STUDI PERFORMANSI DARI KOMPOR GAS BERBAHAN BAKAR AIR DENGAN REAKSI DARI ALUMINIUM DAN SODIUM HIDROKSIDA

Yustia Wulandari[1] dan Syamsuri[2]
Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1]
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [2]
E-mail: yustiawulandari@yahoo.com

ABSTRAK

Saat ini perkembangan ekonomi dan industri mengakibatkan semakin besarnya konsumsi masyarakat Indonesia terhadap produk dari minyak bumi. Tingkat konsumsi terhadap minyak diperkirakan rata2 naik 6% pertahun. Hal ini diperkirakan akan terus meningkat pada tahun berikutnya, sehingga mengakibatkan persediaan minyak bumi Indonesia semakin menipis. Oleh karena itu diperlukan upaya guna mendapatkan bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan, salah satunya adalah gas hidrogen. Reaktor pembangkit gas hidrogen merupakan salah satu solusi teknologi energi untuk mengatasi kesulitan masyarakat akibat kenaikan harga BBM. Teknologi ini bisa segera diaplikasikan, terutama dikalangan masyarakat pedesaan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Dalam penelitian ini, dilakukan studi eksperimen tentang pembangkit gas hydrogen yaitu dengan cara mencampurkan Aluminium, Sodium Hidroksida, dan Air. Langkah berikutnya adalah mengaduk campuran-campuran tadi hingga menghasilkan gas hydrogen. Setelah itu gas hidrogen digunakan untuk sebagai bahan bakar kompor gas. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian performansi dari kompor gas Instalasi pembangkit gas hydrogen yang diteliti adalah menggunakan 1 lt air. Metode yang digunakan untuk mengetahui performasi dari kompor gas ini adalah Metode Water Boilling Test, dimana test ini sering dilakukan oleh para peneliti untuk mengetahui performasi dari suatu kompor/tungku bakar. Pada percobaan ini menggunakan burner berdiameter 2 mm didapatkan daya sebesar 0.474422 KW, untuk diameter 3 mm didapatkan daya sebesar 0.498923 KW dan pada diameter 4 mm didapatkan daya sebesar 0.550054 KW. Hasil efisiensi yang didapatkan pada percobaan tersebut untuk diameter 2 mm adalah 61.64 %, untuk diameter 3 mm adalah 59.44 %, dan untuk diameter 4 mm adalah 54.81%. Daya terbesar didapatkan pada burner berdiameter 4mm sebesar 0.550054 KW.

Kata kunci: Kompor Gas, H_2, Sodium Hidroksida, Air, Performansi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sumber energi yang selama ini masih menjadi mayoritas pemakaiannya adalah energi yang berasal dari fosil. Energi ini termasuk sebagai sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, sehingga sangat tergantung pada persediaan yang semakin lama semakin menipis jumlahnya. Oleh sebab itu, saat ini mulai banyak manusia mengembangkan sumber energi yang berasal dari Sumber Daya Alam yang persediaannya sangat melimpah. Sumber Daya Alam tersebut adalah Bahan Bakar Minyak. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, jumlah manusia juga mengalami peningkatan sehingga hal ini berbanding lurus pada jumlah konsumsi Bahan Bakar Minyak yang semakin meningkat. Perkembangan ekonomi dan industri yang semakin besar juga mempengaruhi konsumsi masyarakat Indonesia terhadap produk dari minyak bumi. Tingkat konsumsi terhadap minyak rata- rata naik 6% pertahun [1], konsumsi terbesar adalah minyak diesel (solar) yang pada tahun 2002 saja mencapai 22 juta kiloliter. Hal ini diperkirakan akan terus meningkat pada tahun berikutnya, sehingga mengakibatkan persediaan minyak bumi Indonesia semakin menipis [2].

Dengan semakin menipisnya persediaan bahan bakar minyak diperut bumi ini, manusia mulai berpikir dan mencari sumber energi baru yang dapat menggantikan sumber energi minyak yang selama ini dipakai. Sehingga tuntutan untuk mendapatkan sumber energi

alternatif baru terutama yang murah serta *Renewable* (dapat diperbaharui) seperti Energi Surya, Energi Angin, Energi laut, Energi panas bumi, Energi Air dan sumber-sumber energi baru yang ada dibumi ini sangat diperlukan. Di samping itu, isu lingkungan global saat ini sedang berkembang guna meningkatkan kualitas lingkungan yang lebih baik, sehingga hal ini lah yang menjadi pemikiran para peneliti untuk mengembangkan energi yang ramah lingkungan dan ketersediaan sumber bahan bakunya berkesinambungan.

Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu bentuk energi terbarukan yang saat ini menjadi perhatian banyak kalangan, terutama di negara maju adalah potensi dari gas hidrogen. Hidrogen diproyeksikan menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan dan lebih efisien. Suplai energi yang dihasilkan masih sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama proses berlangsung. Daya hidrogen terutama dalam bentuk sel bahan bakar hidrogen (*hydrogen fuel cells*) menjanjikan penggunaan bahan bakar yang tidak terbatas dan ramah lingkungan. Teknologi sel bahan bakar ini memiliki banyak keuntungan sehingga menjadikan hidrogen sebagai bentuk energi utama yang dikembangkan saat ini.

Dalam penelitian kali ini, akan diteliti tentang pengembangan hidrogen sebagai bahan bakar pada kompor gas. Dengan harapan gas yang dihasilkan menjadi gas yang ramah lingkungan dan menunjukkan performa yang baik ketika diaplikasikan pada kompor gas sebagai energi alternatif penggati Bahan Bakar Minyak (BBM) yang selama ini hanya mengandalkan persediaan bahan bakar yang berasal dari fosil yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan gas hidrogen diharapkan mampu menjadi bahan bakar yang *renewable* dan *sustanable*.

Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana reaksi dari Aluminum, Sodium hidroksida, dan Air?
2. Bagaimana performansi dari kompor gas berbahan bakar air ?

Tujuan Penelitian

Tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu tersusunnya suatu alat/instalasi yang memanfaatkan air sebagai bahan bakar. Untuk menghasilkan performa kompor gas yang lebih maksimal, maka perlu penelitian secara intensif yang membutuhkan informasi dan perangkat penelitian sebagai berikut :

1. Mendapatkan data awal hasil gas hidrogen.
2. Merancang instalasi pembangkit gas hydrogen untuk mendapatkan performa gas yang maksimal.
3. Desain kompor akan disesuaikan tekanannya, karena tekanan dari biogas terlalu kecil sehingga api yang dihasilkan akan tetap besar walaupun tekanannya kecil.

Keutamaan Penelitian

Beberapa keutamaan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Instalasi pembangkit gas hidrogen ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar minyak yang selama ini digunakan oleh masyarakat untuk kebutuhan hidup sehari-harinya.
2. Hidrogen merupakan salah satu gas yang ramah lingkungan dan tidak beracun.
3. Pemanfaatan limbah Aluminium pada instalasi pembangkit hydrogen ini sanggat dianjurkan sebagai usaha untuk melestarikan lingkungan.

DASAR TEORI

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu telah melakukan penelitian untuk memproduksi hydrogen menggunakan enzim melalui jalur fosfat pentosa dan enzim hidrogenase [3].

Kemudian penelitian melakukan eksperimen produksi hidrogen melalui fermentasi biomasa kekayuan tropika, hidrolisis gas metana, dan menggunakan methanol langsung [4].

Penelitian produksi hydrogen lain misalnya melalui dekomposisi metanol dengan katalis Pt/Al_2O_3 [5].

Penelitian mengenai proses fermentasi dengan menggunakan limbah biomasa kekayuan melalui dua langkah fermentasi, yaitu dengan mengkombinasikan konversi monomer hasil hidrolisa limbah biomasa kekayuan menjadi asam laktat melalui bakteri laktat (*Lactobacillus* sp) dan konversi laktat menjadi hidrogen dengan menggunakan bakteri fotosintetik [6].

Penelitian tentang produksi gas hidrogen dari limbah aluminium. Gas hidrogen dapat diproduksi dengan menggunakan limbah aluminium foil dan limbah aluminium dari kaleng minuman pada suasana basa (NaOH). Produksi hydrogen optimum adalah sebesar 0,006 gr dari 0,05 gr limbah aluminium (aluminium foil) [7].

Penelitian tentang system pembangkit hydrogen dengan campuran aluminium, sodium hidroksida , campuran padatan sodium stannate dan air menjelaskan bahwa system yang optimal yang menghasilkan laju pembangkitan hydrogen yang tinggi, konversi bahan bakar tinggi , respon dinamik cepat yang menjadi harapan untuk aplikasi sumber tenaga hydrogen portable dikemudian hari [8].

Merujuk dari beberapa hasil penelitian di atas maka perlu dilakukan usaha untuk meneliti tentang performansi kompor gas hydrogen dengan bahan bakar campuran sodium hidroksida, aluminium, dan air.

Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat adanya beda suhu antara daerah-daerah tersebut sebagai definisi teori "*heat tranfer (or heat) is energi in transit due to temperature difference"* [9]. Perpindahan panas umumnya mengenal tiga cara pemindahan panas yang berbeda antara lain :

1. Konduksi

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah di dalam satu medium. (padat, cair dan gas), atau antara medium- medium yang berlainan dan bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan atom secara langsung tanpa adanya perpindahan atom yang cukup besar. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastis *(elastic impact)* misalnya dalam fluida atau dengan pembauran *diffusion* elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. Bagaimanapun caranya , akibat dari konduksi panas yang dapat diamati ialah penyamaan suhu. Tetapi, jika beda suhu dipertahankan dengan penambahan dan pembuangan panas diberbagai titik, maka akan berlangsung aliran panas yang berlangsung terus-menerus dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin.

2. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas dari suatu permukaan yang suhunya lebih tinggi daripada suhu fluida di sekitarnya, menurut Kreith (1958). "konveksi adalah proses tranport energi dengan cara gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur". Proses terjadinya perpindahan panas secara konveksi berlangsung dengan beberapa tahap. Pertama panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel (molekul), panas yang berpindah akan menaikkan suhu dan energi dalam fluida tersebut, kemudian partikel tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam fluida dan terjadi pemindahan sebagian energi kepada partikel- partikel lain.

3. Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari benda yang bersuhu

tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah, bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut. Istilah "radiasi" pada umumnya dipergunakan untuk segala jenis hal mengenai pancaran gelombang elektromaknetik, tetapi di dalam ilmu perpindahan panas kita hanya perlu memperhatikan perpindahan panas yang diakibatkan adanya perbedaan suhu dan yang dapat mengangkut energi melalui medium yang tembus cahaya atau melalui ruang hampa. Dapat dicontohkan perpindahan panas secara radiasi adalah matahari yang begitu jauh dengan bumi dan terpisah oleh ruang hampa yang ada di angkasa namun panasnya dapat terasa sampai bumi. Energi yang berpindah dengan cara ini diistilahkan *panas radiasi*.

Water Boiling Test

Water Boiling Test (WBT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu tungku dalam skala laboratorium, dimana kondisi iklim, bahan bakar (kelembaban, spesies, bentuk), jenis alat masak, pemasak termasuk cara mengoperasikan tungku dipertahankan sama di sepanjang pengujian. Pengujian ini tidak dapat digunakan untuk memperkirakan penggunaan tungku secara actual, tapi dapat digunakan untuk membandingkan model atau desain tungku. Yang dilakukan dalam WBT adalah mendidihkan air (boil). Adapun yang diperhitungkan dalam metode ini adalah : daya kompor dan efisiensi kompor.

Daya kompor adalah panas yang di berikan oleh bahan bakar selama pengujian. Untuk mengetahui besarnya daya tungku digunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{m_f.E}{\Delta t}\ (kW) \tag{1}$$

Dimana :

P adalah Daya kompor (kW)
mf adalah komsumsi bahan bakar selama t waktu (kg)
E adalah Nilai kalor bawah (NKB) bahan bakar (Kj/kg.bb)
Δt adalah Waktu pengujian (detik)

Efisiensi adalah prosentase panas yang berguna dibandingkan dengan panas yang diberikan alat masak selama pengujian, persamaan yang digunakan adalah adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{(\mathrm{m_w.\,Cp} + \mathrm{m_{pa}.\,Cpa})(T_2 - T_1) + m_s.\,H_{fg}}{m_f.\,E} \tag{2}$$

Dimana :

η adalah Efisiensi kompor
m_w adalah Massa air yang dipanaskan (kg)
m_{pa} adalah Massa panci yang digunakan (kg)
m_s adalah Massa air yang menguap (kg)
m_f adalah Komsumsi bahan bakar selama t waktu (kg)
C_p adalah panas jenis air (Kj/kg.K)
C_{pa} adalah Panas jenis panci (Kj/kg.K)
T_1 adalah temperatur awal air
T_2 adalah temperatur air mendidih

Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium

Penelitian produksi gas hydrogen dari limbah aluminium dengan menggunakan katalis NaOH dan juga air dilakukan. Produksi gas hydrogen melalui jalur ini selain untuk

memanfaatkan limbah dilingkungan sekitar juga merupakan energi yang mudah dikonversikan menjadi energi bahan bakar. Selain itu aman untuk lingkungan karena tidak menyisakan limbah beracun dan bersih, selain itu air dari bahan kimia seperti aluminium hidroksida Al(OH)3 dapat digunakan kembali.

Ada beberapa tipe reaksi yang ditemukan antara aluminium, sodium hidroksida, dan air dalam menghasilkan hydrogen seperti persamaan dibawah ini:

$$2Al + 2NaOH + 2H_2O == Na_2Al_2O_4 + 3H_2$$
$$2Al + 6NaOH + xH_2O == Na_6Al_2O_6 + xH_2O + 3H_2$$
$$2Al + 2NaOH + 6H_2O == 2NaAl(OH)_4 + 3H_2$$
$$2NaAl(OH)_4 == 2NaOH + 2Al(OH)_3$$

METODE

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui eksperimen dengan tahapan kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

a. Persiapan peralatan-peralatan instalasi pembangkit gas hidrogen.
b. Pembuatan dan pemasangan instalasi pembangkit gas hidrogen.
c. Penyiapan prosedur penelitian.
d. Persiapan alat ukur yang terkalibrasi.
e. Pengukuran Nilai Kalor.
f. Pengukuran dan pengambilan data.
g. Analisa data hasil penelitian.
h. Penulisan dan pelaporan hasil penelitian

Peralatan yang Digunakan

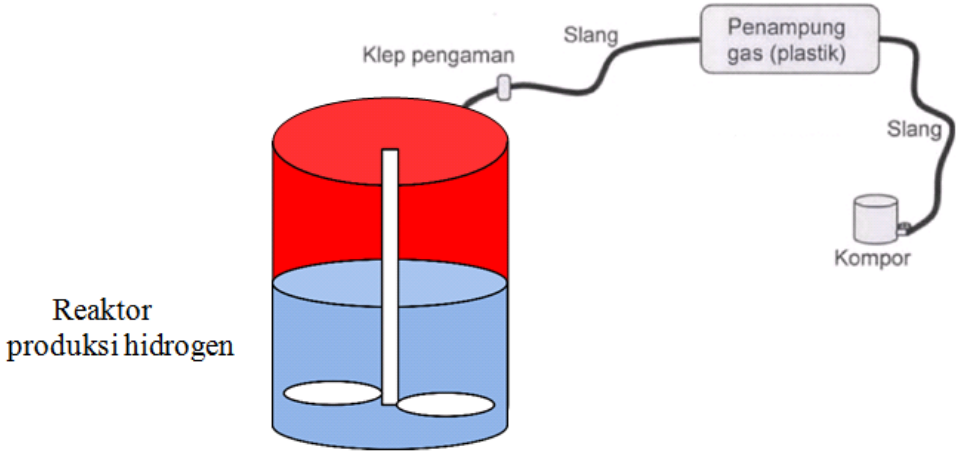
Peralatan-peralatan yang dipergunakan pada pengujian ini adalah :

a. Kompor gas.
b. Reaktor gas hidrogen.
c. Tangki reservoir gas hidrogen.
d. Instalasi pembangkit gas hidrogen.
e. Thermometer.
f. Stopwatch.
g. Kamera digital.
h. Jangka sorong.
i. Timbangan
j. Air

Adapun variabel-variabel bebas yang diduga berpengaruh terhadap variable yang diukur dalam penelitian (variable respon). Dalam penelitian ini variable yang berpengaruh adalah :

$$\eta = f\,(m_w, C_p, m_{pa}, C_{pa}, T_2, T_1, m_g, H_{fg}, M_f, E)$$
$$P = f\,(M_f, E, \Delta t)$$

Peralatan Penelitian



Gambar 1. Skema alat.

Penjelasan :

1. Sampah aluminium dipotong kecil-kecil.
2. Dicampur dengan soda api serta air.
3. Campuran bahan itu kemudian dimasukkan ke dalam wadah tertutup yang telah dimodifikasi.
4. Diaduk hingga menghasilkan reaksi eksoderm.
5. Muncul gas hidrogen.
6. Hidrogen yang dihasilkan dialirkan dengan selang ke tangki penyimpan gas hidrogen.
7. Jika ingin dipakai, keran tinggal dibuka dan gas akan mengalir ke kompor.
8. Kompor gas digunakan memasak air.

Pengujian Nilai Kalor

Pengujian ini dilakukan dengan Test Gas Calori Meter yang dilakukan di Laboratorium Energy ITS. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar, karena untuk bisa mengetahui performance kompor biogas dan efisiensinya maka kita harus mengetahui nilai kalor bahan bakarnya terlebih dahulu.

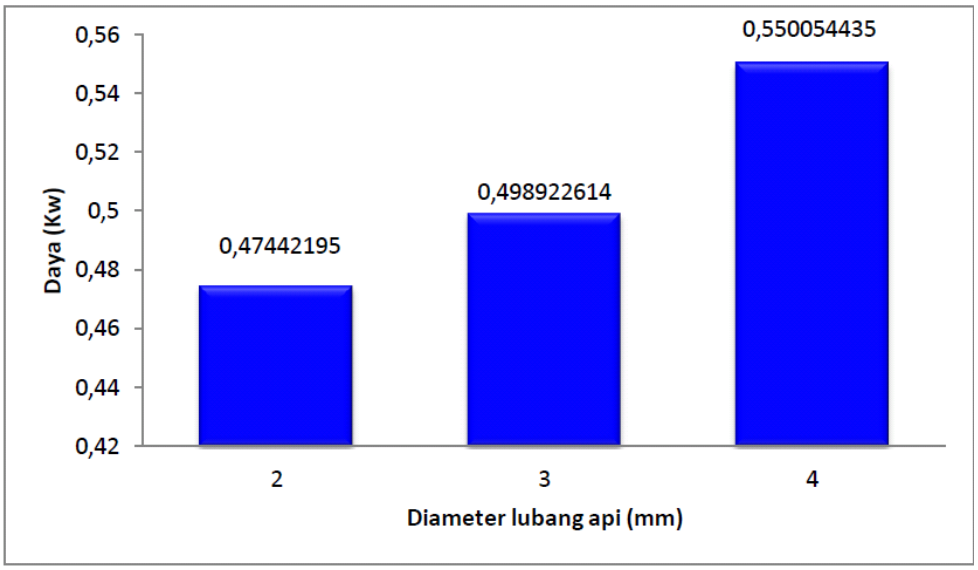
Water Boilling Test

Water Boiling Test (WBT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu tungku dalam skala laboratorium, dimana kondisi iklim, bahan bakar (kelembaban, spesies, bentuk), jenis alat masak, pemasak termasuk cara mengoperasikan tungku dipertahankan sama si sepanjang pengujian. Adapun yang diperhitungkan dalam metode ini adalah: **daya kompor** dan **efisiensi kompor**.

 ISBN : 978-602-98569-1-0

HASIL DAN PEMBAHASAN

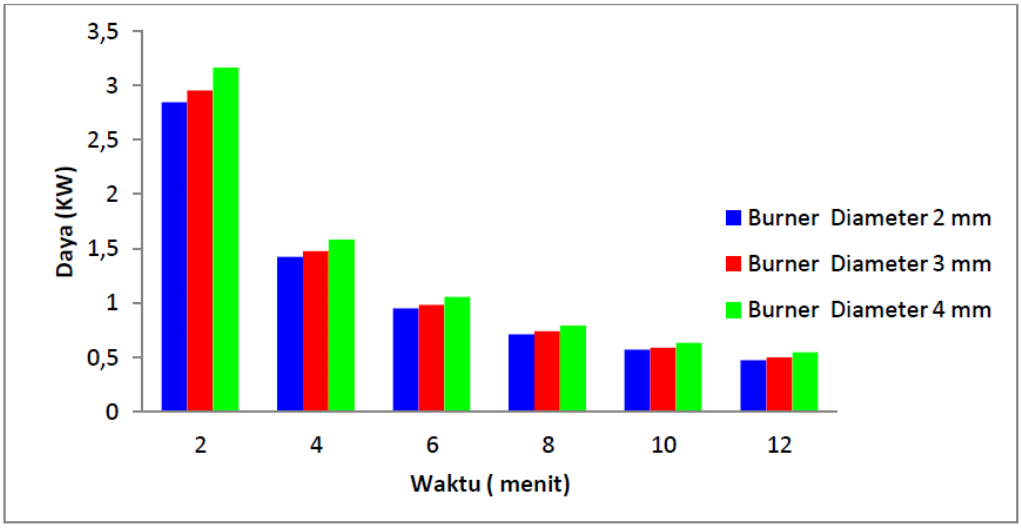
Pengaruh diameter lubang api (burner) kompor biogas terhadap daya



Gambar 2. Grafik pengaruh diameter lubang api pada burner kompor biogas terhadap daya.

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa diameter lubang api pada burner kompor biogas sangat berpengaruh terhadap nilai daya, hal ini dibuktikan dengan lebih besarnya nilai daya panci yang memakai burner untuk diameter lubang api 4 mm daripada diameter 2 mm dan 3 mm. Hal ini dikarenakan untuk diameter yang lebih besar maka konsumsi bahan bakar yang diperlukan juga besar sehingga berdasarkan persamaan 2.1 apabila nilai konsumsi bahan bakar (mf) besar maka nilai daya (P) juga besar.

Pengaruh daya terhadap waktu untuk variasi diameter lubang api (burner) yang berbeda

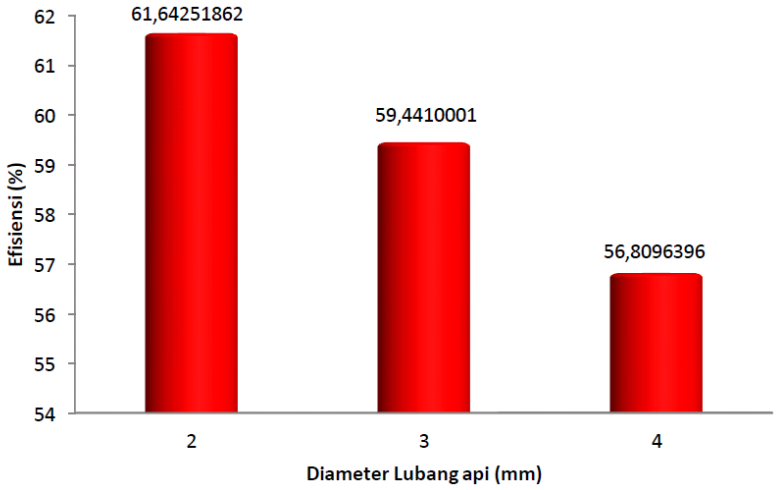


Gambar 3. Grafik daya terhadap waktu untuk variasi diameter lubang api(burner) yang berbeda.

Dari tabel dan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian burner dengan diameter lubang api 4 mm menghasilkan daya yang lebih besar daripada burner yang memiliki diameter 2 mm dan 3 mm. Hal ini dikarenakan untuk diameter yang lebih besar maka konsumsi bahan bakar yang diperlukan juga besar. Pada gambar tersebut terlihat daya semakin lama semakin menurun hal

ini disebabkan karena daya sudah terpakai untuk memanaskan air dengan waktu yang semakin panjang.

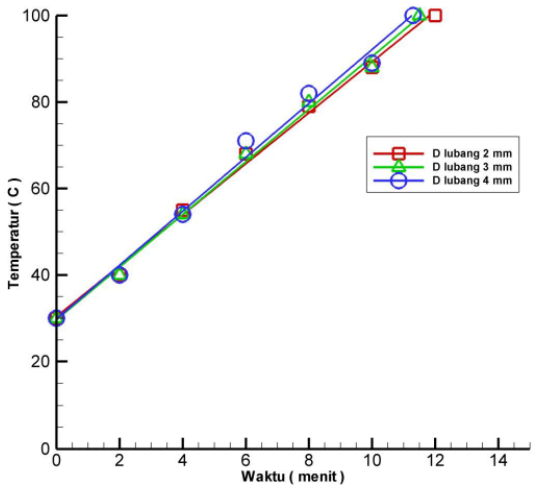
Pengaruh efisiensi terhadap variasi diameter lubang api



Gambar 4. Grafik efisiensi terhadap diameter lubang api

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi terbesar terlihat pada burner kompor yang memiliki diameter lubang api 2 mm. Hal ini dikarenakan menurut persamaan 2.2 bahwa jika nilai mf kecil maka nilai dari efisiensi akan menjadi besar. Artinya bahwa energi yang bermanfaat itu lebih besar daripada energi yang diberikan.

Pengaruh temperatur terhadap waktu

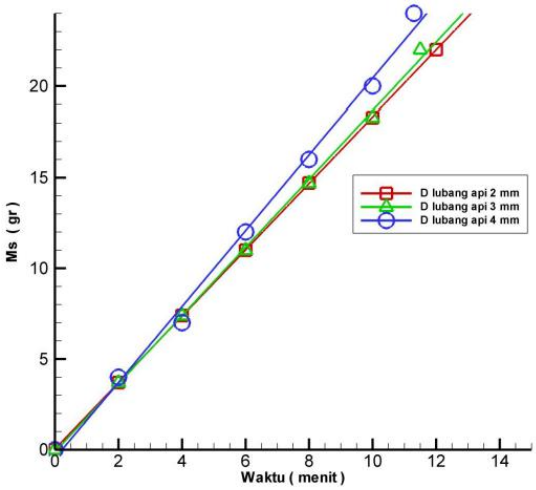


Gambar 5. Grafik hubungan antara temperatur terhadap waktu untuk diameter lubang api 2,3, dan 4 mm pada burner kompor biogas.

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin meningkatnya waktu maka temperatur air juga akan meningkat. Hal ini disebabkan pemanasan yang dilakukan oleh kompor semakin besar. Ada hal yang menarik disini, yaitu kenaikan temperatur pada diameter lubang api 4 mm lebih besar dan lebih cepat daripada diameter lubang api 2 mm dan 3 mm. Hal ini disebabkan karena luasan perpindahan panasnya lebih besar untuk diameter 4 mm daripada 2 mm dan 3 mm.

Disamping itu pemakaian bahan bakar untuk diameter lubang api 4 mm lebih besar daripada yang lain. Hal ini bersesuaian dengan teori continuity (V1.A1=V2.A2) dengan kecepatan yang sama yakni jika diameter lubang semakin besar maka debit juga semakin besar artinya panas yang dihasilkan akan semakin besar.

Pengaruh massa air menguap (Ms) terhadap waktu (t) untuk diameter lubang api 2,3, dan 4 mm pada burner kompor biogas



Gambar 6. Grafik hubungan antara massa air menguap (Ms) terhadap waktu (t)untuk diameter lubang api 2,3, dan 4 mm pada burner kompor biogas

Pada gambar 6 terlihat bahwa dengan semakin naiknya waktu maka massa air yang menguap akan semakin naik. Ada hal yang menarik pada gambar tersebut yaitu perbedaan kenaikan massa uap, dan ditunjukkan pada diameter lubang api 4 mm kenaikan massa air yang menguap lebih cepat daripada yang lainnya. Hal ini disebabkan dengan lubang api pada burner kompor yang besar maka panas yang disuplai juga semakin besar akibatnya temperatur akan meningkat dan massa uap yang dihasilkan juga lebih cepat meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan untuk panas laten yaitu :

$$q = Ms.hfg$$

Pada persamaan tersebut apabila nilai dari q besar maka nilai massa uap (Ms) juga besar.

KESIMPULAN

1. Pada percobaan water boilling test menggunakan burner berdiameter 2 mm didapatkan daya sebesar 0.474422 KW, untuk diameter 3 mm didapatkan daya sebesar 0.498923 KW dan pada diameter 4 mm didapatkan daya sebesar 0.550054 KW.
2. Hasil efisiensi yang didapatkan pada percobaan tersebut untuk diameter 2 mm adalah 61.64 %, untuk diameter 3 mm adalah 59.44 %, dan untuk diameter 4 mm adalah 54.81%.
3. Daya terbesar didapatkan pada burner berdiameter 4 mm sebesar 0.550054 KW.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Brown, J.C. & Gulari, E. 2004. *Hidrogen Production from Methanol Decomposition over Pt/Al2O3 and Ceria Promoted Pt/Al2O3 Catalysts*, Catalysis Communications, Vol. 5, 431–436.

[2]. Incropera, F.P. & Dewitt, D.P. 1996. *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer*. JohnWiley & Sons, .NewYork.
[3]. Kreith, F. 1958. *Principles of heat transfer. 2nd Edition*, University of Colorado, International Textbook Co.
[4]. Liu, X.Z., Liu, C.Z., & Eliasson, B. 2003. Hidrogen *Production from Methanol Using Corona Discharges*, Chinese Chemical Letters, Vol. 14(6), 631-633.
[5]. Ma, G.L., Dai H.B., Zhuang, D.W., Xia, H.J., & Wang, P. 2012. *Controlled Hydrogen Generation by Reaction of Alauminium/Sodium Hydroxide/Sodium Stannate Solid Mixture with Water*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.37, 5811-5816.
[6]. Makmuri. 2003. *Pedoman Efisiensi Energi di Indonesia*. Harian Pagi Jawa Pos 21 Maret 2003.
[7]. Siregar, Y.D.I. 2010. *Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium*, Jurnal Valensi, Vol.2(1), 362-367.
[8]. Susilaningsih, D., Harwati, T.U., Anam, K., & Yopi. 2008. *Preparasi Substrat Biomassa Kekayuan Tropika untuk Produksi Biohidrogen*, Makara Seri Teknologi, Vol.12(1), 38-42.
[9]. Suroso, 2005. *Kilang Pengolahan BBM Dioptimalkan.* Harian Pagi Jawa Pos 11 Maret 2005.
[10].Woodward, J., Heyer, N.I., Getty, J.P., O'Neil, H.M., Pinkhassik, E., & Evans, B.R. 2002. *Efficient Hidrogen Production using Enzymes of the Pentose Phosphate Pathway*, Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hidrogen Program Review NREL/CP-610-32405.

ANALISIS TEBAL DAN KUAT ARUS TERHADAP DISTORSI SUDUT PADA HASIL LAS PENGELASAN PELAT DATAR

Sukendro Broto S[1] dan Isnan Harijanto[2]
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
Email : ssasongko619@gmail.com

ABSTRAK

Distorsi merupakan bentuk cacat las dalam bentuk makroskopis, dimana dapat menimbulkan masalah yang dapat menaikkan waktu pengerjaan dan biaya pengerjaan. Distorsi muncul akibat masukan panas (H_{nett}) yang tidak seimbang dengan kecepatan pendinginan yang terjadi pada benda kerja saat proses pengerjaan benda kerja. Distorsi pada hasil pengelasan bisa terjadi pada arah transversal, longitudinal atau kombinasi. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi yang terjadi pada hasil lasan untuk menurunkan terjadinya distorsi arah longitudinal. Pada penelitian ini digunakan variabel-variabel proses tebal pelat (X_1) dan arus pengelasan (X_2) dimana tebal menggunakan level 8 mm, 13 mm dan 20 mm dan arus pengelasan menggunakan level 125 A, 150 A dan 175 A dengan respon distorsi. Desain eksperimen disusun menggunakan *Central Composite Design (CCD)* dengan menggunakan bantuan software minitab R14. Validasi hasil dilakukan secara statistik menggunakan software minitab R14. Dari hasil validasi statistik diketahui kesesuaian *error* yang terjadi secara statistik serta dapat diketahui model matematis hubungan antara variable-variabel proses terhadap respon. Dari persamaan matematik menunjukkan bahwa tebal memberikan kontribusi positif terhadap distorsi dan arus memberikan kontribusi negatif. Sehingga semakin besar tebal pelat yang akan dilas dapat meningkatkan terjadinya distorsi pada hasil lasan. Dan semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan didalam pengelasan dapat mengurangi terjadinya distorsi sudut pada hasil lasan.

Katakunci **:** Parameter las, distorsi arah longitudinal, hasil las.

ABSTRACT

The distorsion is weld result defect form at macroscopic form that make a trouble that can cause increase the repair time process and cost of work. The distorsion rise caused not equal between heat input (H_{nett}) with cooling rate to work pieces when repair task do. The distorsion happened to weld result can form in longitudinal direction, transversal direction or combination. The experiment need to find the effect of plat thickness and weld current toward the weld result. This experiment used variable process are plat thickness and weld current which the plat thickness used are 8 mm, 13 mm dan 20 mm and the weld current used 125 A, 150 A and 175 A, then the experiment respon used distorsion. The design experiment developmented use central composite design (CCD) that arrangerement by software minitab R14. The experiment result must be validated statistically by software minitab R14. From the valiadation result found error correlation statistically and show process model that explaining correlation between variable process toward respon. From The matematic model show the thickness give positif contribution toward distorsion but weld current is decline. So more thickness plat will be welded can increase distorsion to weld result and more higher weld current used in weld can decrease distorsion to weld result.

Keyword : *weld parameter, the distorsion at transversal direction, the weld result.*

PENDAHULUAN

Baja AISI 1045 termasuk kategori baja *heat treatable* dan sering digunakan untuk komponen–komponen mesin, dimana baja kelompok ini memiliki keuntungan yaitu sifat mekanik

baja yang dapat dimodifikasi dengan memberikan *heat treatment*. Proses perbaikan mesin sering dilakukan dengan pengelasan. Proses pengelasan sering digunakan las listrik SMAW meskipun pada alat tersebut memiliki kekurangan-kekurangan. Alat las GMAW sering digunakan sebagai teknologi baru yang dapat menutupi kekurangan didalam penggunaan las listrik SMAW, misalnya elektroda yang *continou*. Sehingga proses pengelasan dengan las GMAW dapat digunakan untuk pengelasan *multilayer* yang luas.

Di dalam proses pengelasan sering muncul adanya distorsi akibat *thermal constraction* pada hasil lasan. Distorsi disebabkan oleh masukan panas dan kecepatan pendinginan yang tidak seimbang. Distorsi tidak diharapkan terjadi setelah proses perbaikan komponen mesin selesai. Distosi dapat berupa penyusutan kearah longitudinal, transversal dan kearah sudut. Distorsi pada komponen mesin dapat menyebabkan getaran yang melebihi frekwensi natural mesin dan berakibat kerusakan fatal pada mesin. Untuk mengetahui pemicu terjadinya distorsi, maka perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai distorsi. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tebal pelat dan penggunaan arus pengelasan terhadap distorsi arah longitudinal. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi arah transversal, untuk menekan timbulnya distorsi arah *longitudinal* pada hasil las.

