

# ANALISIS KINERJA PENDINGIN UDARA ALTERNATIF YANG MEMANFAATKAN ENERGI LATEN ES DENGAN DUA HEAT EXCHANGER

Jamal dan Firman<sup>1)</sup>

**Abstrak:** Penggunaan mesin pendingin udara dapat menimbulkan masalah yaitu menggunakan energi yang besar, pencemaran lingkungan dari penggunaan freon yang dapat merusak ozon dan harga pengadaannya yang mahal. Sehingga untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan analisis kinerja pendingin udara yang memanfaatkan energi laten es dengan dua heat exchanger, yang merupakan tujuan jangka pendek penelitian ini, adapun tujuan jangka panjangnya adalah mengatasi permasalahan global yaitu penggunaan energi yang sangat besar serta pemanasan global akibat penggunaan mesin pendingin ruangan yang tidak ramah lingkungan. Metode yang digunakan menyelesaikan masalah di atas adalah dengan melakukan penelitian pendingin udara alternatif dimana penggunaan freon diganti dengan es sebagai penyerap energi dan penggunaan kompressor digantikan dengan pompa. Pengujian ini memvariasikan kecepatan aliran udara fan pada kompressor yaitu 3,8 m/s, 2,97 m/s dan 2,07 m/s. Pengujian juga memvariasikan debit aliran air dalam pipa sirkulasi yaitu  $0,65 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s,  $1,26 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s dan  $1,88 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. Pengujian dilakukan secara harian dan sesaat. Hasil pengujian yang dilakukan adalah mesin pendingin udara yang mampu mendinginkan ruangan, tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja hingga aman bagi lingkungan dan mesin pendingin udara yang memiliki biaya pengadaan dan pemeliharaan serta perbaikan yang lebih rendah dibandingkan AC berfreon tetapi memiliki biaya operasional yang lebih tinggi. Dari hasil penelitian uji sesaat diperoleh pada debit air konstan diperoleh hubungan efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ) dengan kecepatan udara ( $v_{ud}$ ) serta hubungan efisiensi sistim ( $\eta_{sys}$ ) dengan kecepatan udara adalah berbanding lurus. Hasil penelitian uji sesaat diperoleh pada kecepatan udara fan pada heat exchanger konstan diperoleh hubungan efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ) dengan debit air ( $Q_{air}$ ) serta hubungan efisiensi sistim ( $\eta_{sys}$ ) dengan debit air adalah berbanding terbalik.

Hasil pengujian peralatan uji dengan uji harian pada setiap pengaturan kecepatan udara diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi adalah cenderung konstan, baik Efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ), efisiensi ruang ( $\eta_{ruang}$ ) maupun efisiensi sistim ( $\eta_{sistem}$ ).

**Kata Kunci:** AC, alternatif, non freon.

## I. PENDAHULUAN

Saat ini pemakaian energi sangat meningkat sedangkan sumber-sumber energi semakin menipis utamanya minyak bumi. Dampak dari meningkatnya konsumsi

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

energi adalah harga bahan bakar meningkat. Produk teknologi yang memerlukan banyak energi adalah mesin pendingin udara.

Efek lain penggunaan produk teknologi adalah berdampak buruk teknologi terhadap lingkungan, diantaranya terjadinya pemanasan global akibat semakin menipisnya lapisan ozon. Perusakan ozon disebabkan penggunaan freon yang tidak ramah lingkungan, sehingga perlu untuk mengurangi penggunaan freon atau mengganti dengan freon yang ramah lingkungan hingga mengembangkan sistem yang tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja.

Berbagai penelitian telah dilakukan antara lain Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC (Effendi, 2005), Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-12 dan Putaran Blower Evaporator Terhadap COP pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil (Wibowo dan Subri, 2006), dan Penghematan Energi pada Sistem Pendingin Bangunan dengan Menggunakan Kendali Logika Fuzzy (Nasution, 2007).

Penelitian di atas berupaya untuk melakukan penghematan energi pada mesin refrigeran tetapi masih sekitar bagaimana meningkatkan kinerja mesin refrigerasi, penghematan penggunaan energinya belum signifikan dan masih tetap menggunakan kompresor (freon) sehingga tidak ramah lingkungan, sehingga perlu dilakukan penelitian *“Analisis Kinerja Pendingin Udara Alternatif yang Memanfaatkan Energi Laten Es dengan Dua Heat Exchanger”*. Penelitian ini tidak menggunakan kompresor dan freon sebagai fluida kerja sehingga ramah lingkungan dan diharapkan memiliki kinerja yang dapat mendinginkan udara.

#### **a. Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan**

Mesin pendingin merujuk pada siklus kompresi uap standar. Dalam mesin pendingin, refrigeran dialirkan dalam saluran pipa. Sebelum masuk kompresor, dengan kondisi uap jenuh dikompresikan sehingga keluar kompresor menjadi uap panas lanjut. Uap mengalir pada kondensor untuk melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi kondensasi. Uap berubah menjadi cair jenuh kemudian melewati dryer, selanjutnya menuju katup ekspansi dan mengalami penurunan sampai tekanan evaporator. Pada evaporator cairan dari katup ekspansi mengalami evaporasi sehingga berubah menjadi uap jenuh dan masuk ke dalam kompresor untuk dikompresikan. Siklus berjalan terus menerus sehingga di dapat temperatur yang diinginkan (Effendi M, 2005).

