing Spesifikasi API 5CT K55*, UI, Jakarta.

REKAYASA BAHAN KOMPOSIT HYBRID SANDWICH BERPENGUAT SERAT KENAF DAN SERAT GELAS DENGAN CORE KAYU PINUS

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

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh ketebalan core melintang dan core membujur terhadap peningkatan kekuatan Impak komposit hibrid sandwich kombinasi serat kenaf dan serat gelas bermatrix Polyester dengan core kayu pinus. Mekanisme perpatahan diamati dengan photo makro.

Bahan utama penelitian adalah serat kenaf anyam dan serat E-Glass anyam, resin unsaturated polyester 157 BQTN, kayu pinus. Hardener yang digunakan adalah MEKPO dengan konsentrasi 1%. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan (press mold). Komposit hibrid sandwich tersusun terdiri dari dua skin (lamina komposit hibrid) dengan core ditengahnya. Lamina komposit hibrid sebagai skin terdiri dari beberapa lamina serat gelas anyam dan lamina serat kenaf anyam. Fraksi volume serat komposit hibrid sebagai skin adalah 30%. Core yang digunakan adalah kayu pinus yang dipotong pada arah melintang dan arah membujur. Core yang digunakan ada 4 macam variasi ketebalan yaitu 5, 10, 15 dan 20 mm. Spesimen dan prosedur pengujian impak charpy mengacu pada standart ASTM D 5942. Penampang patahan dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola kegagalannya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan core melintang menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan komposit hibrid sandwich. Seiring dengan peningkatan ketebalan core membujur juga menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan pula. Namun, energi serap dan kekuatan impak pada core membujur meningkat secara signifikan dibandingkan dengan core melintang . Mekanisme patahan diawali oleh kegagalan komposit skin bagian tarik, core gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan skin sisi tekan. Pada bagian daerah batas core dan komposit skin menunjukkan adanya kegagalan delaminasi.

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

PENDAHULUAN

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

dapat diperbaharui. Berbagai jenis tanaman serat tumbuh subur di Indonesia, seperti kenaf (*hibiscus canabinus*). Produksi serat kenaf dunia menduduki posisi mencapai 970.000 ton/tahun (Eichorn, 2001). Di Indonesia, serat kenaf tersebut biasanya hanya dipakai sebagai bahan karung goni sehingga nilai ekonominya rendah.

Ketersediaan kayu pinus (*Pinus Merkusii*) sangat berlimpah, namun nilai jualnya sangat murah (Siswamartana, 2002). Sifat ringan kayu ini selaras dengan filosofi rekayasa bahan komposit, yaitu menghasilkan disain ringan. Keberhasilan aplikasi kayu ini sebagai material *core* pada rekayasa bahan komposit diharapkan dapat menggantikan penggunaan bahan *core* sintetis impor dari luar negeri, seperti *core polyurethane foam* (*PUF*) dan *core Divynil cell* (*PVC*) (diabgroup).

Hal lain yang ironis adalah masuknya *core* kayu balsa yang diimpor dari Australia (diabgroup). Padahal, Indonesia sebagai negara tropis menghasilkan aneka kayu hasil hutan termasuk kayu balsa di Indonesia Timur dan kayu pinus di Pulau Jawa. Inovasi teknologi dengan memanfaatkan bahan alam merupakan langkah bijak menuju kemandirian bangsa yang bertumpu sumber daya alam lokal. Salah satu solusi kreatif terhadap banyaknya material impor yang masuk di Indonesia adalah memberdayakan material alam lokal yang bertumpu pada budaya riset yang berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penggunaan serat kenaf dan kayu pinus sebagai bahan komposit *sandwich* merupakan solusi kreatif untuk mendukung perkembangan teknologi komposit yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh ketebalan *core* melintang dan *core* membujur terhadap peningkatan kekuatan bending komposit *sandwich* kombinasi serat kenaf dan serat gelas (hibrid) bermatrik *Polyester* dengan *core* kayu pinus dan mengidentifikasi Pola kegagalannnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Yanuar, (2002), melakukan pengujian kekuatan bending dan impak pada komposit *GFRP* 3 *layer*. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa komposit *GFRP* 3 *layer* dengan menggunakan serat *E-Glass choped strand mats* 300 gr/m^2 mempunyai kekuatan bending 18 % lebih besar dari pada dengan menggunakan serat *E-Glass choped strand mats* 450 gr/m^2. Komposit *GFRP* 3 *layer* dengan menggunakan serat *E-Glass choped strand mats* 450 gr/m^2 mempunyai kekuatan impak 46 % lebih besar dari pada dengan menggunakan serat *E-Glass choped strand mats* 300 gr/m^2. Pada pengujian bending, komposit tersebut mengalami kegagalan pada bagian bawah spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik material komposit *GFRP* lebih besar dibandingkan kekuatan tekannya.

Wahyanto dan Diharjo (2004) mensubstitusi penggunaan *core PUF* dan *PVC* dengan kayu sengon laut (KSL) yang dipotong melintang dan dikenai perlakuan *borac* 5%, untuk mengeluarkan glukosa / sari pati kayu agar tahan terhadap serangan hama bubuk dan jamur. Warna kayu berubah dari putih kemerahan menjadi kuning kecoklatan. Pada kadar air rata-rata 5,77 %, berat jenis kayu adalah 0,3 gr/cm^3. Dengan dimensi yang hampir sama, komposit *sandwich GFRP* dengan *core* KSL memiliki kekuatan bending 108.87 MPa atau 25.23% di atas kekuatan bending komposit *GFRP sandwich* dengan *core PVC H* 200. Namun, kekuatan impak komposit *sandwich* inti *PVC H* 200 lebih tinggi karena *core PVC* bersifat lebih lentur sehingga lebih tahan terhadap beban impak. Usaha menggeser penggunaan serat gelas dengan serat alam, maka Febriyanto dan Diharjo (2004) meneliti kinerja bending dan impak komposit hibrid *sandwich* serat kenaf dan gelas dengan inti KSL. Kinerja bending komposit ini (100.44 MPa) lebih rendah 7.74% di bawah kekuatan komposit sandwich *GFRP* inti KSL (108.87 MPa). Namun, ketahanan impak komposit hibrid *sandwich* tersebut lebih tinggi dibanding komposit *GFRP sandwich* inti KSL, yaitu 0.0628 J/mm^2 dan 0.058 J/mm^2. Salah satu faktor pendukung meningkatnya ketahanan impak ini adalah sifat alam serat kenaf yang lebih lentur/elastis. Pada panel komposit *sandwich*, penggunaan *core* KSL potongan membujur

