

Pengaruh Suhu Evaporator Terhadap Kapasitas Pendinginan Pada Sistem Refrigerasi dengan Air sebagai Refrigeran dan Ejektor sebagai Pengganti Kompresor

Muhammad Abdulkadir¹, Harianto²

Dosen Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta^{1,2}
Jl. Babarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta
E-mail : makadir2011@gmail.com
harianto0304@yahoo.ca

Abstrak

Refrigeran CFC (chloro fluoro carbon) telah terbukti sebagai penyebab terjadinya penipisan lapisan ozon. Salah satu refrigeran alternatif yang ramah lingkungan adalah air. Dalam penelitian ini akan dilakukan suatu rekayasa mengganti kompresor dengan menggunakan ejector pada sistem refrigerasi dengan refrigeran air. Sebagai fluida primer pada ejector digunakan air yang dialirkan menggunakan pompa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sistem refrigerasi dengan air sebagai refrigeran dan ejector sebagai pengganti kompresor, meliputi temperatur evaporator, hubungan antara COP dengan kapasitas refrigerasi, hubungan antara COP dengan temperatur beban dan hubungan antara kapasitas refrigerasi dengan temperatur beban. Telah dilakukan penelitian menggunakan alat ejektor dengan ukuran nosel 9, 10, 11 dan 12 mm dan pompa air merk Shimizu CM 100 BIT dan evaporator dengan ukuran diameter 25 cm panjang 20 cm, serta pada temperatur lingkungan 29 °C. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada nosel 9mm diperoleh temperatur evaporator 18,5 °C, COP 0,0803, kapasitas refrigerasi 141,37 Watt dan pada nosel 12 mm, temperatur 20 °C, COP 0,1798 dan kapasitas refrigerasi 336,22 Watt.

Kata kunci : refrigerasi, refrigeran, COP, ejektor, air.

PENDAHULUAN

Refrigerasi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan di era modern. Sistem refrigerasi telah digunakan secara luas untuk berbagai keperluan, antara lain di perkantoran, rumah tangga, industri dan sebagainya. Teknologi di bidang refrigerasi telah berkembang secara pesat, baik dari segi mekanis, segi elektronis khususnya pada sistem kontrol, dan dari segi refrigeran.

Dengan ditemukannya Hidro Chloro Fluoro Carbons (HCFC) atau yang lazim disebut Freon pada tahun 1928 oleh Charles Kettering dan Thomas Migley, Jr, sistem refrigerasi mampu menghasilkan unjuk kerja yang sangat baik. Namun berdasarkan hasil kajian ilmiah pada tahun 1970an terbukti bahwa Freon, khususnya yang mengandung unsure klor, merupakan penyebab terjadinya lubang ozon, atau memiliki potensi pengurangan ozon (*ozone depletion potential*, ODP). Ozon (O₃) adalah unsur oksigen yang tersusun atas tiga atom oksigen. Unsur ini terbentuk secara alamiah selama jutaan tahun dan terakumulasi di lapisan stratosfir. Ozon terutama sangat berperan dalam memfilter radiasi sinar ultraviolet dari matahari. Penyebab terjadinya lubang ozon adalah karena adanya unsure klor (Cl). Unsur Cl bertindak sebagai katalisator terurainya ozon menjadi oksigen. Selain itu, Freon memiliki potensi penyebab pemanasan global (*global warming potential*, GWP) yang tinggi. Sebagai contoh R12 memiliki indek GWP sebesar

8500 dan R22 sebesar 1900 (Kilicarslan, 2005 dari Calm and Hourahan, 1999).

Telah diupayakan untuk mengganti CFC dengan refrigeran lain yang lebih ramah lingkungan sebagai pengganti CFC, antara lain dengan R134a dan hidrokarbon. Namun R13a masih memiliki indek GWP 1600 dan R290 (propane) memiliki indek GWP 20 (Kilicarslan, 2005 dari Calm and Hourahan, 1999). Salah satu refrigeran yang sangat potensial untuk digunakan adalah air (H₂O). Keunggulan air sebagai refrigeran adalah sangat ramah lingkungan, tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global, karena memiliki indek ODP dan indek GWP nol (Kilicarslan, 2005 dari Dincer 2003). Kelebihan lain dari air adalah mampu menghasilkan koefisien prestasi (*coefficient of performance*, COP) yang dapat menandingi koefisien prestasi R12 dan R22.