#### **b. Konsumsi Energi Mesin Pendingin Ruangan**

Kebutuhan energi mesin refrigerasi terhadap pasokan listrik nasional cukup signifikan. Di Shanghai, Saito (2002 dalam Indartono, 2008) menyebut bahwa pada beban puncak di musim panas, mesin refrigerasi mengkonsumsi 1/3 suplai listrik. Suzuki dkk (2005 dalam Indartono, 2008) memperkirakan bahwa beban listrik untuk mesin refrigerasi mengkonsumsi tidak kurang dari 1/5 suplai listrik di Jepang. Untuk belahan Amerika Utara, Todesco (2005 dalam Indartono, 2008) menyatakan bahwa kebutuhan listrik untuk mesin refrigerasi pada beban puncak mencapai 3,6-9,2 GW,

bandingkan dengan kemampuan PT PLN yang sekitar 39,5 GW (Seymour dkk (2002) dalam Indartono, 2008). Sedangkan di Indonesia, Suwono (2005 dalam Indartono, 2008) menyebut sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi mesin refrigerasi, sehingga usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap mesin refrigerasi akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi dunia.

Dengan persentase diatas terlihat bahwa pemakaian energi untuk mesin refrigerasi sangatlah besar, dan 90% dari pemakaian energi tersebut dikonsumsi oleh kompresor (Tojo (1984) dalam Nasution, 2007). Sehingga penelitian yang akan dilakukan yaitu menggantikan kerja kompresor dengan pompa air dingin, untuk melakukan penghematan energi.

### **c. Dampak Lingkungan Mesin Pendingin Ruangan**

Kondisi lapisan ozon semakin rusak dan menipis. Berdasarkan pantauan menggunakan instrumen Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) pada satelit Nimbus 7 dan Meteor 3, kerusakan ini telah menimbulkan sebuah lubang yang dikenal sebagai lubang ozon (ozone hole) di kedua kutub bumi (Yusuf, 2008).

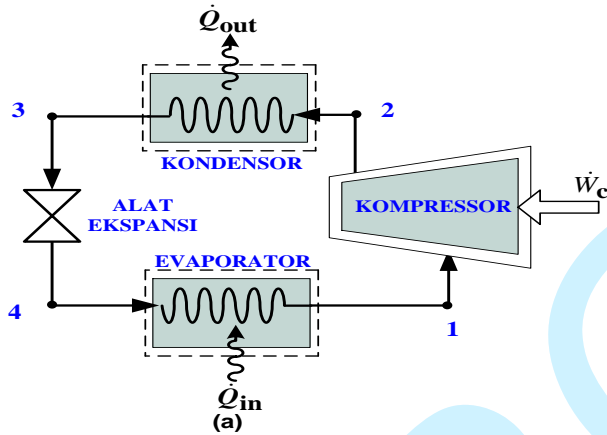
Kerusakan ozon disebabkan meningkatnya pelepasan Bahan Perusak Ozon (BPO) ke atmosfer. Sekitar 100 jenis BPO yang terdaftar berdasarkan Protokol Montreal 1987. Diantara BPO ada beberapa jenis umum digunakan di Indonesia yaitu chlorofluorocarbons (CFCs) dan hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) yang banyak digunakan pada pendingin AC dan lemari es (Yusuf, 2008).

Konvensi Wina dan Protokol Montreal pada tahun 1992 dan menetapkan kebijakan agar masyarakat dunia aktif dalam upaya perlindungan lapisan ozon. Upaya aktif yang harus ditempuh adalah pengurangan pemakaian BPO terutama CFC, menggantikannya dengan yang ramah lingkungan (refrigeran hidrokarbon) sampai penghentian penggunaannya (Yusuf, 2008).

Dengan kondisi di atas, maka salah satu upaya untuk menghasilkan mesin refrigerasi yang ramah lingkungan adalah dengan menggantikan refrigeran CFC dengan air, yang dilakukan pada penelitian ini.

### **d. Siklus Kompresi Uap (Refrigerasi)**

Komponen utama mesin yang menerapkan siklus kompresi uap terdiri dari empat unit, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Susunan ke empat unit komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1 (Cengel, 2002). Serangkaian komponen tersebut merupakan komponen proses pada refrijeran sehingga dapat mengalami siklus termodinamika (siklus kompresi uap).



Gambar 1. Komponen-komponen system refrigerasi kompresi uap

Siklus ideal kompresi uap (refrigerasi & pompa kalor) terdiri dari serangkaian proses sebagai berikut (Cengel, 2002):

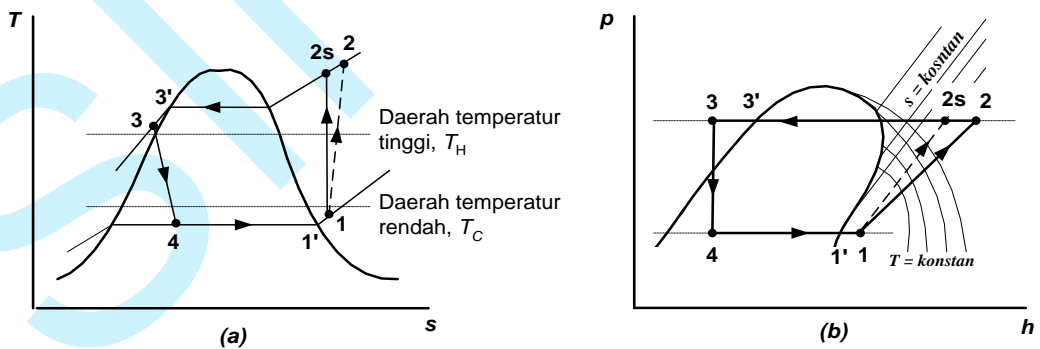
*Proses 1-2s:* Kompresi isentropik refrijeran dari keadaan 1 menuju tekanan kondensor keadaan 2s.

*Proses 2s-3:* Perpindahan kalor dari refrijeran yang mengalir pada tekanan konstan di dalam kondensor hingga keadaan 3.