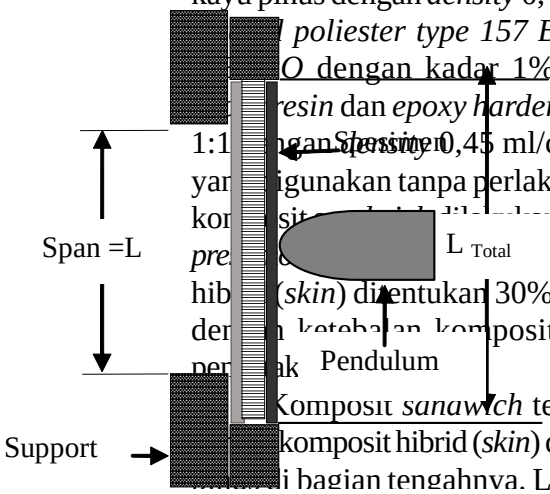
mampu meningkatkan kekuatan bending yang sangat tinggi, namun kekuatan impaknya hampir sama dengan potongan melintang. Kelemahan penggunaan *core* kayu potongan membujur adalah geometri panel dapat berubah (*ngulet*).

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

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

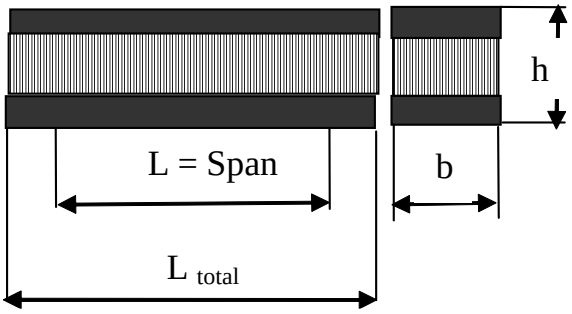
METODE PENELITIAN

Bahan utama penelitian adalah serat *E-glass* anyam dengan *density* 2,42 gr/cm^3, serat kenaf anyam dengan *density* 1,45 gr/cm^3, *core* kayu pinus dengan *density* 0,45 gr/cm^3., *unsa-* *poliester type 157 BQTN, hardener* *O* dengan kadar 1%, dan *adhesive* *resin* dan *epoxy hardener* dengan rasio 1:1 dengan *density* 0,45 ml/cm^2. Serat kenaf yan igunakan tanpa perlakuan. Pembuatan kom sit dengan metode *pre* amina komposit hib (*skin*) ditentukan 30%, yang dikontrol den ketebalan komposit sandwich saat per ak



Gambar 2. Pemasangan spesimen uji impak (*Flat wise Impact*)

Komposit *sanawich* tersusun dari dua komposit hibrid (*skin*) dengan core kayu i bagian tengahnya. Lamina komposit lamina serat gelas enaf anyam. Serat a perlakuan. *Core* kayu pinus dibuat dengan pemotongan pada arah melintang (tegak lurus serat kayu) dan membujur (sejajar serat kayu). Ketebalan *core* divariasi 5, 10, 15, dan 20mm. Komposit *sandwich* yang sudah dicetak dipotong-potong menjadi spesimen uji.Pengujian dilakukan dengan *flat impact method*. Spesimen dan metode pengujiannya mengacu pada standar ASTM D 5942. Penampang patahan spesimen uji dilakukan foto makro.



Gambar 1. Spesimen Uji Impak *Charpy*

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

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

$$W = GxR(\cos\beta - \cos\alpha) \qquad (1)$$

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

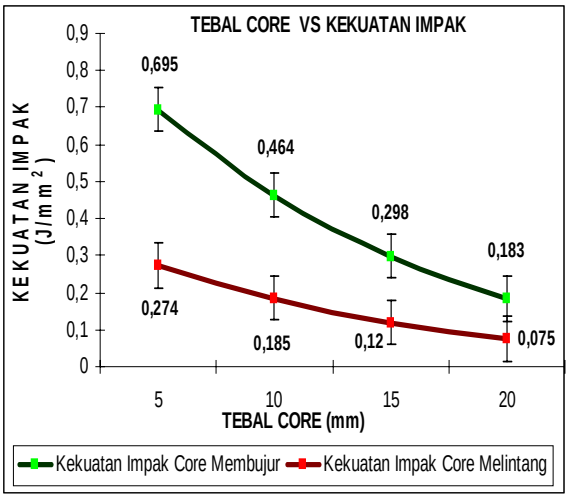
Tabel 1. Energi serap uji komposit hibrid.

Tebal Core (mm)	Energi Serap, Joule	
	Core Melintang	Core Membujur
5	65	165,6
10	56,4	141
15	46,2	114,2
20	34,2	83,4

Tabel 2. Kekuatan impak komposit hibrid.

Tebal Core mm	Kekuatan Impak, J/mm^2	
	Core Melintang	Core Membujur
5	0,274	0,695
10	0,185	0,464
15	0,12	0,298
20	0,075	0,183

Komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf anyam dan serat *E-glass* anyam menyerap energi impak lebih rendah, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pada Hal yang sama juga terjadi pada perhitungan kekuatan impak pada tabel 2.