Kelemahan penggunaan air sebagai refrigeran adalah bahwa volume spesifik uap air pada suhu refrigerasi, misalkan 10 °C, sangat besar bila dibandingkan dengan volume spesifik CFC. Sebagai ilustrasi, pada suhu evaporator 10 °C, volume spesifik uap air adalah 106.4 m³/kg, sedangkan R12 hanya 0.0409 m³/kg dan R22 hanya 0.0347 m³/kg. Hal ini menyebabkan ukuran kompresor pada refrigerasi uap air menjadi relatif sangat besar bila dibandingkan dengan kompresor sistem refrigerasi dengan refrigeran CFC. Dengan ukuran kompresor yang sangat besar, maka

konstruksinya menjadi lebih berat dan lebih mahal.

TINJAUAN PUSTAKA

Refrigerasi adalah cara untuk mendinginkan temperatur suatu ruangan hingga di bawah temperatur udara di sekelilingnya. Sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan adalah system kompresi uap. Pada dasarnya pesawat refrigerasi kompresi uap terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Media kerja system refrigerasi dinamakan refrigeran. Refrigeran yang baik harus memenuhi beberapa syarat, antara lain tekanan penguapan tinggi, kalor laten penguapan tinggi, dan volume spesifik yang kecil (Wiranto, 1986). Freon atau HCFC adalah salah satu refrigeran yang memenuhi persyaratan tersebut. Namun telah terbukti bahwa HCFC memiliki potensi penyebab terjadinya lubang ozon dan berpotensi menimbulkan pemanasan global, seperti telah diuraikan di Pendahuluan. Sebagai pengganti refrigeran HCFC adalah air (H₂O) atau R718 yang sangat ramah lingkungan, karena memiliki ODP dan GWP nol (Kilicarslan, 2005 dari Dincer 2003).

Analisis yang dilakukan oleh Riffat dkk (1995) pada pompa kalor yang menggunakan ejector sebagai pengganti kompresor, dengan menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa densitas refrigerant sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa kalor. Semakin besar densitas refrigerant akan menghasilkan unjuk kerja yang semakin baik.

Simulasi yang dilakukan oleh Zhang dan Wang (2001) pada system refrigerasi hybrid adsorpsi-ejector dengan menggunakan tenaga matahari menunjukkan bahwa penggunaan ejector sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja termodinamis sistem.

Simulasi yang dilakukan oleh Alexis dan Rogdakis (2002) terhadap system refrigerasi dengan ejector uap menunjukkan bahwa system tersebut mampu menghasilkan COP maksimum sebesar 0,9580.

Penelitian yang dilakukan oleh Abdulkadir dan Harianto (2015) pada sistem refrigerasi dengan air sebagai refrigeran dan ejektor sebagai pengganti kompresor dengan sistem terbuka mampu menghasilkan kapasitas refrigerasi maksimum 29,87 Watt dan COP maksimum sebesar 0,0172.

LANDASAN TEORI

Hubungan antara kapasitas pendingin dengan debit air refrigeran, yaitu :

$$P_{ref} = P_{ref} (Q_{ref}) \dots\dots\dots(1)$$

P_{ref} : kapasitas refrigerasi (Watt).

Q_{ref} : debit air refrigeran (cc/s).

Kapasitas refrigerasi dicari dengan persamaan :

$$P_{ref} = \rho_w Q_{cl} C_p (T_{cli} - T_{clo}) 10^{-3} \text{Watt} \dots(2)$$

Dengan :

ρ_w : densitas air, kg/m³

Q_{cl} : debit air beban, cc/s

T_{cli} : temperatur air beban masuk evaporator, °C

T_{clo} : temperatur air beban keluar evaporator, °C

C_p : kalor spesifik air, kJ/kg.°C

Hubungan koefisien pretasi (COP, *coeficient of performance*) dengan debit air refrigeran, yaitu :

$$COP = COP(Q_{ref}) \dots\dots\dots(3)$$

COP dihitung berdasarkan persamaan :

$$COP = \frac{P_{ref}}{P_{in}} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

P_{in} : daya input, W

P_{in} dapat dicari dari daya motor penggerak pompa, yaitu :

$$P_{in} = P_{mot} = V.I \dots\dots\dots(5)$$

Dengan V : tegangan listrik (volt), dan I kuat arus listrik pada motor (ampere).

Hubungan temperatur evaporator dengan debit air refrigeran, yaitu :

$$T_{ref} = P_{ref}(Q_{ref}) \dots\dots\dots(6)$$

METODOLOGI PENELITIAN

1. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tahap persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal penelitian, meliputi studi pustaka, penyusunan proposal, pembuatan alat, serta kalibrasi alat ukur dalam penelitian.

b. Tahap pengumpulan data

Dalam tahap ini dilakukan pengukuran dan pencatatan variable – variabel primer yang diperlukan.