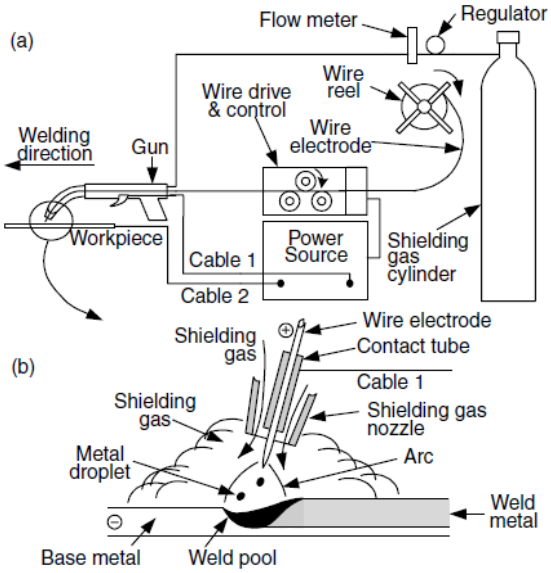
Penelitian ini menggunakan 2 variabel proses yang dicurigai sebagai pemicu terjadinya distorsi arah *longitudinal*. Variabel proses pada penelitian ini digunakan tebal pelat dan arus pengelasan. Data hasil pengukuran distorsi sudut perlu dilakukan pengujian secara statistik menggunakan bantuan *software* minitab R14. Kemudian dengan *software* minitab R14 didapat model matematik dari proses. Dari model dapat diketahui sejauh mana pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan mempengaruhi distorsi sudut.

DASAR TEORI

Penelitian terdahulu mengenai pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi dengan alat las yang berbeda-beda telah banyak dilakukan. Penelitian dengan las SMAW (*shielded metal arc welding*) menunjukkan bahwa ketebalan pelat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi pada hasil lasan [1]. Kemudian penelitian mengenai penggelasan baja lunak dengan menggunakan SAW (*submerged arc welding*) menunjukkan efek arus pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi [2]. Dimana arus yang digunakan dalam proses pengelasan akan berbanding lurus dengan laju distorsi pada hasil lasan. Penelitian mengenai pengaruh parameter las dengan menggunakan alat las GMAW (*gas metal arc welding*) terhadap distorsi, menunjukkan bahwa tegangan, kuat arus, kecepatan pengelasan dan panjang pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju distorsi sudut [3]. Demikian juga pada penelitian mengenai pengelasan dua material yang tidak sejenis, dengan melakukan pengaturan masukan panas untuk mengurangi distorsi *bowing* menggunakan GMAW, menunjukkan bahwa ketahan baja tahan karat terhadap distorsi *bowing* kecil meskipun disertai dengan perlakukan panas dan pemanasan pada jarak yang lebar dari garis las dan dapat meningkatkan distorsi *bowing* pada baja karbon maupun baja tahan karat [4]. Penelitian mengenai pengaruh tebal pelat dalam pengelasan dengan SAW (*submerged arc welding*), menunjukkan bahwa dengan kedalaman penetrasi dan pemilihan parameter las yang tepat dapat meminimalkan terjadinya distorsi sudut pada pengelasan sambungan T [5]. Pengelasan baja lunak menggunakan GMAW dengan *metal transfer type spray* menunjukkan bahwa arus dan tebal dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi sudut, disamping itu arus dan tebal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan pada daerah las, khususnya daerah HAZ [6].

Alat las GMAW secara garis besar adalah las listrik dengan pelindung nyala api berupa gas. Gas pelindung dapat berupa *inert gas* (He dan Ar) dan *actif gas* (CO_2 dan O_2) [7][8][9][10]. Nyala busur listrik saat proses pengelasan akan terselubungi gas pelindung. Gas pelindung

berfungsi melindungi logam las saat mencair dari udara atmosfer dan menaikkan *heat transfer* saat gas pelindung menggunakan actif gas. Elektroda yang digunakan didalam las GMAW tidak memiliki panjang yang terbatas. Alat las GMAW semiotomatis ditunjukkan pada gambar 1.

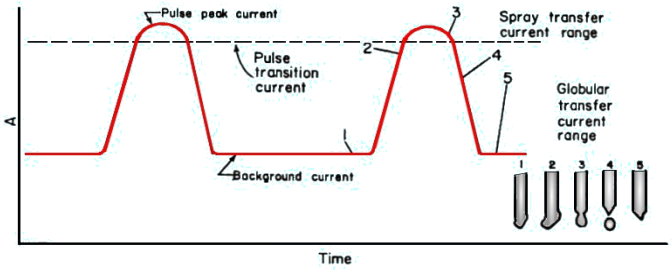


Gambar 1. a. Alat las GMAW semi otomatik. b. Proses pengelasan dengan menggunakan alat las GMAW [9].

Metal transfer didalam pengelasan dengan menggunakan GMAW dikenal 4 macam metal transfer, yaitu :

1. *Short circuit metal transfer*
2. *Globular metal transfer,*
3. *Pulsa metal transfer* dan
4. *Spray metal transfer*

Metal transfer yang terjadi dibedakan berdasarkan penggunaan arus pengelasan. Penggunaan arus ditunjukkan pada gambar 2. Arus transisi digunakan ketika metal transfer type pulsa digunakan. Pada diameter elektroda 1 mm, arus pengelasan digunakan 150 A [9].

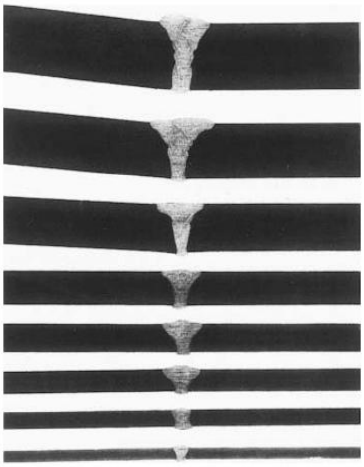


Gambar 2. Pulsa arus sebagai referensi yang membedakan metal transfer didalam las GMAW [9].

Pemilihan parameter las yang tepat akan menentukan kualitas hasil las. Salah satu parameter las adalah arus pengelasan. Arus pengelasan yang tinggi menyebabkan elektroda akan cepat meleleh, sehingga juru las cenderung mempercepat kecepatan pengelasan. Saat arus pengelasan rendah menyebabkan elektroda sulit meleleh, sehingga juru las cenderung

memperlambat kecepatan pengelasan. Arus pengelasan berbanding lurus dengan H_{nett}. H_{nett} merupakan bentuk energi input didalam pengelasan, dimana besar energi input dapat mempengaruhi kecepatan pendinginan yang terjadi pada hasil pengelasan. Kecepatan pendinginan juga dipengaruhi oleh luas permukaan benda kerja yang terekspos ke udara bebas, yang memungkinkan terjadinya laju perpindahan panas secara konveksi [9]. Kecepatan pendinginan menentukan distorsi sudut pada hasil pengelasan [9].

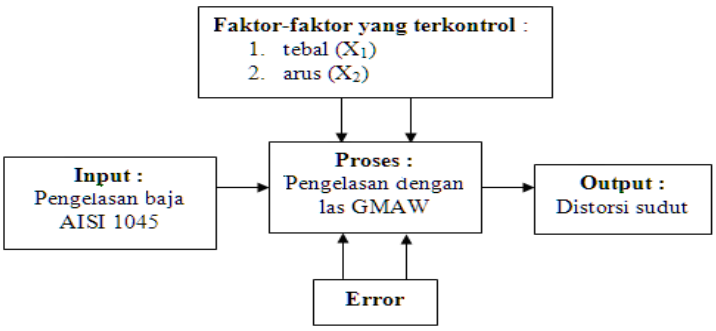
Distorsi merupakan bentuk penyimpangan geometri hasil pengelasan. Distorsi muncul sebagai akibat pemuaian saat pemanasan yang tidak seimbang dengan penyusutan saat fase pendinginan terjadi. Kontraksi termal saat terjadinya pemanasan dan ketika berlangsungnya fase pendinginan benda kerja dapat melampui deformasi plastik [9]. Distorsi dipengaruhi oleh ketebalan pelat yang ditunjukkan pada gambar 3.



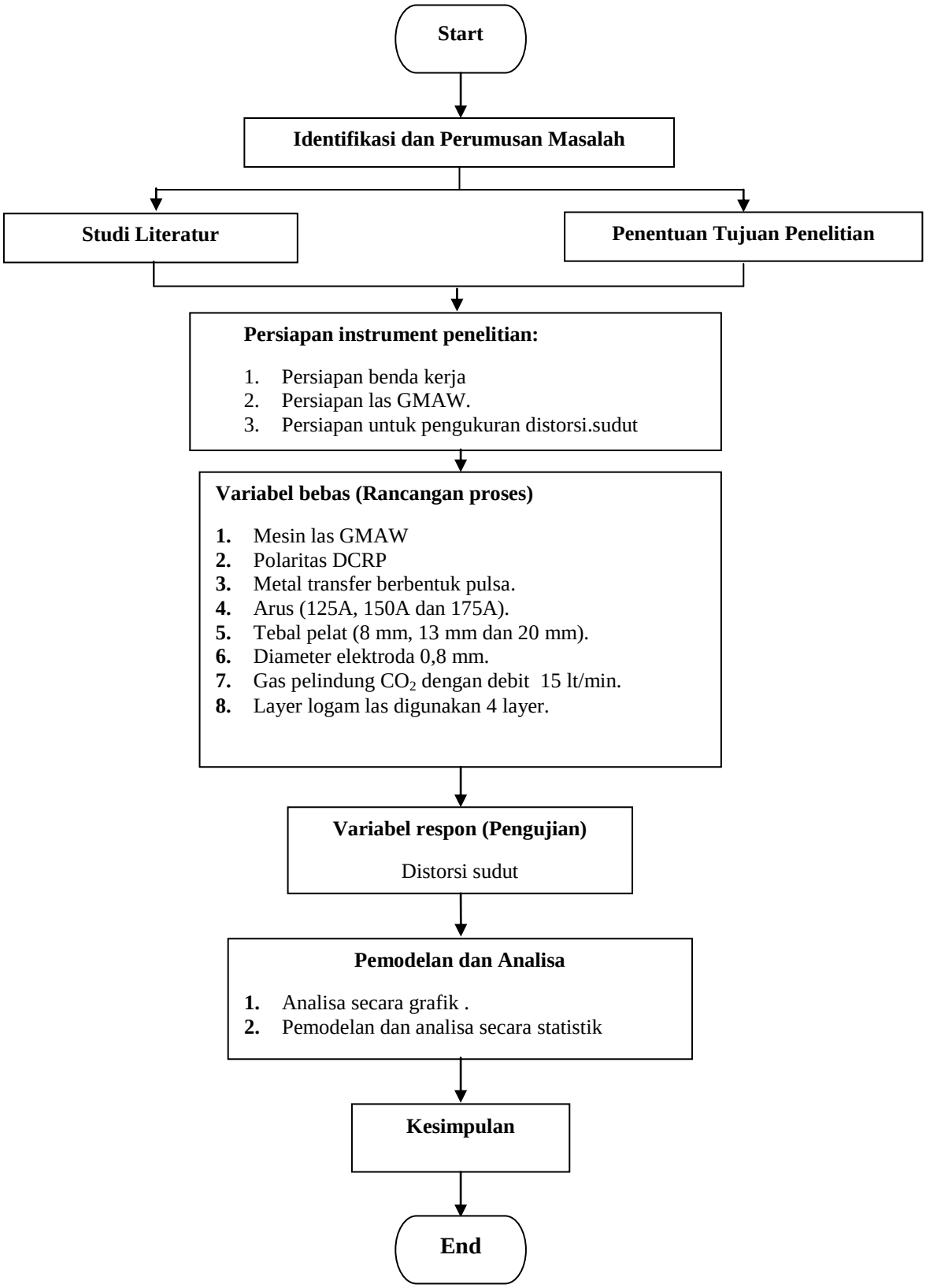
Gambar 3. Pengaruh tebal pelat terhadap distorsi sudut pada pengelasan aluminium seri 5083 [10].

METODE

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini merupakan model sistem pengelasan pelat datar dengan las GMAW yang ditunjukkan pada gambar 4. Eksperimen ini diawali dengan penetapan *level* pada tebal dan arus pengelasan sebagai identifikasi masalah. *Level* tebal dan arus pengelasan ditunjukkan pada tabel 1. *Flow chart* eksperimen ini secara garis besar ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Model sistem.



Gambar 5. *Flow chart* eksperimen.

Tabel 1. *Level* Parameter Proses [11][12]

No	Parameter Bebas	Level		
		-1	0	1
1	X_1 = Tebal Pelat (mm)	8	13	20
2	X_2 = Arus Pengelasan(ampere)	125	150	175

Perencanaan eksperimen dibuat dengan formasi *Central Composite Design (CCD)* yang didapat dari *software* minitab R14. Sebagai inputan yang dimasukkan kedalam s*oftware* minitab ditunjukkan pada gambar 6. Formasi CCD variabel proses ditunjukkan pada tabel 2.

Central Composite Design

```
Factors:        2     Replicates:     1
Base runs:     13     Total runs:    13
Base blocks:    1     Total blocks:   1

Two-level factorial: Full factorial

Cube points:              4
Center points in cube:    5
Axial points:             4
Center points in axial:   0

Alpha: 1
```

Gambar 6. Inputan awal untuk mendapatkan desain CCD.

Tabel 2. Desain Eksperimen Berdasarkan Formasi CCD [13][14].

No test	X_1	X_2	Tebal(mm)	Kuat arus (amp)
1	0	-1	13	125
2	0	0	13	150
3	0	0	13	150
4	0	0	13	150
5	-1	1	8	175
6	-1	0	8	150
7	-1	-1	8	125
8	0	0	13	150
9	0	1	13	175
10	1	-1	20	125
11	1	0	20	150
12	1	1	20	175
13	0	0	13	150

Spesimen benda kerja digunakan AISI 1045 yang sering digunakan sebagai bahan pembuatan komponen mesin. Komposisi kimia dari spesimen benda kerja ditunjukkan pada tabel 3.

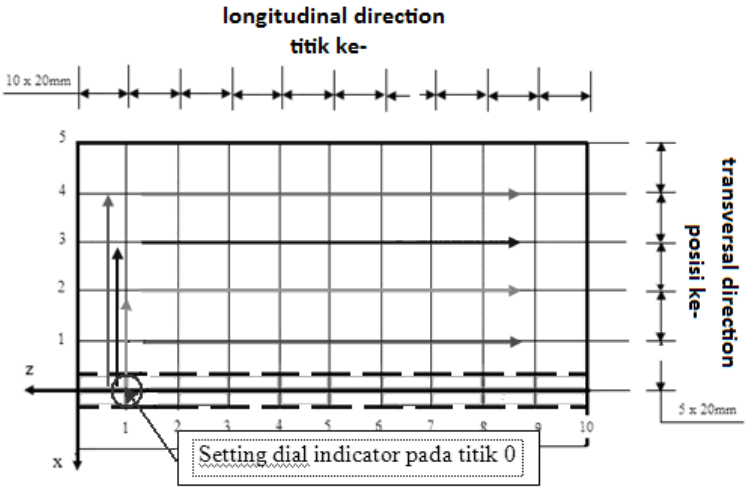
 ISBN : 978-602-98569-1-0

Tabel 3. Komposisi kimia baja AISI 1045.

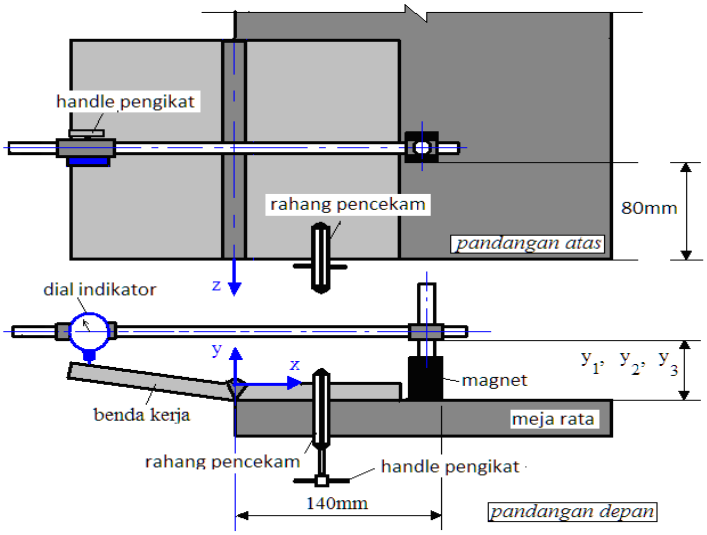
Unsur kimia	*%*
Cuprum (Cu)	-
Mangan (Mn)	60
Phosfor (P)	1
Sulfur (S)	2
Silikon (Si)	20
Carbon (C)	48

(Sumber : Bhinneka Bajanas)

Pelaksanaan pengelasan dilakukan didalam laboratorium. Pengelasan dilakukan pada posisi 1G. Layer yang digunakan didalam pengelasan sebanyak 4 *layer*. Debit gas pelindung CO_2 **15 lt/min**. Pengelasan dilakukan secara manual dan dikerjakan oleh juru las yang bersertifikat juru las. Kecepatan *filler* disesuaikan dengan arus pengelasan. Kecepatan *filler* **13 m/min** digunakan pada arus 125 A. Kecepatan filler **18 m/min** digunakan pada arus 150 A. Kecepatan filler **16 m/min** digunakan pada arus 175 A. Pengukuran distorsi hasil pengelasan dilakukan dengan menggunakan *dial indicator*. Posisi pengukuran ditunjukkan pada gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. a. Koordinat pengukuran dengan *dial indicator*. b. Penempatan benda kerja saat dilakukan pengukuran dengan dial indikator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen dalam formasi CCD ditunjukkan pada tabel 4. Data yang ditabelkan merupakan nilai distorsi maksimum yang terjadi didalam setiap spesimen benda kerja yang terukur dengan metode pengukuran arah transversal yang ditunjukkan pada tabel 5. Data hasil eksperimen perlu dilakukan pengujian secara statistik sebagai syarat validasi data secara statistik, yaitu **error yang terjadi *identic*, *error* yang terjadi berdistribusi normal dan *independent*** [14]. Hasil pengujian dengan *software* minitab R14 ditunjukkan pada gambar 8 sebagai analisa variansi data hasil eksperimen.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Dalam Formasi CCD.

No	X_1	X_2	Tebal (mm)	Arus (amp)	Distorsi (δ cm)
1	0	-1	13	125	0.058784
2	0	0	13	150	0.035683
3	0	0	13	150	0.033669
4	0	0	13	150	0.033335
5	-1	1	8	175	0.026753
6	-1	0	8	150	0.031005
7	-1	-1	8	125	0.051272
8	0	0	13	150	0.035003
9	0	1	13	175	0.031668
10	1	-1	20	125	0.093888
11	1	0	20	150	0.054151
12	1	1	20	175	0.049020
13	0	0	13	150	0.033350

 ISBN : 978-602-98569-1-0

Tabel 5. Distorsi maksimum.

arus	***tebal***		
	8	**13**	**20**
125	0.051272	0.058784	0.093888
150	0.031005	0.035683	0.054151
175	0.026753	0.031005	0.049020

(satuan ukuran distorsi dalam mm)

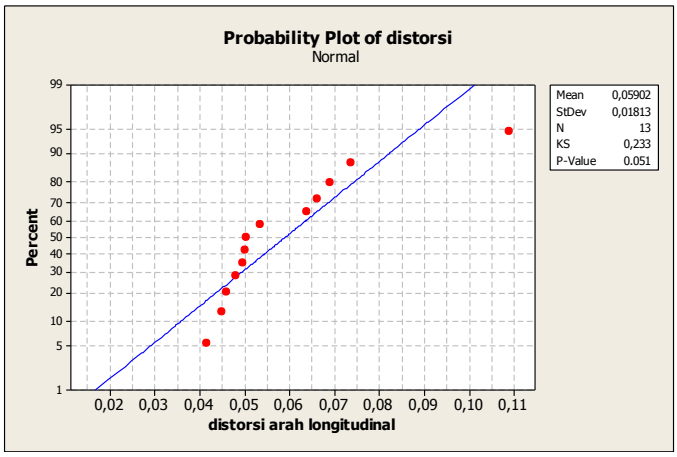
```
The nalysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for distorsi maksimum

Term            Coef    SE Coef        T      P
Constant    0.035208   0.001225   28.751  0.000
X1          0.014672   0.001204   12.186  0.000
X2         -0.016194   0.001204  -13.451  0.000
X1*X1       0.008558   0.001775    4.822  0.002
X2*X2       0.010874   0.001775    6.128  0.000
X1*X2      -0.005087   0.001475   -3.450  0.011

S = 0.002949   R-Sq = 98.4%   R-Sq(adj) = 97.3%
```

Gambar 8. Hasil analisa dengan menggunakan *software* minitab R14.

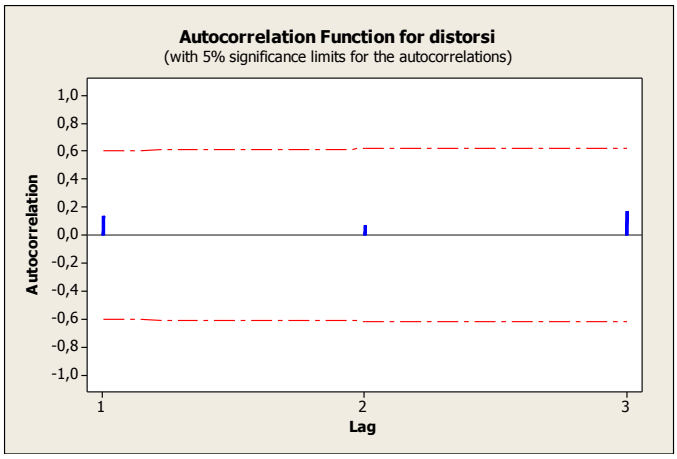
Hasil pengujian statistik menunjukkan bahwa tebal pelat memberikan kontribusi positif terhadap distorsi dan arus pengelasan memberikan kontribusi negatif terhadap distorsi sudut. Hasil analisa didapat persamaan matematik yang menggambarkan proses. Model matematis adalah sebagai berikut,

$$Y = 0{,}008558X_1^2 + 0{,}010874X_2^2 - 0{,}005087X_1X_2 + 0{,}014672X_1 - 0{,}016194X_2 + 0{,}035208 \quad (2)$$

Pengujian hipotesa variabel-variabel menggunakan $\alpha = 0.05$. Hasil pengujian variable-variabel didalam model menunjukkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variabel-variabel proses terhadap distorsi sudut. Pengujian *error* dengan *normality test* didapat hasil bahwa *error* berdistribusi normal dengan *P-value = 0.0501* yang ditunjukkan pada gambar 9. Sebaran data pada



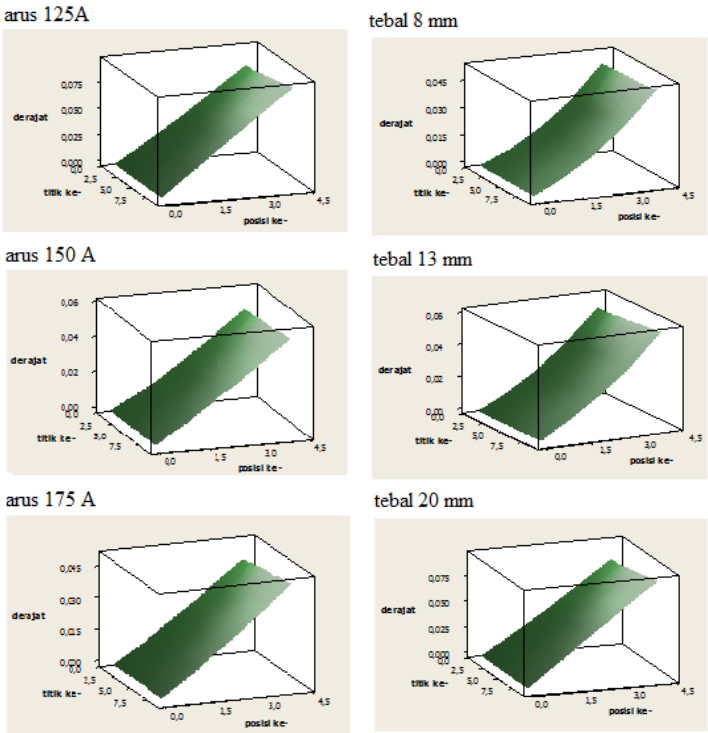
Gambar 9. *Normality test.*



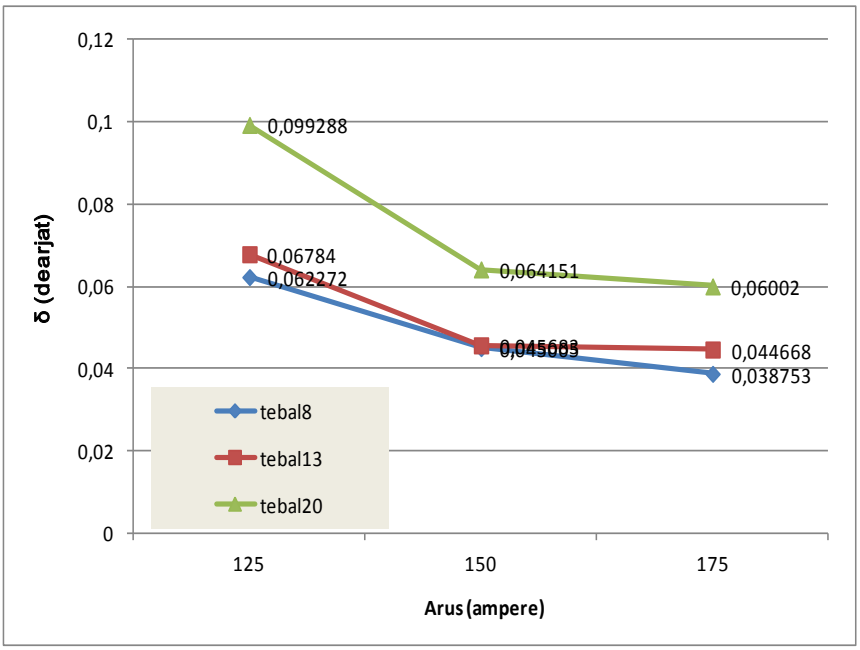
Gambar 10. *Autocorrelation test.*

autocorrelation menunjukkan *independent error* yang ditunjukkan pada gambar 10. Sebaran data didalam *plotting* diagram menunjukkan bahwa *error identic* satu dengan yang lain. Harga R^2 = *97,3%* mengindikasikan bahwa model dapat menggambarkan proses dengan sangat baik.

Model matematis menunjukkan kontribusi pengaruh tebal pelat dan kuat arus pengelasan terhadap distorsi. Pengaruh terbesar diberikan oleh arus pengelasan. Pengaruh terkecil diberikan oleh tebal pelat. Pengaruh arus memberikan efek negatif pada distorsi. Semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan dapat mengurangi terjadinya distorsi. Pengaruh tebal memberikan efek positif pada distorsi. Semakin tebal pelat yang akan dilas peluang terjadinya distorsi sudut akan semakin besar. Model juga menggambarkan proses secara nyata. Model menggambarkan hubungan tebal dan arus pengelasan dengan distorsi bukan sebagai fungsi linier, melainkan fungsi kuadratik yang ditunjukkan dengan kurva pada grafik yang berbentuk parabolik. Pengambilan data individual ditampilkan dalam visualisasi yang ditunjukkan pada gambar 11. Hubungan tebal dan arus pengelasan dengan distorsi sudut ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 11. Visualisasi *plotting* data hasil pengukuran *individual* dengan *respon surface.*



Gambar 12. Grafik hubungan antara tebal dan arus pengelasan dengan distorsi.

Kurva grafik hubungan lebal pelat terhadap arus pengelasan menunjukkan bahwa semakin tinggi tebal pelat yang dilas dapat menaikkan terjadinya distorsi, dimana pola tersebut juga terjadi pada pemakaian arus pengelasan 125 A, 150 A dan 175 A. Variansi terbesar pengelasan pelat datar terjadi pada pengelasan pelat dengan pemakaian arus 125 A. Tren kurva menunjukkan semakin tebal pelat yang dilas, distorsi yang timbul pada hasil lasan semakin tinggi. Kejadian tersebut muncul diakibatkan pada pengelasan pelat tebal secara manual, dimana operator akan berupaya untuk mengisi kampuh las dengan logam las untuk menghindari kekosongan kampuh las. Saat operator las berupaya mengisi kekosongan kampuh las dengan logam las berdampak pada penurunan kecepatan pengelasan. Penurunan kecepatan pengelasan akan meningkatkan masukan panas ke logam induk, akibatnya kontraksi thermal yang dialaminya meningkat. Sehingga distorsi arah longitudinal yang dihasilkan akan naik.

Kurva grafik hubungan pengaruh arus terhadap tebal pelat menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan arus pengelasan dapat menurunkan efek distorsi pada hasil pengelasan, dimana pola kejadian tersebut terjadi pada tebal 8 mm, 13 mm dan 20 mm. Variansi terbesar pada pengelasan pelat dengan ketebalan 20 mm. Pemakaian arus pengelasan dapat menaikkan H_{nett} saat proses pengelasan berlangsung. Kenaikan H_{nett} secara tidak langsung akan menaikkan gerakan operator didalam melakukan proses pengelasan, dimana ketika pengelasan dilakukan secara manual, pemakaian arus yang tinggi dapat mempermudah logam las mencair, sehingga proses pengelasan dapat dilakukan lebih cepat. Saat proses pengelasan yang dilakukan semakin cepat, maka panas yang diterima logam induk tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan kecepatan pengelasan rendah. Akibatnya kontraksi thermal akibat inputan panas H_{nett} dengan kecepatan pengelasan tinggi yang terjadi pada benda kerja tidak terlalu besar. Sehingga terjadi penurunan distorsi arah longitudinal.

KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Semakin besar luas permukaan benda kerja yang terekspos ke udara bebas, akan menaikkan harga distorsi arah longitudinal didalam pengelasan pelat datar menggunakan las GMAW.

2. Semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan dapat menurunkan terjadinya distorsi arah longitudinal pada pengelasan pelat datar menggunakan las GMAW.
3. Model matematika sistem dengan analisa regresi didapatkan berbentuk kuadratik, sesuai dengan hasil capaian grafis secara manual, dengan error memenuhi kriteria error secara statistik.
4. Arus pengelasan sebagai parameter las dapat digunakan untuk mengurangi pengaruh tebal pelat terhadap respon distorsi arah longitudinal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anggono, Juliana, dkk. 1999. *Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja Lunak SS400*, Vol 1, No 1, Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Surabaya, Universitas Kristen Petra, http://www.t.petra.ac.id/~puslit/journals/,.

[2] Suwanda & Totok. 2001. *Minimalisasi Distorsi Pada Pengelasan Plat Baja Lunak dengan Submerged Arc Welding Pada lebar Pelat Dan Kedalaman Penetrasi yang berbeda*, Surabaya. Proceding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS.

[3] Rusdianto & Jaka. 1999, *Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan GMAW terhadap Distorsi yang Terjadi Pada Pengelasan Baja SS400 Ketebalan 12 mm*. Surabaya. Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, ITS.

[4] Triyono. 2006, *Pengaruh Manajemen Termal terhadap Distorsi Bowing Sambungan Las Logam tak Sejenis antara Baja Karbon dan Baja Tahan Karat*. Surabaya. Unesa.

[5] Pranowo, Sidi. 2008. *Minimalisasi Distorsi Sudut dengan Kedalaman Penetrasi sebagai Kendala pada Proses Pengelasan Busur Rendam Sambungan-T*. Surabaya. Proceding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS.

[6] Konang, Awia. 2009. *Pengaruh variasi tebal pelat dan besar arus listrik terhadap distorsi pada pengelasan multilayer proses GMAW dengan menggunakan transfer spray*. Surabaya Proceeding Seminar Pascasarjana, PPs. ITS.

[7] Gourd L.M. 1995. *Principles of Welding Technology 3th edition*, Edward Arnold, London. A Division of Holder Headline PLC, 338 Euston Road.

[8] Kou, Sindo. 2002. *Welding Metallurgy 2nd Edition*. Canada. John Wiley and Sons.

[9] AWS D1.1/D1.1 M – *Struktur Welding Code – Steel*, American Welding Society, An American National Standart.

[10] Wiryosumarto, Harsono & Okumura Toshie. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, PT. Pradnya Paramita,.

[11] Mikami, Yoshiki. 2006. *Measurement and Numerical Simulation of Angular Distortion of Fillet Welded T-joint*, Vol.24, No 4 (20061105) : 312-323. Japan Welding Society.

[12] Montgomery, D.C. 1991. *Design and Analysis of Experiment*. Canada. John Wiley and Sons.

[13] Iriawan, Nur & Septin Pudji Astuti. 2006. *Mengola Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Yogyakarta. Andi.

[14] Myer, R.H. and Montgomery, D.C. 2002. *Respon Surface Methodology Process and Production Optimazation Using Design Experiment*. Canada. John Wiley and Sons.

STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS SILINDER SUSUNAN *STAGGERED* TERHADAP *UPPER WALL SIDE* MENGUNAKAN *TURBULENCE MODEL K-E REALISABLE* (STUDI KASUS VARIASI *RE* 44225; 88510; 132765 DAN 177020)

Gatot Setyono[1] Miftahul Ulum[2]
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1,2]
Email[1] : gatotsetyono@gmail.com

ABSTRAK

Silinder digunakan pada alat penukar kalor untuk meningkatkan luasan perpindahan panas antara permukaan utama dengan fluida di sekitarnya. Idealnya, material untuk membuat silinder harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi untuk meminimalkan perbedaan temperatur antara permukaan utama dengan permukaan yang diperluas. Aplikasi silinder sering dijumpai pada system pendinginan ruangan, peralatan elektronik, motor bakar, trailing edge sudu turbin gas, alat penukar kalor kompak, dengan udara sebagai media perpindahan panasnya. Ada berbagai tipe silinder pada alat penukar kalor yang telah digunakan, mulai dari bentuk yang relatif sederhana seperti silinder segiempat, silindris, anular, tirus atau pin sampai dengan kombinasi dari berbagai geometri yang berbeda dengan jarak yang teratur dalam susunan segaris (in-line) ataupun selang-seling (staggered). Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik boundary layer turbulen pada Cylinder tersusun staggered untuk kasus Re= 44225 dengan cara mendapatkan data secara kualitatif dan kuantitatif pada a) Drag Coefficient (Cd) (b) Lift Coefficient (Cl) dan (c) Velocity contour d) Heat transfer. Parameter tersebut diukur pada daerah mid span dengan, Re= 44225, Re = 88510, Re= 132765 dan Re= 177020 Penelitian ini menggunakan software Fluent 6.3.26 dimana pada penelitian secara numerik digunakan turbulence model yaitu k-ε realisable . Analisa pada penelitian numerik dilakukan secara 2 dimensi (2D) Unsteady Reynolds Averages Navier Stoke. Didapat bahwa dengan meningkatkan Re maka hal yang terjadi Cd mengalami penurunan, turbuensi aliran meningkat dan akibatnya perpindahan panas yang terjadi juga meningkat pada setiap kenaikan Re.