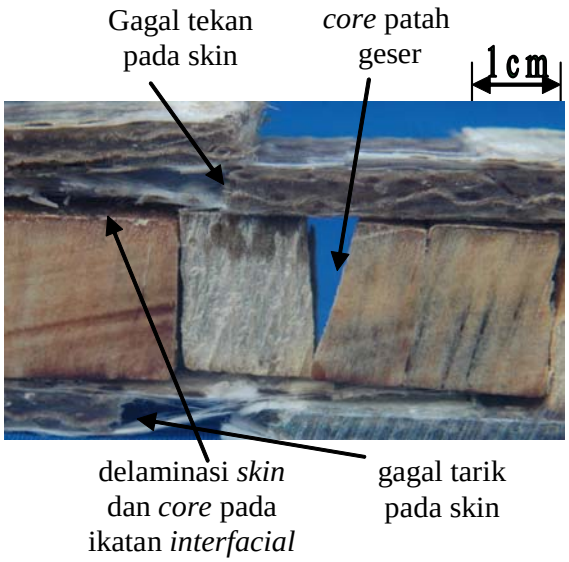
Gambar 4. Kekuatan Impak Komposit *Sandwich*.

Dari pengujian impak *Charpy*, diperoleh kemampuan energi serap komposit hibrid *sandwich core* melintang dan dengan *core* membujur seperti pada gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut, energi serap menurun seiring dengan penambahan ketebalan *core*. Dengan demikian, penambahan bagian inti struktur *sandwich* menunjukkan secara signifikan penurunan kemampuan menyerap energi impak. Sifat material yang lebih lunak (kayu pinus) dan penambahan ketebalan menyebabkan memiliki kemampuan menyerap energi yang lebih rendah.

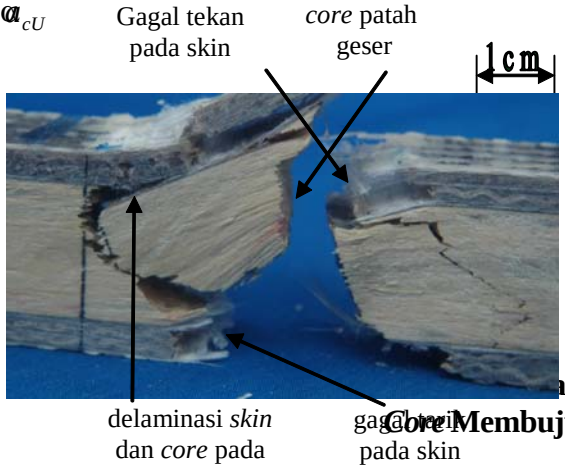
Selain itu, efek *core* melintang pada serat kenaf anyam dan serat *E-glass* anyam menurunkan energi serap hasil uji impak. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan perilaku posisi serat kayu pinus pada komposit hibrid *sandwich* menjadi lebih getas.

Bila ditinjau dari segi kekuatan impak, penebalan *core* menurunkan kekuatan impak komposit hibrid *sandwich*. Kekuatan impak komposit hibrid *sandwich* yang diperkuat serat kenaf anyam dan serat *E-glass* anyam dengan *core* membujur memiliki harga yang lebih tinggi. Dengan demikian, sifat keuletan bahan ini dapat dikatakan lebih baik.

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



Gambar 5. Permukaan Patah *Core* Melintang



...an Patah *Core* Membujur

Gambar 6. Permukaan patah *core* membujur

Kegagalan impak komposit *sandwich* ...at dalam gambar 5. ...wali dengan retakan ...enderita tegangan tarik. Kemudian, beban impak tersebut didistribusikan pada *core* sehingga menyebabkan *core* mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core*.

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

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Efek penambahan ketebalan *core* melintang menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan komposit hibrid *sandwich*. Seiring dengan peningkatan ketebalan *core* membujur juga menurunkan energi serap dan kekuatan impak secara signifikan.
2. Namun, energi serap dan kekuatan impak pada *core* membujur meningkat secara signifikan dibandingkan dengan *core* melintang.
3. Mekanisme patahan akibat beban impak diawali oleh kegagalan komposit *skin* bagian tarik, *core* gagal geser, dan diakhiri oleh kegagalan *skin* sisi tekan. Pada bagian daerah batas *core* dan komposit *skin* menunjukkan adanya kegagalan delaminasi pada ikatan *interfacial*..

NOTASI PERSAMAAN

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

DAFTAR PUSTAKA

Annual Book of Standards, Section 8, D 5942-96, "*Standard Test Methods forDetermining Charpy Impact Strength of Plastics*[1]*", ASTM*, 1996.

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

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

Eichorn, S.J., Zafeiropoulus, C.A.B.N., Ansel, L.Y.M.M.P., Entwistle, K.M., Escamilla, P.J.H.F.G.C., Groom,L, Hill, M.H.C., Rials, T.G. and Wild, P.M., 2001, *Review Current International Research into Cellulosic Fibers and Composites, Journal of Materials Science*, Vol. 36, pp. 2107-2131

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

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

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

Siswamartana,. 2002."Hutan Pinus dan Hasil Air" Cepu: Pusat Pengembangan Sumber Daya Hutan Perhutani.

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

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

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN $Al_2(SO_4)_3$ - 0,1% NaOCl TERHADAP KETAHANAN KOROSI BAJA GALVANIS PADA PIPA AIR MINUM

Sutrisna
Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Jl. Babarsari, CT Depok Sleman Yogyakarta 55281
E-mail : sutrisna_sttnas@yahoo.com

ABSTRAK

Pipa baja galvanis merupakan baja karbon rendah dengan lapisan galvanisnya mengandung unsur seng (Zn) 99,7% dan biasanya diaplikasikan sebagai pipa pada air minum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi dari pengaruh konsentrasi larutan $Al_2(SO_4)_3$ (Aluminium Sulfat) ditambah 0,1 % NaOCl (Sodium Hypoclorit) terhadap baja galvanis.