*Proses 3-4 :* Proses pengecilan (*throttling process*) dari keadaan 3 ke fasa campuran uap-cairan keadaan 4.

*Proses 4-1 :* Perpindahan kalor ke refrijeran yang mengalir melalui evaporator pada tekanan konstan hingga mencapai siklus yang lengkap.

Diagram  $T-s$  dan  $p-h$  untuk siklus refrigerasi kompresi uap di atas ditunjukkan pada Gambar 2 (Cengel, 2002), berikut ini.



Gambar 2. Diagram  $T-s$  dan  $p-h$  siklus refrigerasi kompresi uap

Daya bersih pada siklus kompresi uap merupakan daya input kompresor. Ukuran unjuk kerja siklus kompresi uap, baik siklus refrigerasi maupun siklus pompa kalor, pembanding atau penyebutnya adalah daya input kompresor.

Unjuk kerja siklus siklus refrigerasi diistilahkan sebagai *coefficient of performance refrigeration* ( $COP_{ref} = \beta$ ), (Cengel, 2002):

$$COP_{ref.} = \beta = \frac{\dot{Q}_{in}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

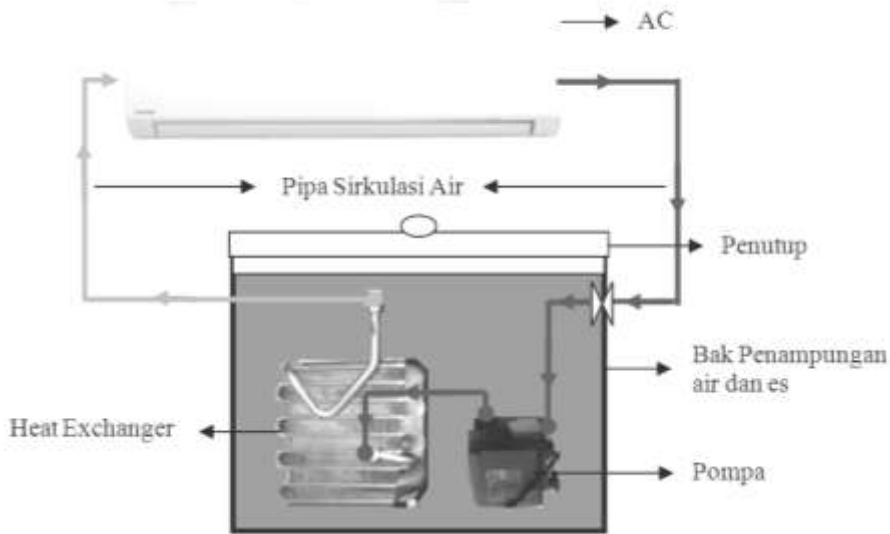
Sedangkan unjuk kerja siklus pompa kalor diistilahkan sebagai *coefficient of performance heat pump* ( $COP_{hp} = \gamma$ ), (Cengel, 2002):

$$COP_{ref.} = \gamma = \frac{\dot{Q}_{out}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah dimulai dengan pembuatan peralatan uji mesin pendingin ruangan, dilanjutkan dengan pengujian kinerja peralatan uji dan diakhiri dengan evaluasi hasil kinerja.

Alat uji yang digunakan adalah awalnya merupakan sebuah mesin pendingin ruangan (AC) yang ada dipasaran, kemudian komponen mesin pendingin ruangan yang berupa kondensor dimana didalamnya terdapat kompresor dengan fluida kerja freon akan diganti dengan sebuah wadah penampungan untuk fluida kerja air (cair dan es) yang didalamnya akan diletakkan *heat exchanger* dan pompa dimana air yang bersirkulasi akan melewati pompa, pipa sirkulasi dan dua buah *heat exchanger*. *Heat exchanger* pada bak akan mendinginkan fluida kerja (air) dan *heat exchanger* pada evaporator akan mendinginkan udara ruangan. Rancangan instalasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan instalasi sistem pendingin

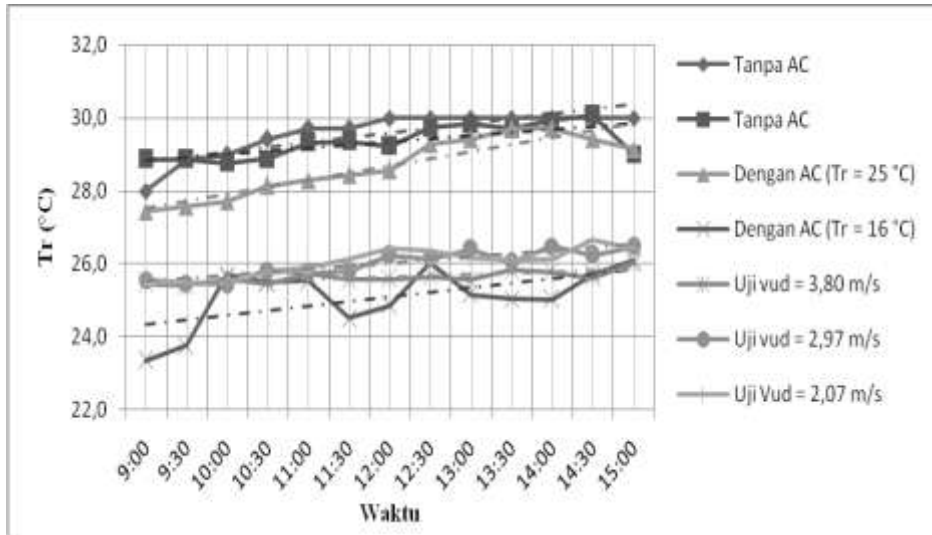
Pengujian kinerja dari mesin pendingin udara dilakukan dengan uji sesaat dan uji harian, uji sesaat untuk mendapatkan efisiensi heat exchanger ( $\eta_{HE}$ ) pada evaporator dan efisiensi sistem ( $\eta_{sys}$ ) sedangkan uji harian untuk mendapatkan efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ), efisiensi ruang ( $\eta_{ruang}$ ) dan efisiensi sistim ( $\eta_{sistem}$ ).

Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara fan pada kompresor yaitu 3,8 m/s, 2,97 m/s dan 2,07 m/s. Pengujian ini juga memvariasikan debit aliran air dalam pipa sirkulasi yaitu  $0,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1,26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Pengujian pada penelitian dilakukan secara uji sesaat dan uji harian.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Hasil Pengujian

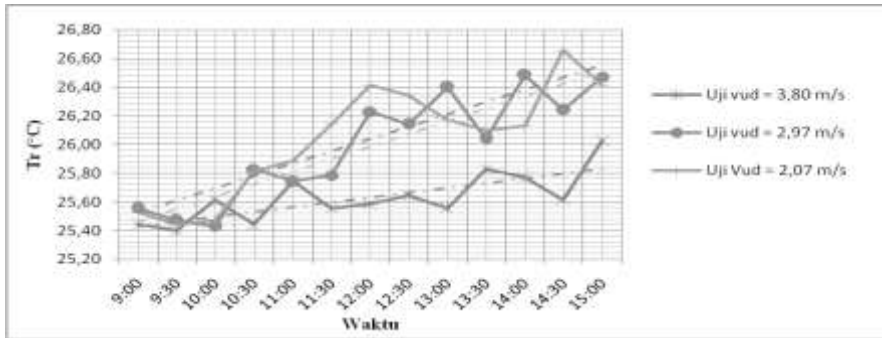
Dari pengujian peralatan uji yang dibuat diperoleh hasil pengujian harian adalah terlihat seperti gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu dengan temperatur ruangan (tr)

Dari gambar 4, hasil pengujian temperatur ruangan tanpa AC diperoleh hubungan antara waktu dengan temperatur ruangan adalah cenderung berbanding lurus. Semakin besar waktu pengujian maka temperatur ruangan yang diperoleh akan semakin besar walaupun pada kondisi tertentu mengalami penurunan. Pengukuran tanpa AC dilakukan selama 2 hari, pada tanggal 20 September 2011 temperatur ruangan tertinggi diperoleh  $30,0^{\circ}\text{C}$  pada pukul 12.00-15.00 wita, sedangkan temperatur ruangan terendah diperoleh  $28,0^{\circ}\text{C}$  pada pukul 09.00 wita; sedangkan pada tanggal 1 Oktober 2011 temperatur ruangan tertinggi diperoleh  $30,1^{\circ}\text{C}$  pada pukul 14.30 wita, sedangkan temperatur ruangan terendah diperoleh  $28,8^{\circ}\text{C}$  pada pukul 10.00 wita.

Dari gambar 4, hasil pengujian menggunakan AC ber-freon dengan menggunakan temperatur kerja AC  $25^{\circ}\text{C}$  diperoleh hubungan antara waktu dengan temperatur ruangan adalah cenderung berbanding lurus. Semakin besar waktu pengujian maka temperatur ruangan yang diperoleh akan semakin besar. Pengujian AC ber-freon dilakukan sebanyak dua kali yaitu pengujian pertama menggunakan temperatur kerja AC  $25^{\circ}\text{C}$ , diperoleh temperatur ruangan tertinggi diperoleh  $29,7^{\circ}\text{C}$  pada pukul 13.30-14.00 wita, dan temperatur ruangan terendah  $27,4^{\circ}\text{C}$  pada pukul 09.00 wita. Pengujian kedua menggunakan temperatur kerja AC  $16^{\circ}\text{C}$  diperoleh temperatur ruangan tertinggi  $26,1^{\circ}\text{C}$  pada pukul 15.00 wita, dan terendah diperoleh  $23,3^{\circ}\text{C}$  pada pukul 09.00 wita.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dengan temperatur ruangan ( $t_r$ ) Hasil pengujian peralatan uji

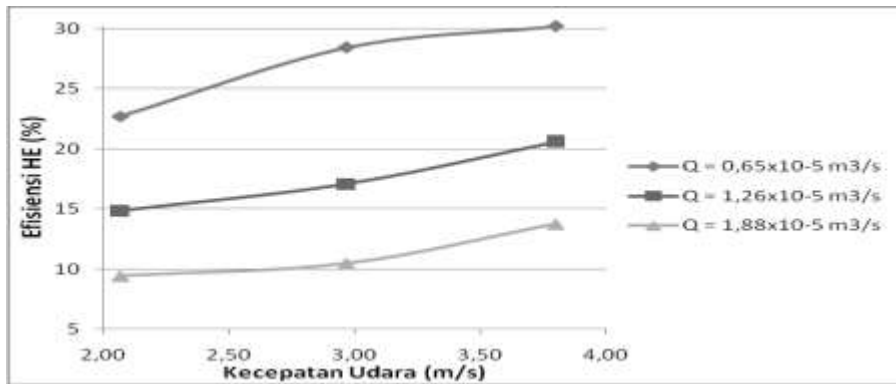
Dari gambar 5, hasil pengujian menggunakan peralatan uji (uji harian) dengan kecepatan udara fan 3,8 m/s diperoleh hubungan antara waktu dengan temperatur ruangan adalah cenderung berbanding lurus. Semakin besar waktu pengujian maka temperatur ruangan yang diperoleh akan semakin besar. Pengujian menggunakan peralatan uji dilakukan sebanyak tiga variasi kecepatan aliran udara fan yaitu pertama adalah kecepatan udara fan 3,8 m/s diperoleh temperatur ruangan tertinggi 26,03°C pada pukul 15.00 wita, dan terendah 25,40°C pada pukul 09.30 wita. Pengujian kedua menggunakan kecepatan udara fan 2,97 m/s diperoleh temperatur ruangan tertinggi 26,49°C pada pukul 14.00 wita, dan terendah diperoleh 25,43°C pada pukul 10.00 wita. Pengujian ketiga menggunakan kecepatan udara fan 2,07 m/s diperoleh temperatur ruangan tertinggi 26,66°C pada pukul 14.30 wita, dan temperatur ruangan terendah 25,44°C pada pukul 09.30 wita.