Kata kunci : Staggered, Drag Coefficient (Cd), Lift Coefficient(Cf), Velocity Contour, Nusselt Number (Nu).

PENDAHULUAN

Silinder digunakan pada alat penukar kalor untuk meningkatkan luasan perpindahan panas antara permukaan utama dengan fluida di sekitarnya. Idealnya, material untuk membuat silinder harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi untuk meminimalkan perbedaan temperatur antara permukaan utama dengan permukaan yang diperluas. Aplikasi silinder sering dijumpai pada system pendinginan ruangan, peralatan elektronik, motor bakar, *trailing edge* sudu turbin gas, alat penukar kalor kompak, dengan udara sebagai media perpindahan panasnya. Ada berbagai tipe silinder pada alat penukar kalor yang telah digunakan, mulai dari bentuk yang relatif sederhana seperti silinder segiempat, silindris, anular, tirus atau pin sampai dengan kombinasi dari berbagai geometri yang berbeda dengan jarak yang teratur dalam susunan segaris (*in-line*) ataupun selang-seling (*staggered*).

Sebagian besar penelitian sebelumnya eksperimental tentang arus dalam silinder tersusun difokuskan pada pengukuran perpindahan panas dan tekanan drop. Peneliti sebelumnya secara sistematis mempelajari perpindahan panas dan tekanan penurunan susunan pada kedua pipa susunan staggered dan in-line dengan pengaturan berbagai konfigurasi dalam aliran gas [1][2][3]. Hasil yang diperoleh telah menunjukkan bahwa angka Nusselt rata-rata untuk tabung dalam peningkatan sebanding dengan angka Reynolds dan ditingkatkan oleh peningkatan rasio jarak melintang dan penurunan rasio membujur. Penurunan tekanan di tabung telah telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [3][4].

Salah satu tipe silinder pada peralatan penukar kalor yang mempunyai banyak pemakaian dalam berbagai aplikasi industri adalah silinder. Silinder adalah elemen berbentuk silinder atau

bentuk lainnya yang dipasang secara tegak lurus terhadap dinding alat penukar kalor dengan fluida pendingin mengalir dalam arah aliran melintang terhadap dinding alat penukar kalor tersebut. Silinder-silinder dapat meningkatkan luas permukaan pelepas panas, dan menyebabkan aliran yang turbulen sehingga meningkatkan unjuk kerja disipasi panas yang berdampak pada meningkatnya ketahanan dan umur peralatan. Terdapat berbagai parameter yang menggolongkan silinder, seperti bentuk pin, tinggi pin, diameter pin, perbandingan tinggi dan diameter pin dan sebagainya yang dapat disusun secara segaris ataupun secara selang-seling terhadap arah aliran fluida pendinginnya. Laju perpindahan panas dari suatu rakitan silinder ke lingkungan tergantung pada distribusi temperatur pada silinder dan plat dasar, geometri silinder, jarak antara ujung silinder dengan permukaan atas saluran udara (*shroud clearance*), sifat-sifat fluida, laju aliran udara, jarak antara titik pusat silinder (*interpin pitch*), susunan silinder dan orientasi dari alat penukar kalor [5][6][7][8].

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *boundary layer* turbulen pada *Cylinder tersusun staggered* untuk kasus Re= 44225, Re = 88510, Re= 132765 dan Re= 177020 dengan cara mendapatkan data secara kualitatif dan kuantitatif pada (a) *Drag Coefficient (Cd)* (b) *Lift Coefficient* (*Cl)* dan (c) *Velocity contour* (d) *Heat transfer*. Parameter tersebut diukur pada daerah *mid span*. Penelitian ini juga bertujuan untuk menginterprestasikan hasil penelitian secara numerik menggunakan *software* Fluent 6.3.26 dimana pada penelitian secara numerik digunakan *turbulence model* yaitu *k-ε realisable*. Analisa pada penelitian numerik dilakukan secara 2 dimensi (2D).

METODE

Metode Matematis

Menggunakan *Unsteady Reynold Averaged Navier Stokes Equations* Dari Massa Dan Momentum :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial u_j} = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial P}{\partial x_i}\right) + v\left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}\right) - \frac{\overline{\partial u_i' u_j'}}{\partial x_j} \qquad (2)$$

dimana i, j = 1, 2. Berikut x_1 dan x_2 menunjukkan arah horizontal dan vertikal, masing masing; u_1 dan u_2 adalah komponen kecepatan rata-rata; $\partial u_i' \partial u_j'$ adalah komponen tegangan Reynolds dimana u_i' menunjukkan fluktuasi kecepatan; P adalah tekanan; dan ρ adalah densitas dari fluida. Tegangan Reynolds komponen, $\partial u_i' \partial u_j'$a, dinyatakan dalam viskositas turbulen v_T dan aliran gradient rata-rata dengan menggunakan pendekatan Boussinesq

$$\overline{u_i' u_j'} = -v_T\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}k\delta_{ij} \qquad (3)$$

Di mana k adalah energi kinetik turbulen dan ∂_{ij} adalah fungsi Kronecker. Sekarang para peneliti sering menggunakan standar bilangan Reynolds tinggi pemodelan k-ε turbulensi. Model ini telah diterapkan Franke dan Rodi [9] untuk *vortex shedding flow* dengan. Persamaan k dan ε ditunjukkan:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{v_T}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + v_T\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon \qquad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{v_T}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + C_1\frac{\varepsilon}{k}v_T\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_2\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad (5)$$

dimana $v_T = C\mu(k^2/\varepsilon)$ untuk koefisien standart diambil dari C*1 = 1,44* ; C*2 = 1,92* ; C_μ = *0,09* ; σ_k= *1,00* ; σ_ε = *1,3*)

Prosedur Solusi Numerik, Domain Komputasi Dan Kondisi Batas

Model *k-ε turbulen Realisable* berbeda dari model *k-ε Standar*. Pertama mengandung formulasi baru untuk turbulence viscocity, dan kedua, persamaan transportasi baru untuk ε telah diturunkan dari persamaan yang tepat untuk pengangkutan fungsi *mean-square vorticity* [13]. Dalam model k-*ε turbulen Realisable*, persamaan transportasi untuk k adalah identik dengan model *k-ε Standar*. Namun, produksi dan istilah difusi dalam persamaan transportasi untuk ε sedikit berbeda dan didefinisikan sebagai:

$$G_\varepsilon = \rho C_1 S_\varepsilon \quad (7)$$

$$Y_\varepsilon = \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{v\varepsilon}} \quad (8)$$

$$C_1 = max\left[0{,}43\frac{\eta}{\eta+5}\right] \quad (9)$$

$$\eta = S\frac{k}{\varepsilon} \quad (10)$$

Demikian pula dengan model k-ε turbulen Standar, viskositas turbulen dihitung menggunakan Persamaan (10), bagaimanapun, Cμ tidak lagi menjadi konstan. Cμ dihitung dengan menggunakan mengikuti persamaan:

$$C_\mu = \frac{1}{A_o + A_s\frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (11)$$

Dimana :

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{u}_j} - \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial \bar{u}_i}\right)} \quad (12)$$

Dalam Persamaan (12), A_O adalah konstanta dan variabel yang tersisa, A_S, dihitung dengan menggunakan berikut:

$$A_s = \sqrt{6\cos\emptyset} \quad (13)$$

Dimana:

$$\emptyset = \frac{1}{3}\cos^{-1}\left(\sqrt{6W}\right), W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\check{S}^3}, \check{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}} \quad (14)$$

Konstanta diterapkan dalam model k-ε turbulen Realisable adalah sama dengan:

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.2, C_2 = 1.9, A_o = 4.04 \quad (15)$$

Setelah kecepatan dan bidang temperatur diperoleh, tingkat lokal, permukaan rata-rata, waktu rata-rata, dan waktu dan permukaan rata –rata Jumlah Nusselt didefinisikan sebagai berikut:

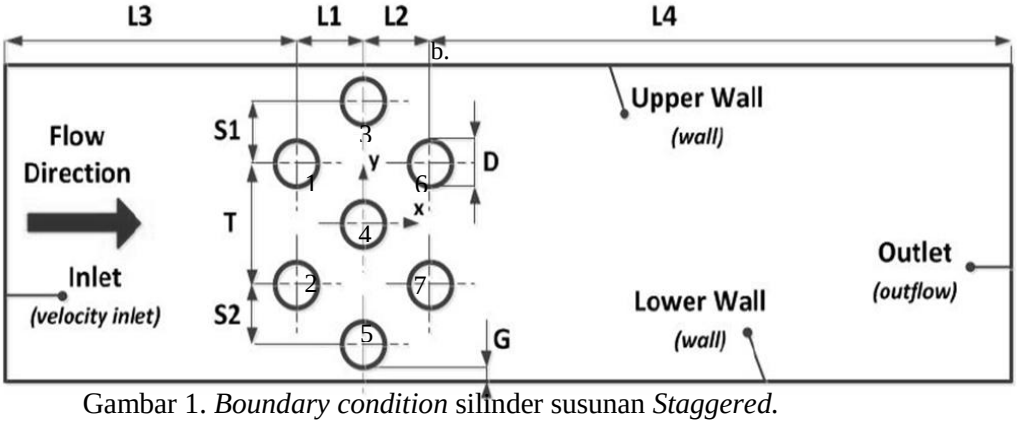
$$Nu = \frac{\partial\theta}{\partial n} wall \quad \langle Nu\rangle = \frac{1}{W}\int_0^W Nu\, dS \quad \overline{Nu} = \frac{1}{t_p}\int_0^{t_p} Nu\, dT \langle\overline{Nu}\rangle = \frac{1}{t_p}\int_0^{t_p}\langle Nu\rangle\, dt$$

dimana n adalah arah normal terhadap dinding, W adalah permukaan silinder dan t_p adalah periode integrasi waktu.

Metode Numerik

a. Susunan silinder staggered.

   Dalam model numerik ini peneliti harus sangat memperhatikan faktor meshing untuk akurasi data. Pemberian meshing sangat diperhatikan apalagi pada daerah yang penting yaitu dimana daerah *boundary layer* yaitu pada diamana *grid* dari *meshing* di rapatkan untuk mendapatkan yang valid. Dimensi yang digunakan adalah D=1, L1=L2=1,5D, L3=7D, L4=20D, G=0.25D, S1=S2=1.25 D, T=2.5D dan *heat flux* 500 W/m^2 pada tiap-tiap silinder. Kemudian temperature inlet 60^{0}C = 333^{0}K . (lihat gambar dibawah) time step 0.01 dengan maximal iterasi 20/ time.



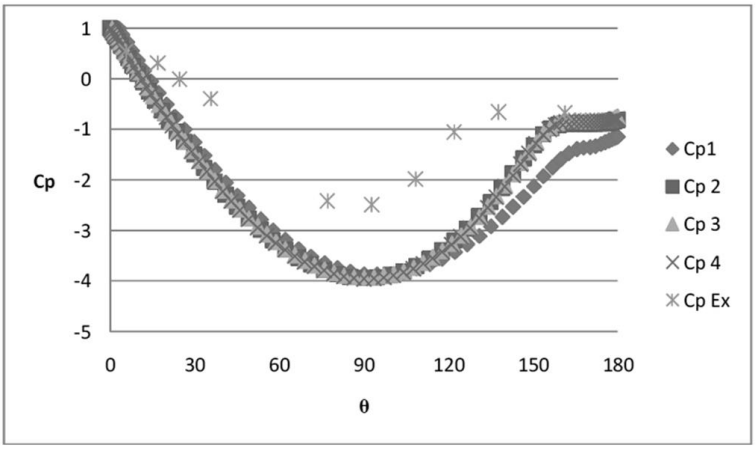
Gambar 1. *Boundary condition* silinder susunan *Staggered.*

b. Grid indepedensi.

Dalam penelitian ini peneliti mengunakan 4 buah yaitu mesh A, B, C dan D masing –masing mesh ini dapat kita lihat ditabel 1.

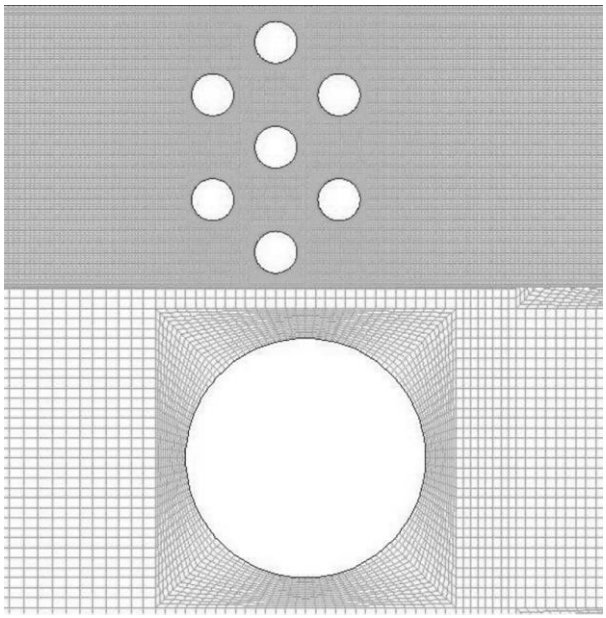
Table 1. Grid Indepedensi

No	Mesh	Nodes	Cd	Cp exp	Error
1	A	56150	-1.14723	-0.67766	-0.46957
2	B	64694	-0.82001	-0.67766	-0.14235
3	C	79498	-0.76337	-0.67766	-0.08571
4	D	88562	-0.79855	-0.67766	-0.12089



Grafik 1. Distribusi tekanan rata-rata pada silinder: (◆) Mesh A ; ( ) Mesh B ; (■) Mesh C; (▲) Mesh D pada $Re_D = 5.3\ x\ 10^5$.; (X) eksperiment (Zdravkovich,1997)[6] pada $Re_D = 6.7\ x\ 10^5$.

c. Grid Node.



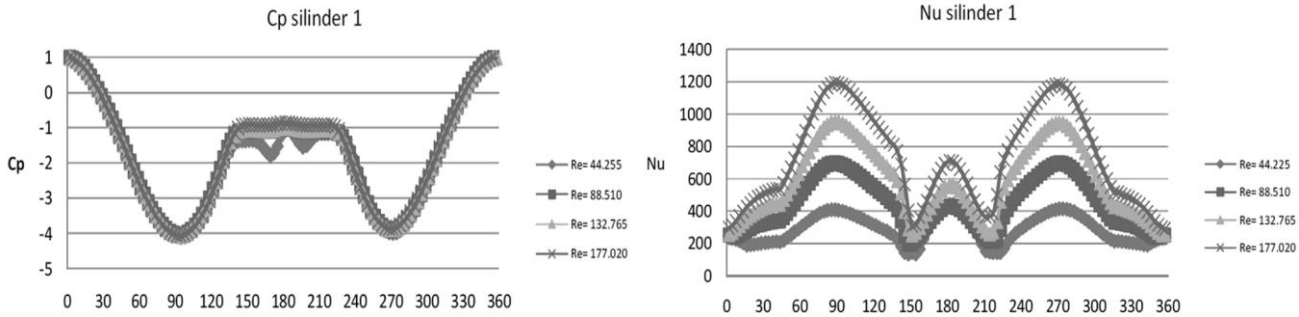
Gambar 2. Grid pada *Staggered Cylinder* dengan 79498 nodes.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil komputasi maka didapat data dengan mengunakan metode K-ε model. Data yang akan dianalisa adalah tentang perbandingan antara eksperiment dan pendekatan numerik terhadap data secara kualitatif dan kuantitatif.

a. *Drag Coefficient (Cd). Nusselt Number (Nu)*

Pada Cd maka penulis akan membahas besarnya gaya hambat yang dihasilkan oleh silinder yang tersusun secara selang-seling atau *staggered* yang akan kita bahas Cd yang terdapat pada tiap-tiap silinder

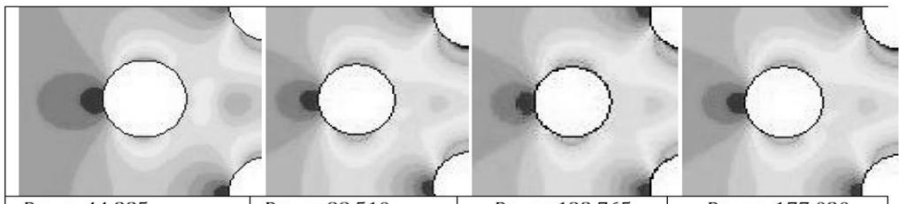


Grafik 2. Distribusi tekanan *coefficient of Pressure (Cp) dan Nusselt Number (Nu)* pada silinder 1.

Dari grafik 2 diatas dapat dianalisa bahwa distribusi tekanan pada silinder 1 dari titik stagnasi hampir sama ini diakibatkan oleh contour silinder yang sama namun terjadi perbedaan saat aliran mencapai silinder bagian belakang yang terlihat jelas perbedaannya terlihat pada Re=44225 yaitu terjadi penurunan signifikan distribusi tekanan ini diakibatkan oleh kecepatan yang terlalu rendah, *advers pressure gradient* yang terjadi disisi belakan silinder terlalu besar karena kecepatan yang rendah dan *vortex* yang terjadi menempel didinding silinder belakang menganggu distribusi tekanan dibelakang silinder. Kemudian kita lihat distribusi tekanan sepanjang *upper side* dan *lower side*, ini ternyata memberikan perbedaan yaitu tekanan sisi *upper* lebih rendah dari pada sisi *lower*

ini karea G/D = 2 lebih sempit dibandingkan jarak antara silinder 1 dengan silinder 2 = 2.5 sehingga kecepatan pada sisi upper lebih cepat daripada sisi lower sehingga tekanan sisi atas lebih rendah. Contour tekanan pada silinder 1.

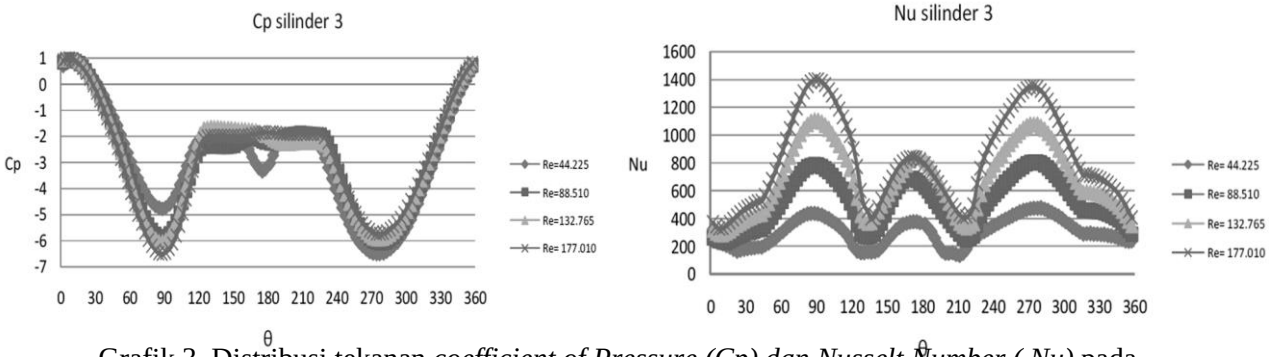
Dari grafik 3 dianalisa bahwa distribusi Nu berbanding lurus terhadap Re dan kecepatan dengan kata lain apabila kecepatan aliran ditingkatkan maka Re juga akan meningkat dan laju perpindahan panas akan meningkat ini dibuktikan bahwa Nu terendah terdapat pada Re yang rendah dan sebaliknya Nu tertinggi terdapat pada Re yang tinggi. Kemudian distribusi sepanjang silinder sisi upper side dan lower side juga terjadi perbedaan akibat G/D = 2 dan jarak antara silinder 1 dan 2 = 2.5 maka ini mempengaruhi kecepatan aliran sehingga Re pada sisi *Upper side* lebih besar dari sisi *Lower side*. Dan distribusi Nu sepanjang silinder membentuk grafik yang sama tiap-tiap Re nya. Dan Nu tertinggi pada tiap-tiap Re terdapat pada paling puncak silinder dan paling bawah silinder.



$Re_D = 44.225,$		$Re_D = 88.510$	$Re_D = 132.765$	$Re_D = 177.020$
Cd 4.99 s	1.0507349	0.91332614	0.90519175	0.88341184

Gambar 3. *contours of pressure coefficien*t silinder 1.

Pada gambar 3 diatas dapat kita lihat perbedaan contours of pressure coefficient pada tingkat tiap-tiap Re, pada Re = 44225, kecendrungan dari aliran mengikuti contour dari silinder, dan pada sisi lower side dan upper side tidak terjadi perubahan kecepatan yang signifikan bila dibandingkan dengan Re=88510, Re=132765, dan Re=177020 digambar terlihat jelas distribusi tekanan pada sisi lower side lebih besar dibandingkan dengan upper side akibar kecepatan aliran pada upper side lebih cepat disbanding lower side. Kemudian dilihat dari perbandingan coefficient drag terhadap Re maka berbanding lurus bahwa semakin tinggi Re maka gaya drag yang dihasilkan akan semakin kecil ini adalah akibat dari aliran yang semakin tinggi mampu menunda aliran untuk terseparasi dengan cepat atau dengan kata lain dan titik separasinya semakin jauh kebelakang.

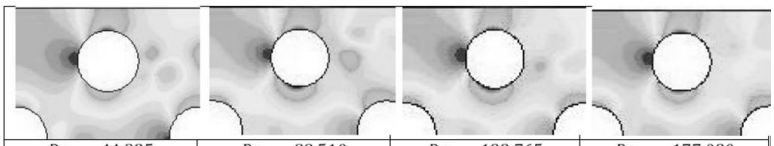


Grafik 3. Distribusi tekanan *coefficient of Pressure (Cp) dan Nusselt Number (Nu)* pada silinder 3.

Dari grafik diatas dapat dianalisa bahwa fenomena yang terjadi sangat berbeda dengan silinder 1 dan 2 karena distribusi tekanan sepanjang silinder 3 dipengaruhi oleh dinding bagian atas yaitu G/D= 0.25 dan sedangkan jarak silinder 3 dengan silinder 4 = 2.5 akibatnya dapat kita lihat bahwa distribusi tekanan tidak seimbang dengan kata lain tekanan pada *upper side* lebih tinggi dibanding dengan *lower side* akibat aliran pada G/D mengalami penyempitan sehingga aliran mengalami *blockage effect* yang terjadi antara dinding dengan *upper side* silinder 3. Distribusi tekanan pada *upper side* lebih tinggi dibandingkan *lower side* karena kecepatan aliran lebih lamba

pada bagian atas. Disini terjadi perbedaan hal yang berbeda silinder 1 dan 2 disini prilaku aliran sangat dipengaruhi oleh Re, pada Re=44225 , Re= 88510 , pada sisi *upper side* silinder 3 mengalami penurunan akibat *blockage effect* oleh dinding distribusi tekanannya tinggi dibanding pada sisi *lower side* mengakibatkan perbedaan tekanan yang signifikan. Namun pada Re=132765 , Re=177020 hal yang berbeda terjadi dari grafik diatas distribusi tekanan dialami pada *lower side* lebih rendah dibanding *upper side* namun tidah sesignifikan pada Re=44225, Re=88510 ini dipengaruhi oleh kecepatan yang tinggi yang mampu mengurangi *blockage effect* antara dinding dengan silinder dan menunda terjadinya separasi lebih awal.

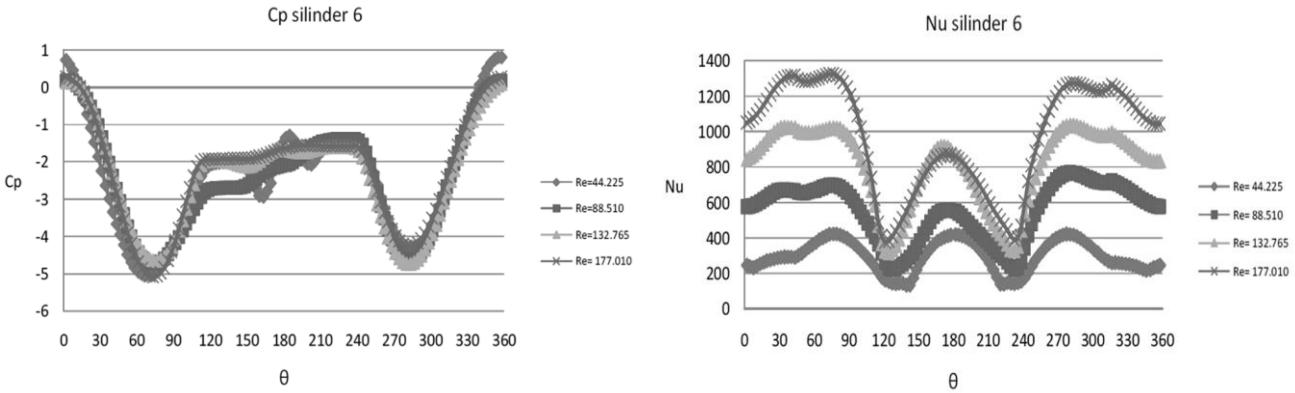
Distribusi perpindahan panas yang diindikasikan dengan Nu maka hal ini berbanding terbalik terhadap distribusi tekanan jika tekanan rendah maka perpindahan panas (Nu) akan naik dan hal ini terjadi pada semua kecepatan. Hal ini merupakan indikasi bahwa Re mempengaruhi Nu yaitunya berbanding lurus. Perpindahan panas pada Re=44225 , Re=88510 tertinggi terjadi pada sisi *lower side* karena adanya *blockage effect* karena aliran tidak mampu mereduksi nya sehingga aliran cendrung mengalir menuju *lower side* maka perpindahan pansa pada *upper side* lebih rendah daripada *lower side*, karena pada *upper side* terjadi perlambatan. Sedangkan pada Re=132765, Re=177020 perpindahan panas tidak terlalu signifikan karena pada *lower side* aliran mampu melawan *blockage effect* sehingga titik separasi tertunda kecepatan pada *upper side* meningkat akibatnya perpindahan panas yang mendekati pada *lower side* dengan *upper side* grafik diatas.



$Re_D = 44.225$		$Re_D = 88.510$	$Re_D = 132.765$	$Re_D = 177.020$
Cd s	**5.99**	1.1099618	0.92123048	0.83830169	0.76252396

Gambar 4. *Contours of pressure coefficient* silinder 3.

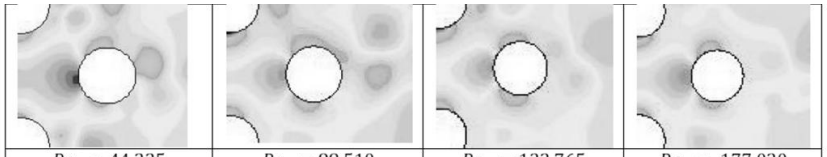
Pada gambar 4 dapat dianalisa bahwa pada Re=44225, Re=88510 kecendrungan aliran pada sisi *upper side* mengalami *blockage effect* sehingga terlihat distribusi tekanan pada sisi *upper side* lebih tinggi dibanding pada *lower side* dan ini sangat signifikan. sedangkan pada Re=132765, Re=177020 aliran menunjukan prilaku yang berbeda yaitu dengan kenaikan kecepatan ternyata mampu melawan *blockage effect* yang dihasilkan G/D dan ini berakibat aliran pada sisi *upper side* meningkat dan ditribusi tekanan tidak sama pada Re=44225, yaitu tidak terlalu signifikan perbedaan distribusi tekanan akibat titik separasinya semakin kebelakang akibat dari kecepatan aliran yang meningkat 177020 dan *coefficient drag* yang dialami berbanding lurus penurunannya terhadap Re.



Grafik 4. Distribusi tekanan *coefficient of Pressure (Cp) dan Nusselt Number (Nu)* pada silinder 6.

Dari garfik 12 diatas dapat dianalisa distribusi tekanan yang terjadi pada *upper side* dan *lower side* pada silinder 6 berbeda dengan silinder 1,2,3,4 dan 5,karena silinder 6 segaris dengan silinder 1, akibatnya aliran yang melalui silinder 6 adalah aliran yang sebelumnya melalui silinder 1, akibatnya *coefficient drag* yang dihasilkan semakin kecil, tapi akibatnya adalah silinder 6 mengalami karman vortex dari silinder 1 yang mengakibatkan vibrasi yang lebih besar, namun akibatnya distribusi tekanan pada Re=44225, Re=88510 *upper side* dengan *lower side* tidak terlalu signifikan namun Cp dibawah 1 karena pengaruh aliran yang terganggu oleh silinder 1 dan akibatnya turbulensi aliran meningkat, sedangkan pada Re=132765, Re=177020 akibat dari kecepatan aliran meningkat maka akibatnya turbulesi aliran meningkat dan aliran semakin berfluktuasi Cd semakin rendah. Dan distribusi tekanan pada *upper side* dan *lower side* tidak terlalu signifikan, keadaan ini akan silih berganti akibat karman vortex pada *upper side* dan *lower side* silinder 6.

Pada perpindahan panas ternyata akibat gangguan dari silinder 2 aliran yang akan melalui silinder 6 terganggu dan mengalami kenaikan turbulensi dan fluktuasi, sehingga perpindahan panas meningkat sesuai dengan kenaikan Re, dengan kata lain berbanding lurus dengan kenaikan Re. kemudian akibat vortex karman sehinggia terjadi perbedaan distribusi perpindahan panas pada silinder 6 yang berbeda pada *lower side* dan *upper side* tidak terlalu signifikan.

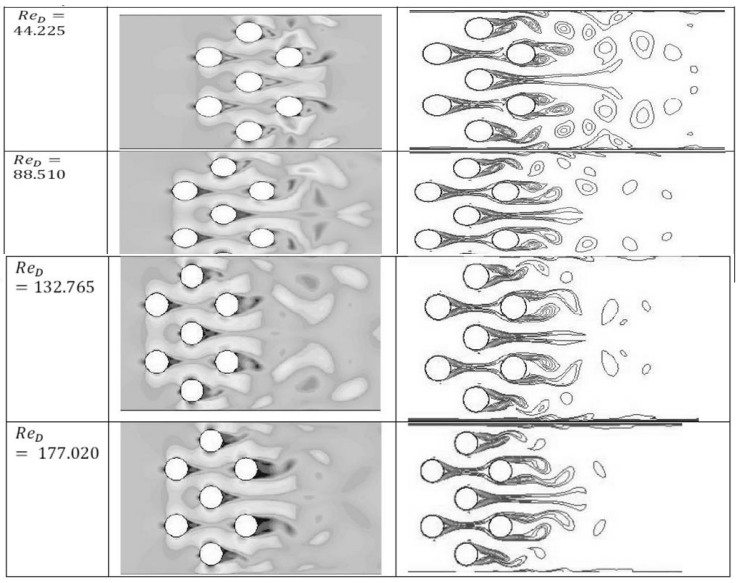


$Re_D = 44.225$		$Re_D = 88.510$	$Re_D = 132.765$	$Re_D = 177.020$
Cd 7.99 s	**0.36946325**	0.2860635	0.2633058	0.21573185

Gambar 5. contours of pressure coefficient silinder 6.

Pada *contours of pressure coefficient* dapat kita analisa bhawa pada Re=44225 terlihat jelas karman vortex mempengaruhi lepasnya vortex dari silinder 6 karena aliran yang rendah maka dan dipergaruhi oleh silinder 1. Distribusim tekanan akan silih berganti antara *lower side* dengan *upper side* sesuai dengan waktu yang ditentukan. Tapi pada Re=88510, Re=132765, Re=177020 vortex karman mulai mengecil karena kecepatan aliran meningkat akibatnya titik separasi semakin maju kedepan.

b. *Velocity contour* dan *vorticity magnitude.*



Dari gambar diatas tentang *Velocity contour* dan *vorticity magnitude* dapat dianalisa bahwa pada Re=44225 pada kecepatan rendah bentuk aliran yang menyentuh silinder 1 dan 2 mengaami gangguan oleh penyempitan oleh silinder 3 4 dan 5, akibatnya aliran setelah melalui silinder 1 dan 2 tidak menimbulkan karman vortex pada aliran sesudah silinder 1 dan 2. Pada silinder 3 dan 5 terlihat bahwa dinding sangat mempengaruhi aliran yang melalui silinder 3 dan 5, akibatnya distribusi aliran yang tidak seimbang yang mana salah satu sisinya mengalami penyempitan, vortex yang dihasilkan tidak sama besar ini mengakibatkan gaya angkat yang besar akibar distribusi tekanan yang tidak seimbang. Disini terdapan effect karman vortex. Kemudian pada silinder 6 dan 7 karena aliran yang melalui silinder 6 dan7 adalah aliran yang sudah melalui silinder 1 dan 2 maka alirannya mengalami peningkatan turbulensi karena terganggu oleh silinder 1 dan 2 akibatnya pada silinder 6 dan 7 mengalami karman vortex yang menngkat juga namun vortex yang dihasilkan cepat terlepas karena kecepatan aliran cukup rendah namun vortex yang dihasilkan akan terus terjadi karena kecepatan aliran yang rendah. Pada Re=177020 dianalisa bahwa karena aliran tinggi maka pada silinder 1dan 2 mengalami pergeseran titik separasi, yaitunya titik separasi yang semakin kebelakang, kemudian pada silinder 3 dan 5 hal yang sama terjadi seperti Re rendah hanya vortex yang dihasilkan lebih lama terlepas karena kecpatan aliran tinggi. Pada silinder 6 dan 7, ini terlihat jelas perbedaan bahwa pada kecepatan tinggi vortek yang dihasilkan lama terlepas dari silinder bahkan ia semakin panjang namun ketika terlepas vortex yang dihasilkan cepat hilang akibat aliran yang tinggi.

KESIMPULAN

Setelah melakukan studi secara numerik dapat disimpulkan bahwa pada karakteristik aliran melintasi silinder yang tersusun secara *staggered* dengan variasi kecepatan aliran maka semakin naik kecepatan hal yang terjadi adalah, gaya drag yang dihasilkan pada tipa silinder mengalami penurunan drag. Pada kenaikan kecepatan aliran mengakibatkan kenaikan turbulensi sehingga pelepasan panas juga meningkat berbanding lurus, ini dibuktikan dengan naikny angka Nu, kemudian pada vortex yang dihasilkan pada saat kecepatan rendah maka vortek mudah terlepas tapi cukup lama untuk normal kembali karena kecepatan rendah tidak bisa mendorong vortex untuk cepat uniform kembali, berbeda dengan kecepatan tinggi vortex sulit terlepas dari silinder namun ketika terlepas votek langsung terurai dan lebik cepat uniform kembali.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Pierson, O. 1937. *Investigation Of Influence Of Tube Arrangement On Convection Heat Transfer And Flow Resistance In Cross-Flow Of Gases In Tube Banks*. ASME Trans, 59 : 563–572.