Penelitian ini menggunakan bahan pipa baja galvanis, untuk mengetahui laju korosi dari pengaruh konsentrasi larutan $Al_2(SO_4)_3$ 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml ditambah 0,1 % NaOCl digunakan teknik polarisasi dengan metode sel tiga elektroda. Pengujian lain yang dilakukan yaitu pengujian mekanis (tarik, kekerasan) dan pengujian struktur mikro.

Hasil pengujian komposisi menunjukkan pipa baja galvanis mengandung unsur karbon sebesar 0,091% sehingga tergolong dalam baja karbon rendah sedangkan lapisan galvanis mengandung unsur seng sebesar 99,691%. Struktur mikro pipa baja galvanis adalah ferit dan perlit sedangkan struktur lapisan galvanis adalah baja digalvanisasi yang unsur utamanya adalah seng (Zn). Pada uji tarik, pipa baja galvanis bersifat ulet, dari pengujian kekerasan pipa baja galvanis mempunyai sifat yang lunak sedangkan dari uji korosi, laju korosi terendah pada larutan 10 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl sebesar 1,27 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi yaitu pada larutan 40 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 NaOCl sebesar 2,58 mm/ tahun. Semakin tinggi rentang konsentrasi larutan $Al_2(SO_4)_3$ ditambah larutan NaOCl maka laju korosi yang terjadi adalah aktif.

Kata Kunci: *pipa baja galvanisl laju korosi, polarisasi, $Al_2(SO_4)_3$ - NaOCl.*

PENDAHULUAN

Korosi adalah proses rusaknya logam karena terjadinya reaksi kimia dan elektrokimia akibat kontak material dengan lingkungan. Korosi merupakan suatu peristiwa yang pasti akan terjadi dan tidak dapat dihindari tetapi dapat dikendalikan. Faktor penting dalam pengendalian korosi adalah pemilihan bahan secara tepat serta jadwal perawatan secara teratur (berkala).

Sistem proteksi dapat dilihat dari berbagai aspek antara lain: dari aspek ekonomi diusahakan untuk mengurangi kerugian-kerugian biaya perbaikan akibat rusaknya material, dari aspek keselamatan bertujuan untuk mempertinggi angka keselamatan terutama untuk alat-alat yang rawan terhadap serangan korosi seperti pesawat terbang, kapal laut dan konstruksi bangunan, dari aspek pelestarian korosi dapat memboroskan

sumber-sumber material (sumber daya alam).

Metode pencegahan korosi dapat dilakukan dengan cara melindungi permukaan logam dengan bahan pelindung seperti dengan pelapisan cat dan dapat juga dilakukan dengan pelapisan logam seng (Zn) yang sering disebut dengan *galvanisasi.*

Baja merupakan logam yang banyak digunakan dalam teknik dan meliputi 95 % dari seluruh produksi logam dunia (Amstead, 1989). Baja karbon adalah salah satu jenis dari beberapa klasifikasi baja. Baja karbon itu masih dapat dibagi lagi ke dalam beberapa jenis yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi (Wiryosumarto, 2000). Baja galvanis adalah termasuk baja karbon rendah yang dilapisi logam seng (Zn) dengan tingkat kemurnian tinggi (99,7%) ditambah sejumlah timah hitam, aluminium dalam jumlah tertentu dan diproses dengan kondisi bebas oksidasi sehingga menghasilkan baja lapis seng yang handal (Priyotomo, 2008). Baja galvanis banyak diaplikasikan untuk pembuatan pipa, konstruksi jembatan dan atap rumah.

Cepat atau lambat terjadinya korosi pada baja galvanis dipicu oleh faktor larutan pada air (H_2O) yang melewati saluran pipa tersebut. Larutan yang terkandung pada air minum itu sendiri diantaranya dapat berupa kaporit dan tawas. Tawas ($Al_2(SO_4)_3$) merupakan bahan untuk penjernihan air yang paling banyak digunakan, bahan ini selain murah dan mudah didapatkan dipasaran juga mudah penyimpanannya. Selain itu tawas juga cukup efektif untuk menurunkan kadar *flour*. Pemakaian tawas yang banyak maka pH air makin turun karena hasilnya adalah H_2SO_4 (asam sulfat). Pemakaian tawas paling efektif antara pH 5,8 - 7,4 atau 5,9 - 7 (Degremont, 1987). Kaporit (NaOCl) adalah senyawa kimia yang pada kadar tinggi bersifat korosif. Pada persentase rendah bisa digunakan sebagai penjernih air, pemutih pakaian (Rukmana, 2008).

TINJAUAN PUSTAKA

Juwita (2006) meneliti tentang ketahanan korosi baja galvanis celup panas dalam media HCl dan NaOH, pada baja karbon rendah yang telah digalvanisasi celup panas dengan metode polarisasi, laju korosi dalam media HCl lebih tinggi dari pada media NaOH.

Arshyad (2006) meneliti tentang peningkatan ketahanan korosi pelat baja karbon rendah yang digalvanisasi dengan pelat baja karbon rendah yang tidak digalvanisasi dalam media pengkorosi asam sulfat 0,05 ml, asam klorida 0,03 ml dan asam nitrat 0,01 ml. Pelat baja karbon rendah yang digalvanisasi dengan seng menggunakan teknik *RF Sputtering* variasi waktu (15, 20, 30 dan 40 menit), jarak elektroda (10, 12, 14, dan 16 mm), dan daya (170, 180, 190 dan 200 watt). Uji korosi menggunakan metode teknik polarisasi dengan alat *Potensiostat* PGS 201 T. Hasil penelitian menunjukkan pelat baja karbon rendah yang tidak digalvanisasi sangat cepat terjadi korosi sedangkan pelat baja karbon rendah yang digalvanisasi pada variasi waktu diperoleh waktu optimum 30 menit dengan peningkatan ketahanan korosi sebesar 2,5 kali dari pada pelat baja yang tidak digalvanisasi. Kondisi ini terjadi pada daya tetap 200 watt dan jarak tetap 14 mm. Pada variasi jarak elektroda diperoleh jarak yang paling baik pada 16 mm dengan peningkatan ketahanan korosi pelat baja sebanyak 4,5 kali, kondisi ini terjadi pada daya tetap 200 watt dan waktu tetap 30 menit. Pada variasi daya diperoleh daya optimum 200 watt pada kondisi waktu tetap 30 menit dan jarak tetap 14 mm dengan peningkatan ketahanan korosi sebanyak 2,5 kali. Secara keseluruhan pelat baja karbon rendah yang digalvanisasi dengan proses *RF Sputtering* mampu meningkatkan ketahanan korosi dari pada pelat baja yang tidak digalvanisasi.