#### b. Pembahasan

Dari gambar 4 terlihat hasil pengujian peralatan uji (AC tanpa freon) mampu menurunkan temperatur ruangan dimana hasil yang diperoleh lebih rendah dari kondisi pengujian temperatur ruangan tanpa menggunakan AC. Pengujian peralatan uji juga menunjukkan bahwa kemampuan peralatan uji berada antara kemampuan maksimum dan kemampuan minimum AC berfreon hal ini terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengujian AC ber-freon yang menggunakan temperatur kerja 16°C (kemampuan maksimum), tetapi masih lebih tinggi dari hasil pengujian AC ber-freon yang menggunakan temperatur kerja 25°C (kemampuan minimum).

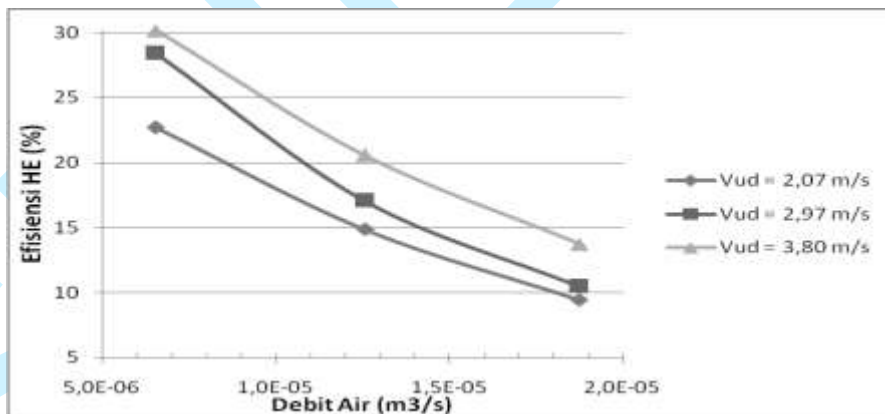
Dari gambar 5 terlihat bahwa kecepatan udara berbanding terbalik dengan temperatur ruangan dimana semakin cepat udara yang dialirkan fan maka temperatur ruangan akan semakin rendah ini menunjukkan bahwa kemampuan peralatan uji dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara pada fan (berbanding lurus).





Gambar 6. Grafik Hub. antara kecepatan udara ( $v_{ud}$ ) dengan efisiensi AC ( $\eta_{HE}$ ) (uji sesaat)

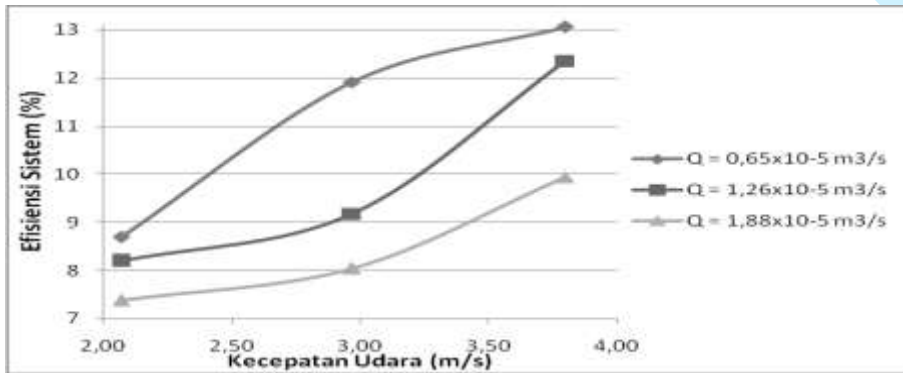
Dari gambar 6 terlihat bahwa hasil perhitungan data yang dituangkan dalam bentuk grafik terlihat bahwa pengujian peralatan uji dengan uji sesaat untuk debit air  $0,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  diperoleh hubungan antara kecepatan udara dengan efisiensi HE (evaporator) adalah berbanding lurus. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi HE yang diperoleh akan semakin besar. Begitupun dengan debit air  $1,26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  dan debit air  $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Efisiensi terbesar diperoleh 30,16% pada kecepatan udara 3,8 m/s dengan debit air  $0,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ , sedangkan efisiensi minimum diperoleh 9,43%, pada kecepatan udara 2,07 m/s dengan debit air  $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ .



Gambar 7. Grafik hubungan antara debit air ( $q$ ) dengan efisiensi he ( $\eta_{he}$ ) (uji sesaat)

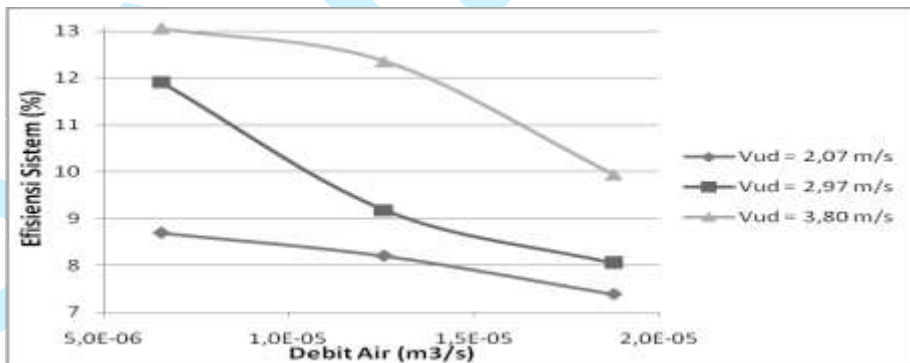
Gambar 7 dibuat dari data yang sama dengan gambar 6, tetapi dengan bentuk hubungan grafik yang berbeda. Dari gambar 7 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji sesaat untuk kecepatan udara 2,07 m/s diperoleh hubungan antara debit

air dengan efisiensi HE adalah berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi HE yang diperoleh akan semakin kecil. Begitupun dengan kecepatan udara 2,97 m/s dan kecepatan udara 3,8 m/s.