[2]. Huge, E., 1937. *Experimental Investigation On The Effect Of Equipment Size Of Heat Transfer And Flow Resistance In Cross-Flow Of Gas Over Tube Bank*. ASME Trans, 59 : 573–582.

[3]. Grimson, E., 1937. *Correlation And Utilization Of New Data On Flow Resistance And Heat Transfer For Cross-Flow Over Tube Banks*. ASME Trans, 59 : 583.

[4]. Zukauskas, 1972. *A Heat Transfer From Tubes In Crossflow*. Advances in Heat Transfer, 8 : 93-160.

[5]. Istanto Tri dan Wibawa Edra Juwana. 2010. *Karakteristik Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Siripsirip Pin Silinder Tirus Susunan Segaris dan Selang-seling dalam Saluran Segi Empat*. Surakarta. Lab. Perpindahan Panas & Termodinamika, Teknik Mesin, UNS.

[6]. Tutar M, Holdø AE. 2003. *Computational Modeling Of Flow Around A Circular Cylinder In Sub-Critical Flow Regime With Various Turbulence Models*. Int J Numer Meth Fluids, 5 : 763–84.

[7]. Zdravkovich, M.M., 1997. *Flow Around Circular Cylinders*. Fundamentals, vol. 1. Oxford University Press, (Chapter 6).

[8]. Buyruk. 1997. *Heat Transfer and Flow Structures Around Circular Cylinders in Cross-Flow*. TURKEY Department of Mechanical Engineering, Cumhuriyet University, Sivas : 299 - 315

PENGARUH VARIASI ARUS 80A, 100A, 120A PENGELASAN DENGAN ELEKTRODA E 6013 PADA MATERIAL ST60 TERHADAP ANGKA KEKERASAN VICKERS

Hery Irawan[1] dan Sukendro Broto S[2]
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1,2]
Email : seamesin@gmail.com

ABSTRAK

Penyambungan suatu konstruksi merupakan salah satu problem tersendiri, untuk penyambungan salah satunya dengan pengelasan. Pada dasarnya pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam dengan menggunakanenergi panas dengan atau tanpa penekanan. Salah satu proses pengelasan menggunakan input panas dari listrik yangkini lebih sering disebut dengan las listrik SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Penelitian yang dilakukan oleh penulis bertujuan untuk dapat membandingkan hasil pengelasan dengan pengaruh pengelasan elektroda E 6013dengan variasi arus 80A, 100 A, dan 120 A pada material ST 60 terhadap kekerasan Vickers dengan proses las SMAW. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengelasan SMAW dengan elektroda E 6013 dengan arus 120 A, nilai kekerasan vickers pada hasil las mempunyai kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan arus 100 A dan 80 A. Grafik uji Kekerasan Vikers pengelasan SMAW terlihat pengelasan dengan sudut pengelasan 120 mempunyai harga IS yang tertinggi jika dibandingkan dengan pengelasan dengan pengelasan arus 80 A dan arus 100A.

Kata kunci : Temperatur pengelasan, Kecepatan pengelasan, Kekerasan vikers. SMAW.

PENDAHULUAN

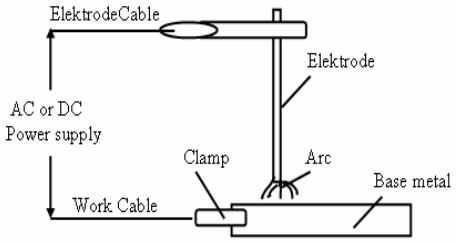
Penyambungan suatu konstruksi merupakan salah satu problem tersendiri, untuk penyambungan salah satunya dengan pengelasan. Pada dasarnya pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam dengan menggunakan energi panas dengan atau tanpa penekanan. Salah satu proses pengelasan menggunakan input panas dari listrik yang kini lebih sering disebut dengan las listrik SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Penyambungan pada logam ini terjadi karena adanya kondisi yang sesuai antara tekanan, temperatur, dan sifat metallurgi dari logam yang akan dilas. Di samping hal-hal tersebut diatas kita juga harus memperhatikan cara pengelasan yang termasuk didalamnya jenis sambungan las, parameter-parameter las yang meliputi *voltage*, sudut pengelasan, kecepatan pengelasan dan arus yang dipergunakan,agar dapat menghasilkan mutu sambungan las yang baik. Material juga mempunyai peranan yang penting dalam proses pengelasan. Material yang digunakan harus sesuai dengan parameter pengelasan yang digunakan,disamping itu elektroda yang digunakan juga harus sesuai dengan parameter pengelasan. Hal ini bertujuan untuk dapat meningkatkan ketangguhan hasil pengelasan yang diinginkan. Pada umumnya kekekasan hasil las dapat diketahui dengan pengujian vikers. Disini penulis ingin mengetahui sejauh mana pengaruh beda jenis arus 80 A, 100A dan 120 A dengan elektroda E 6018 pada material ST 60 dengan menggunakan las SMAW. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan vikers untuk mengetahui sejauh mana material tersebut menerima beban dan foto struktur makro untuk mengetahui lebar daerah yang terpengaruh panas pengelasan (HAZ).

DASAR TEORI

Penelitian terdahulu mengenai pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi dengan alat las yang berbeda-beda telah banyak dilakukan. Penelitian dengan las SMAW (*shielded metal arc welding*) menunjukkan bahwa ketebalan pelat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi pada hasil lasan [1]. Kemudian penelitian mengenai penggelasan baja lunak

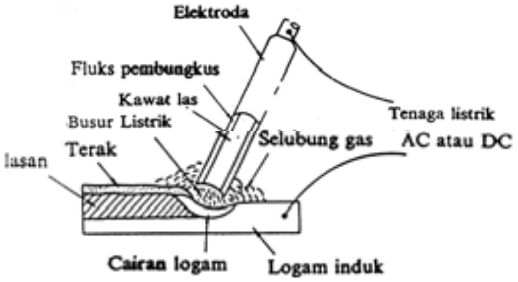
dengan menggunakan SAW (*submerged arc welding*) menunjukkan efek arus pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi [2]. Dimana arus yang digunakan dalam proses pengelasan akan berbanding lurus dengan laju distorsi pada hasil lasan. Penelitian mengenai pengaruh parameter las dengan menggunakan alat las GMAW (*gas metal arc welding*) terhadap distorsi, menunjukkan bahwa tegangan, kuat arus, kecepatan pengelasan dan panjang pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju distorsi sudut [3]. Demikian juga pada penelitian mengenai pengelasan dua material yang tidak sejenis, dengan melakukan pengaturan masukan panas untuk mengurangi distorsi *bowing* menggunakan GMAW, menunjukkan bahwa ketahan baja tahan karat terhadap distorsi *bowing* kecil meskipun disertai dengan perlakukan panas dan pemanasan pada jarak yang lebar dari garis las dan dapat meningkatkan distorsi *bowing* pada baja karbon maupun baja tahan karat [4]. Penelitian mengenai pengaruh tebal pelat dalam pengelasan dengan SAW (*submerged arc welding*), menunjukkan bahwa dengan kedalaman penetrasi dan pemilihan parameter las yang tepat dapat meminimalkan terjadinya distorsi sudut pada pengelasan sambungan T [5]. Pengelasan baja lunak menggunakan GMAW dengan *metal transfer type spray* menunjukkan bahwa arus dan tebal dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi sudut, disamping itu arus dan tebal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan pada daerah las, khususnya daerah HAZ [6].

Pengelasan ini banyak digunakan pada masa kini, dalam pengelasannya digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan *fluks*. Prinsip kerjanya adalah dua metal yang konduktif dialiri arus listrik yang cukup padat dengan tegangan yang relatif rendah, sehingga dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Alat las SMAW ditunjukkan pada gambar 1.



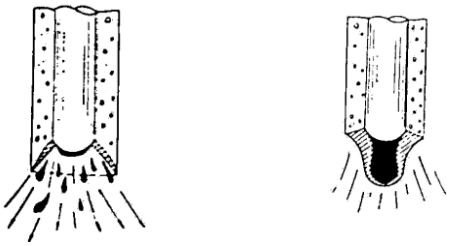
Gambar 1. Skematik Mesin Las SMAW

Sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan diatas juga oleh komposisi bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan, bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Di dalam elektroda terbungkus, *fluks* memegang peranan penting, karena fluks dapat berfungsi sebagai : melindungi logam cair terhadap udara, pemantap busur, mencegah oksidasi, menurunkan laju pendinginan logam las dan sumber unsur-unsur paduan.



Gambar 2. Las dengan elektroda terbungkus.

Pada umumnya ditinjau dari logam yang akan dilas, kawat elektroda dibagi menjadi 5 group besar, yaitu : *Mild Steel* (baja lunak), *High Carbon SteeL, Alloy Steel*, *Cast Iron* dan *Non Ferrous.* Dengan adanya jenis pengelasan yang lebih beragam juga mempengeruhi terhadap tipe permukaan elektroda yang digunakan. Berarti tidak ada elektroda yang dapat digunakan untuk semua jenis pengelasan. Pemilihan ukuran diameter tergantung dari desain, tebal material, arus,*voltage*, ukuran las, *welding position*, dan jenis elektroda. Berarti untuk tiap jenis pengelasan menggunakan ukuran diameter dan besarnya ampere yang sesuai.

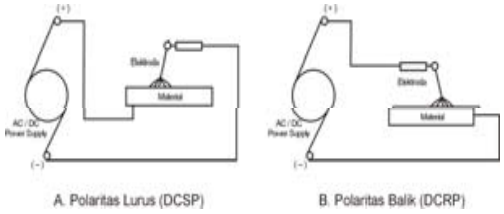


(a) Arus Tinggi (b) Arus Rendah

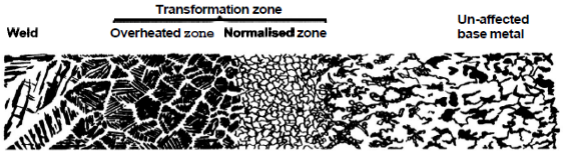
Gambar. 5. Pemindahan logam cair

Dalam pengelasan menggunakan busur listrik dengan elektroda terbungkus ada dua. Polaritas listrik yang biasa digunakan yaitu : Polaritas Lurus (DCSP = *Direct Currect Straight Polarity*) dan Polaritas Balik (DCRP = *Direct Currect Reverse Polarity*). Hasil las terdiri dari empat bagian utama yaitu *weld metal*, *partially melted zone (**PMZ**)* dan *heat affected zone* (***HAZ***), *base metal. Weld metal* adalah logam pengisi (*filler*), pada saat pengelasan mengalami pencairan kemudian membeku. Laju pendinginan logam las akan dipengaruhi oleh deposit logam las (AWS 7th edition). Arah pendinginan searah dengan arah pengelasan pada layer tunggal. Pada pengelasan multi layer, arah pendinginan dimulai layer pertama (akar las) ke permukaan las.

Base metal adalah logam induk. Akibat masukan panas, pada logam induk muncul daerah ***PMZ***, ***HAZ*** dan daerah yang tidak terkena panas. ***PMZ*** merupakan daerah logam induk yang mengalami fase cair (*dilution*). ***HAZ*** adalah logam induk yang bersebelahan dengan ***PMZ*** yang dipengaruhi oleh masukan panas saat pengelasan berlangsung tanpa disertai pencairan logam (dilution). Pada daerah ***HAZ*** terdapat dua zona, yaitu zona temperatur tinggi dan rendah. Selama proses pengelasan, daerah ***HAZ*** mengalami siklus *thermal* berupa pemanasan dan pendinginan sehingga struktur mikronya berubah. Pembagian area didalam daerah ***HAZ*** ditunjukkan pada gambar 7. Struktur mikro yang terbentuk didaerah ***HAZ*** dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan. Pendinginan pada temperatur 800 – 500°C akan menentukan tingkat *hardenability* baja. Kecepatan pendinginan akan dipengaruhi tebal plat yang dilas. Hubungan tebal plat dengan kecepatan pendinginan ditunjukkan pada gambar 8. Pendinginan terjadi, pada plat yang tipis arah laju

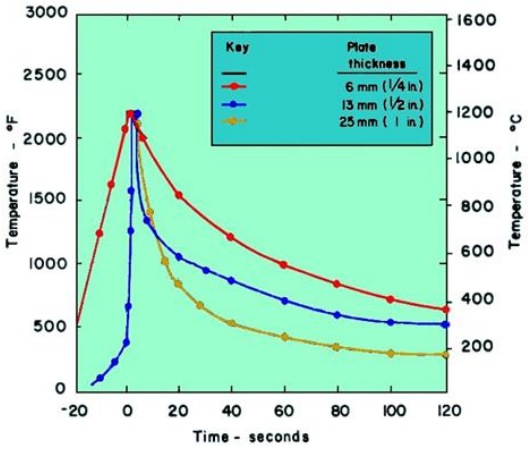


Gambar. 6. Polaritas listrik pada pengelasan [7].

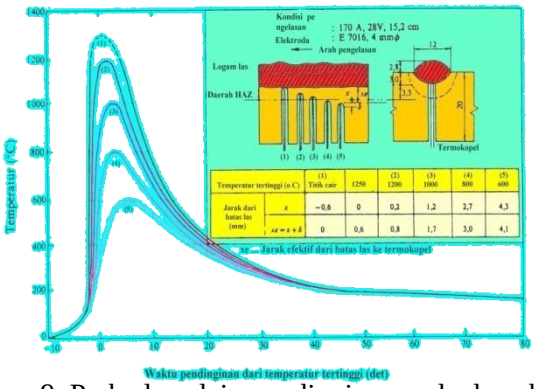


Gambar 7. Pengaruh panas pengelasan terhadap struktur mikro baja karbon rendah [7].

pendinginannya hanya kearah dua dimensi, sedangkan untuk pelat yang tebal arah pendinginannya menjadi kearah tiga dimensi [7]. Sehingga pada plat tebal kecepatan pendinginannya lebih cepat dari plat yang tipis. Daerah las memiliki laju pendinginan dan temperatur puncak (T_p) yang berbeda, dimana temperatur puncak (T_p) tertinggi berada pada daerah logam las, dan terendah pada logam induk [7]. Kecepatan pendinginan tertinggi terjadi pada logam las, dan terendah terjadi pada logam induk. Perbedaaan laju pendinginan ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 8. Pengaruh variasi tebal plat terhadap siklus thermal pada pengelasan pelat baja menggunakan las SMAW secara manual dengan masukan panas 1850 J/mm [7].



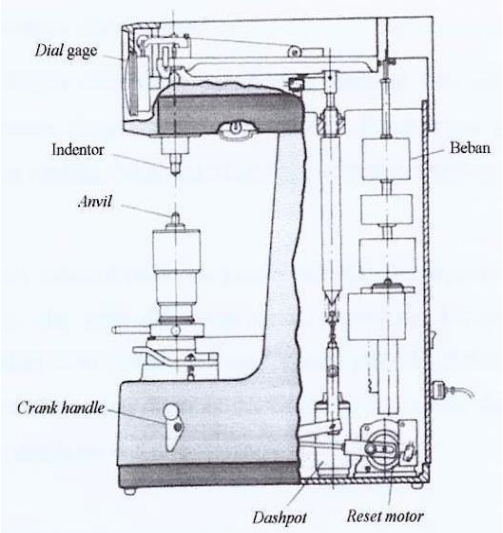
Gambar 9. Perbedaan laju pendinginan pada daerah lasan.

Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang penting. Adapun definisi kekerasan sangat tergantung pada cara pengujian tersebut dilakukan, definisi tersebut adalah :

1. Kekerasan terhadap indentasi permanent akibat beban dinamis atau Statis (kekerasan indentasi).
2. Energi yang diserap pada beban impact.
3. Kekerasan terhadap goresan (kekerasan goresan)
4. Ketahanan terhadap abrasive
5. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran.

Pengujian kekerasan yang banyak dilaksanakan adalah berdasarkan indentasi permanent atau deformasi plastis akibat beban statis.dengan pengujian kekerasan hasilnya dapat digunakan sebagai berikut :

1. Pada bahan material yang tidak sesuai dengan spesifikasinya, dengan kekerasan tersebut dapat dilakukan penentuan penggunaan dari bahan terebut.
2. Sebagai control kualitas produk,seperti halnya mengetahui homogenitas atau proses pembentukan dingin,heat treatment dan lain sebagainya.



Gambar 9. Mesin uji kekerasan

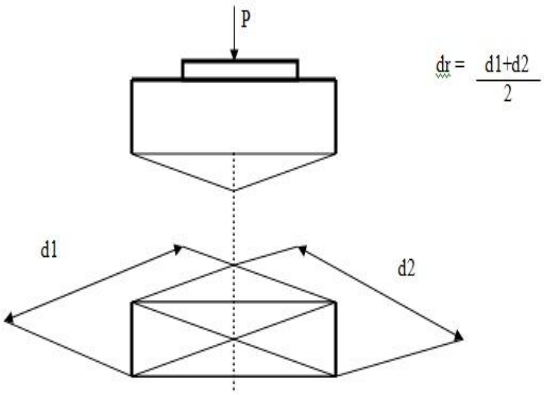
Pada pengujian kekerasan ini digunakan indentor intan yang berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° angka kekerasan Vickers dirumuskan sebagai berikut :

$$VHN = \frac{BEBAN}{LUAS\ TAPAK\ TEKAN} = \frac{P}{A} \qquad (1)$$

dan $A = \frac{{d_r}^2}{2\cos 22^0} = \frac{{d_r}^2}{1{,}8544}$ Sehingga HV = $1{,}8544 \frac{P}{{d_r}^2}\ kgf/mm^2$

Dimana : P = beban tergantung ketebalan specimen(kgf)
A = luas indentasi (mm^2)
Hv = angka kekerasan Vickers (Kg/mm^2)
dr = diagonal rata-rata indentasi (mm)

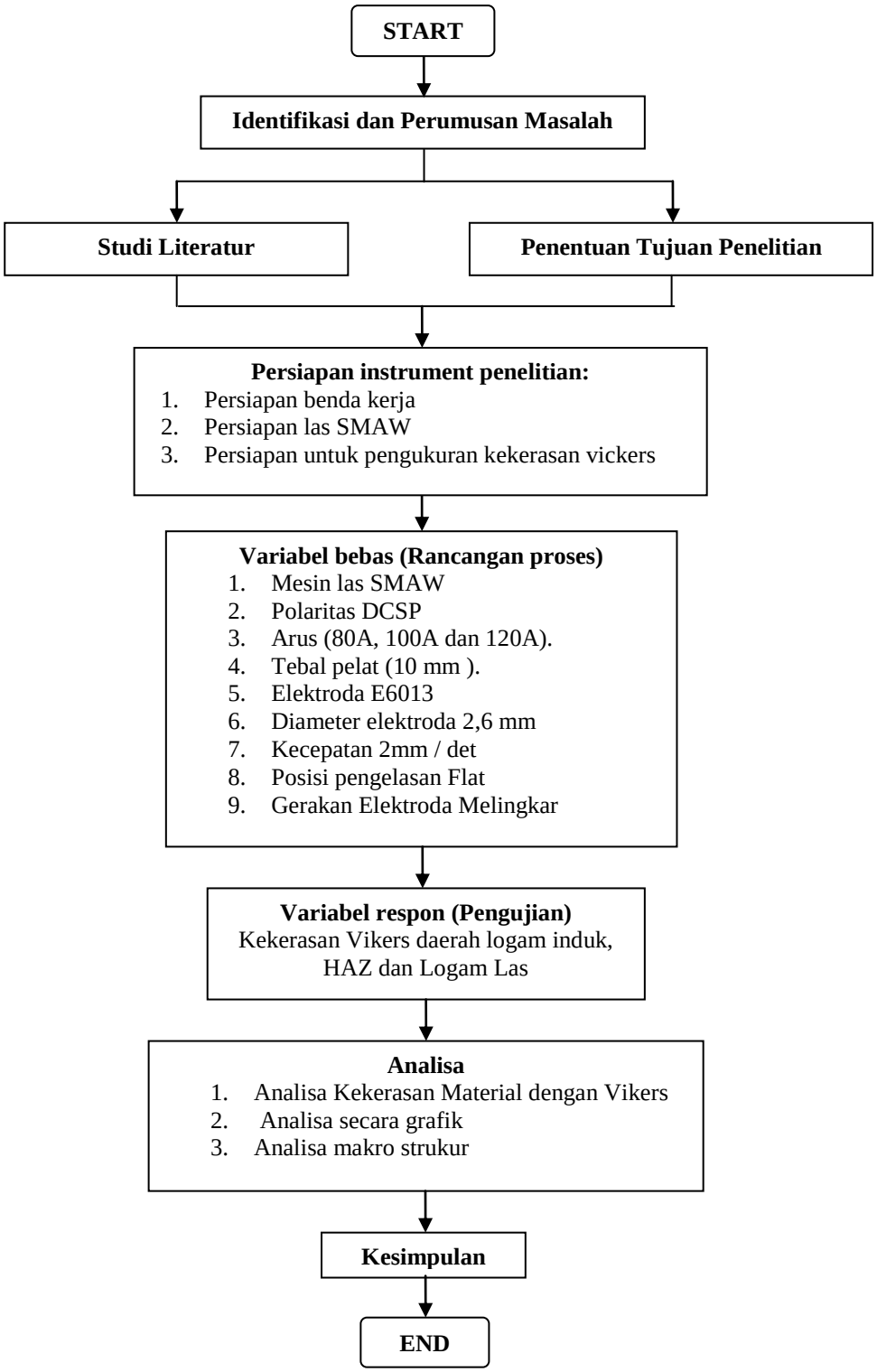
Proses pengujian kekerasan vikers ditunjukkan pada gambar 10.



Hasil pengujian kekerasan vicker ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan (tidak seperti pada brinell),dengan gaya tekan berbeda akan menunjukkkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Dengan demikian juga Vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak (5HV) sampai yang amat keras (1500 HV) tanpa perlu mengganti gaya tekan. Besarnya gaya tekan yang digunakakn dapat dipilih antara 1 sampai 120 kg,tergantung pada kekerasan/ketebalan bahan yang diuji agar tidak diperoleh tapak tekan yang mudah diukir.

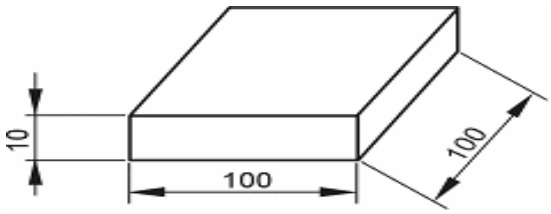
 ISBN : 978-602-98569-1-0

METODE

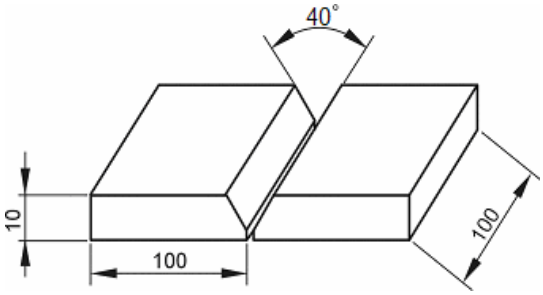


Gambar 11. Diagram alir penelitian

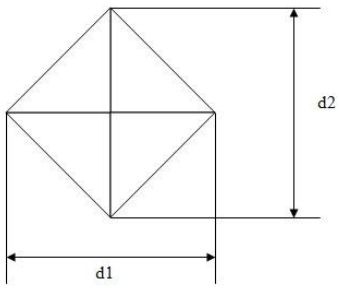
Material yang digunakan untuk penelitian ini adalah berupa plat ST 60 dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 100 mm dan tebal 10 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Tes kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes kekerasan vikers dengan menggunakan beban permesinan (P) 100 kg. Tapak tekan hasil pengujian vikers ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 12. Dimensi material



Gambar 13. Sambungan yang digunakan.



Gambar 14. Tapak Tekan Indentor Berbentuk Piramida.

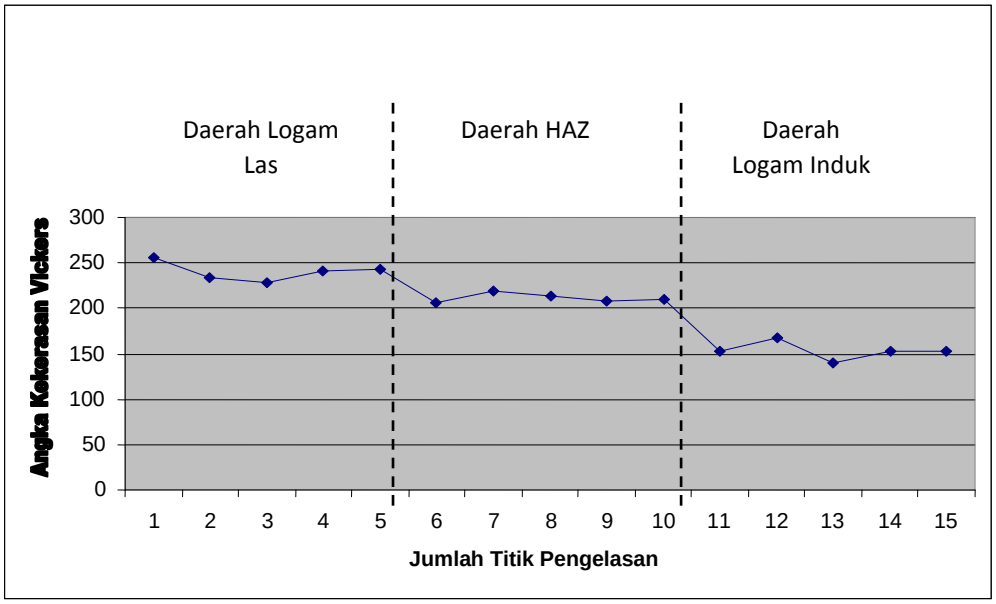
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekerasan dengan standar kekerasan vikers hasil pengelasan dengan arus 80 ampere ditunjukkan pada tabel 1, dimana lokasi pengujian dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk dengan pengambilan data sebanyak 5 kali replikasi. Kemudian data hasil pengujian kekerasan dirubah kedalam grafik respon yang ditunjukkan pada gambar 15. Secara visual hasil pengelasan ditunjukkan pada gambar 16.

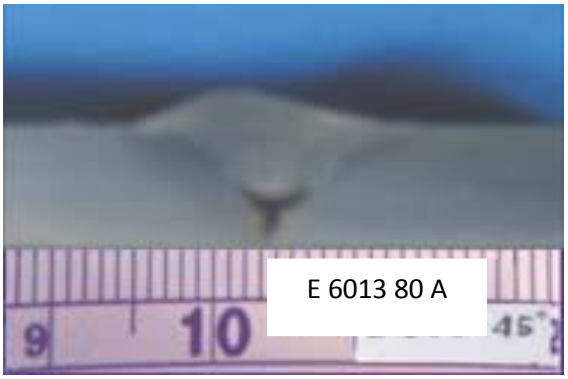
 ISBN : 978-602-98569-1-0

Tabel 1. hasil pengamatan pengujian kekerasan (Vickers)

NO	Daerah Las			Daerah HAZ			Daerah Logam Induk		
	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv
1	0,9	0,8	256	0,9	1	206	1,1	1,1	**153**
2	0,85	0,93	234	0,9	0,95	219	1	1,1	**168**
3	0,8	0,9	228	0,8	0,97	214	1,1	1,2	**140**
4	0,8	0,95	242	0,99	0,9	208	1,1	1,1	**153**
5	**0,8**	**0,9**	**243**	**0,89**	**0,99**	**210**	**1**	**1,2**	**153**



Gambar 15. Hasil Pengujian Vickers Pada Arus 80 ampere.



Gambar 16. Foto Mikro Pada Arus 80 Ampere.

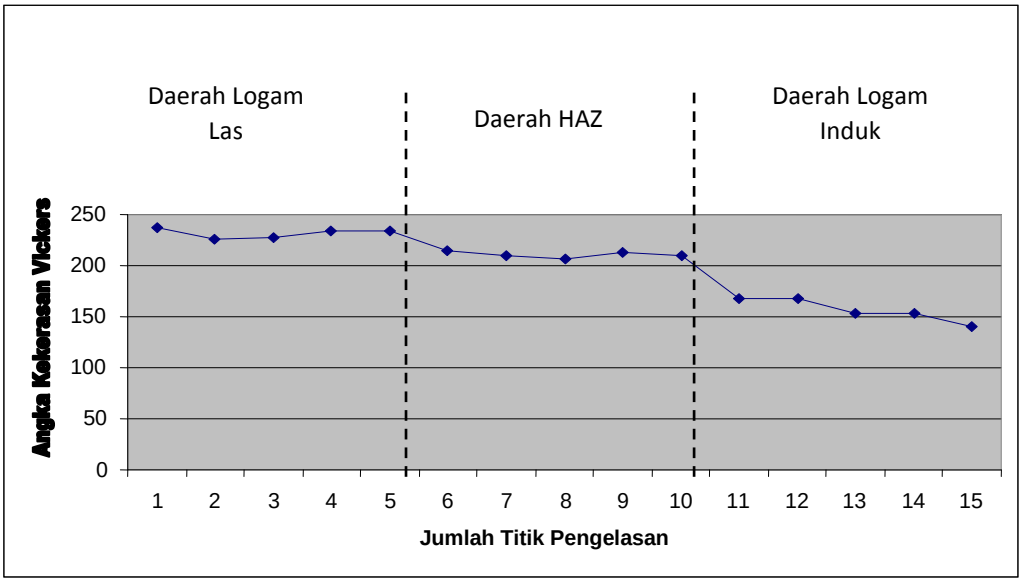
Dari grafik menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi di logam las dan terendah terjadi di logam induk, hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan pendinginan tertinggi terjadi pada logam las yang berakibat struktur kristal yang terbentuk cenderung lebih keras. Hasil pengujian

 ISBN : 978-602-98569-1-0

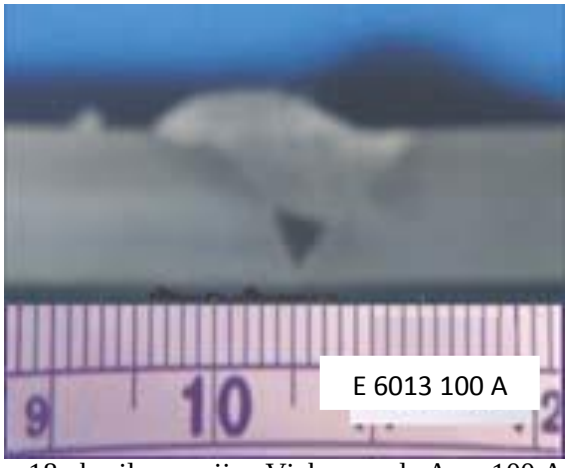
kekerasan dengan standar kekerasan vikers hasil pengelasan dengan arus 100 ampere ditunjukkan pada tabel 2, dimana lokasi pengujian dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk dengan pengambilan data sebanyak 5 kali replikasi. Kemudian data hasil pengujian kekerasan dirubah kedalam grafik respon yang ditunjukkan pada gambar 17. Secara visual hasil pengelasan ditunjukkan pada gambar 18. Dari grafik menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi di logam las dan terendah terjadi di logam induk, hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan pendinginan tertinggi terjadi pada logam las yang berakibat struktur kristal yang terbentuk cenderung lebih keras.

Tabel 2. hasil pengamatan pengujian kekerasan (Vickers)

NO	Daerah Las			Daerah HAZ			Daerah Logam Induk		
	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv
1	0,88	0,98	237	0,8	0,97	214	1	1,1	168
2	0,85	0,97	226	0,89	0,99	210	1,1	1	168
3	1	0,8	228	0,9	1	206	1,1	1,1	153
4	0,85	0,93	234	0,89	0,9	213	1	1,2	153
5	0,87	0,91	234	99	0,89	210	1,1	1,2	140



Gambar 17. hasil pengujian Vickers pada Arus 100 Ampere.



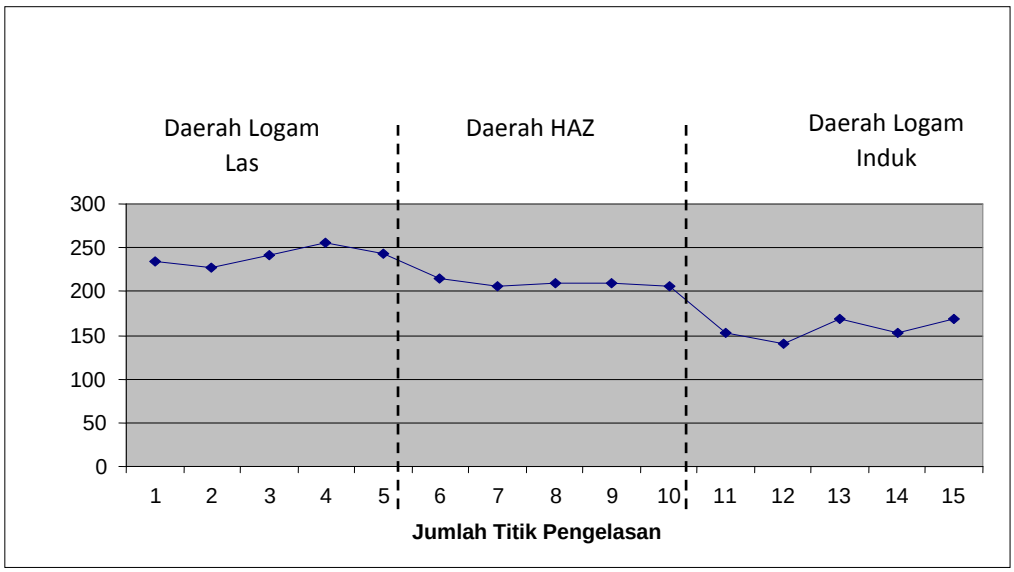
Gambar 18. hasil pengujian Vickers pada Arus 100 Ampere

 ISBN : 978-602-98569-1-0

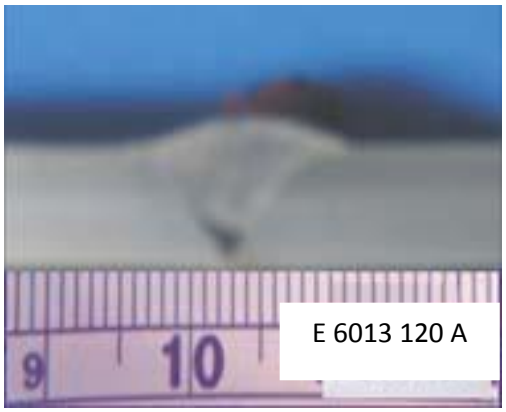
Hasil pengujian kekerasan dengan standar kekerasan vikers hasil pengelasan dengan arus 120 ampere ditunjukkan pada tabel 3, dimana lokasi pengujian dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk dengan pengambilan data sebanyak 5 kali replikasi. Kemudian data hasil pengujian kekerasan dirubah kedalam grafik respon yang ditunjukkan pada gambar 19. Secara visual hasil pengelasan ditunjukkan pada gambar 20. Dari grafik menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terjadi di logam las dan terendah terjadi di logam induk, hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan pendinginan tertinggi terjadi pada logam las yang berakibat struktur kristal yang terbentuk cenderung lebih keras.