Baja

Baja merupakan paduan dari besi (Fe) dan karbon (C) serta sejumlah unsur seperti: Mn, Si, S, P dan N. Baja paduan, di samping mengandung unsur-unsur seperti yang terdapat dalam baja karbon, juga mengandung unsur-unsur lain yaitu Ni, Cr, Mo, Mn, Si, V, Co, Cu dan Pb. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik yaitu dalam bentuk pelat, batang dan lembaran pipa, baja dapat dibentuk melalui pengecoran dan penempaan sedangkan

karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja (Amstead, 1989). Baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon ini mengandung karbon <0,30 %. Baja karbon sedang, baja karbon ini mengandung karbon 0,30 %-0,70 %. Baja karbon tinggi, baja karbon ini mengandung karbon 0,70%-1,40% (Amstead,1989).

Baja Galvanis

Baja galvanis adalah baja lapis seng (Zn) yang mengandung bahan seng dengan tingkat kemurnian tinggi (99,7%) ditambah dengan sejumlah timah hitam dan aluminium dalam jumlah tertentu diproses dengan kondisi bebas oksidasi sehingga menghasilkan baja lapis seng dengan kualitas yang handal (Priyotomo, 2008).

Lapisan galvanis dibentuk oleh reaksi antara baja dengan seng pada temperatur galvanis, metalurgi baja dan kondisi permukaan akan mempengaruhi ketebalan hasil galvanis. Baja galvanis memiliki sifat yang dapat memperbaiki goresan kecil, baja terekspos ke udara luar akan ditutup kembali oleh seng. Hal ini terjadi karena seng di sekitarnya akan terserap dan mengendap pada baja tersebut mengganti apa yang sebelumnya hilang karena goresan (Gusriandra, 2008).

Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, 1991). Korosi juga didefinisikan sebagai proses degradasi material (perusakan dan penurunan kualitas) akibat interaksi dengan lingkungan melalui reaksi kimia dan proses elektrokimia. Definisi lain, ko-rosi adalah proses kebalikan dari ekstraksi meta-llurgi (Fontana, 1978). Proses korosi yang biasa disebut dengan karat dapat juga dipandang sebagai proses pembusukan suatu bahan dan proses perubahan sifat suatu bahan akibat pengaruh reaksi dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991)

Polarisasi

Logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya biasa disebut polarisasi (Trethewey,1991), simbol yang digunakan untuk polarisasi adalah μ. Potensial elektroda akan berubah selama berlangsungnya proses korosi, potensial anoda cenderung naik dan potensial katoda cenderung turun, dengan demikian perbedaan antara anoda dan katoda menjadi lebih kecil. Potensial yang terukur dari suatu logam yang terkorosi adalah potensial gabungan dari anoda dan katoda yang terpolarisasi, disebut potensial korosi (E_{corr}). Besarnya arus pada potensial korosi disebut arus korosi (I_{corr}). Menurut hukum *Faraday* laju korosi dari suatu anoda adalah sebanding dengan arus korosi. Laju korosi biasanya dinyatakan dengan laju pengurangan berat luas dan laju penipisan, satuan yang biasa digunakan adalah mpy (*mils per year*). Hubungan antara rapat arus dengan laju korosi dapat dihitung dengan rumus: (Fontana, 1978)

$$R = 0{,}129 \frac{I_{corr}\,(Ew)}{\rho} \quad \text{.....[1]}$$

Keterangan :

R = laju korosi (mpy)

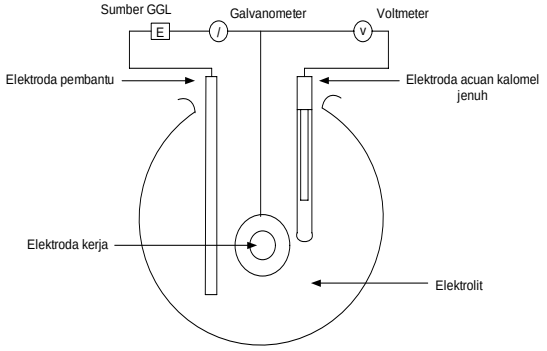
I corr = rapat arus korosi (μA/cm^2)

Ew = berat ekivalen (gram/ekivalen)

ρ = berat jenis (gram/cm^3)

Ew = ...[2]

Metode Sel Tiga Elektroda



Gambar 1. Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan yang merupakan kesempurnaan dari sel korosi basah (Trethewey, 1991), sel tiga elektroda itu antara lain :

a. Elektoda kerja (*working electrode*)

Elektroda kerja (*working electrode*) adalah istilah yang dipakai untuk menggantikan elektroda yang sedang diteliti. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan cara memasang sebuah spesimen kecil dalam resin pendingin tetapi spesimen harus mempunyai hubungan listrik yang dapat disiapkan sebelum pemasangan.

b. Elektroda pembantu (*counter electrode*)

Elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian tetapi elektroda pembantu tidak dapat digunakan untuk pengukuran potensial. Bahan dari elektroda pembantu ini biasanya menggunakan batang karbon, selain batang karbon bisa juga menggunakan platina dan emas.