Gambar 8. Grafik hub. Antara kecepatan udara ( $v_{ud}$ ) dengan eff system ( $\eta_{sys}$ ) (uji sesaat)

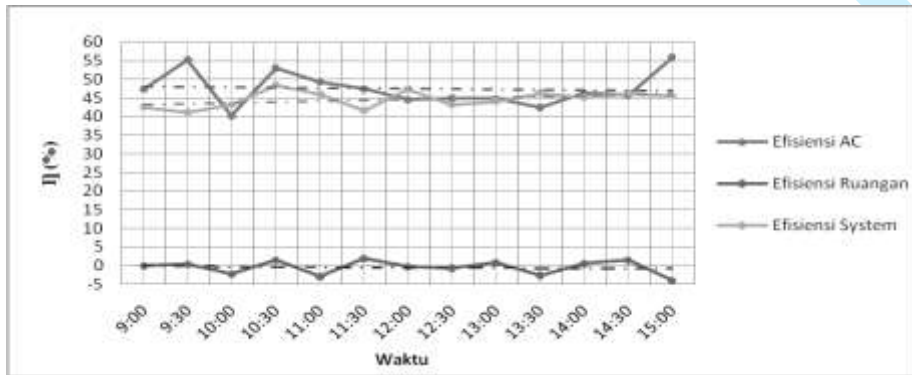
Dari gambar 8 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji sesaat untuk debit air air  $0,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  diperoleh hubungan antara kecepatan udara dengan efisiensi sistem adalah berbanding lurus. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi sistem yang diperoleh akan semakin besar. Begitupun dengan debit air  $1,26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  dan debit air  $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Efisiensi terbesar diperoleh 13,05% pada kecepatan udara 3,8 m/s dengan debit air  $0,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ , sedangkan efisiensi minimum diperoleh 7,39%, pada kecepatan udara 2,07 m/s dengan debit air  $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ .



Gambar 9. Grafik hub. antara kecepatan debit air ( $q$ ) dengan eff system ( $\eta_{sys}$ ) (uji sesaat)

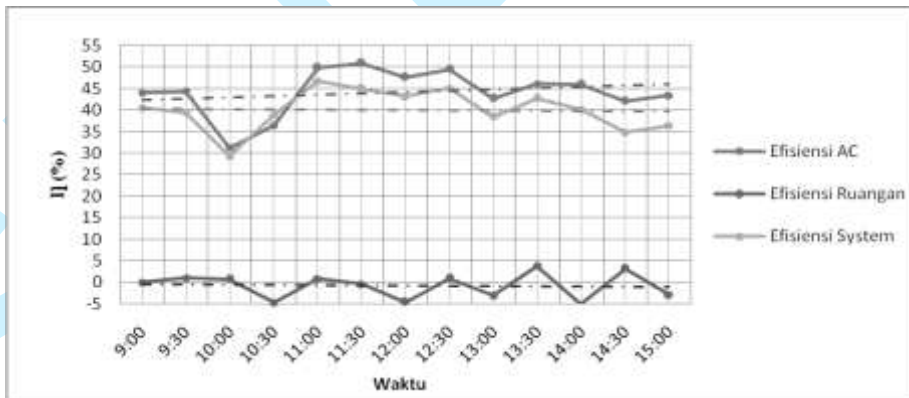
Gambar 9 dibuat dari data yang sama dengan gambar 8, tetapi dengan bentuk hubungan grafik yang berbeda. Dari gambar 9 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji sesaat untuk kecepatan udara 2,07 m/s diperoleh hubungan antara debit

air dengan efisiensi sistem adalah berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi sistem yang diperoleh akan semakin kecil. Begitupun dengan kecepatan udara 2,97 m/s dan kecepatan udara 3,8 m/s.



Gambar 10. Grafik hubungan waktu dengan efisiensi pada  $v_{ud}=3,8$  (uji harian)

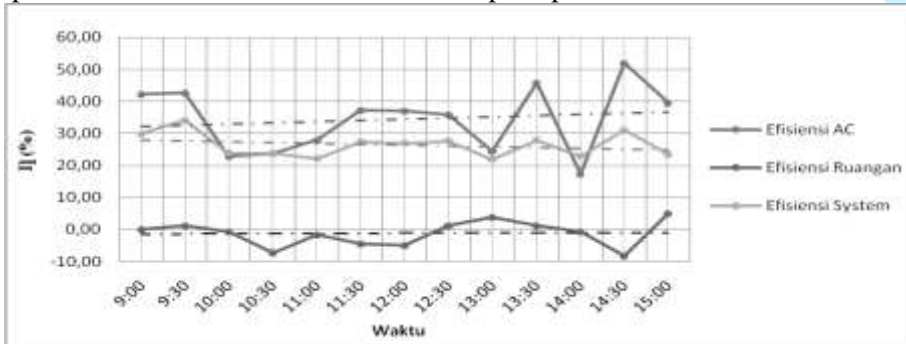
Dari gambar 10 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara 3,8 m/s diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi adalah cenderung konstan, baik Efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ), efisiensi ruang ( $\eta_{ruang}$ ) maupun efisiensi sistim ( $\eta_{sistem}$ ). Efisiensi HE maksimum 55,99% pada pukul 15.00 wita dan minimum 40,20% pada pukul 10.00 wita. Efisiensi sistim maksimum 48,41% pada pukul 10.30 wita dan minimum 41,21% pada pukul 09.30 wita. Efisiensi ruang maksimum 1,93% pada pukul 11.30 wita dan minimum -2,84% pada pukul 11.00 wita.