Tabel 3. hasil pengamatan pengujian kekerasan (Vickers).

NO	Daerah Las			Daerah HAZ			Daerah Logam Induk		
	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv	d1	d2	Hv
1	0,85	0,93	234	0,91	0,95	215	1	1,2	153
2	0,8	1	228	1	0,9	206	1,1	1,2	140
3	0,9	0,95	242	0,9	0,98	210	1	1,1	168
4	0,9	0,8	256	0,93	0,95	210	1,1	1,1	153
5	0,90	0,84	243	0,95	0,9	206	1,1	1	168

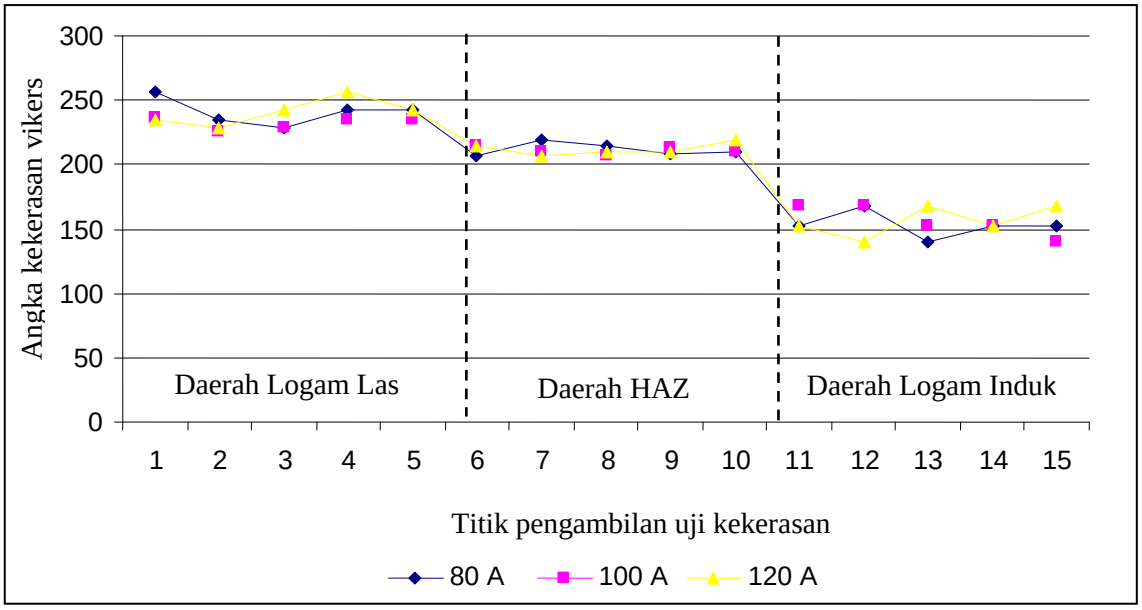


Gambar 19. Hasil Pengujian Vickers Pada Arus 120 Ampere.



Gambar 20. hasil pengujian Vickers pada Arus 120 Ampere.

Data hasil eksperimen digabungkan menjadi satu dalam grafik respon yang ditunjukkan pada gambar 21. Dari grafik terlihat pengaruh perubahan arus terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan didalam hasil las, terlihat terjadi deviasi akibat pemakaian arus pengelasan terhadap kekerasan material, meskipun deviasi yang muncul kecil. Pengaruh yang muncul sebagai akibat pemakaian arus yang tinggi dapat meningkatkan H_{nett} terhadap sistem, yang menyebabkan kecepatan pengelasan meningkat. Peningkatan kecepatan pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan pendinginan yang terjadi, dimana semakin tinggi kecepatan pengelasan akan menaikkan kecepatan pendinginan, sehingga produk las yang dihasilkan akan meningkat angka kekerasannya.



Gambar 21. Pengaruh arus las terhadap kekerasan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengumpulan data hingga analisa tentang baja ST 60 dengan perbedaan Arus 80 A, 100 A, dan 120 A terhadap kekerasan dan juga pengamatan struktur makro, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kekerasan pada pengelasan dengan arus 80 Ampere angka kekerasan berkisar 228 – 256 kg/mm^2, untuk pengelasan dengan arus 100 Ampere angka kekerasan berkisar 228 – 237 kg/mm^2 , dan pengelasan dengan Arus 120 Ampere angka kekerasan berkisar 228 – 256 kg/mm^2 , hal ini menunjukan perbedaan tekanan gas argon tidak banyak berpengaruh pada angka kekerasan.
2. Pada proses pengelasan yang terlihat pada foto makro, maka dapat diambil kesimpulan daerah HAZ tidak melebar, hanya layer yang terlihat mengisi penuh sudut V.
3. Dari hasil uji kekerasan dapt dilihat bahwa daerah logam las memiliki kekerasan yang lebih dibandingkan dengan daerah HAZ,dan daerah logam induk tidak banyak mengalami perubahan.

DAFTAR PUSTAKA

[15] Anggono, Juliana, dkk. 1999. *Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja Lunak SS400,* Vol 1, No 1, Jurnal Jurusan Teknik

Mesin, Fakultas Teknik Industri, Surabaya, Universitas Kristen Petra, http://www.t.petra.ac.id/~puslit/journals/,.

[16] Suwanda & Totok. 2001. *Minimalisasi Distorsi Pada Pengelasan Plat Baja Lunak dengan Submerged Arc Welding Pada lebar Pelat Dan Kedalaman Penetrasi yang berbeda,* Surabaya. Proceding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS.

[17] Rusdianto & Jaka. 1999, *Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan GMAW terhadap Distorsi yang Terjadi Pada Pengelasan Baja SS400 Ketebalan 12mm*. Surabaya. Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, ITS.

[18] Triyono. 2006, *Pengaruh Manajemen Termal terhadap Distorsi Bowing Sambungan Las Logam tak Sejenis antara Baja Karbon dan Baja Tahan Karat*. Surabaya. Unesa.

[19] Pranowo Sidi. 2008. *Minimalisasi Distorsi Sudut dengan Kedalaman Penetrasi sebagai Kendala pada Proses Pengelasan Busur Rendam Sambungan-T*. Surabaya. Proceding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS.

[20] Konang Awia. 2009. *Pengaruh variasi tebal pelat dan besar arus listrik terhadap distorsi pada pengelasan multilayer proses GMAW dengan menggunakan transfer spray*. Surabaya Proceeding Seminar Pascasarjana, PPs. ITS.

[21] Gourd L.M. 1995. *Principles of Welding Technology 3th edition*, Edward Arnold, London. A Division of Holder Headline PLC, 338 Euston Road.

[22] Kou Sindo. 2002. *Welding Metallurgy 2nd Edition*. Canada. John Wiley and Sons.

[23] AWS D1.1/D1.1 M – *Struktur Welding Code – Steel*, American Welding Society, An American National Standart.

[24] Wiryosumarto Harsono & Okumura Toshie. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, PT. Pradnya Paramita,.

[25] Mikami Yoshiki. 2006. *Measurement and Numerical Simulation of Angular Distortion of Fillet Welded T-joint*, Vol.24, No 4(20061105) : 312-323. Japan Welding Society.

[26] Montgomery D.C. 1991. *Design and Analysis of Experiment*. Canada. John Wiley and Sons.

[27] Iriawan Nur & Septin Pudji Astuti. 2006. *Mengola Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Yogyakarta. Andi.

[28] Myer R.H. and Montgomery D.C. 2002. *Respon Surface Methodology Process and Production Optimazation Using Design Experiment*. Canada. John Wiley and Sons.

PEMANFAATAN KOTORAN TERNAK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DI DESA NONGKOJAJAR, KABUPATEN PASURUAN

Moch. Sidik Yusuf S[1], Efrita Arfah Z[2]
Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
Email. Yusuf.berjaya@gmail.com

ABSTRAK

Desa Nongkojajar Kabupaten Pasuruan merupakan salah satu desa dengan populasi peternakan sapi perah terbanyak di Provinsi Jawa Timur. Permasalahannya 90% penduduk desa Nongkojajar memanfaatkan biogas kotoran sapi hanya untuk memasak. Padahal diketahui kotoran ternak tersebut berpotensi untuk menghasilkan tenaga listrik dimana akan bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Nongkojajar .Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana hubungan antara produksi gas methan dengan produksi listrik yang dihasilkan di Desa Nongkojajar Kabupaten Pasuruan.Sebagai evaluasi diketahui rata – rata produksi kotoran sapi perah sebesar 184 ton /hari dengan melalui proses fermentasi anaerobik di dalam digester dalam rentang waktu total 25 hari menghasilkan produksi biogas sebesar 7.360 m^3/hari. Hasil akhir menunjukkan Pertambahan volume biogas (m^3) naik turun yang dipengaruhi oleh akumulasi volume gas (m^3) dan suhu ruangan digester (°C). Dan laju konsumsi volume biogas akan bertambah bila beban listrik akan terus naik, dalam hal lain ada kecenderungan semakin besar beban listrik ternyata ada kelainan kebutuhan konsumsi biogas yang cenderung tetap, hal ini dipengaruhi oleh temperatur yang mulai konstan.

Kata kunci : Fermentasi Anaerobik, Gas Metan, Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.

ABSTRACT :

Village Nongkojajar, District of Pasuruan is one of the villages with the highest population of dairy cattle in the province of East Java. The problem is 90% of the villagers Nongkojajar only cow dung biogas for cooking. Though known manure has the potential to generate electricity which will be helpful to meet the demand for electricity in the village Nongkojajar. The purpose of this study was to determine how the relationship between the production of methane gas generated by electricity production in the village of Pasuruan Nongkojajar. As an evaluation of known average - average dairy cow manure production by 184 tonnes / day with through the process of anaerobic fermentation in the digester within the total span of 25 days resulted in the production of biogas at 7,360 m^3 /day. The final results showed an increased biogas (m^3) up and down which is influenced by the accumulation of gas volume (m^3) and the digester room temperature (° C). And the volume of biogas consumption rate will increase if the electrical load will continue to rise, there is a tendency in the other case the greater electrical loads turned out to be abnormalities biogas consumption needs are likely to remain, it is influenced by the temperature began to constant.

Keywords: Anaerobic Fermentation, Methane Gas, Biogas Power Plant

PENDAHULUAN

Kawasan Peternakan Sapi Perah milik Koperasi Setia Kawan.memiliki badan hukum No : 4077B/BH/II/78 Tgl. 24-3-2003 Bertempat di Desa Nongkojajar Kec. Tutur Kab. Pasuruan. Desa nongkojajar merupakan daerah peternakan yang cukup besar, pada tahun 2012 terdapat 11.000 ekor sapi perah yang terdiri dari sapi perah kecil (pedet) dan sapi perah dewasa. Perkembangan

perternakan sapi perah di desa nongkojajar mencapai 3,35% pertahun. Dengan kondisi peternakan di bawah koordinasi Koperasi Produksi Susu dan Usaha Peternakan Sapi Perah Setia Kawan. Berdasarkan data yang telah dihimpun di KPS Setia Kawan Nongkojajar memiliki jumlah kandang ± 320 kandang yang terdiri dari kandang peternakan besar dan peternakan keluarga. Kandang berukuran 15x12 meter yang berisi minimal 12 ekor sapi, sedangkan dalam kandang peternakan besar ukurannya tidak menentu karena kapasitas sapi di dalamnya bisa mencapai 200 ekor sapi. [1]

Permasalahannya adalah kawasan tersebut memiliki jumlah populasi sapi perah 11.600 ekor yang setiap ekor sapi perah mampu menghasilkan 15 – 25 kg kotoran per-hari. Dengan 90% dari kotoran ternak sebenarnya sudah digunakan menjadi biogas kompordan sisanya dibuang, hanya tersisa 10% yang dimanfaatkan menjadi tenaga listrik. Sangat potensial jika pemanfaatan keseluruhan biogas tersebut untuk memenuhi kebutuhan listrik disekitarnya. [2]

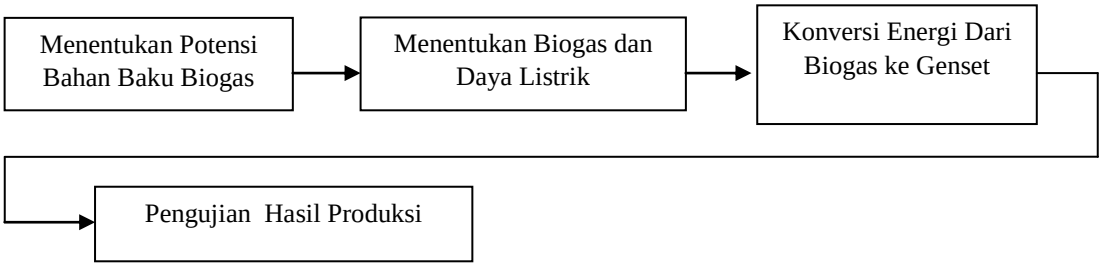
Sebagai eveluasi konversi dari limbah kotoran sapi hingga menjadi biogas dimulai dari kotoran sapi yang akan dimasukkan ke digester dicampur terlebih dahulu dengan perbandingan 1 : 1antara air dan kotoran sapi [3]. Untuk menghasilkan biogas, bahan organik yang dibutuhkan, ditampung dalam biodigester. Proses penguraian bahan organik terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Biogas terbentuk pada hari ke 1- 5, sesudah biodigester terisi penuh dan mencapai puncak pada hari ke 20-25. Setelah gas terkumpul cukup, gas dialirkan melalui saluran gas ke penampung gas. Kemudian dengan menggunakan conventer kit gas dialirkan ke kompressor untuk mendapatkan tekanan yang maksimal sebelum masuk ke genset dalam pengolahan menjadi energi listrik [4].

Sasaran penelitian ini meningkatkan pemanfaatan kotoran hewan yang selama ini hanya digunakan sebagai pupuk tetapi dapat juga dijadikan bahan bakar pembangkit listrik dengan tenaga biogas dan listrik yang diperoleh dapat digunakan untuk menunjang kegiatan rumah tangga di Desa Nongkojajar Kabupaten Pasuruan.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilakukan anantara bulan April 2014 sampai bulan Agustus 2014.Adapun lokasi penelitian di Desa Nongkojajar Kec. Tutur Kab. Pasuruan. Sifat penelitian berkerja sama dengan Peternakan Sapi Perah milik Koperasi Setia Kawan Desa Nongkojajar.



Gambar 1 Bagan Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan Potensi Bahan Baku Biogas di Desa Nongkojajar

Adapun jumlah dan pertumbuhan sapi perah di Desa Nongkojajar seperti dalam tabel:

Tabel 1 Pertumbuhan populasi sapi perah per tahun di desa Nongkojajar

Tahun	Populasi							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Sapi Perah	9385	9594	10122	10400	10712	11000	11330	11600

Sumber : KUPS Setia Kawan

Menentukan Potensi Biogas dan Daya Listrik

Secara sederhana dapat dihitung potensi biogas sebagai berikut:

1. Produksi kotoran sapi tiap harinya :

   Sapi perah dewasa dengan populasi 80% dari 11.600 ekor sapi = 9200 ekor sapi dewasa, dengan rata-rata produksi kotoran setiap harinya 15-25 kg/hari maka produksi kotoran sapi di desa Nongkojajar adalah :

   - Asumsi tiap ekor sapi perah dewasa menghasilkan 20 kg kotoran per hari
     9200 ekor sapi x 20 kg = 184.000 kg/hari

2. Potensi untuk *Total Solid* dan *Volatile Solid* Secara Keseluruhan

   Perhitungan TS dan PS mengacu pada penelitian sebelumnya dalam DIPA 2005 BBP Mekanisasi Pertanian, telah dilaksanakan rekayasa dan pengembangan reaktor biogas yang berlokasi di Pondok Pesantren Darul Falah, Ciampea, Bogor [5]. Berdasarkan hasil kegiatan uji lab dan referensi literature sebagai berikut.

Tabel 2 Unjuk kerja sample instalasi biogas

Uraian	Referensi	Hasil Uji dan Analisa
1. Kondisi bahan (kotoran sapi)		
- Total Solid, kg/ekor/hari	4,8	4,2
- Volatile Solid, kg/ekor/hari	3,9	3,8
- Kadar air, %	7-9	13,59
- C/N rasio	1:25 ~ 1:30	1:17
- COD, mg/l	-	19 800
- BOD/COD	-	0,06
2. Kondisi dalam reaktor (proses)		
- Suhu, ^{0}C	25	25 – 27
- pH	7,0 – 8,0	7 – 8,6
3. Kandungan Kimia Biogas		
- CH_4, %	50 – 60	77,13
- CO_2, %	30 – 40	20,88
- H2S, μg/m^3	<1%	1544,46
- NH3, μg/m^3	-	40,12
4. Kondisi lumpur keluaran dari reaktor (effluent)	500 – 2500	1 960
- COD	0,5	0,37
- BOD / COD	1,45	1,82
- Kandungan unsur hara,%	1,10	0,73

- Nitrogen - Pospor - Kalium 5. Unjuk Kerja - Lampu penerangan, m3/jam - Kompor gas, m3/jam	1,10 0,11 – 0,15 0,2 – 0,45 0,3 m3 / orang / hari (penerangan setara dengan 60 watt lampu bohlam. Tekanan: 70 – 85 mmH2O Tekanan: 75 – 90 mmH2O	0,41 0,15 – 0,3 0,2 – 0,4 Tekanan = 30 – 60 mmH2O Tekanan = 60 – 85 mmH2O

Sumber : *Widodo and Hendriadi*, (2005)

Dari data yang ada maka untuk menghitung kotoran yang masuk *total solid* (*TS*) dan kotoran yang menguap *volatile solid* (*VS*) adalah :

$$TS = 4{,}2\ x\ jumlah\ sapi = \cdots kg/hari$$
$$VS = 3{,}8\ x\ jumlah\ sapi = \cdots kg/hari$$

Asumsi menghasilkan 20 kg/ekor/hr

- TS = 4,2 x 9200 = 38.640 kg/hr
- VS = 3,8 x 9200 = 34.960 kg/hr

3. Potensi Volume biogas untuk kotoran sapi adalah :

Produksi biogas per Kg Sapi adalah 0,023 – 0,040 m^3/kg berdasarkan pada penelitian sebelumnya [6].

Tabel 3 Potensi Produksi Gas untuk Beberapa Tipe Bahan Organik

Tipe Limbah Organik	**Produksi Biogas Per Kg Waste (m3) (% VS)**
Sapi (Lembu/Kerbau)	0.023 – 0.040
Babi	0.040 – 0.059
Ayam	0.065 – 0.116
Manusia	0.020 – 0.028
Sampah Sisa Panen	0.037
Air Bakau (Water hyacinth)	0.045

Sumber : *Widodo dkk*, (2006)

Maka untuk menghitung volume biogas (VBS) adalah :

$$VBS = 0{,}040\ x\ VS = m^3/hari$$

- Potensi volume biogas = 0,04 x 184.000 = 7.360 m³/hari

4. Perhitungan Produksi Gas Metan

Diketahui produksi gas metan pada setiap m^3adalah 65,7% berdasarkan penelitian sebelumnya [4]

 ISBN : 978-602-98569-1-0

Tabel 4 Komponen Penyusun Biogas [4]

Jenis Gas	Persentase
Metan (CH_4)	50 - 65,7 %
Karbondioksida (CO_2)	30-40%
Air (H_2O)	0,3%
Hidrogen sulfide (H_2S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N_2)	1-2%
Hidrogen	5-10%

Maka untuk menghitung gas metan (VGM) adalah:

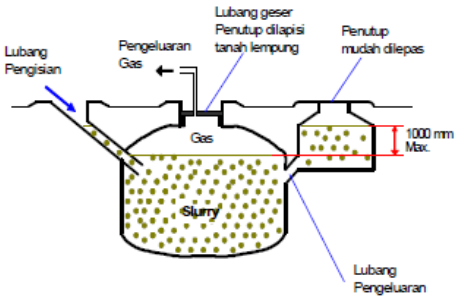
$$VGM = 65{,}7\ x\ VBS$$

Produksi energi pada biogas sebanding dengan produksi gas metan. Dengan diketahui nilai produksi biogas (VBS) sebesar 7.360 m³/hari maka dapat diketahui produksi gas metan (VGM) adalah :

- VGM = 65,7% x VBS
  = 65.7% x 7.360

  = 4.835,52 m³/hari

Konversi Energi Dari Biogas ke Genset



Gambar 2. Rancangan digester

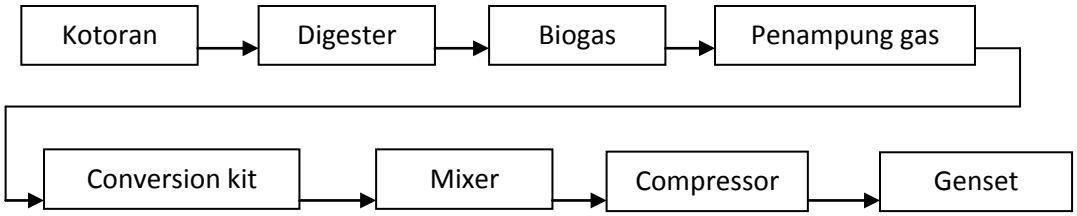
Konstruksi instalasi reaktor biogas tipe *fixed dome* (*chinese type*) terdiri dari 3 bagian, yaitu [7]

a) unit pencampur
b) bagian utama reaktor
c) bagian pengeluaran lumpur

Spesifikasi digester yang terdapat di masing-masing rumah penduduk

- Tipe : Kubah tetap pendam
- Kapasitas : 5 m³
- Diameter : 200 cm
- Kedalaman : 400 cm
- Bahan : Cor- coran semen
- Jumlah ternak : Min. 10 ekor sapi
- Dimensi bak slurry : 50 x 70 x 50 cm
- Penampung biogas : Bahan plastik polietilen dengan tebal 1mm
- kapasitas tampung : 8,5 m³

Konversi energi listrik dari biogas dilakukan dengan mengubah energi potensial yang ada dalam biogas menjadi energi mekanik, kemudian enrgi mekanik menjadi energi listrik. Pemilihan teknologi dilakukan pada salah satu teknologi konversi energi yang tersedia di pasaran yaitu menggunakan Genset 2500 Watt [8].



Gambar 3 Bagan alur proses dari biogas ke genset

Adapun alur dari proses pengolahan kotoran sapi sampai menjadi biogas dapat dijelaskan sebagai berikut [9]:

Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1 ; 2 (bahan biogas). Masukan bahan biogas ke dalam digester melalui lubang pengisian (inlet) sehingga bahan yang dimasukkan ke digester ada sedikit yang keluar melalui lubang pengeluaran (outlet), sehingga akan berlangsung proses produksi biogas di dalam digester. Setelah kurang lebih 8 hari biogas yang terbentuk di dalam digester sudah cukup banyak. Pada sistem pengolahan biogas yang menggunakan bahan plastik, penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak kira-kira 10% dari volume digester. Sisa pengolahan bahan biogas berupa sludge secara otomatis akan keluar dari lubang pengeluaran (outlet) setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan sebagai pupuk kandang/pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering. Mixer berfungsi membantu pencampuran antara udara dan biogas yang terisap mesin menjadi campuran udara yang homogen. Saat gas akan dipakai, converter kit berfungsi sebagai kran otomatis mengatur besar kecilnya tekanan gas yang dialirkan pada genset biogas. Mixer berfungsi membantu pencampuran antara udara dan biogas yang terisap mesin menjadi campuran udara yang homogen. Kompressor berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur udara udara sebelum masuk ruang bakar. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik putaran pada rotor yang terdapat kutub magnet, kemudian menjadi energi listrik pada kumparan stator. Output yang dihasilkan menjadi listrik yang siap digunakan [10].

Pengujian Hasil Produksi

Pengukuran produksi biogas dilakukan dengan cara mengukur debit biogas yang keluar dari *digester*. Pengukuran produksi biogas dilakukan selama 720 menit (12 jam) dari pukul 06:30 hingga 18:30 dengan pencatatan setiap 60 menit, Pengukuran ini dilakukan pada digester milik salah satu penduduk Desa Nongkojajar.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *biogas flow-meter*, selain itu dilakukan pula pengukuran suhu ruangan dengan alat *thermohygrometer* digital. Pengujian biogas diawali dengan persiapan bahan baku yaitu 100 kg kotoran sapi yang dihasilkan dari peternakan. Kotoran

sapi dicampur dengan air dalam bak pencampur dengan perbandingan 1:1 sampai campuran homogen dengan menghasilkan *slurry*. *Slurry* tersebut didiamkan selama 30 menit dan kemudian dimasukan kedalam *digester* pada pukul 06:30 dengan volume *slurry* sebesar 0,2m3. Setelah satu jam,baru dilakukan pengukuran produksi biogas [11].

Tabel 5 Hasil produksi pada satu unit reaktor biogas

Waktu (menit)	Pertambahan Biogas (m³)	Akumulasi Gas (m³)	Suhu Ruangan (Cº)
0 menit	0	0	27,5
60 menit	0,085	0,085	27
120 menit	0,110	0,195	29
180 menit	0,090	0,285	30,5
240 menit	0,085	0,370	32,4
300 menit	0,090	0,460	32
360 menit	0,092	0,552	31,5
420 menit	0,080	0,632	32
480 menit	0,085	0,717	31,8
540 menit	0,120	0,837	28,9
600 menit	0,205	1,042	28,5
660 menit	0,485	1,527	28
720 menit	0,597	2,124	28

Pada tabel 5, diperlihatkan data produksi biogas. Dari tabel tersebut diketahui lajup roduksi biogas rata-rata sebesar 0,090 m3/jam. Biogas yang dihasilkan selama pengukuran (720 menit) adalah 2,124 m^3. Dengan data tersebut maka diperkirakan dalam sehari (24 jam) biogas yang dapat dihasilkan adalah sebesar 24 x 0,090 m3/jam = 2,16 m^3.

Adapun sedikit penyimpangan kemungkinan terjadi karena suhu lingkungan yang tinggi (27°C - 32,4°C). Idealnya suhu di dalam *digester* adalah 25°C dan diusahakan tidak terpapar langsung oleh sinar matahari. Dengan adanya penghalang di atas digester diharapkan suhu di dalam *digester* tetap stabil pada kisaran 25°C [12].

Produksi biogas perhari hasil pengukuran masih belum optimal yaitu 2,16 m^3. Sedangkan jika digester (kapasitas 8 m^3) berfungsi dengan baik , diperkirakan dapat menghasilkan biogas sekitar 4-6 m3 perhari dengan syarat jumlah minimal campuran kotoran sapi dan air yang dimasukkan setiap harinya sebanyak 0,4 m^3 (setara dengan kotoran yang dihasilkan 20 ekor sapi dewasa) dan kondisi lingkungan yang mendukung. Pada kenyataannya *slurry* yang dimasukkan kedalam *digester* hanya sebanyak 0,2 m^3, sehingga biogas yang dihasilkan kurang dari 5 m^3. Untuk itu sebaiknya pemasukan *slurry* dilakukan sesering mungkin agar jumlah kotoran minimal yang harus dimasukan ke dalam *digester* dapat terpenuhi. Selain itu, diperlukan skala ukur pada bak *slurry* agar volume *slurry* yang dimasukan dapat diperkirakan supaya perbandingan antara grafik literatur dan grafik hasil pengujian cenderung sama, dimana pertambahan akumulasi produksi biogas bertambah seiring dengan waktu. Sehingga dibutuhkan pemasukan *slurry* baru pada *digester*.

Pengujian konsumsi biogas dilakukan dengan mengukur debit biogas yang masuk kedalam ruang bakar genset. Biogas yang tertampung dalam penampungan disalurkan dengan pipa menuju genset.Sebelum masuk genset, biogas terlebih dahulu masuk kedalam *biogas flowmeter* yang berfungsi untuk mengetahui debit biogas yang masuk kedalam genset persatuanwaktu. Pengukuran konsumsi biogas dilakukan pada beban listrik berbeda yaitu 0 W, 36 W, 280 W, 1.050 W, 1.370 W dan 1.800 W. Pengukuran dilakukan selama 5 menit untuk masing-masing beban. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengukuran konsumsi biogas pada genset

Beban Listrik (Watt)	Rata-rata Konsumsi Biogas (m^3/menit)	Lama Pemakaian (menit)
0	0,018	5 menit
36	0,022	5 menit
280	0,025	5 menit
725	0,023	5 menit
1.050	0,021	5 menit
1.370	0,021	5 menit
1.800	0,021	5 menit

Pada tabel 6 terlihat adanya perbedaan laju konsumsi biogas pada beban listrik berbeda. Pada saat beban 0 W, 36 W, 280 W, laju konsumsi biogas meningkat seiring dengan beban listrikyang meningkat, namun pada beban 725 W sampai 1.800 W, laju konsumsi biogas kembali menurun dan cenderung tetap seperti pada beban yang rendah. Hal ini kemungkinan terjadi karena pada awal pengujian (0 W, 36 W, 280 W) suhu genset belum mencapai optimal untuk proses pembakaran di dalam ruang bakar genset,sehingga konsumsi bahan bakarnya tinggi, sedangkan di akhir pengujian kemungkinan suhu di ruang bakar genset telah optimal untuk pembakaran sehingga konsumsi bahan bakarnya kembali menurun dan sama seperti awal pengujian walaupun beban listrik yang diberikan lebih besar. Dengan demikian laju konsumsi biogas tidak dipengaruhi oleh beban listrik yang diberikan selama masih berada di bawah beban listrik maksimal yang mampu ditanggung genset (2,5 kW). Oleh karena itu, penggunaan genset biogas akan lebih ekonomis apabila digunakan pada beban listrik yang besar [13]. Pada tabel 6, terlihat bahwa konsumsi biogas tertinggi yaitu pada beban listrik 280 Watt dan terendah yaitu pada penggunaan tanpa beban 0 watt. Sementara beban tertinggi yang dilakukan saat pengujian yaitu 1.800 Watt dengan konsumsi biogas 0,021 m3/menit. Konsumsi biogas dengan beban 1.800 Watt ini menjadi dasar analisis penggunaan bioelektrik untuk penerangan, karena merupakan beban listrik minimal yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan listrik peternakan. Dengan demikian, kebutuhan biogas untuk menyalakan genset selama 12 jam adalah :

$$12 \times 60\, menit \times 0{,}021 = 15{,}12\, m^3$$

Pada kondisi sebenarnya jumlah biogas yang diproduksi per 12 jam hanya sebanyak 2,14 m^3,untuk itu analisis genset tidak dilakukan untuk penerangan selama sehari penuh , akan tetapi dilakukan selama biogas mencukupi untukmenyalakan genset.

Penggunaan genset biogas diharapkan dapat mengurangi pengeluaran dari penggunaan listrik, penggunaan diutamakan pada saat beban puncak yaitu padapukul 18:00-20:00, karena pada waktu tersebutbiaya listrik per kWh paling tinggi sehingga memungkinkan untuk lebih menghemat biaya pengeluaran.Dari pengujian produksi biogas diketahui bahwa jumlah rata-rata biogas yang dihasilkan *digester* adalah sebanyak 2,12 m3/hari. Sementara,konsumsi biogas untuk genset pada beban 1.800 W adalah 0,021 m3/menit. Dari data tersebut maka
lama genset beroperasi dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Lama\ genset\ beroperasi = \frac{Produksi\ biogas}{Konsumsi\ biogas\ pada\ genset}$$

$$= \frac{2{,}12\ m^3}{0{,}021\ m^3/menit} = 100{,}9\ menit$$

Dari hasil perhitungan, genset akan beroperasi selama 100,9 menit atau sekitar 1,49 jam.Dengan demikian listrik yang dapat dihematadalah

1800 W x 1,49h = 2,68 kWh per hari atau 80,4 kWh per bulan.

Jika biaya kWh listrikPLN adalah sebesar Rp. 500/kWh (PT. PLN2011), maka biaya listrik yang dapat dihematyaitu sebesar Rp. 40.200,-/bulan.

Jika dihitung secara menyeluruh telah diketahui potensi volume biogas (VBS) dari seluruh sapi yang terdapat didesa Nongkojajar adalah 7.360 m³/hari., dan total konsumsi biogas untuk menyalakan genset selama 12 jam adalah 15,12m³. Dengan beban terakhir digunakan 1800 W dan total beban maksimal 2500 W yang bisa ditanggung genset biogas, maka untuk mengetahui berapa penghematan total untuk seluruh desa Nongkojajar adalah :

$$\frac{V_{biogas\ \ total}}{V_{konsumsi\ \ genset\ \ 12\ \ jam}} = \frac{7360\text{m}^3}{15{,}12\ \text{m}^3} = 486{,}77\ \text{m}^3/\text{hari}$$

Dengan demikian listrik yang dapat dihemat adalah :

$$486{,}77\ \text{m}^3 \times 1800\ \text{W} = 789{,}786\ \text{kWh/hari}$$

Jika dirupiahkan dan waktu operasi pembangkit dengan asumsi memperhitungkan 1% mesin tidak beroperasi selama setahun = 333 hari adalah :

EL genset x Harga Listrik x 333 hari = 789,786 × 500 × 333 = Rp 131.149.300,- / tahun.