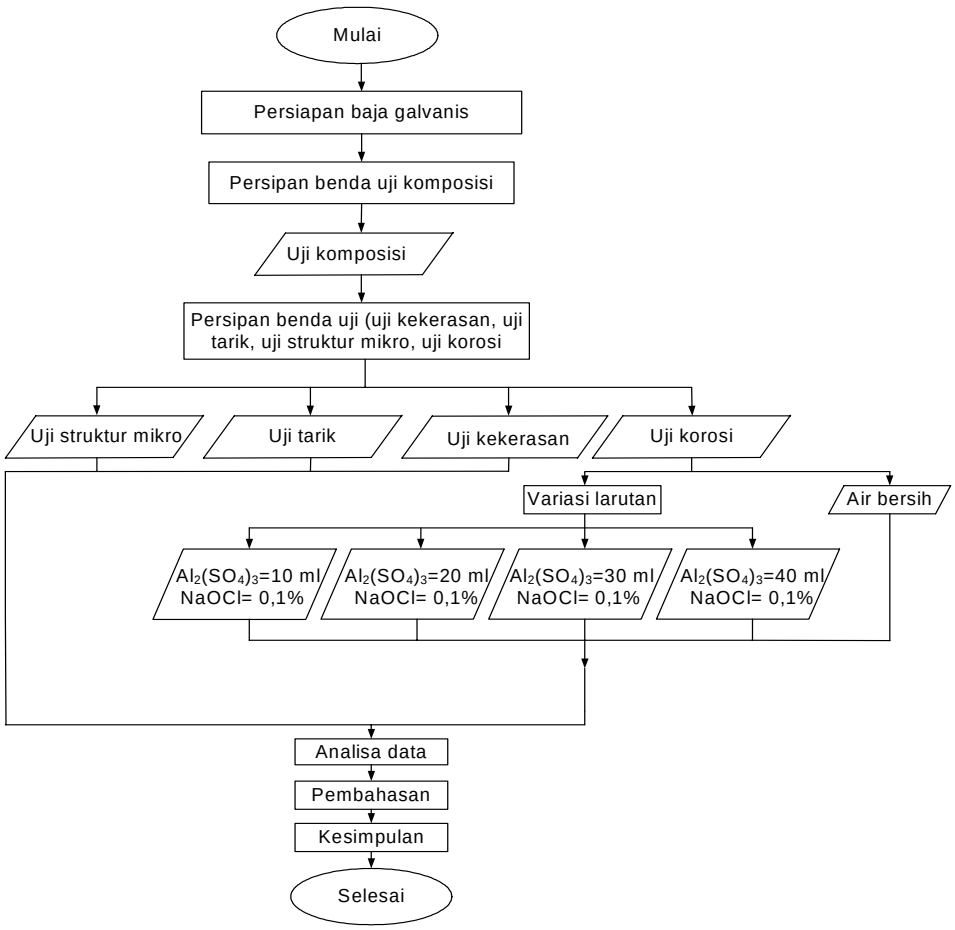
c. Elektroda acuan

Elektroda ini adalah sebagai titik dasar untuk mengacu pengukuran elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus kecil bila tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel, sehingga potensialnya tidak lagi konstan.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah pipa baja galvanis diameter 75 mm dan $Al_2(S0_4)_3$ (*aluminium sulfat*) dan NaOCl (*sodium hypochlorit*) sebagai bahan larutannya dalam pengujian korosi.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengujian

Pengujian polarisasi merupakan proses pengujian korosi, untuk mengetahui rapat arus korosi. Uji polarisasi dilakukan di laboratorium milik Badan Teknologi Nuklir (BATAN) Yogyakarta. Sebelum pengujian korosi dilakukan, didahului pengujian komposisi kimia, struktur mikro, tarik dan kekerasan.

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Komposisi

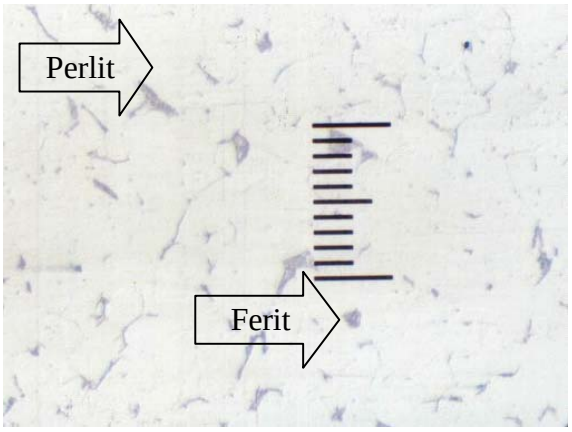
Berdasarkan hasil pengujian komposisi dengan menggunakan mesin *Spectrometer* milik PT. Itokoh Ceperindo Klaten, terdapat unsur-unsur yang ada pada pipa baja galvanis adalah Fe 99.41%, S 0.008%, C 0.091%, Ni 0.033%, Si 0.009%, Cr 0.030%, Mn 0.254%, Mo 0.010%, P 0.028%, Cu 0.027% dan Al 0.033%. Adapun dengan menggunakan mesin *X-Ray Fluorescense* milik Badan Teknologi Nuklir (BATAN) Yogyakarta, unsur yang ada pada lapisan pipa baja galvanis adalah Zn 99.691%.

Menurut klasifikasi baja karbon, kadar karbon 0,08% - 0,12% adalah termasuk baja karbon rendah yang bersifat sangat lunak (Wiryosumarto, 2000). Data hasil uji komposisi memiliki karbon (C) 0,091%, sehingga pipa baja galvanis termasuk dalam kategori baja karbon rendah yang bersifat sangat lunak.