Gambar 11. Grafik hubungan waktu dengan efisiensi pada  $v_{ud} = 2,97$  (uji harian)

Dari gambar 11 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara 2,97 m/s diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi adalah cenderung konstan, baik Efisiensi HE, efisiensi ruang maupun

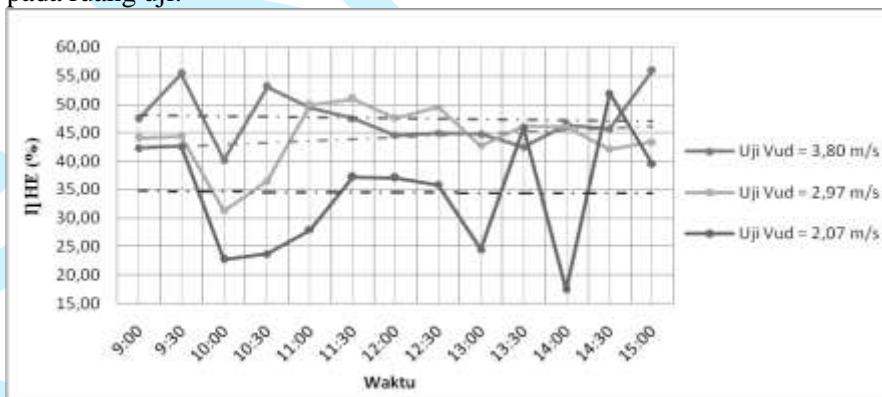
efisiensi sistim. Efisiensi HE maksimum 50,91% pada pukul 11.30 wita dan minimum 31,29% pada pukul 10.00 wita. Efisiensi sistim maksimum 46,69% pada pukul 11.00 wita dan minimum 29,33% pada pukul 10.00 wita. Efisiensi ruang maksimum 3,82% pada pukul 13.30 wita dan minimum -5,02% pada pukul 14.00 wita.



Gambar 12. Grafik hubungan waktu dengan efisiensi pada vud = 2,07 (uji harian)

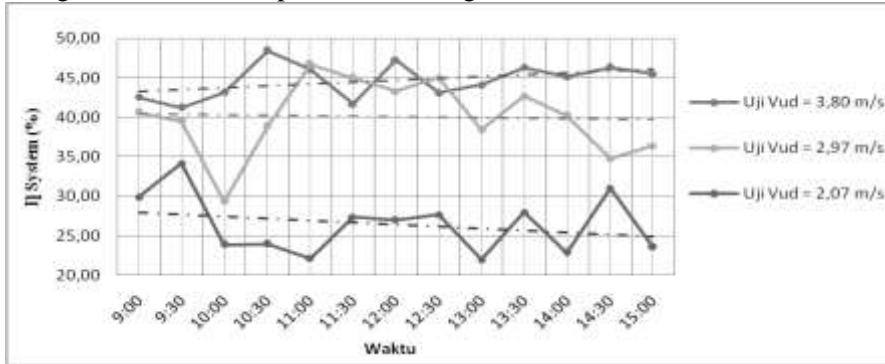
Dari gambar 12 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan uji dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara 2,07 m/s diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi adalah cenderung konstan, baik Efisiensi HE, efisiensi ruang maupun efisiensi sistim. Efisiensi HE maksimum 51,94% pada pukul 14.30 wita dan minimum 17,39% pada pukul 14.00 wita. Efisiensi sistim maksimum 34,16% pada pukul 09.30 wita dan minimum 22,01% pada pukul 13.00 wita. Efisiensi ruang maksimum 5,00% pada pukul 15.00 wita dan minimum -8,27% pada pukul 14.30 wita.

Dari gambar 10, 11 dan 12 terlihat bahwa efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi sistim ( $\eta_{sistem}$ ) dan yang terendah adalah efisiensi ruang ( $\eta_{ruang}$ ), terdapat efisiensi ruang bernilai negatif menunjukkan terjadinya kehilangan kalor pada ruang uji.



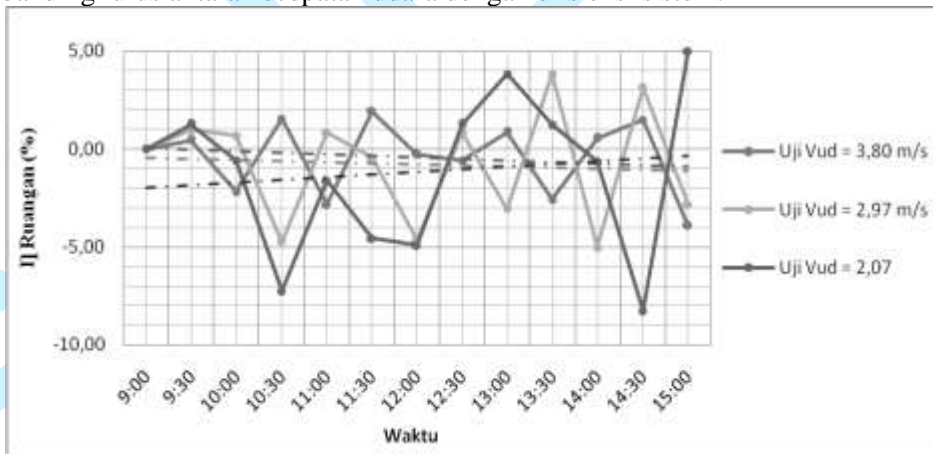
Gambar 13. Grafik hub. Waktu dengan efisiensi he pada berbagai kec. Udara (uji harian)

Dari gambar 13 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi HE adalah cenderung konstan. Dari gambar 13 juga terlihat bahwa semakin cepat udara pada fan maka Efisiensi HE akan semakin besar atau terjadi hubungan berbanding lurus antara kecepatan udara dengan efisiensi HE.