Perhitungan Potensi Pengurangan CO2

Menggunakan rumus perhitungan [14], Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti bahan bakar fosil adalah sebagai berikut :

a) Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkan oleh PLT biogas. Persamaan yang digunakan adalah :
   Energi listrik per tahun = KPT × t
   Kapasitas pembangkit terpasang = 789,786 kW

   Energi listrik per tahun = 789,786 kW × 8760
   = 6.918,8 MWh/th

b) Menghitung *emission factor* CO2 pembangkit, persamaan yang digunakan adalah :
   Emission factor = $\frac{V}{EL} x\ E\ \times\ kandungan\ energi\ bahan\ bakar$
   Bahan bakar yang digunakan adalah solar.
   Emission factor bahan bakar solar = 77,400 x 10^{-3} TCO2/TJ
   Energi yang dihasilkan = 6.918,8 MWh/th
   1 TJ = 277,778 MWh
   Sehingga,
   Emission factor = $\frac{77{,}4}{277{,}778}$
   = 0.0002786 tCO2/MWh

c) Menghitung emisi CO2 , persamaan yang digunakan adalah :
   Emisi CO2 = energi listrik pertahun x emission factor
   Emisi CO2 = 6.918,8 x 0.0002786
   = 1,9 tCO2/tahun

- Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan adalah sebagai berikut :
  1. Menghitung besarnya gas metan (CH4) yang dihasilkan dari instalasi biogas.
     Jumlah gas metan (m³) = Volume gas metan yang dihasilkan
     = 4.835,52 m³/hari
  2. Menghitung besarnya gas metan (CH4) dalam satuan Kg gas.
     Massa jenis gas metan adalah 0,656 kg/ m³, sehingga

Jumlah gas metan (Kg) = Jumlah gas metan (m^3) x P
= 4.835,52 x 0,656
= 3172,1 kg/hari

3. Menghitung gas metan (CH4) yang dikonversi menjadi CO2
GWPI (*Global Warming Potential Index*) CH4 adalah 21
Emisi CO2 = Jumlah gas metan x GWPI CH4 x 10^{-3}
Emisi CO2 = 3172,1 x 21 x 10^{-3}

= 66,61 tCO2/hari

Dalam satu tahun, emisi yang dikurangi adalah :
Emisi CO2 (tCO2) = 365 x 66,61
= 24.312,65 tCO2

Total pengurangan emisi = pengurangan emisi akibat mengganti bahan bakar fosil + Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan
= 1,9 + 24.312,65
= 24.313,74 tCO2

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dapat disajikan tabel konversi perubahan bentuk materi dari kotoran sapi dan energi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai berikut [15]:

Tabel 7 Hasil Analisa Keseluruhan PLT Biogas

No	Jenis Proses	Hasil
1.	Kotoran Sapi Perah Dewasa	184.000 kg/hari
2.	Jumlah Total Solid (TS)	38.640 kg/hr
3.	Jumlah Volatile Solid (VS)	34.960 kg/hr
4.	Jumlah Volume Produksi Biogas (VBS)	7.360 m^3/hari
5.	Jumlah Volume Gas Metan (VGM)	4.835,52 m^3/hari
6.	Konsumsi Biogas pada Genset 2500 W	15,12 m^3/hari/unit
7.	Energi Listrik dihasilkan	789,786 kWh/hari
8.	Total Pengurangan Emisi	24.313,74 tCO2
9.	Pendapatan energi listrik	Rp 131.149.300,- / tahun
10.	Total Biaya Pembangkitan	Rp 12.500.000,-/unit
11.	Umur Pemakaian	10 tahun
12.	Biaya Perawatan	Rp 2.000.000,-/unit/tahun

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan :

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa Desa Nongkojajar merupakan daerah peternakan yang cukup besar kecamatan Tutur, sampai tahun 2014 di Desa Nongkojajar terdapat 11.600 ekor sapi perah yang terdiri dari sapi perah kecil (pedet) dan sapi perah dewasa. Perkembangan perternakan sapi perah di Desa Nongkojajar mencapai 3,35% per tahun.

Dari tabel 5 dilakukan pengukuran selama 12 jam dengan interval waktu 60 menit diketahui pertambahan volume biogas(m^3) naik turun yang dipengaruhi oleh akumulasi volume gas (m^3) dan suhu ruangan digester (°C).

Dari tabel 6 dilakukan pengukuran setiap lima menit, diketahui beban listrik (Watt) dinaikkan secara eksperimental terdapat pertambahan konsumsi biogas (m^3 /menit) secara bertahap namun pada beban 725 Watt sampai dengan 1800 Watt, laju konsumsi biogas kembali menurun

dan cenderung tetap seperti pada pemakaian awal pada beban listrik 36 Watt dan konsumsi biogas 0,022 m^3 /menit.

Dengan demikian dapat dinyatakan kolerasi laju konsumsi daya listrik (Watt) dengan laju konsumsi biogas (m^3 /menit) :

1. Pertambahan volume biogas (m^3) naik turun yang dipengaruhi oleh akumulasi volume gas (m^3) dan suhu ruangan digester (°C).
2. Laju konsumsi volume biogas akan bertambah bila beban listrik akan terus naik, dalam hal lain ada kecenderungan semakin besar beban listrik ternyata ada kelainan kebutuhan konsumsi biogas yang cenderung tetap, hal ini dipengaruhi oleh temperatur yang mulai konstan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Giovanni K, Aulia, 2011, Analisa Kapasitas Pembangkit dan Perhitungan Pengurangan Emisi Pada Limbah Peternakan, Jurnal Teknologi.
[2] Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian Departemen Pertanian , 2009, Seri Bioenergi Pedesaan.
[3] Harahap dkk , 1978, Bahan Bakar Alternatif Asal Ternak, Sinar Tani.
[4] Sorensen, Bent, Juni 2007. *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage*,
Waskito, Didit, 2011. Perkembangan Digester Biogas di Indonesia, Pertanian, 1-7.
[4] Hambali E, 2008, Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBio) yang Dilengkapi denganKompresi Biogas, Balitbang, Jateng
[5] Haryati, Tutik, 2006., BIOGAS: LIMBAH PETERNAKAN YANG MENJADI SUMBER ENERGI ALTERNATIF, Balai Penelitian Ternak, Bogor
[6] Widodo, Teguh Wikan dkk, Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak, Jurnal Enjiniring Pertanian, Volume 4, Nomor 1, pp. 41-52, April 2006.
[7] Wiryanto, Bambang, 2010, Karakteristik Kerja dan Proses Pembuatan Perangkat Pembakar Gas Metana (Flare) untuk Tempat Pembuangan Sampah Akhir.
[8] Purnomo, Joko, 2009. Rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas.
[9] Nurhasanah dkk, 2006. Kajian Teknis Teknologi Biogas dan Potensi Pengembangannya di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian. Bogor
[10] Wahyuni , 2008. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya. Inotek, 150-160.
[11] Suriawiria, Menuai Biogas dari Limbah, Departemen Pertanian, 2005.
[12] Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, Eighth edition. 1999.
[13] Zicari, S. McKinzey, 2003, *Removal of Hydrogen Sulphyde Using Cow Manure Compost, A Master thesis*, Cornel.
[14] Herlambang, Santi, 2006. Pengaruh suhu dan C/N Rasio terhadap produksi biogas berbahan baku organik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
[15] Hendriadi, 2007. Pemanfaatan limbah ternak ruminansia untuk mengurangi pencemaran lingkungan, Makalah Pengantar Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.

PENGUKURAN KINERJA PERUSAHAAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BALANCED SCORECARD* PADA PT. BEST DENKI SURABAYA

Yetta Ratnasari [1], Suhartini [2]
Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
Email : yhee19@rocketmail.com, ttitin63@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam menghadapi persaingan bisnis yang semakin ketat sebagian besar perusahaan menggunakan strategi dalam berhubungan dengan konsumen, pesaing dan yang berhubungan dengan karyawan. Sementara pengukuran kinerja perusahaan pada PT. Best Denki hanya berdasarkan pengukuran finansial saja.

Balanced Scorecard adalah metode pengukuran kinerja perusahaan yang mencakup empat perspektif yaitu finansial, pelanggan, proses bisnis internal, dan proses pembelajaran dan pertumbuhan. Pada Penelitian ini kita akan menerapkan metode balanced scorecard dalam mengukur kinerja perusahaan pada PT. Best Denki.

Nilai pengukuran kinerja keseluruhan pada PT. Best Denki pada periode pertama yaitu dimulai April 2012 – Maret 2013 adalah sebesar 64,03% dan meningkat menjadi 80,69% pada periode kedua dimulai dari April 2013 – Maret 2014. Berdasarkan analisa, untuk dapat dilakukan peningkatan kinerja perusahaan secara keseluruhan adalah dengan memberikan pelatihan pada karyawan sehingga karyawan dapat memberikan pelayanan terbaik kepada konsumen dan menjaga kualitas produk yang ditawarkan agar dapat meningkatkan transaksi penjualan.

Kata kunci : Pengukuran Kinerja, *Balanced Scorecard, Key Performance Indicators.*

ABSTRACT

In the face of increasingly fierce business competition most companies use the strategy in dealing with customers, competitors and employees associated with. While measuring the performance of companies on the PT. Best Denki is only based on financial measures alone.

Balanced Scorecard is a method of measuring corporate performance that includes four perspectives: financial, customer, internal business processes, and learning and growth process. In this study we will apply the balanced scorecard method in measuring the performance of companies on the PT. Best Denki.

Value measurement of overall performance in PT. Best Denki in the first period that begins April 2012 - March 2013 amounted to 64.03% and increased to 80.69% in the second period starting from April 2013 - March 2014 Based on the analysis, to be able to improve the overall performance of the company is to provide training to employees so that employees can provide the best service to consumers and maintain the quality of products offered in order to increase the sales transaction.
Keywords: Performance Measurement, Balanced Scorecard, Key Performance Indicators.

PENDAHULUAN

Dalam menghadapi persaingan bisnis yang semakin ketat pada era globalisasi saat ini, perusahaan perlu mempunyai visi dan strategi bisnis. Dari sekian banyak perusahaan yang telah memiliki visi dan strategi bisnis sering tidak berhasil dalam membuat perubahan signifikan setelah memformulasikan visi dan strategi bisnisnya. Pengukuran kinerja merupakan hal penting bagi setiap unit bisnis secara umum, karena pengukuran kinerja menjadi tolak ukur suatu bisnis dan hasil pengukuran yang dilakukan dapat dijadikan landasan bagi pihak manajemen untuk melakukan perencanaan bagi unit bisnis pada masa yang akan dating [1].

Best Denki Co., Ltd. Merupakan salah satu perusahaan elektronik terbesar di Asia yang berasal dari Jepang yang terletak di kota Fukuota. Untuk menjadi perusahaan andalan dalam bidang penyediaan produk elektronik menjadikan PT. Best Denki Indonesia untuk senantiasa menjaga

hubungan baik dengan pelanggan dan rekan bisnis. Dengan memberikan pelayanan dan kualitas produk yang terbaik dengan berorientasi pada kepuasan pelanggan.

Startegi perusahaan adalah langkah perusahaan untuk mewujudkan langkah masa depannya menuju keberhasilan dimana banyak sekali dipengaruhi oleh informasi-informasi yang menyangkut proses bisnis internal perusahaan, pelanggan, keuangan dan inovasi. Oleh sebab itu perusahaan harus memperhatikan pengukuran kinerjanya baik ditinjau dari segi finansial, operasional, pelanggan, proses belajar dan pertumbuhan. Hal-hal yang diperlukan dalam pengukuran kinerja tersebut dapat diketahui dengan menggunakan metode *Balanced Scorecard* [2].

Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah kinerja perusahaan jika dilakukan dengan metode *Balanced Scorecard* yang mencakup empat perspektif dalam pengukuran kinerja perusahaan ?
2. Bagaimana hasil analisa pengukuran kinerja perusahaan dengan menggunakan empat perspektif *Balanced Scorecard* ?

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian adalah

1. Mengetahui kinerja perusahaan jika dilakukan dengan menggunakan metode *Balanced Scorecard* yang mencakup empat perspektif.
2. Membuat hasil analisa terhadap kinerja pada perusahaan dari empat perspektif pada metode *Balanced Scorecard.*

DASAR TEORI

Balanced Scorecard

Balanced Scorecard merupakan metode pengukuran kinerja yang digunakan untuk menciptakan kinerja organisasi yang lebih baik dilihat dari dua aspek secara berimbang yaitu aspek keuangan dan non-keuangan. Terdapat empat perspektif *balanced scorecard* yaitu Finansial, Pelanggan, Proses Bisnis Internal, dan Proses Pembelajaran Pertumbuhan. Keunggulan *Balanced Scorecard* dalam system perencanaan strategis adalah mampu menghasilkan rencana strategis yang memiliki karateristik yaitu : Komprehensif, Koheren, Seimbang, dan Terukur [3].

***Key Success Factors* Dalam Empat Perspektif**

1. Perspektif Finansial

- *Return On Equity*
  Alat ukur untuk mengetahui seberapa besar laba yang di hasilkan oleh perusahaan.
- *Return On Assets*
  ROA merupakan alat ukur untuk mengukur efisiensi dan total asset - yang ada dalam perusahaan lebih efektif.
- *Total Asset Turnover*
  TATO digunakan untuk mengukur kemampuan dari asset perusahaan dalam menghasilkan penjualan.
- *Profit Margin on Sales*
  Pengukuran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat keuntungan yang dapat di capai oleh perusahaan dengan dihubungkan dengan penjualannya [4].
- *Sales Growth Ratio*
  Mengukur kemampuan perusahaan untuk meningkatkan penjualan dari tahun ketahun. Jika SGR terus meningkat maka akan semakin baik karena berarti produk yang dijual oleh perusahaan tersebut semakin diminati oleh konsumen.
- *Current Ratio*

CR merupakan rasio yang digunakan untuk mengukur kemampuan perusahaan dalam memenuhi kewajiban keuangan jangka pendek dengan menggunakan aktiva lancar.

2. Perspektif Pelanggan

Pengukuran yang digunakan dalam perspektif pelanggan adalah :

- Retensi pelanggan
  Retensi pelanggan adalah ukuran yang dapat menunjukkan tentang tingkat keberhasilan perusahaan dalam mempertahankan hubungan baik dengan pelanggan yang dimilikinya.
- Jumlah pelanggan baru
  Pengukuran jumlah pelanggan baru adalah membandingkan jumlah pelanggan baru dengan keseluruhan pelanggan yang ada pada saat itu.
- Jumlah keluhan pelanggan
  Tujuan dilakukannya pengukuran ini adalah untuk mengetahui tingkat kepuasan pelanggan terhadap produk-produk yang ditawarkan perusahaan.
- *On Time Delivery*
  Ketepatan waktu pengiriman produk sangatlah penting karena berhubungan dengan kepuasan dan loyalitas pelanggan terhadap perusahaan [5].

3. Persepktif Bisnis Internal

Pengukuran yang digunakan dalam perpektif proses bisnis internal adalah :

- *Percentage of Defective Unit*
  Kemampuan perusahaan dalam menyediakan produk yang baik di ukur dalam prosentase cacat.
- *Number of Transaction*
  Semakin tinggi prosentase dalam transaksi yang dilakukan (*Number Of Transaction*), maka kinerja akan mengalami peningkatan.

4. Perpektif Proses Pembelajaran dan Pertumbuhan

- *Employee Turnover*
  Pengukuran ini memberikan petunjuk bagi perusahaan tentang kestabilan tenaga kerja, juga memberikan pandangan karyawan tentang persepsi karyawan terhadap perusahaan.
- Absensi
  Penentuan *absenteein* adalah jika tenaga kerja tidak masuk pada waktu yang telah ditetapkan perusahaan.
- Jumlah usulan karyawan
  Pengukuran ini menunjukkan kemampuan karyawan dalam berpartisipasi dalam memberikan saran usulan bagi kemajuan perusahaan.
- *Employee Training*
  Merupakan suatu evaluasi yang dilakukan dengan cara melakukan audit *training* dari melihat pelaksanaan training yang sudah sesuai dengan ketentuan [6].

METODE PENELITIAN

a) Identifikasi masalah
   Identifikasi masalah dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan-permasalahan apa yang akan diamati dan di analisis dalam penelitian.
b) Studi Literatur
   Dilakukan guna menunjang pencapaian tujuan dan pemecahan masalah dengan pendekatan teori yang sesuai
c) Studi Lapangan
   Studi lapangan ini dilakukan untuk memperoleh data secara langsung PT. Best Denki Surabaya khususnya untuk pengukuran kinerja perusahaan.

d) Perumusan Masalah
Bagaimanakah kinerja perusahaan jika dilakukan dengan metode *Balanced Scorecard* yang mencakup empat perspektif dalam pengukuran kinerja perusahaan dan bagaimana hasil analisa pengukuran kinerja perusahaan dengan menggunakan empat perspektif *Balanced Scorecard.*

e) Tujuan Penelitian
Mengetahui kinerja perusahaan jika dilakukan dengan menggunakan metode *Balanced Scorecard* yang mencakup empat perspektif dan Membuat hasil analisa terhadap kinerja pada perusahaan dari empat perspektif pada metode *Balanced Scorecard.*

f) Tahap Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilakukan dengan mengamati kondisi dilapangan serta mengambil data yang diperlukan.

g) Tahap Pengolahan Data
Dalam tahap Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan metode *Balanced Scorecard* yang dihubungkan dengan visi, misi dan strategi dari perusahaan [7].

h) Tahap Analisa Hasil
Dilakukan penganalisaan terhadap hasil perhitungan yang dilakukan pada tahap pengumpulan dan pengolahan data. Sehingga diharapkan permasalahan dalam penelitian dapat dirumuskan dan dipecahkan.

i) Tahap Kesimpulan dan Saran
Setelah pembahasan dilakukan maka akan dilanjutkan dengan pemberian kesimpulan dari hasil yang diperoleh dan kemudian diberikan saran-saran yang sebaiknya dilakukan perusahaan untuk meningkatkan performasi berdasarkan dari hasil analisa penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel Hasil Perhitungan Perspektif

1. Proses Pembelajaran dan Pertumbuhan

Tabel 1. Pencapaian Perspektif Proses Pembelajaran dan Pertumbuhan PT. Best Denki Surabaya

Tolak Ukur	Periode April 2012 – Maret 2013		Periode April 2013 – Maret 2014	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
Employee Turnover	14,28%	2	12,82%	2
Absensi	12,38%	2	11,11%	2
Jumlah usulan	30,95%	4	25,64%	4
Employee Training	19,05%	3	23,08%	4

2. Proses Bisnis Internal

Tabel 2. Pencapaian Perspektif Proses Bisnis Internal PT. Best Denki Surabaya

Tolak Ukur	April 2012 – Maret 2013		April 2013 – Maret 2014	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
Produk Cacat	0,35%	4	0,22%	4
Peningkatan Transaksi Penjualan	-	-	17,31%	1

3. Pelanggan

Tabel 3. Pencapaian Perspektif Pelanggan PT. Best Denki Surabaya

Tolak Ukur	Periode April 2012 – Maret 2013		Periode April 2013 – Maret 2014	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
Retensi pelanggan	1,21%	1	1,19%	1
Jumlah pelanggan baru	98,78%	3	98,81%	3
On Time Delivery	93,26%	3	95,74%	3
Jumlah Keluhan	5,02%	2	4,69%	3

4. Finansial

Tabel 4. Pencapaian Perspektif Finansial PT. Best Denki Surabaya

Tolak Ukur	April 2012 – Maret 2013		April 2013 – Maret 2014	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
ROE	10,34%	3	17,80%	4
ROA	8,62%	2	15,91%	4
TATO	125,79%	4	127,63%	4
PMoS	6,85%	2	12,27%	3
SGR	-	-	42,06%	3
SCR	189,39%	4	171,18%	4

5. Pengukuran Kinerja Keseluruhan

Tabel 5. Pengukuran Kinerja Keseluruhan PT. Best Denki Surabaya

No.	Perspektif	Periode April 2012-Maret 2013	Periode April 2013-Maret 2014
1.	Proses Pembelajaran dan Pertumbuhan	17,19%	18,75%
2.	Proses Bisnis Internal	12,5%	15,62%
3.	Pelanggan	14,06%	15,62%
4.	Finansial	15,60%	22,88%
	Total	59,35%	72,87%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada perspektif pembelajaran dan pertumbuhan PT. Best Denki Surabaya pada periode April 2012 – Maret 2013 mencapai 68,75% yang artinya penilaian terhadap kinerja pada perspektif proses pembelajaran pertumbuhan pada periode tersbut adalah adalah baik. Sedangkan pada periode april 2013 – maret 2014, kinerja perspektif proses pembelajaran dan pertumbuhan meningkat menjadi 75% dan artinya pada periode tersebut, penilaian terhadap perspektif proses pembelajaran dan pertumbuhan adalah baik .

Perspektif bisnis internal, pada periode pertma perusahaan hanya mencapai 50% yang artinya kinerja perusahaan masih dalam kondisi kurang baik. Dan pada periode kedua perusahaan bisa mencapai nilai 62,5% yang berarti kinerja perusahaan dalam kondisi yang baik pada perspektif bisnis internal. Perusahaan bisa meningkatkan kinerja perusahaanya dengan cara menyediakan produk yang berkualitas sehingga bisa meningkatkan transaksi penjualan [8].

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada perspektif pelanggan PT. Best Denki Surabaya pada periode pertama mencapai 56,25% yang dapat diartikan bahwa kinerja pada perspektif pelanggan masih baik. Sedangkan pada periode selanjutnya perspektif pelanggan mengalami

kenaikan dan nilainya mencapai 62,5%. Penilaian kinerja pada perusahaan dikatakan baik pada periode kedua.

Perspektif finansial PT. Best Denki Surabaya pada periode April 2012-Maret 2013 mencapai 62,40% yang berarti kinerja finansial perusahaan baik. Dan pada periode April 2013-Maret 2014 meningkat menjadi 91,52% yang berarti bahwa kinerja keuangan perusahaan sangat baik. Hasil analisa dari pengukuran kinerja keseluruhan dari PT. Best Denki pada periode April 2012 – Maret 2013 mencapai 59,35% yang berarti bahwa kinerja perusahaan masih dalam kondisi baik tetapi masih memerlukan perbaikan agar kinerja perusahaan bisa meningkat untuk tahun berikutnya.

Sedangkan pengukuran kinerja pada periode April 2013 – Maret 2014 meningkat menjadi 72,87% yang berarti bahwa kinerja perusahaan dalam kondisi yang baik dan dapat melampaui nilai kinerja perusahaan pada tahun sebelumnya. Untuk periode berikutnya diharapkan agar perusahaan tetap bisa meningkatkan kinerjanya dengan cara meningkatkan nilai pada setiap perspektif yang juga dipengaruhi oleh peningkatan nilai beberapa tolak ukur dalam setiap perspektif tersebut [9].

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pada PT. Best Denki Surabaya adalah :

1. Kinerja perusahaan pada PT. Best Denki Surabaya jika dilihat dari keempat perspektif adalah sebagai berikut :
   Nilai pada perspektif pembelajaran dan pertumbuhan pada periode pertama mencapai 68,75%, dan pada periode kedua mengalami peningkatan dengan nilai 75%. Pada perspektif bisnis internal pada periode pertama hanya mencapai nilai 50% lalu meningkat pada periode selanjutnya mencapai 62,5% yang artinya kinerja PT. Best Denki dalam kondisi baik. Perspektif Pelanggan pada periode pertama mempunyai nilai 56,25% dan mengalami peningkatan pada periode berikutnya menjadi 62,5%. Untuk perspektif finansial pada tahun 2012 PT. Best Denki mencapai nilai 62,40%, mengalami peningkatan pada tahun 2013 perspektif finansial meningkat dan nilainya mencapai 92,52% yang artinya kinerja perusahaan dinilai baik pada tahun 2013 untuk perspektif finansial.
2. Dari hasil analisa pengukuran kinerja terhadap empat perspektif *Balanced Scorecard* menunjukkan bahwa kinerja PT. Best Denki Surabaya pada periode April 2012 – Maret 2013 sebesar 59,35% yang berarti bahwa kinerja PT. Best Denki Surabaya masih dalam kondisi yang baik, tetapi masih memerlukan perbaikan kinerja pada perusahaan. Hal tersebut dikarenakan PT. Best Denki Surabaya memang baru membuka storenya pada tahun tersebut dan belum maksimal dalam melakukan usaha-usaha untuk mengembangkan perusahaan, dan pada periode kedua yaitu April 2013 – Maret 2014 mengalami kenaikan dan kinerja PT. Best Denki Surabaya menjadi 72,87% yang berarti pada periode tersebut PT. Best Denki Surabaya berhasil meningkatkan kinerja perusahaannya dan dikatakan baik. PT. Best Denki Surabaya berhasil mengembangkan perusahaan dan memperluas pangsa pasar dengan cara terus meningkatkan jumlah transaksi penjualan.

SARAN

Berdasarkan hasil analisa data yang dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan sebagai saran bagi PT. Best Denki Surabaya dalam penggunaan metode *Balanced Scorecard* untuk pengukuran kinerja perusahaan, sebagai berikut :

1. Dalam mengimplementasikan pengukuran kinerja dengan metode *Balanced Scorecard* , diperlukan dukungan aktif dan partisipasi manajemen dan seluruh karyawan perusahaan. Keterlibatan seluruh karyawan membantu perusahaan untuk berkembang dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan berdasarkan dengan visi dan misi perusahaan.
2. Hal- hal yang perlu dilakukan oleh pihak manajemen PT. Best Denki Surabaya untuk meningkatkan kinerja perusahaan adalah sebagai berikut :

a. Melakukan peninjauan ulang terhadap sasaran strategi, target dan pengukuran untuk keempat perspektif *Balanced Scorecard* dan dilakukan evaluasi secara terus menerus dalam jangka waktu yang ditentukan.
b. Meningkatkan kinerja pada setiap perspektif *Balanced Scorecard* dengan cara meningkatkan target pada setiap tolak ukur pada masing-masing perspektif *Balanced Scorecard*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Robert S. Kaplan & David P. Norton, Balanced Scorecard *"Menerapkan Strategi Menjadi Aksi"*, (terjemahan) Penerbit Erlangga, Jakarta, 2000.
[2] Mokhamat, Mashury, *"Pengukuran Kinerja Perusahaan Dengan Menggunakan Metode Balanced Scorecard Pada PT. Jawa Pos Telecomunication"*, Tugas Akhir Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2009.
[3] Purwanto, Johan, *"Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Menggunakan Metode Balanced Scorecard untuk Menentukan Strategi SWOT di Perum Perhutani KBM-IK Gresik",* Tugas Akhir Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2013.
[4] Halim, Cahyo, *"Penerapan Balanced Scorecard Sebagai Alat Pengukuran Kinerja Yang Memadai (Sebuah Studi Pada Perusahaan Bio Tech Sarana di Bandung)",* Vol. III, No. 2, Desember 2009.
[5] Himawan, Ferdianus Agung, *"Analisis Balance Scorecard sebagai Alat Pengukuran Kinerja Perusahaan (Studi Kasus pada PT Astra Honda Motor)",* Esensi, Volume 8 No.1/2005.
[6] Arthur J. Keown, 2005, *"Financial Management; Principles and Applications", Tenth Editions, Pearson Prentice Hall*. (KMPS)
[7] Mowen, Hensen. "*Akuntansi Manajemen*". Edisi 7. Salemba 4, Jakarta. 2004.
[8] Mulyadi, Balanced Scorecard, *"Alat Manajemen Kontemporer Untuk Melipat Gandakan Kinerja Keuangan Perusahaan"*, Penerbit Salemba Empat, Jakarta, 2001.
[9] Sarjono, Haryadi, *"Penerapan Metode Balanced Scorecard Sebagai Suatu Sistem Pengukuran Kinerja pada PT. Dritama Brokerindo, Jakarta Timur",* Binus Business Review Vol.1 No.1 Mei 2010

RANCANG BANGUN MESIN MULTI FUNGSI PENGUPAS SABUT DAN TEMPURUNG KELAPA

Bambang Setyono[1], Hari Waluyo[2]
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1,2]
Email: benks68@yahoo.com

ABSTRAK

Saat ini sudah diciptakan mesin pengupas sabut kelapa maupun mesin pengupas tempurung kelapa. Dengan menggunakan mesin, kapasitas pengupasan sabut kelapa bisa ditingkatkan hingga dua kali lipat. Namun kedua mesin tersebut masih merupakan unit yang terpisah yaitu unit mesin pengupas sabut kelapa dan unit mesin pengupas tempurung kelapa. Tentu saja untuk pengadaan kedua mesin tersebut membutuhkan biaya investasi yang lebih mahal dan biaya operasional yang tinggi. Untuk mengurangi biaya investasi dan operasional maka dalam penelitian diciptakan mesin pengupas sabut dan tempurung kelapa sekaligus . Mesin ini bersifat multifungsi karena dapat berfungsi sebagai pengupas sabut kelapa sekaligus pengupas tempurung kelapa. Ukuran mesin (PxLxT) 65 x 58 x 102,5 cm berat 40 kg. Penggerak menggunakan motor listrik AC daya 3 HP. Pahat yang digunakan berupa poros bersayap empat bergerigi untuk pengupas sabut kelapa dan batang berujung lancip yang dikombinasikan dengan pahat rotari bergerigi sebagai pahat untuk pengupas tempurung kelapa. Berdasarkan perhitungan keamanan konstruksi didapatkan ukuran diameter poros utama pahat 25,4 mm ; v-belt tipe B ; daya motor listrik 3 HP cukup aman. Sedangkan dari hasil uji coba kapasitas pengupasan sabut kelapa = 230 kelapa/jam untuk kelapa kering ; = 153 kelapa/jam untuk kelapa basah dan untuk pengupasan tempurung kelapa = 120 kelapa/jam.

Kata kunci : multi fungsi, pengupas sabut kelapa, pengupas tempurung kelapa, kelapa basah, kelapa kering.

PENDAHULUAN

Pohon kelapa merupakan tanaman khas negara-negara tropis termasuk Indonesia. Hampir semua pulau di Indonesia terdapat pohon kelapa. Semua bagian pohon kelapa memiliki nilai ekonomis mulai dari akar, pohon, buah dan daun. Buah kelapa terdiri dari sabut, tempurung, daging buah dan air. Semua bagian tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.

Pengupasan buah kelapa dimulai dengan mengupas sabut. Pengupasan sabut kelapa kebanyakan masih menggunakan cara manual yang membutuhkan tenaga yang besar, ketrampilan dan waktu yang relatif lama. Begitu juga untuk mengupas tempurung kelapa dibutuhkan ketrampilan, tenaga yang besar dan waktu yang lebih lama lagi. Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini tekah diciptakan mesin pengupas sabut kelapa. Dengan menggunakan mesin pengupasan sabut kelapa menjadi lebih cepat dan tenaga lebih ringan. Begitu juga akhir-akhir ini juga telah diciptakan pula mesin pengupas tempurung kelapa.

Hingga saat ini baik mesin pengupas sabut kelapa maupun mesin pengupas tempurung kelapa masih merupakan unit yang terpisah, sehingga untuk mengerjakan pengupasan sabut kelapa dan tempurung kelapa harus dibutuhkan dua mesin. Tentu saja hal ini dibutuhkan dana yang besar dan tempat yang lebih luas. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dibuat satu mesin yang memiliki fungsi ganda atau multi fungsi, yaitu satu mesin yang dapat berfungsi mengupas sabut kelapa sekaligus mengupas tempurung kelapa. Dengan demikian dapat mengurangi biaya investasi, biaya operasional, dan efisiensi tempat kerja.

DASAR TEORI

Total produksi kelapa di Indonesia diperkirakan sebanyak 14 milyar butir kelapa pertahun. Jumlah tersebut menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil kelapa terbesar di dunia [1]. Buah

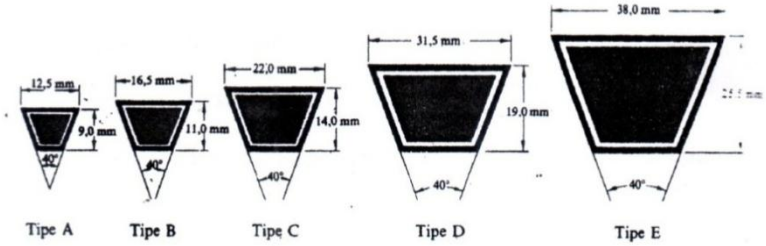
kelapa mengandung sekitar 65% berat *kernel* (bagian tempurung, daging buah dan air) dan 35% berat serabut kelapa (*husk*) (Wildan, 2010). Dari proses pengolahan buah kelapa akan dihasilkan limbah sekitar 19,047 juta m^3 dan 35% dari jumlah tersebut berupa serat yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri. Mutu serat kelapa atau *coconut fibre* ditentukan oleh warna, prosentase kotoran, kadar air dan proporsi antara bobot serat panjang dan serat yang pendek [2].

Mesin yang digunakan untuk proses produksi pada umumnya terdiri dari mesin pengurai tenaga solar yang berfungsi mengubah sabut kelapa menjadi serabut kelapa (*coco fiber*) dan mesin pengayak bertenaga listrik yang berfungsi memisahkan *coco peat* dari *coco fiber* [3]. Beberapa penelitian terdahulu tentang perancangan mesin pengolah sabut kelapa antara lain membuat alat pemisah sabut kelapa [4], [5] merancang mesin pengurai serabut kelapa, dan mesin pemisah serabut kelapa hasil rancangan [6]. Akan tetapi mesin yang digunakan untuk mengupas sabut kelapa dari tempurung kelapa belum banyak ditemukan di pasaran, salah satunya telah diciptakan mesin pengupas sabut kelapa dengan kapasitas 28 butir kelapa/jam [7].