Baja galvanis adalah baja lapis seng (Zn) yang mengandung sebesar 99,7% (www.cahaya bentengmas.co.id). Data hasil uji komposisi lapisan galvanis pada data tersebut maka lapisan tersebut termasuk dalam standarisasi galvanis dengan persentase seng (Zn) 99,691%.

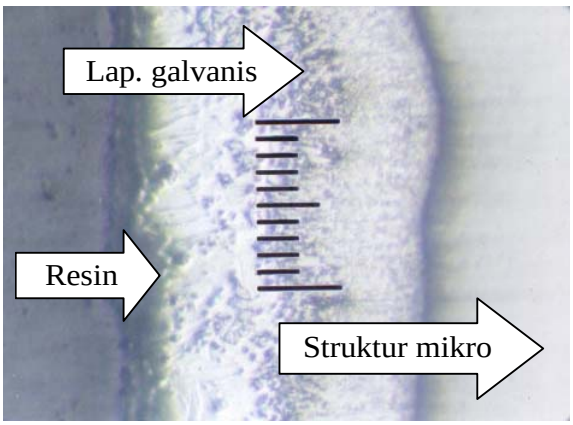
Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji, daerah yang diamati dan diambil (difoto) yaitu daerah sisi permukaan dan sisi lapisan dalam pipa baja galvanis dengan perbesaran 500x.



Gambar 3. Struktur Mikro Permukaan Pipa Baja Galvanis

Hasil dari pengujian foto struktur mikro struktur yang terlihat adalah ferit dan perlit, struktur yang terlihat mendominasi adalah ferit yang menyebabkan pipa baja galvanis bersifat lunak sehingga tergolong dalam kategori baja karbon rendah dengan kadar karbon (C) 0,091%.



Gambar 4. Struktur Mikro Lapisan Galvanis Bagian dalam Pipa

Hasil dari pengujian foto struktur mikro lapisan galvanis dapat dilihat pada (gambar 4), menunjukkan bahwa lapisan galvanis dengan unsur utamanya adalah seng (Zn) dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu sebesar 99,691%. Lapisan galvanis tersebut mampu memperlambat laju korosi karena seng memiliki sifat yang dapat menutup goresan, sehingga udara lembab tidak dapat masuk ke dalam pipa (Beumer, 1978).

Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik didapatkan besarnya tegangan maksimum dan regangan Adapun hasil perhitungan uji tarik pada pipa baja galvanis ditunjukkan pada tabel 1.

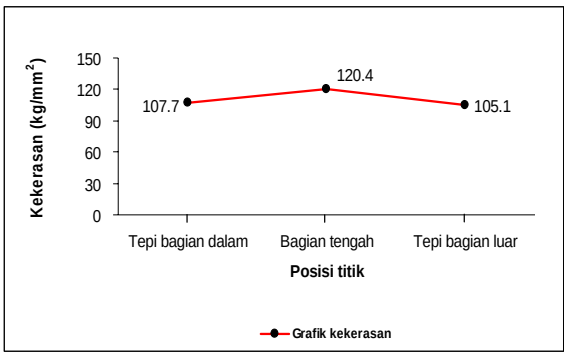
Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Spesimen	P_{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Regangan (%)
1	1414	34,81	40,7
2	1493	36,75	37,2
3	1505	37,05	32,6
Rata-rata		36,20	36,83

Baja karbon rendah dengan sifat baja yang sangat lunak mempunyai kekuatan tarik antara 36-42 kg/mm^2 dengan regangan antara 40-30% (Wiryosumarto, 2000). Dari data hasil pengujian tarik pada (tabel 1) pipa baja galvanis mempunyai kekuatan tarik rata-rata sebesar 36,20 kg/mm^2 dan mempunyai regangan rata-rata sebesar 36,83%, sehingga dapat dikatakan bahwa pipa baja galvanis mempunyai sifat yang ulet dan dapat dibuktikan dari hasil struktur mikro pipa baja galvanis struktur ferit lebih banyak mendominasi dari pada struktur perlit.

Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan, harga kekerasan dilakukan di tiga titik yaitu mulai dari titik tepi bagian dalam pipa, titik bagian tengah pipa dan titik bagian luar pipa.



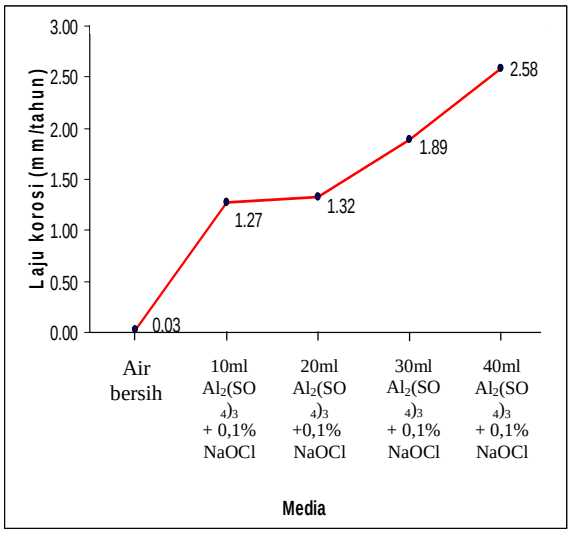
Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada (gambar 5) diperoleh nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada posisi titik bagian tengah yaitu sebesar 120,4 kg/mm^2, pengaruh perbedaan kekerasan ini disebabkan oleh proses pengerolan pipa baja galvanis sehingga struktur kristal di dalam pipa baja galvanis distribusi tegangan tidak merata ke semua ikatan struktur kristal yang bersangkutan sehingga sebagian ikatan struktur kristal akan mengalami tekanan lebih besar dibanding ikatan struktur kristal yang lain (Trethewey, 1991).