Gambar 14. Grafik hub. Waktu dengan efisiensi sistem pd berbagai kec. Udara (uji harian)

Dari gambar 14 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi sistem adalah cenderung konstan. Dari gambar 14 juga terlihat bahwa semakin cepat udara pada fan maka Efisiensi sistem akan semakin besar atau terjadi hubungan berbanding lurus antara kecepatan udara dengan efisiensi sistem.



Gambar 15. Grafik hub. Waktu dengan efisiensi ruang pd berbagai kec. Udara (uji harian)

Dari gambar 15 terlihat bahwa hasil pengujian peralatan dengan uji harian pada pengaturan kecepatan udara diperoleh hubungan antara waktu dengan efisiensi

ruang adalah cenderung konstan. Dari gambar 15 juga terlihat bahwa semakin cepat udara pada fan maka Efisiensi ruang akan semakin besar atau terjadi hubungan berbanding lurus antara kecepatan udara dengan efisiensi Ruang. Terdapat efisiensi ruang bernilai negatif menunjukkan terjadinya kehilangan kalor pada ruang uji

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dan perlu pula diberikan saran-saran yang bersifat membangun dan perbaikan dari hasil pengujian kinerja mesin pendingin udara alternatif.

##### a. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil analisis kinerja mesin pendingin udara alternatif yang memanfaatkan energi laten pencairan es dengan uji sesaat serta dari hasil dan pembahasan, adalah sebagai berikut:

- a. Diperoleh sebuah prototipe mesin pendingin ruangan yang mampu mendinginkan ruangan dengan kinerja berada antara kemampuan maksimum dan minimum AC berfreon.
- b. Diperoleh sebuah prototipe mesin pendingin ruangan yang tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja hingga aman bagi lingkungan.
- c. Diperoleh sebuah prototipe mesin pendingin ruangan yang memiliki biaya pengadaan dan pemeliharaan serta perbaikan yang lebih rendah dari AC berfreon tetapi memiliki biaya operasional yang lebih tinggi dari AC berfreon, tetapi dapat diantisipasi dengan pengaturan pengoperasian.
- d. Efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ), efisiensi system ( $\eta_{sistem}$ ) dan efisiensi ruangan ( $\eta_{ruang}$ ) pada pengujian harian cenderung konstan.
- e. Untuk debit air pompa konstan diperoleh hubungan efisiensi HE ( $\eta_{HE}$ ) dengan kecepatan udara ( $v_{ud}$ ) adalah berbanding lurus, demikian pula hubungan efisiensi sistim ( $\eta_{sys}$ ) dengan kecepatan udara.
- f. Untuk kecepatan udara fan pada evaporator konstan diperoleh hubungan efisiensi HE pada AC ( $\eta_{HE}$ ) dengan debit air ( $Q_{air}$ ) adalah berbanding terbalik demikian pula hubungan efisiensi sistim ( $\eta_{sys}$ ) dengan debit air.

##### b. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian maka perlu dilakukan penelitian-penelitian lanjutan antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian penggunaan fluida kerja sekunder yang dicampur dengan material yang mampu menahan temperatur tetap dingin (NaCl).
2. Perlu dilakukan penelitian dengan tidak menggunakan es sebagai media pendingin karena memerlukan biaya operasional yang besar.

## V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana berkat bantuan berbagai pihak, untuk itu tim penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. DP2N DIKTI DEPDIKNAS yang memberikan dana penelitian hibah bersaing melalui Dipa Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan surat keputusan Direktur PNUP Nomor: 115/PL10/PL/2011 Tanggal 08 Maret 2011.
2. Pimpinan dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Pimpinan dan Staf UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Pimpinan dan Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y.A. dan Boles, M.A., 2002. *Thermodynamics*. 4th edition. Boston-USA: Mc. Graw Hill.
- Effendy, M. 2005. *Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC*, Jurnal. Surakarta: Jurnal Media Mesin Vol.6 No.2 2005.
- Indartono, Y. S. 2006. *Pendingin Alami City of The Viking King (III)*, Internet. [http:// www.indeni.org](http://www.indeni.org), 23 Maret 2008, Berita Iptek.
- Indartono, Y. S. 2006. *Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (I)*, Internet. [http:// www.beritaiptek.com](http://www.beritaiptek.com), 23 Maret 2008.
- Nasution, H. 2007. *Aplikasi Kendali Logika Fuzzy pada Sistem Pendingin Bangunan Sebagai Upaya Penghematan Energi*, Jurnal. Jogja: Jurnal AES, 2007.
- Nasution, H. 2007. *Penghematan Energi pada Sistem Pendingin Bangunan Dengan Menggunakan Kendali Logika Fuzzy*, Jurnal. Bandung: Jurnal Race, 2007.
- Wibowo, D.B. dan Subri, M. 2006. *Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-12 dan Putaran Blower Evaporator Terhadap COP pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil*, Jurnal. Bandung: Jurnal Traksi, Vol.4 No.1 2006.
- Yusuf, M.S. 2008. *Lapisan Ozon Menipis Kehidupan Diambang Bahaya*, Internet. <http://www.bekasinews.com>, 23 Maret 2008.