Komponen Elemen Mesin

Sistem Transmisi

Gambar 1. Pulley



Gambar 2. Penampang Tipe V-Belt

a. Perhitungan panjang v-belt, L_{belt} (mm) [8]

$$L = 2a + \left[(d_{pull\ 2} + d_{pull\ 1})\frac{\pi}{2}\right] + \left\{\frac{(d_{pull\ 2} - d_{pull\ 1})^2}{4a}\right\} \quad (1)$$

dimana:

a = jarak poros motor dengan titik pusat pulley
d_{pull1} = diameter pulley penggerak (mm)
d_{pull2} = diameter pulley yang digerakan (mm)

b. Tegangan maksimun yang timbul dari operasi v-belt, σ_{max} $\left({}^{kg}/_{cm^2}\right)$

$$\sigma_{max} = \sigma_o + \frac{F}{2.Z.A} + \frac{\rho.(Vp_1)^2}{(10.g)} + \frac{(Eb.h)}{d_{min}} \quad (2)$$

dimana :

σ_o = 12 $\left({}^{kg}/_{cm^2}\right)$, tegangan awal untuk V belt (tetapan)
F = Gaya keliling yang terjadi (kg)
Z = jumlah belt (buah)
A = luas penampangan (mm^2)
ρ = berat jenis rubber canvas (1,25~1,50) ${}^{kg}/_{cm^3}$
g = gaya grafitasi $\left({}^{m}/_{dt^2}\right)$

E_b = modulus elastisitas rubber canvas (600-1000) $^{kg}/_{cm^3}$

h = tebal belt (mm)
D_{min} = d_{pull} = diameter pulley penggerak
Vp_1 = kecepatan keliling pulley penggerak

c. Umur belt, H (jam kerja)

$$H = \frac{N_{base}}{(3600.u.X)}\left[\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}}\right]^m \quad (3)$$

dimana :

N_{base} = $1x10^7$ put,basis dari *fatique test* (tetapan)
u = jumlah putaran V belt (rps)
x = jumlah pulley yang berputar (buah)
m = 8, faktor buah V belt (tetapan)
σ_{fat} = 90 $^{kg}/_{cm^2}$, *fatique test* untuk V belt (tetapan)

σ_{max} = tegangan maksimum yang timbul dari operasi V belt $\left(^{kg}/_{cm^2}\right)$

Poros

Perhitungan diameter poros, Dp (mm) [9]

$$Dp^3 = \frac{16}{(\pi.\tau_{max})}\sqrt{(Tp^2 + M^2} \quad (4)$$

dimana :

τ_{max} = tegangan geser bahan max yang diijinkan $\left(^{lb}/_{in^2}\right)$
Tp = torsi poros (lb.in)
M = moment maksimum poros (lb.in)

Perhitungan umur bantalan

Dalam penentuan bantalan yang dipakai maka ditentukan dengan rumus [10]

a. Umur Bantalan (L_{10})

$$L_{10} = \left[\frac{c}{p}\right]^b x\ 10^6 \quad (5)$$

dimana :

b = konstanta tipe bantalan
V = faktor keamanan
L_{10} = umur bantalan
C = beban dinamis
p = beban ekivalen

b. Beban ekivalen (P)

$$P = X.V.\ Fr + F_{A.}\ Y \quad (6)$$

dimana :

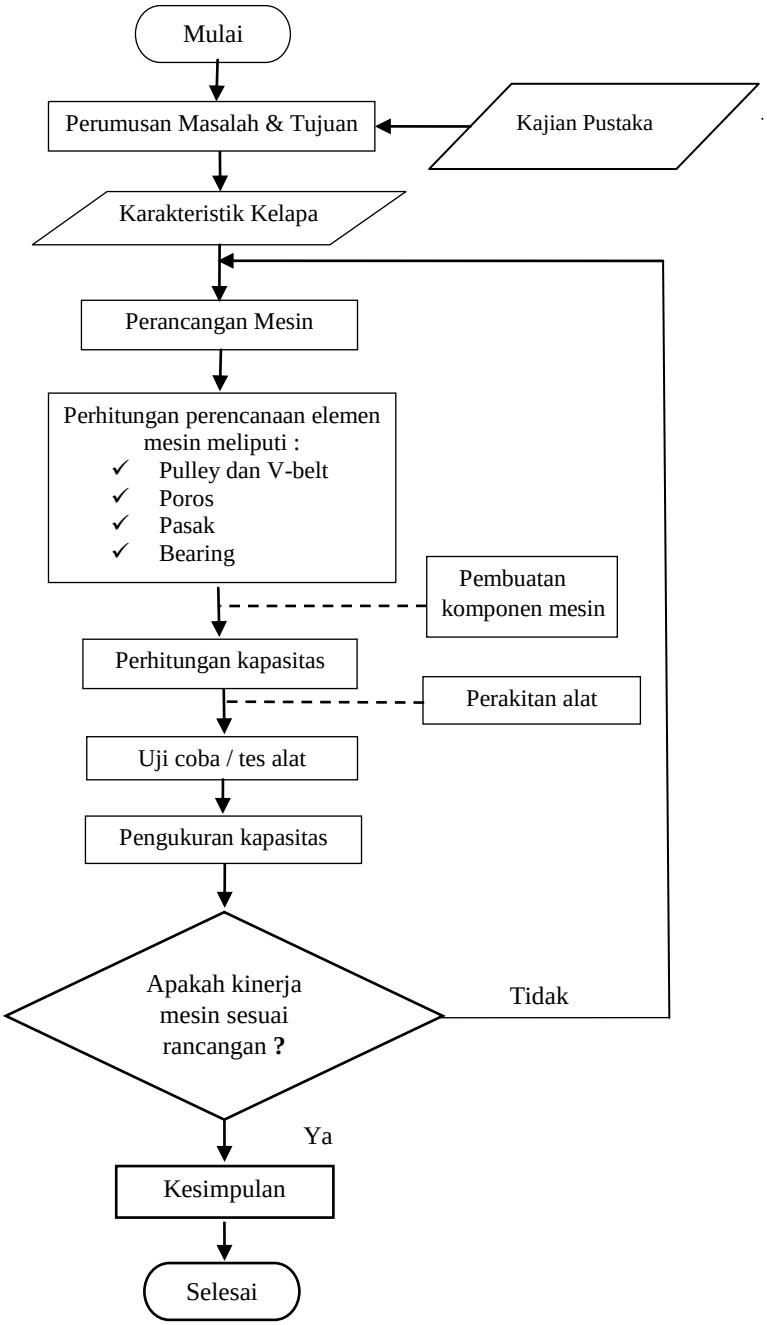
X = faktor beban radial
Fr = Gaya radial bantalan (kg)
Fa = gaya aksial
V = faktor rotasi dengan ring dalam yang berputar
Y = Faktor beban aksial
P = Beban ekivalen

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian rancang bangun Mesin Pengupas Sabut dan Tempurung Kelapa dilakukan di Workshop Teknologi Tepat Guna Teknik Mesin Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya ini dilakukan mulai dari bulan April 2013 sampai dengan akhir bulan Agustus 2013. Rangkaian penelitian ini meliputi kajian pustakan dan studi lapangan, perancangan mesin, perhitungan elemen mesin, proses pembuatan mesin, perakitan komponen dan uji coba mesin.

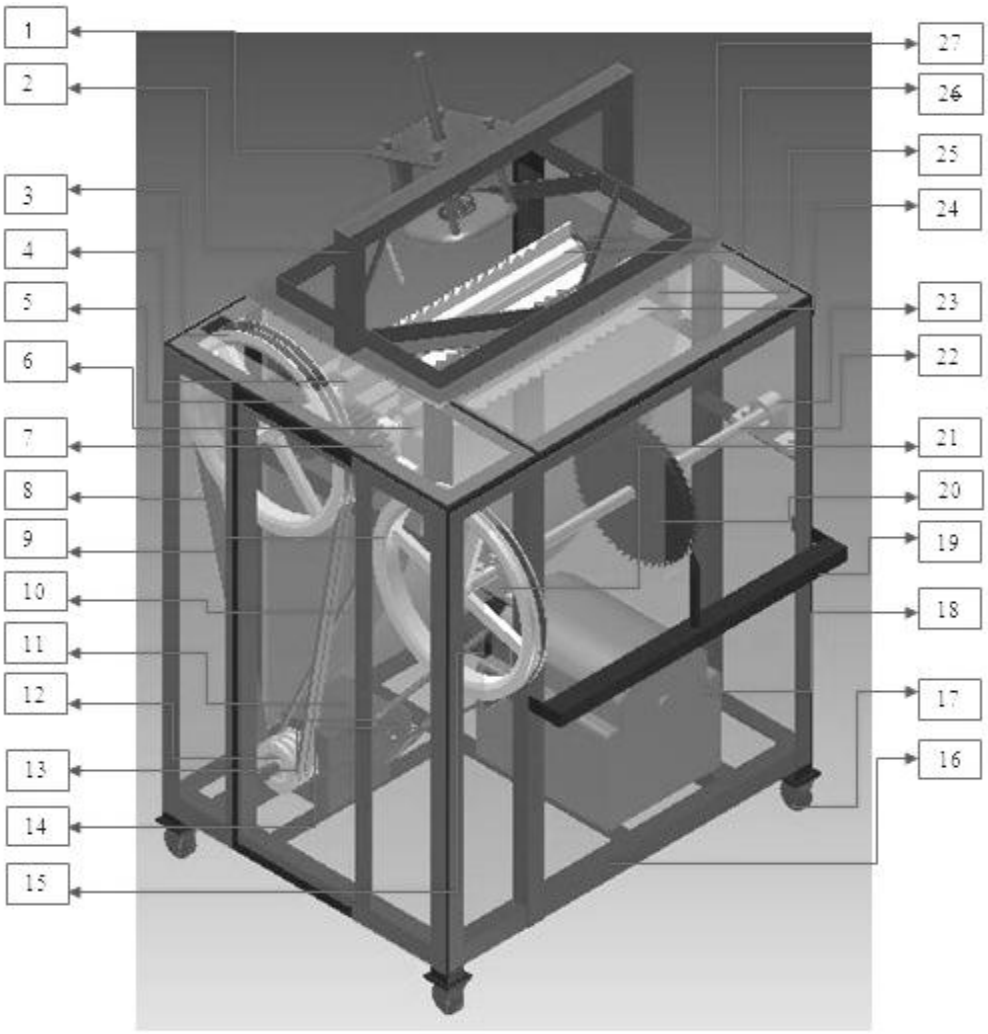
Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan mesin multi fungsi pengupas sabut dan tempurung kelapa terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Rancangan Mesin

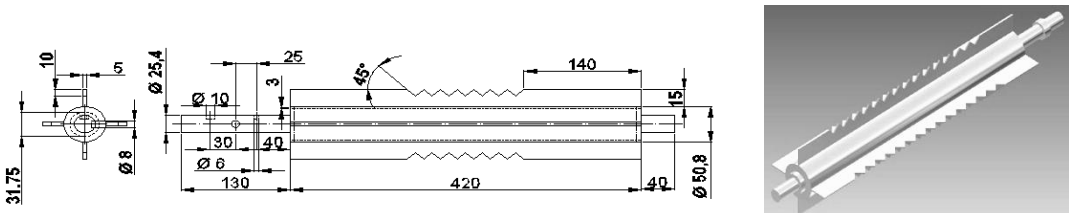
Keterangan gambar :

1. Penekan kelapa
2. Tutup pengupas sabut kelapa
3. Pully pengupas sabut kelapa
4. Bantalan pengupas sabut kelapa 1
5. Roda gigi pengupas sabut kelapa 1
6. Bantalan pengupas sabut kelapa II
7. Roda gigi pengupas sabut kelapa II
8. V-belt pengupas sabut kelapa
9. Pully pengupas tempurung kelapa
10. V-belt pengupas tempurung kelapa
11. Gear box
12. Pully gear box
13. Roda gigi pada poros gear box
14. Rantai
15. Roda gigi penggerak pada poros motor
16. Kerangka
17. Roda
18. Motor Listrik
19. Penahan pengupas tempurung kelapa
20. Pisau pengupas tempurung kelapa
21. Bantalan pengupas tempurung kelapa
22. Poros pengupas tempurung kelapa
23. Bantalan pengupas tempurung kelapa
24. Poros pisau pengupas serabut kelapa II
25. Bantalan pengupas serabut kelapa II
26. Poros pisau pengupas serabut kelapa I
27. Bantalan pengupas serabut kelapa I

Pada dasarnya Mesin Pengupas Sabut dan Tempurung Kelapa ini terdiri dari beberapa komponen-komponen utama yang membentuk suatu kerja mesin. Komponen- komponen tersebut diantara adalah sebagai berikut :

Motor listrik
Motor listrik AC daya 3 HP, putaran 1500 rpm.

Desain Pisau Pengupas Sabut Kelapa
Pisau yang digunakan sebagai pengupas sabut kelapa ini memegang peranan penting dalam dalam proses pengupasan sabut kelapa. Agar mesin dapat berfungsi dengan baik maka harus diketahui desain dan ukuran pisau yang optimal agar mesin dapat mengupas sabut kelapa secara maksimal dan tahan lama. Adapun desain pisau pengupas sabut kelapa dapat digambar sesuai dengan ukuran, bahan yang digunakan serta proses pembuatannya sendiri sebagai berikut:

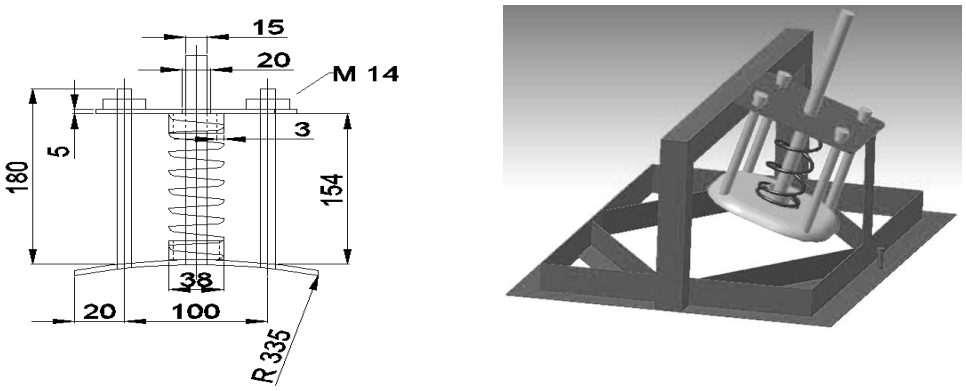


Gambar 6. Desain Pisau Pengupas Sabut Kelapa

Bahan untuk tiap sisi pisau pengupas sabut kelapa adalah baja medium carbon dengan ukuran 420x25x4 mm. Poros baja AISI 1050 diameter 25,4 mm, pipa baja diameter 75 mm dengan panjang 420 mm dan tebal 3 mm.

Desain Penekan Kelapa pada bagian Pengupas Sabut Kelapa

Tempat penekan kelapa ini digunakan untuk menekan kelapa agar kelapa tersebut tetap pada posisi yang diharapkan pada saat proses pengupasan sabut kelapa sedang berlangsung.
Desain penekan kelapa secara spesifik seperti pada gambar di bawah ini sesuai dengan ukuran dan bahan yang digunakan serta proses pembuatannya dapat dirincikan sebagai berikut:

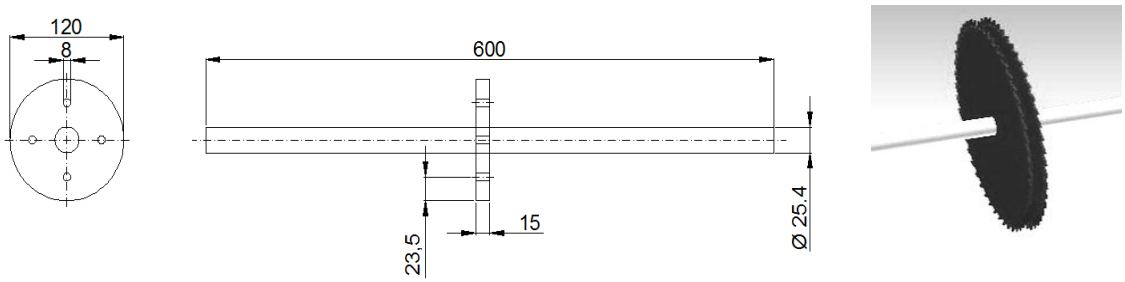


Gambar 7. Desain Penekan Kelapa

Bahan yang digunakan untuk penekan kelapa ini adalah besi plat dengan ketebalan 3 mm, per diameter 36 mm dengan jumlah ulir sebanyak 8 ulir dan Mur baut ukuran M 14 dengan panjang 180 mm.

Desain Pisau pengupas tempurung kelapa

Desain pisau pengupas tempurung kelapa ini secara spesifik seperti pada gambar yang ada dibawah ini sesuai dengan ukuran dan bahan yang digunakan serta proses pembuatannya dapat dirincikan sebagai berikut:

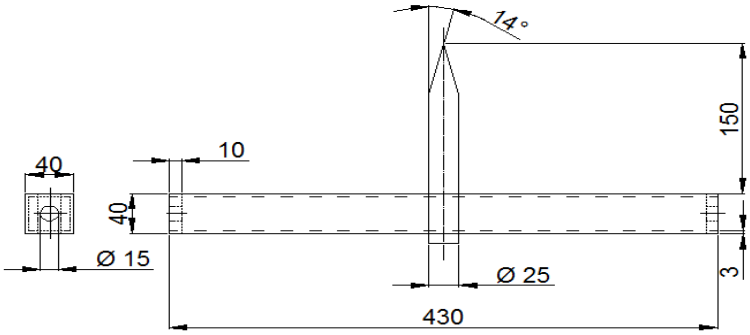


Gambar 8. Desain Poros dan Dudukan Pisau Pengupas Tempurung Kelapa

Bahan pisau yang digunakan adalah mata circle gergaji kayu yang dengan diameter 250 mm dengan ketebalan 3 mm. poros baja AISI 1050 diameter 25,4 mm, besi plat setebal 15 mm, mur baut ukuran M 14 dengan panjang 25 mm.

Desain Penahan atau Dudukan Tempurung Kelapa

Desain penahan tempurung kelapa ini secara spesifik seperti pada gambar yang ada di bawah ini sesuai dengan ukuran dan bahan yang digunakan serta proses pembuatannya dapat dirincikan sebagai berikut:

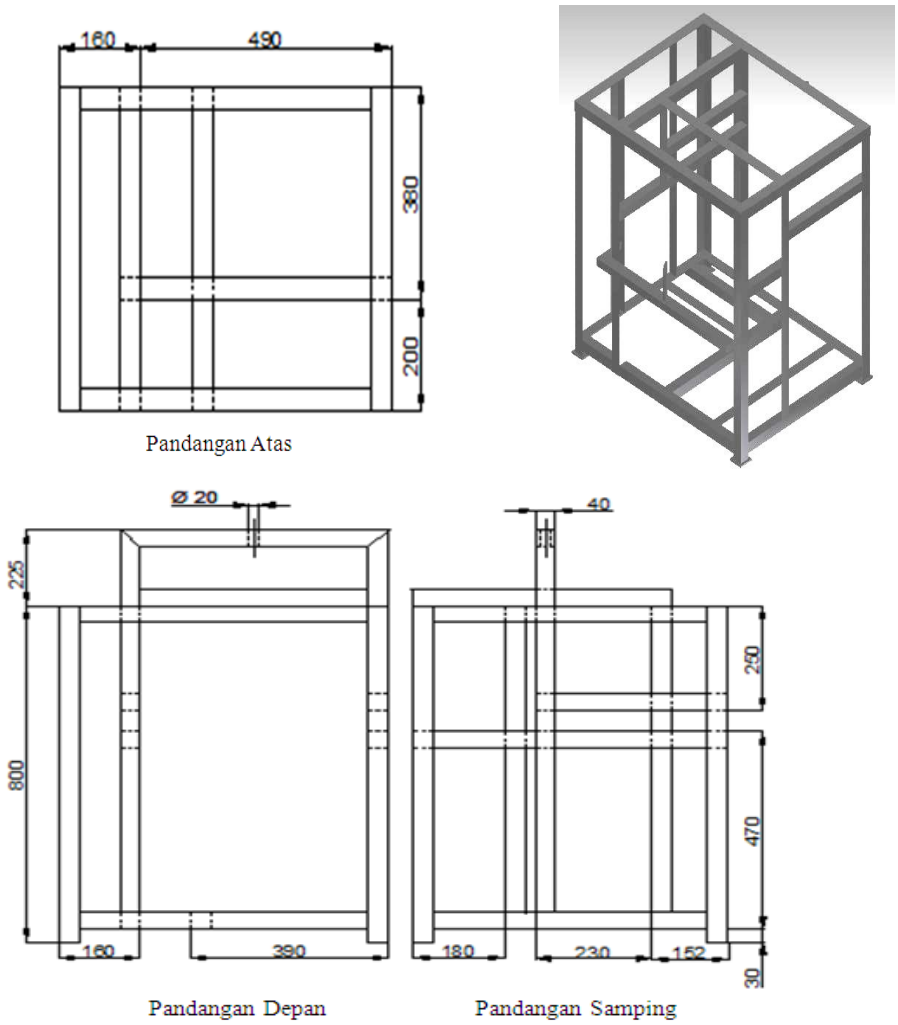


Gambar 9. Desain Penahan atau Dudukan Tempurung Kelapa

Bahan yang digunakan adalah poros baja ST 60 dengan diameter 25 mm dan pipa *hollow bar* ukuran 40x40 mm.

Desain rangka mesin pengupas sabut dan tempurung kelapa

Frame atau rangka adalah tempat dimana semua komponen mesin bertumpu pada dudukan rangka. Adapun gambar dan ukuran serta bahan dan proses pembuatan rangka sebagai berikut :



Gambar 10. Desain Mesin Pengupas Sabut Dan Tempurung Kelapa

Rangka mesin pengupas sabut dan tempurung kelapa menggunakan bahan baja berbentuk *hollow bar* ukuran 40 X 40 mm dengan tebal 3 mm.

Uji coba

Bahan dan alat :

- Kelapa basah
- Kelapa kering
- Stopwatch
- Mesin multi fungsi pengupas sabut dan tempurung kelapa

Prosedur percobaan pengupasan sabut kelapa :

1) Siapkan kelapa basah, kelapa kering dan stopwatch serta pastikan mesin kondisi siap.
2) Buka bagian penutup mesin pengupas sabut kelapa dan letakkan satu kelapa basah atau kering di atas pisau pengupas.
3) Tutup kembali bagian penutup, kemudian putar saklar pada posisi ON dan tekan stopwatch secara bersamaan untuk memulai pencatatan waktunya.
4) Ketika saklar ON pahat berputar mengupas sabut kelapa.
5) Setelah selesai, buka penutup dan keluarkan kelapa yang sudah terkupas sabutnya dan tekan matikan stopwatch dan catat waktu pengupasannya.

Prosedur percobaan pengupasan tempurung kelapa

1) Siapkan tempurung kelapa, stopwatch serta pastikan mesin kondisi siap.
2) Putar skalar power pada posisi ON, dan tekan tombol start stop watch.
3) Tempelkan tempurung kelapa ke posisi pertemuan ujung pahat dengan pisau putar sehingga terjadi proses pengupasan tempurung kelapa.
4) Setelah selesai pengupasan, matikan stop watch dan catat waktunya.

Hasil uji-coba waktu pengupasan sabut kelapa dan tempurung kelapa

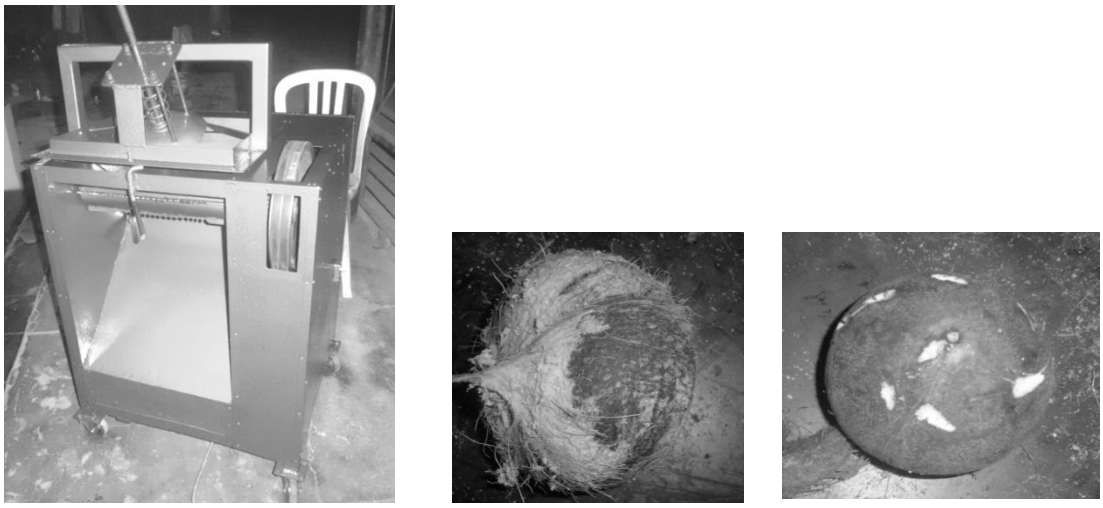
Tabel 1. Lama Waktu Pengupasan Sabut Kelapa Dan Tempurung Kelapa

Percobaan	Pengupasan sabut kelapa		Pengupasan tempurung kelapa
	Kelapa basah	Kelapa kering	
1	25 detik	12 detik	32 detik
2	26 detik	13 detik	30 detik
3	18 detik	20 detik	25 detik
4	22 detik	22 detik	20 detik
5	25 detik	10 detik	38 detik
Rata-rata	23,2 detik	15,4 detik	29 detik

Kapasitas pengupasan sabut kelapa dan tempurung kelapa

Tabel 2. Kapasitas Pengupasan Sabut Kelapa Dan Tempurung Kelapa

Jenis	Periode Pengupasan (detik/kelapa)	Periode Pengupasan (menit/kelapa)	Kapasitas Pengupasan (Kelapa/menit)	Kapasitas Pengupasan (Kelapa/jam)
Pengupasan Sabut Kelapa Basah	23,2	0,39	2,6	155
Pengupasan Sabut Kelapa Kering	15,4	0,26	3,9	234
Pengupasan Tempurung Kelapa	29	0,48	2,1	124



Gambar 11. (a) Mesin Hasil Rancangan ; (B) Kelapa yang Terkupas Sabutnya ;
(C) Kelapa yang Terkupas Tempurungnya

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan ujicoba mesin, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Mesin multi fungsi pengupas sabut kelapa dan tempurung kelapa dapat berfungsi dengan sangat baik, hal ini bisa dilihat dari hasil pengupasan sabut maupun tempurung kelapa.
2. Kapasitas pengupasan sabut kelapa relatif tinggi yaitu 155 kelapa/jam untuk kelapa basah dan 235 kelapa/jam untuk kelapa kering.
3. Kapasitas pengupasan tempurung kelapa sebesar 124 kelapa/jam.
4. Melihat kapasitas pengupasan yang relatif besar, maka mesin ini sangat cocok untuk digunakan sebagai jasa pengupasan sabut maupun tempurung kelapa.
5. Pengoperasian dan perawatan mesin ini sangat sederhana sehingga mudah dilakukan oleh siapapun.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bahtiar, A. D. M., (2012). "Aplikasi Serat Serabut Kelapa Bermatrik Sagu dan Gliserol Sebagai Pengganti Kemasan Makanan Dari Sterofoam". Diakses 17 Juni 2012. Dari http://www.poltek-kediri.ac.id

[2] Adiyati NM, (1999), "Kajian Komposisi Dan Finansial Pada Pemanfaatan Serbuk Serabut Kelapa Sebagai Media Tanam Lempengan". Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

[3] Hutagalung, F. D., (2010). "Perbaikan Fasilitas Kerja Pada Proses Penjalinan Untuk Meningkatkan Produktivitas di UD. Pusaka Bakti", Diakses 26 Juli 2012, dari : http:///*www.repository.usu.ac.id*.

[4] Haryanto, T. dan Suheryanto, D, (2004). "Pemisahan Sabut Kelapa Menjadi Serat Kelapa Dengan Alat Pengolah (Defibring Machine) Untuk Usaha Kecil". Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, 2004. ISSN : 1411 – 4216.

[5] Ferdinan, (2009). "Perencanaan dan Pembuatan Mesin Pengurai Serabut Kelapa". Diakses 15 juni 2012. Dari http://*www.digilib.petra.ac.id*

[6] Fateta, tt. "Petunjuk Praktis Pengoperasian Alat/Mesin Pemisah Serabut". Diakses 10 September 2012. Dari http://repository.ipb.ac.id

[7] Hardik Widananto, et al, (2013), "Rancangan Mesin Pengupas Sabut Kelapa Berbasis Ergonomic Partisipatori", Prosiding Seminar Nasional ienaco 2013. ISSN: 2337-4349.

[8] David G. Ulman (2004), "The Mechanical Design Process", Third Edition, Mc. Graw-Hill International Edition.

[9] Deutschman, Aaron D (1975)."Machine Design,Theory and Praktice" Macmilian Publishing Co.Inc. New York :Collir Machmilian Publisher. London.

[10] Robert L. Norton (2004), "Design of Machinery", Third Edition, Mc. Graw-Hill, International Edition.

PENGUKURAN KINERJA PERUSAHAAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE BALANCED SCORECARD PADA PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Bertila Pereira Da Costa [1] Ni Luh Putu Hariastuti[2]
Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
Email: bertilapereira@yahoo.com, putu_hrs@yahoo.com

ABSTRAK

Perusahaan Daerah Air Minum adalah perusahaan yang bergerak yang bergerak di bidang jasa penyediaan air minum, untuk mengetahui kinerja perusahaan dari tahun ke tahun. Dalam penelitian ini menggunakan konsep *Balanced Scorecrad* yang menjadi tolak ukur penelitian dikarenakan memilki 4 sudut pandang yaitu perspektif financial, pelanggan, proses internal, dan pembelajaran dan pertumbuhan. Berdasarkan hasil pengukuran *Balanced Scorecard* didapatkan bahwa kinerja untuk perspektif finansial mengalami penurunan dari (100%), (81,25%) menjadi (87,5%). Dengan kestabilan pada level kinerja baik, perspektif pelanggan mengalami naik turun kinerja pada level kinerja cukup baik yaitu (75%), (68,75%), menjadi (75%), sedangkan proses bisnis internal mengalami naik turun kinerja pada level kinerja baik yaitu dari (87,5%), (87,5%), menjadi (100%). Dan untuk perspektif pembelajaran dan pertumbuhan mengalami penurunan dari (99,6%), (99,6%), turun menjadi (91,3%). Berdasarkan analisa didapatkan bahwa untuk dapat meningkatkan kinerja perusahaan secara keseluruhan dapat dilakukan dengan cara meningkatkan penjualan serta meningkatkan pelayanan dan mutu produk, meningkatkan pelaksanaan operasi penertiban pelanggan dan juga memberikan hadiah kepada para karyawan yang mempunyai tingkat retensi karyawan.

Kata kunci : ***Pengukuran Kinerja, Balanced Scorecard, Key Success Faktors, Perspektif***

ABSTRACT

Regional Water Company is a moving company that is engaged in the provision of drinking water, to determine the performance of the company from year to year. This study used the concept of the Balanced Scorecard of the research standard because it has the four perspectives of financial, customer, internal process, and learning and growth. Based on the Balanced Scorecard measurements result, it showed that the performance for the financial perspective has decreased from (100%), (81,25%) to (87,5%). With stability at the level of good performance, the perspective of the customer experienced up and down performance at the level of performance that was good enough (75%), (68,75%), being (75%), while the internal business processes had up and down performance at the level of performance of both (87,5%), (87,5%), to 100%. And for the learning and growth perspective had decreased from (99,6%), (99,6%), and decreased to (91,3%). Based on the analysis it was found that in order to improve the overall performance of the company, it should be done in a way to increase sales and improve service and product quality, improve the implementation of the control of customer operations and also give rewards to employees who have a higher employee retention.

Keywords: Performance Measurement, Balanced Scorecard, Key Success Factors, Perspective

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting dalam kehidupan kita sehari-hari. Sehingga masyarakat berupaya untuk mengadakan air yang cukup bagi dirinya.Tanpa air, manusia akan mengalami kesulitan dalam melansungkan hidupnya, maka dari itu pengelolaannya harus diatur sedemikian rupa sehingga agar dapat dimanfaatkan secara efektif dan efisien. Perusahaan Daerah Air Minum Surya Sembada Kota Surabaya (PDAM) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa penyediaan air bersih. Salah satu tujuan dibentuknya PDAM adalah mencukupi kebutuhan masyarakat akan air bersih, meliputi penyediaan, pengembangan pelayanan sarana dan prasarana serta distribusi air bersih, sedang tujuan lainnya adalah ikut serta mengembangkan perekonomian guna menunjang pembangunan daerah dengan memperluas lapangan pekerjaan, serta mencari laba sebagai sumber utama pembiayaan bagi daerah. PDAM Kabupaten Surabaya

sebagai salah satu BUMD diharapkan mampu memberikan konstribusi yang memadai. Hanya perusahaan yang memiliki keunggulan pada tingkat global yang mampu memuaskan atau memenuhi kebutuhan konsumen dan mampu menghasilkan produk yang bermutu serta *cost effective*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alat untuk mengukur kinerja sehingga dapat diketahui sejauh mana strategi dan sasaran yang telah ditentukan dapat tercapai. Penilaian kinerja memegang peranan penting dalam dunia usaha, dikarenakan dengan dilakukannya penilaian kinerja dapat diketahui efektivitas dari penetapan suatu strategi penerapannya dalam kurun waktu tertentu. Penilaian kinerja dapat mendeteksi kelemahan atau kekurangan yang masih terdapat dalam perusahaan, untuk selanjutnya dilakukan perbaikan dimasa mendatang [1].

Permasalahan timbul ketika perusahaan kesulitan melakukan pengukuran kinerja untuk mendapatkan suatu hasil pengukuran kinerja dan menganalisa kinerja dengan menggunakan metode *balanced scorecard*. Maka dari itu perusahaan perlu untuk melakukan analisa dengan suatu metode *Balanced Scorecard* untuk menghitung dan menganalisa kinerja perusahaan melalui empat perspektif yaitu perspektif financial, perspektif pelanggan, perspektif proses bisnis internal, dan perspektif pembelajaran dan pertumbuhan yang menjadi tolok ukur dari penilaian kinerja perusahaan [2].

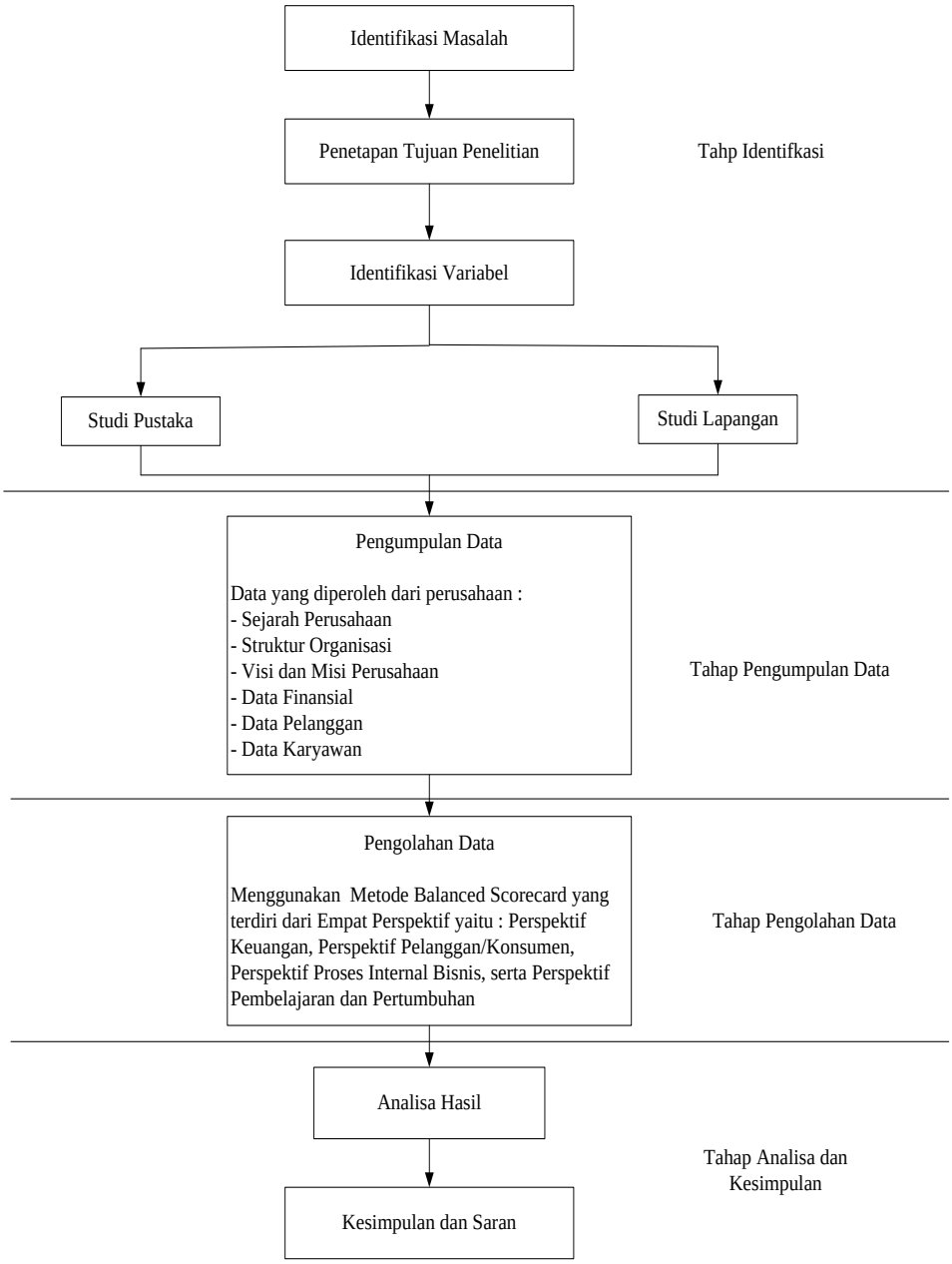
Metode *Balanced Scorecard* (BSC) merupakan suatu system manajemen pengukuran dan pengendalian secara cepat dan komprehensif dapat memberikan pemahaman kepada manajemen tentang kinerja bisnis. Pengukuran kinerja tersebut memenadang unit bisnis dari empat perspektif yaitu perspektif keuangan, perspektif pelanggan, proses bisnis internal serta proses pembelajaran dan pertumbuhan [3]. Maka dari itu dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode *Balanced Scorecard* (BSC) dengan tujuan akhir penilaiann kinerja yang terbaik tuntuk Perusahaan Daerah Air Minum Surya Sembada Kota Surabaya Arif Rahman Hakim Surabaya sesuai dengan tolok ukur dan strategi perusahaan.