Hasil Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan mengamati laju korosi pada baja galvanis menggunakan teknik polarisasi dengan metode sel tiga elektroda. Media yang digunakan adalah air bersih, serta divariasikan dengan larutan $Al_2(SO_4)_3$ *(Aluminium Sulfat)* 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml ditambah larutan 0,1 % NaOCl *(Sodium Hypochlorit)*. Uji korosi dilakukan pada permukaan sisi bagian dalam pipa baja galvanis karena bagian tersebut dialiri oleh air bersih yang mengandung $Al_2(SO_4)_3$ *(Aluminium Sulfat)* dan NaOCl *(Sodium Hypochlorit)*.

Untuk mengetahui nilai kuantitatif dari logam yang mengalami korosi dapat dihitung laju korosi dari persamaan 1 dan 2.



Gambar 6. Grafik Laju Korosi

Hasil dari data perhitungan laju korosi pada gambar 6 dapat dilihat laju korosi pipa baja galvanis di dalam media air bersih sebesar 0.03 mm/tahun, berdasarkan tingkat ketahanan korosi dikategorikan sangat baik. Berbeda dengan penambahan konsentrasi larutan 10 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl laju korosi yang terjadi yaitu 1,27 mm/tahun, jika dibandingkan dengan media air bersih laju korosi naik sebesar 97,63%. Penambahan konsentrasi larutan 20 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl laju korosi yang terjadi 1,32 mm/tahun jika dibandingkan dengan media air bersih laju korosi naik sebesar 97,72 %. Penambahan konsentrasi larutan 30 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl laju korosi yang terjadi 1,89 mm/tahun apabila dibandingkan dengan media air bersih laju korosi naik sebesar 98,41 %. Begitu juga dengan penambahan larutan 40 ml $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl laju korosi yang terjadi 2,58 mm/tahun dibandingkan dengan media air bersih laju korosi baja galvanis juga mengalami kenaikan sebesar 98,83 %. Maka dapat disimpulkan bahwa pipa baja galvanis pada rentang konsentrasi larutan semakin tinggil kadar $Al_2(SO_4)_3$ adalah aktif sehingga laju korosi berlansung cepat.

Berdasarkan tingkat ketahanan korosi bahwa ketahanan korosi pipa baja galvanis dalam larutan tersebut termasuk dalam katagori kurang baik.

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian komposisi pipa baja galvanis menunjukkkan unsur karbon (C) sebesar 0,091 % merupakan baja karbon rendah, dan pengujian lapisan dengan unsur utamanya adalah seng (Zn) yang mengandung 99,691 % merupakan lapisan yang digalvanisasi dengan tingkat kemurnian yang tinggi.
2. Struktur mikro dari lapisan galvanis merupakan pipa baja yang digalvanisasi seng (Zn) adalah ferit dan perlit, struktur ferit mendominasi dan penyebarannya lebih merata yang menyebabkan bersifat sangat lunak.
3. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa pipa baja galvanis mempunyai kekuatan tarik rata-rata sebesar 36,20 kg/mm^2 dengan regangan rata-rata 36,83 % masuk dalam katagori baja karbon rendah yang bersifat sangat lunak.
4. Hasil pengujian kekerasan pipa baja galvanis nilai kekerasan tertinggi yaitu pada posisi titik bagian tengah sebesar 120,4 kg/mm^2 sedangkan kekerasan terendah yaitu pada posisi titik tepi bagian luar sebesar 105,1 kg/mm^2, perbedaan kekerasan ini disebabkan oleh karena proses pengerolan dari pipa baja galvanis.
5. Hasil pengujian korosi dalam media air bersih sebesar 0,03 mm/tahun, berdasarkan tingkat ketahanan korosi digolongkan sangat baik sedangkan laju korosi dalam media larutan $Al_2(SO_4)_3$ dengan rentang konsentrasi 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml ditambah 0,1 % NaOCl adalah aktif sehingga laju korosi berlansung cepat. Berdasarkan tingkat ketahanan korosi laju korosi yang terjadi pada pipa baja galvanis akibat pengaruh konsentrasi larutan $Al_2(SO_4)_3$ ditambah 0,1 % NaOCl adalah kurang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Amstead, B.H., terj. Sriati Djaprie, 1989, *Teknologi Mekanik*, Erlangga, Edisi Ketujuh, Jilid I, Jakarta.

Beumer, BJM.,1978, *Ilmu Bahan Logam* , jilid I, PT. Bharatara Karya Aksara, Jakarta.

Degremont, 1987, *Teknologi Pengolahan Flour Dengan Sistem Koagulasi Flokulasi Dan Tawas*, CV. Yrama Widya, Bandung.

Fontana, Mars G., 1978, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, *Second Edition*, *United State of America*.

Gadang Priyotomo dan Soeroso Hartati, 2008, *Karakterisasi Perbandingan Material Baja Karbon Rendah Dan Baja Nirkarat Di Lingkungan 5% Klorida Dengan Uji Kabut Garam*, www.Bentengmas.co.id, 20/3/08

Harsono Wiryosumarto, 2000, *Teknik Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Leni Juwita, 2006, *Study Ketahanan Korosi Baja Galvanis Celup Panas*, Skripsi, Tidak Dipublikasikan, STTN, Yogyakarta.

Setyadi Arshyad, 2006, *Pengaruh perbedaan laju korosi baja karbon rendah dengan baja yang digalvanisasi dengan RF Sputtering*, Skripsi, Tidak Dipublikasikan, STTN, Yogyakarta.

Tata Surdia, Saito S.,1984, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Kelima, Jakarta.

Tika Rukmana, 2008, *Penggunaan Larutan kaporit*, www.Answeryahoo.com, 20/3/08.

Trethewey, K.R. terj. Widharto, 1991, *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Van Vlack, L.H., terj. Sriati Djaprie, 1981, *Ilmu danTeknologi Bahan*, Erlangga, Cetakan Keempat, Jakarta.

Yandra Gusriandra, 2008 , *Terminologi Baja Galvanis*, www.Wikipedia.co.id 5/4/08