DASAR TEORI

Sebelumnya telah ada penelitian yang membahas tentang pengukuran kinerja perusahaan dengan *balanced scorecard*. Masalah yang dihadapi oleh PT. Wijaya Karya sebagai perusahaan infrastruktur yang bergerak dibidang industry konstruksi, industry pabrikasi, industri konversi jasa penyewaan, jasa keagenan, investasi, agro industry, energy terbarukan dan energy konversi. Untuk dapat memiliki keunggulan dalam persaingan bisnis pesat, WIKA perlu memiliki keangka kerja sistem pengukuran kinerja yang tepat [3]. Dengan menggunakan Balanced Scorecard yang memiliki keistimewaan dalam hal cakupan pengukurannya yang cukup komprehensif karena selain tetap mempertimbangkan kinerja keuangan. Balanced Scorecard juga mempertimbangkan kinerja-kinerja non keuangan, yaitu pelanggan, prose sinternal bisnis, serta pembelajaran dan pertumbuhan.

Kemudian metode balanced scorecard sebagai perancangan alat pengukuran kinerja PT. Primissima [4]. Penelitian ini bertujuan melakukan pengukuran kinerja yang terintegrasi, karena mempertimbangkan aspek-aspek yang terkait secara lebih mendalam antara factor finansial dan non finansial.

METODE



Gambar 1. *Flowchart* Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya di Amerika yang digunakan untuk melakukan pengukuran kinerja yang sesuai untuk perusahaan di era globalisasi. Penilaian pada perusahaan menunjukkan dan membagi tingkat kemampuan perusahaan dalam mencapai target. Tingkat seberapa baik penilaian yang diberikan pada perusahaan akan menentukan besarnya *score* yang diperoleh. Jumlah dari *score* tersebut akan memberikan

penilaian terhadap kinerja Perusahaan Daerah Air Minum [5]. Skor yang diberikan memiliki arti sebagai berikut:

1 : Artinya perusahaan belum mencapai target dan kinerja perusahaan terhadap perusahaan sangat buruk.
2 : Artinya perusahaan belum mencapai target sehingga penilaian terhadap perusahaan buruk.
3 : Artinya perusahaan me perusahancapai target minimal dan kinerja perusahaan berada diantara target perusahaan selama ini yang ingin dicapai sehingga penilaian terhadap perusahaan cukup naik.
4 : Artinya perusahaan telah berhasil melebihi target yang telah ditetapkan sehingga penilaian terhadap perusahaan baik.

1. Analisa Perspektif Finansial
   Analisa hasil pengukuran data pada perspektif Finansial yang meliputi ROA, ROE, CR, dan SGR dari tahun 2010 sampai 2012 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pencapaian Perspektif Finansial

Tolak ukur	2010		2011		2012	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
ROA	13,24%	4	12,81%	4	13,88%	4
ROE	18,57%	4	16,84%	4	17,65%	4
CR	563,95%	4	667,03%	4	579,25%	4
SGR	37,85%	4	4,01%	1	11,50%	2

Hasil pengolahan data yang dilakukan, tolak ukur dan tujuan pada perspektif finansial di tahun 2010 dikarenakan semua tolak ukur ROA, ROE, CR, dan SGR pada tahun 2010 memiliki score 4 yang berarti pada tahun 2010 PDAM Kota Surabaya telah berhasil melebihi target yang telah ditetapkan sehingga penilaian terhadap perusahaan baik.

Sedangkan pada tahun 2011 semua tolak ukur ROA, ROE, dan CR memiliki score 4 yang berarti perusahaan berhasil melebihi target yang ditetapkan, jadi perusahaan dikatakan baik. Sedangkan ditahun 2011 tolak ukur SGR memiliki score 1 yang berarti perusahaan sangat buruk. Jadi untuk tahun 2012 tolak ukur ROA, ROE, dan CR memiliki score 4 yang berarti perusahaan dikatakan baik tetapi pada tolak ukur SGR memiliki score 2 yang berarti perusahaan buruk.

2. Analisa Perspektif Pelanggan
   Analisa hasil pengukuran data pada perspektif pelanggan yang meliputi retensi pelanggan, jumlah pelanggan baru, dan profitabilitas pelanggan dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2012 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Pencapaian Perspektif Pelanggan

Tolak ukur	2010		2011		2012	
	pencapaian	skor	Pencapaian	Skor	Pencapain	Skor
Retensi pelanggan	92,91%	4	94,66%	4	94,50%	4
Jumlah pelanggan baru	7,08%	3	5,33%	2	5,49%	3
Profitabilitas pelanggan	30,00%	1	27,40%	1	28,40%	1
Kepuasan pelanggan	100%	4	100%	4	100%	4

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada perspektif pelanggan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya untuk tolak ukur retensi pelanggan dari tahun 2010 sampai tahun 2012 telah melebihi nilai pencapaian jadi perusahaan memiliki score 4 yang berarti perusahaan melebihi target yang telah ditetapkan dan perusahaan bisa dikatakan baik dari segi retensi pelanggan.

Untuk tolak ukur jumlah pelanggan baru pada tahun 2010 perusahaan mencapai score 3 dan bisa dikatakan cukup baik, dan pada tahun 2011 perusahaan mencapai score 2 artinya perusahaan dikatakan buruk dan pada tahun 2012 perusahaan mencapai score 3 dan bisa dikatakan baik. Dan untuk tolak ukur profitabilitas pelanggan dengan score 1 artinya perusahaan belum mencapai target dan dikatakan sangat buruk. Sedangkan untuk tolak ukur kepuasan pelanggan pada tahun 2010 sampai 2012 perusahaan mencapai score 4 yang berarti perusahaan melebihi target yang telah ditetapkan dan perusahaan dikatakan baik dari segi kepuasan pelanggan.

3. Analisa Perspektif Proses Bisnis Internal
   Analisa hasil pengukuran data pada perspektif proses bisnis internal yang meliputi uncountable water rate dan yield rate dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2012 adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Pencapaian Perspektif Proses Internal

Tolak ukur	2010		2011		2012	
	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor	Pencapaian	Skor
Uncountable water rate	8,67%	3	6,91%	3	4,81%	4
Yield rate	102,14%	4	101,41%	4	103,66%	4

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada perspektif proses bisnis internal Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya untuk tolak ukur uncountable water rate pada tahun 2010 sampai tahun 2011 dengan score 3 yang artinya perusahaan melebihi target dan bisa dikatakan baik dari segi tolak ukur water uncountable water rate. Sedangkan pada tahun 2012 dengan skor 4 artinya perusahaan melebihi target dari yang ditetapkan perusahaan dan bisa dikatakan baik dari segi tolak ukur uncountable water rate.

Sedangkan untuk tolak ukur *Yield* rate pada tahun 2010 sampai tahun 2012 dengan score 4 yang artinya perusahaan melebihi target dan bisa dikatakan baik dari segi tolak ukur yield rate.

4. Analisa Perspektif Pembelajaran dan Pertumbuhan
   Analisa hasil pengukuran data pada perspektif pembelajaran dan pertumbuhan yang meliputi employee retention, employee training dan jumlah usulan dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2012 adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Pencapaian Perspektif Pembelajaran dan Pertumbuhan

Tolak ukur	2010		2011		2012	
	pencapaian	skor	Pencapaian	Skor	Pencapain	Skor
Employee Retention	3,62%	4	4,47%	4	5,83%	3
Employee Training	9,87%	4	10,17%	4	9,57%	4
Jumlah Usulan	8,39%	4	8,18%	4	9,57%	4

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada perspektif pembelajaran dan pertumbuhan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya untuk tolak ukur employee retention dari tahun 2010 sampai tahun 2012 telah melebihi nilai pencapaian jadi perusahaan memiliki score 4 yang berarti perusahaan melebihi target yang telah ditetapkan dan perusahaan bisa dikatakan baik dari segi employee retention.

Untuk tolak ukur *employee traninig* pada tahun 2010 sampai 2012 perusahaan mencapai score 4 dan bisa dikatakan baik. Sedangkan untuk tolak ukur jumlah usulan di tahun 2010 sampai 2012 dengan score 4 artinya perusahaan melebihi target yang telah ditetapkan dan perusahaan bisa dikatakan baik dari segi jumlah usulan.

5. Analisa Dari Hasil Pengukuran Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya Berdasarkan Empat Perspektif Dalam Balanced Scorecard [6].
   Dari data yang telah diolah dapat digunakan untuk mengukur kinerja di Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya dengan menggunakan rancangan BSC. Kriteria penilaian terhadap pengukuran kinerja dari Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya adalah sebagai berikut :

0 % - 25 %	: Kinerja sangat buruk
25,1 % - 50 %	: Kinerja buruk
50,1 % - 75 %	: Kinerja cukup baik
75,1 % - 100 %	: Kinerja baik

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya ditinjau dari Empat Perspektif

Tahun	2010	2011	2012
Perspektif Finansial	100%	81,25%	87,5%
Perspektif Pelanggan	75%	68,75%	75%
Perspektif Proses Bisnis Internal	87,5%	87,5%	100%
Perspektif pembelajaran dan Pertumbuhan	99,6%	99,6%	91,3%

6. Pengukuran Kinerja Keseluruhan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya (PDAM)
   Hasil pengukuran kinerja secara keseluruhan dari aspek finansial [7], pelanggan, proses internal bisnis, proses pembelajaran dan pertumbuhan pada tahun 2010, 2011, dan 2012 dapat dilihat dari tabel berikut ini:

Tabel 6. Pengukuran Kinerja Keseluruhan

Tahun	2010	2011	2012
Kinerja keseluruhan	90,52%	84,27%	88,45%

Bobot dari setiap perspektif adalah sama karena keempat perspektif yang ada pada BSC sama pentingnya. Keunggulan dari BSC ini adalah dapat menyeimbangkan aspek finansial, pelanggan, proses bisnis internal serta proses pembelajaran dan pertumbuhan dalam suatu pengukuran[8].

Adapun hasil dari pengukuran kinerja keseluruhan dari PDAM Kota Surabaya pada tahun 2010 mencapai 90,52% yang artinya kinerja perusahaan baik. Dan pada tahun 2011 ada penurunan menjadi 84,27 % yang artinya kinerja perusahaan PDAM Kota Surabaya baik sedangkan pada tahun 2012 meningkatkan menjadi 88,45% yang artinya kinerja perusahaan baik dan melampaui tahun sebelumnya.

Maka untuk meningkatkan nilai kinerja pada tahun 2013 perusahaan harus meningkatkan nilai pada tiap-tiap perspektif yang dipengaruhi oleh peningkatan nilai beberapa tolak ukur pada tiap perspektif tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil *Pengukuran Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya (PDAM)* sesuai dengan rancangan BSC menunjukkan bahwa kinerja PDAM Kota Surabaya pada

tahun 2010, 2011, dan 2012 sebesar 90,52%, 84,27%, dan 88,45% yang berarti Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya (PDAM) memiliki kinerja yang baik dan berhasil menerapkan strategi-strategi baru untuk meningkatkan kinerjanya.

2. Hasil kinerja perusahaan dan pemberian rekomendasi dari empat Perspektif yang ada yaitu sebagai berikut :
   - Hasil pencapaian finansial yaitu pada tahun 2010 sebesar 100%, kemudian menurun menjadi 81,25%, dan 87,5% di tahun 2011 dan 2012 yang dipengaruhi oleh SGR.
   Cara untuk meningkatkan SGR yakni dengan meningkatkan volume penjualan air.
   - Perspektif pelanggan yaitu pada tahun 2010 sebesar 75%, di tahun 2011 menurun menjadi 68,75% dan meningkat menjadi 75% di tahun 2012 yang dipengaruhi oleh meningkatnya porsentase kepuasan pelanggan dan retensi pelanggan serta menurunnya jumlah pelanggan baru dan profitabilitas pelanggan. Cara untuk lebih meningkatkan jumlah pelanggan baru dan profitabilitas pelanggan yaitu dengan meningkatkan pelayanan dan mutu produk.
   - Perspektif Proses Bisnis Internal yaitu sebesar 87,5% pada tahun 2010 dan 2011, meningkat menjadi 100% pada tahun 2012. Cara untuk mengurangi tingkat kehilangan air/kebocoran air yaitu mengganti water meter pelanggan dan memperbaiki jaringan distribusi yang rusak secara bertahap, meningkatkan pelaksanaan operasi penertiban pelanggan dan koordinasi dengan instansi untuk menghindari kegiatan galian tanah atau jalan yang dapat merusak pipa air PDAM.
   - Perspektif Proses Pembelajaran dan Pertumbuhan yaitu sebesar 99,6% untuk tahun 2010 dan 2011 menurun menjadi 91,3%. cara untuk meningkatkan retensi karyawan yaitu dengan memberikan hadiah kepada para karyawan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Himawan, Ferdinandus Agung., SE.,MM, dan Juarsah,SE. Balanced Scorecard sebagai Alat Pengukuran Kinerja Manajemen (Studi Kasus PT. Makro Indonesia Cabang Pasar Rebo Jakarta, *Jurnal Esensi, Volume 8 No. 1/2005.*

[2] Bestari Dwi Handayani. Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Pendekatan Balanced Scorecard pada RSUD Kabupaten Kebumen, *Jurnal Dinamika Manajemen Vol 2, No. 1, 2011, pp:78-91*

[3] Nugroho, Wayan Adhitya., *Analisis Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Konsep Balanced Scorecard (Studi Kasus PT. Wijaya Karya),* Tugas Akhir Akuntansi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta ; 2013

[4] Handayani, Nurlaila. *Perancangan Alat Pengukuran Kinerja PT. Primissima dengan Metode Balanced Scorecard,* Tugas Akhir Teknik Industri Universitas Sebelas Maret, Surakarta ; 2006

[5] Robert S. Kaplan & David P. Norton. *Balanced Scorecard"Menerapkan Strategi Menjadi Aksi",* (terjemahan) Penerbit Erlangga, Jakarta ; 2000

[6] Achmad Maulana (2013), *"Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Menggunakan Metode Balanced Scorecard pada PT. Petrokimia Kayaku",* Tugas Akhir Teknik ITS, Surabaya

[7] Mulyadi. *Balanced Scorecard, "Sistem Manajemen Strategik Berbasis Balanced Scorecard",* Penerbit Salemba Empat, Jakarta ; 2001

[8] Irwan Susanto, Abdullah Taman dan Sukirno. Balanced Scorecard sebagai Alat Pengukuran Kinerja Manajemen (Studi Kasus PT. Sari Husada), *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia Vol.III No. 1-Tahun 2004 Hal. 40-50.*

ANALISIS DAN PENGUKURAN PRODUKTIVITAS DENGAN MENGGUNKAN METODE OBJECTIVE MATRIX (OMAX) DALAM PRODUKSI AIR BERSIH DI IPAM NGAGEL III KOTA SURABAYA

Lindalva Da Silva Gomes [1] dan Ni Luh Putu Hariastuti[2]
Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
Email: lindalvagomes89@yahoo.co.id,putu_hrs@ yahoo.com

ABSTRAK

Perusahaan Daerah Air Minum Ngagel III Kota Surabaya, merupakan perusahaan yang memproduksi air bersih bagi masyarakat Surabaya, oleh karena itu diperlukan suatu pengukuran produktivitas agar peningkatan produktivitas dapat terkendali dan sesuai dengan target perusahaan. Permasalahan yang akan diteliti adalah jumlah pemakaian bahan baku, jam kerja mesin pompa, energy listrik dan absent karyawan, manfaat dari penelitian dapat memberikan informasi tentang factor-faktor penyebab terjadi penurunan tingkat produktivitas agar dapat ditangani secepatnya. Untuk mengetahui bobot dari masing-masing kriteria maka dilakukan dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Model *objective matrix* (OMAX) merupakan salah satu model pengukuran produktivitas yang dapat mengetahui tingkat pertumbuhan produktivitas perusahaan yang dicapai. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan model OMAX pada bulan juli dengan index produktivitas sebesar 90.83%,pencapaian terendah pada bulan Februar (-)48.27%, Agustus (-)37.3%, September(-)19.45%, November (-)73.54% dan Desember (-)37.5%. Usulan perbaikan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan adalah mengevaluasi metode kerja, memberikan insentif untuk memotivasi semangat kerja karyawan, untuk pemakaian energi dengan mengurangi pemborosan listrik dengan waktu set up yang lama. Dengan diketahui tingkat produktivitas perusahaan maka perusahaan dapat mengetahui factor-faktor penyebab turunnya produktivitas, sehingga dapat memberikan masukan untuk melakukan perbaikan guna meningkatkan produktivitas perusahaan.

Kata kunci : Produktivitas, AHP, OMAX.

ABSTRACT

Regional Water Company Ngagel III Surabaya is a company that produced clean water for Surabaya Citizen, therefore we need a measure of productivity in order to increase the productivity and can be controlled in accordance with the company target. Issues that will be examined are the amount of raw material usage, work hours of pumps, electrical energy and employees attendance, the benefits of research can provide information about the factors causing a decline in the level of productivity that can be addressed immediately. To determine the value of each criteria then it was performed Analytical Hierarchy Process (AHP). Objective Matrix (OMAX) model is one of productivity measurement models that can determine the level of productivity growth the company achieved. From the measurement result using OMAX model in July with a productivity index of 90.83%, the lowest target was in February with (-) 48.27%, (-) 37.3% in August, September to (-) 19.45%, in November (-) 73.54% and December (-) 37.5%. Proposed improvements to increase the productivity of the company are evaluating methods of work, provide incentives to motivate employees morale, energy consumption by reducing wasted electricity with decreasing a long set up time. With a known level of productivity of the company, the company can determine the factors causing the decline in productivity, so as to provide feedback to make improvements to increase productivity.

Keywords : Productivity, AHP, OMAX

PENDAHULUAN

Pencapaian perusahaan dapat dilihat dari produktivitas yang dihasilkan. Karena hal ini yang menjadikan perusahaan semakin berkembang. Oleh karena itu,diperlukan suatu pengukuran produktivitas agar peningkatan produktivitas dapat terkendali dan sesuai dengan target perusahaan. Perusahaan Daerah Air Minum Surya Sembada Kota Surabaya (PDAM) merupakan perusahaan pemerintah daerah yang bergerak dibidang pengolahan air bersih, perusahaan tersebut juga

mempunyai hubungan langsung dengan masyarakat banyak sehingga kualitas produk serta pelayanan yang terbaik sangat diharapkan oleh public.

Namun dalam hal upaya peningkatan kualitas tersebut seringkali menemui kendala-kendala seperti penggunaan bahan baku, jam kerja mesin pompa, pemakaian energy listrik, dan absent karyawan, yang mengakibatkan produktivitas perusahaan tidak efisien. Maka dari itu perusahaan perlu untuk melakukan analisis pengukuran produktivitas dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk penentuan Bobot masing-masing criteria, dan metode *Objective Matrix* (OMAX) [1].

Metode *Objective Matrix* (OMAX) merupakan suatu system pengukuran produktivitas parsial yang dikembangkan untuk memantau produktivitas di suatu perusahaan atau di tiap bagian saja dengan ktiteria produktivitas yang sesuai dengan keberadaan Perusahaan Daerah Air Minum IPAM Ngagel III Kota Surabaya.

Model Produktivitas OMAX

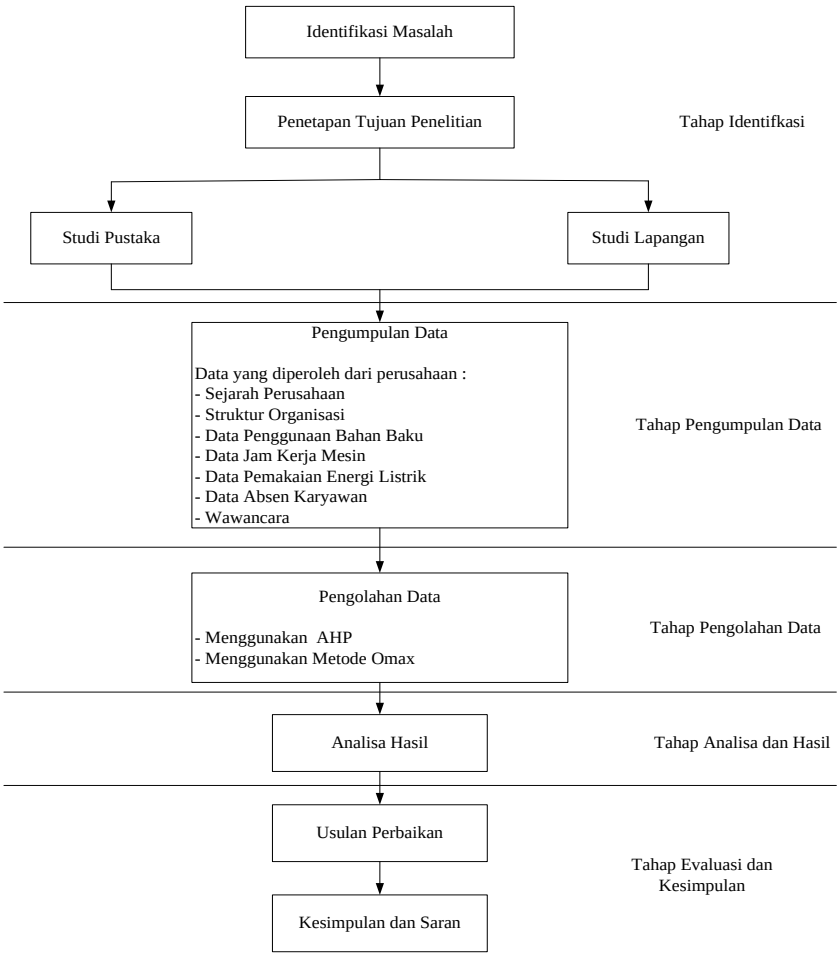
Pengukuran pada model OMAX (Objective Matrix) di kembangkan oleh James L. Riggs di Oregon State University. OMAX menggabungkan criteria-kriteria produktivitas ke dalam suatu bentuk yang terpadu dan berhubungan satu dengan yang lainnya. Kebaikan model OMAX dalam pengukuran produktivitas perusahaan antara lain : sederhana dan mudah di pahami, mudah di laksanakan dan tidak memerlukan keahlian khusus, datanya mudah di peroleh dan tergantung pada masalah yang di hadapi.

DASAR TEORI

Sebelumnya telah ada penelitian yang membahas tentang analisa pengukuran produktivitas dengan metode OMAX pada departemen produksi PT. X [2]. Masalah yang di hadapi PT. X pabrik gula yang di miliki oleh pemerintah. Hasil produksi pabrik pada tahun 2010 mengalami penurunan di banding tahun-tahun sebelumnya. Metode yang di gunakan adalah metode *Objective Matrix* (OMAX). Di dalam metode ini langkah-langkah yang harus di lakukan yaitu menentukan criteria, perhitungan rasio, penetapan sasaran, penetapan bobot rasio, pembentukan matriks dengan model OMAX.

Penggunaan metode OMAX untuk strategi peningkatan produktivitas di lantai produksi BMC Devisi *Milk Processing* [3]. Menemui kendala karena belom adanya tindakan untuk melakukan pengukuran yang sistematis. Kriteria produktivitas di lantai produksi BMC Devisi *Milk Processing* yang akan di lakukan pengukuran yang di ubah kedalam bentuk rasio, hasil dari pengukuran ini menunjukkan tingkat efesiensi dan efektivitas penggunaa sumber tenaga kerja, mesin, energy dan output produksi.

METODE



Gambar 1. *Flowchart* Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria ini merupakan pengukuran produktivitas berdasarkan Jumlah Air yang diproduksi dengan Jumlah pemakaian bahan baku, kriteria ini di pilih untuk mengetahui perbandingan antara Jumlah air yang di produksi yang telah di hasilkan dengan jumlah pemakaian bahan baku Rasio-rasio untuk menhitung efektivitas produksi [4].
Salah satu contoh dari perhitungan produktivitas :

$$\text{Rasio 1} = \frac{\text{jumlah air}}{\text{bahan baku}} = \frac{4.184.312}{4.232.984} = 0.988501$$

Table 1. Kriteria produktivitas

Bulan	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4
1	0.988501	1006	39649.69	39649.69
2	1.003039	1020	40429.84	40429.84
3	0.994479	973	39557.25	39557.25
4	0.999238	1002	41079.13	41079.13
5	1.023154	980	41218.93	41218.93
6	1.100399	993	41758.67	41758.67
7	1.142455	1033	42573.13	42573.13
8	1.099838	1009	417567	417567
9	1.067225	1004	41956.63	41956.63
10	1.116822	1029	4011966	4011966
11	1.036899	989	41387.99	41387.99
12	0.993779	969	41740.37	41740.37

Perhitungan nilai bobot

Penentuan nilai bobot di tekankan pada penentuan nilai prioritas kriteria yaitu membandingkan mana yang lebih penting antara Kriteria yang satu dengan yang lain. Selanjutnya adalah membuat tabel perbandingan prioritas setiap kriteria dengan membandingkan masing-masing kriteria yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pembobotan

Kriteria	Bobot
1	56,5%
2	18%
3	10,5%
4	15%

Pengukuran produktivitas

Dalam pengukuran produktivitas dengan model *Objective Matrix* (*omax)* terdapat badan matrix yang dibagi dalam sepuluh tingkatan yang mempunyai tingkatan nilai. Sedangkan *performance* indikator terdiri dari: *current* (jumlah nilai saat pengukuran), *previous* (jumlah pengukuran priode sebelumnya), dan indeks produktivitas (IP) [4].

Tabel 3. Obective Matrix (omax) bulan Juli

Rasio 1	Rasio 2	Rasio 3	Rasio 4	Produktivity Criteria
1.142455669	1033	42573.13	43749.86	Performance

1.142455669	1033.54	42573.13	43749.86	10
1.128771526	1028.902857	42362.95571	41583.42	9
1.115087382	1024.265714	42152.78143	39416.98	8
1.101403239	1019.628571	41942.60714	37250.54	7
1.087719096	1014.991429	41732.43286	35084.1	6
1.074034953	1010.354286	41522.25857	32917.66	5
1.06035081	1005.717143	41312.08429	30751.22	4
1.046666667	1001.08	41101.91	28584.78	3
1.027278354	990.71	40587.02333	109330.1633	2
1.007890041	980.34	40072.13667	190075.5467	1
0.988501728	969.97	39557.25	270820.93	0

10	10	10	10	Skor
0.565	0.18	0.105	0.15	Bobot
5.65	1.8	1.05	1.5	Nilai

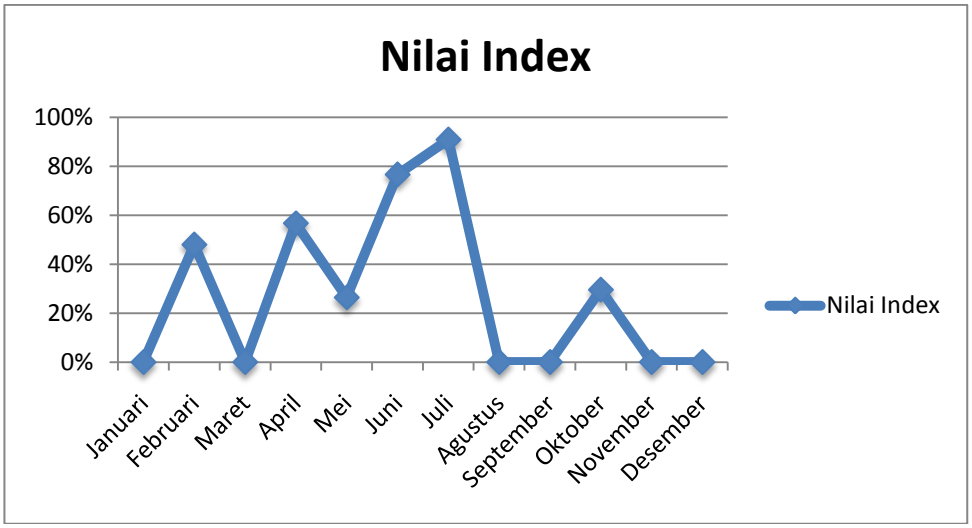
Current = 10

Previous= 5.24

Index = 90.83

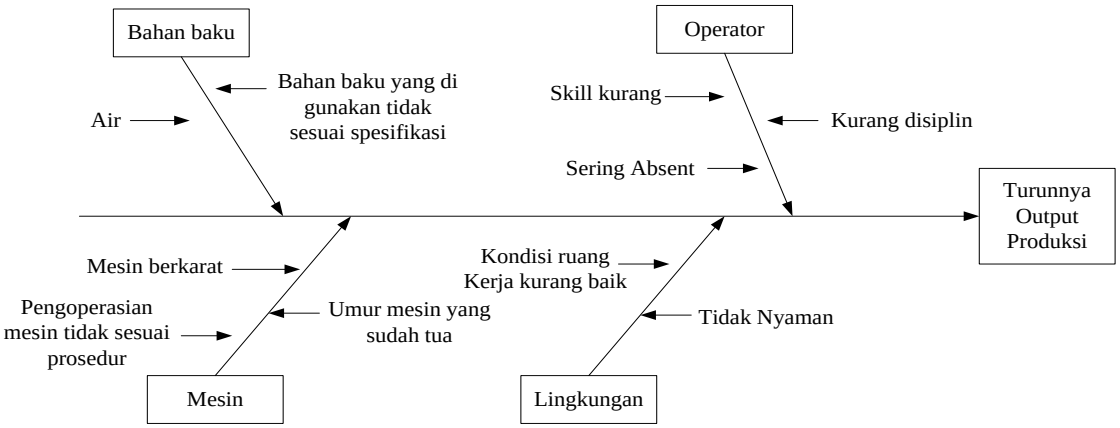
Pada bulan juli terjadi kenaikan produktivitas, hal itu dapat terlihat karena nilai IP yang bernilai positve yaitu sebesar 90.83%. peningkatan ini di sebabkan karena terjadinnya peningkatan nilai dari seluruh kriteria.

 ISBN : 978-602-98569-1-0



Gambar 1. Grafik Indeks Produktivitas

Diagram sebab akibat di gunakan untuk menelusuri penyebab terjadi penurunan produktivitas terhadap masing-masing kriteria.



Analisis penurunan produktivitas dengan diagram sebab akibat

Dari hasil analisa produktivitas diketahui faktor-faktor yang menpengaruhi penurunan produktivitas antara lain sebagai berikut:

1. Faktor Material
   Bahan baku utama dalam produksi air bersih di PDAM adalah air yang berasal dari sungai jagir. Kualitas atau mutu air dipengaruhi oleh parameter mutu air.
2. Faktor Mesin
   Kondisi mesin pompa sangat berpengaruh terhadap berapa banyak jumlah air bersih yang harus di produksi, apabila kondisi mesin tersebut tidak dalam kondisi optimal maka proses produksi tidak sesuai dengan kapasitas dari mesin tersebut.
3. Faktor Lingkungan
   Lingkungan panas dan pengap menyebabkan karyawan kurang bersemangat dalam bekerja dan cepat lelah
   Suara bising yang di sebabkan oleh bunyi mesin

4. Faktor Manusia
   a. Kurangnya kedisiplinan karyawan dalam bekerja seperti seringnya operator tidak hadir (absent) yang akan sangat mempengaruhi produksi, oleh karena itu perlu adanya kedisiplinan dan kesadaran diri dari karyawan dan pihak manajemen.
   b. Kurangnya ketrampilan dan kurangnya pelatihan secara berkala bagi karyawan/operator untuk meningkatkan produktivitasnya.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa data dapat disimpulkan bahwa : berdasarkan hasil pengukuran produktivitas dengan metode OMAX pada periode produksi tahun 2012, terjadi penurunan dan peningkatan tiap bulan. Peningakatan produktivitas terjadi pada bulan 2,4,5,6,11 danbulan 7. Sedangkan penurunan produktivitas terjadi pada bulan 3,8,11 dan 12. Peningkatan produktivitas tertinggi yaitu 90,83 dan penurunan terendah yaitu sebesar -37,57.

Adapun usulan perbaikan yang diberikan yang diberikan untuk mesin adalah perawatan terhadap mesin-mesin yang ada dan pengontrolan pembersihan mesin setelah selesai proses harus lebih teliti agar proses produksi tidak mengalami hambatan, perbaikan untuk manusia adalah perlu memberikan insentif yang berguna untuk memotivasi semangat kerja dari karyawan yang mempunyai prestasi dalam bekerja, baik berupa penhargaan, pujian maunpun berupa uang, perbaikan material adalah menyeleksi bahan baku sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dan persediaan diharapkan perencanaan yang matang sehingga tidak terjadi kekurangan persediaan bahan baku, perbaikan untuk lingkungan adalah dengan pembuatan lantai dari tekel agar suara bising yang dikeluarkan oleh mesin dapat sedikit berkurang, perbaikan untuk energi listrik adalah dengan perusahaan menetapkan waktu set up, selain itu perawatan mesin secara kontinyu dapat menghemat penggunaan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kholil, Muhammad., 2008, “Pengukuran Produktivitas Produksi PT. Macroprima Panganutama dengan Menggunakan Metode Objective Matrix (OMAX), *Jurnal Sinergi vol 14, No.1, 2010*. Universitas Mercu Buana, Jakarta

[2] Agustina, Fitri dan Nina Aris Riana., 2011, ”Analisis Produktivitas dengan Menggunakan Metode Objective Matrix” *Jurnal dan Manajemen Industri Vol.6, No.2 Desember 2011 hal 150-158*

[3] Avianda, Dea dan Yoanita Yuniati ” Strat Bestari Dwi Handayani. Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Pendekatan Balanced Scorecard pada RSUD Kabupaten Kebumen, *Jurnal Dinamika Manajemen Vol 2, No. 1, 2011, pp:78-91*.

[4] Sinungan M, Drs., *”Produktivitas Apa Dan Bagaimana”* PT. Bumi Askara Jakarta 13220.

[5] Gasperz, Dr. Vincent, M.St.m., CIQA, CPIM., 2000, “*Manajemen Produktivitas Total (Startegi PeningkatanProduktivitas Bisnis Global”* PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta 2000.