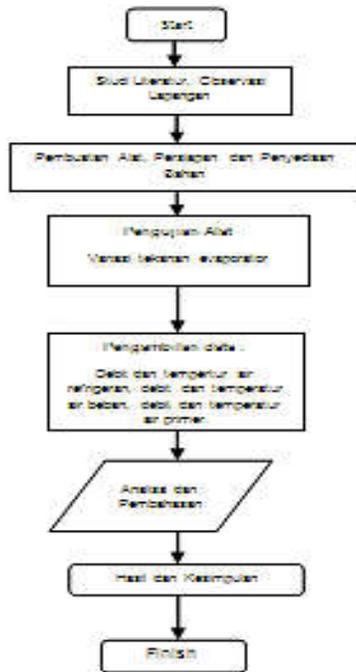
c. Tahap Analisis data.

Pada tahap analisis data dilakukan perhitungan-perhitungan terhadap data primer untuk memperoleh data sekunder, berdasarkan persamaan – persamaan yang relevan. Dari hasil tersebut kemudian dibuat grafik korelasi antara unjuk kerja yang meliputi hubungan antara COP dengan debit air umpan, temperatur evaporator dengan debit air umpan, kapasitas pendinginan dengan debit air umpan. Dari grafik tersebut kemudian dilakukan pembahasan dan ditarik kesimpulan.

d. Tahap Akhir

Tahap akhir dalam penelitian ini adalah penyusunan laporan, yang kemudian dilanjutkan dengan penyusunan artikel ilmiah untuk jurnal atau seminar.

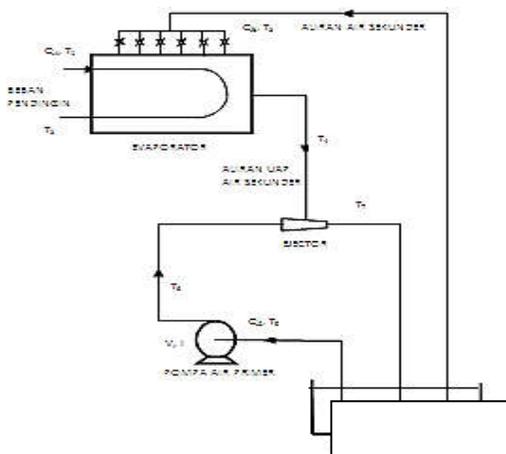
Secara garis besar, tahapan penelitian adalah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian

2. Alat Penelitian

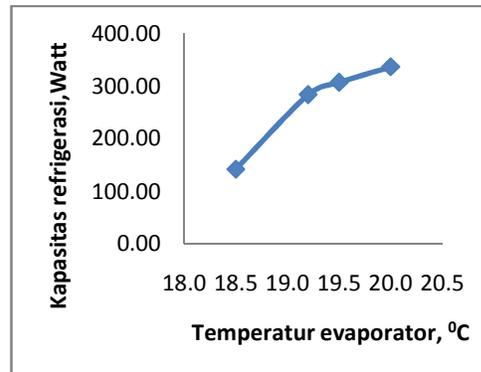
Rangkaian alat penelitian yang direncanakan, secara skematis diperlihatkan pada Gambar 2. Sistem ini merupakan sistem tertutup, yaitu bahwa fluida penggerak (*motive fluid*) diambil dari tabung yang tertutup dan fluida penggerak keluar ejector di sirkulasi kembali ke tabung.



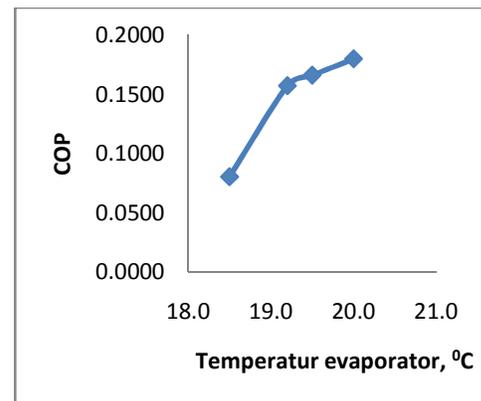
Gambar 2. Rangkaian alat penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian dan pengolahan data diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 2. Pengaruh Temperatur evaporator terhadap kapasitas refrigerasi



Gambar 3. Hubungan antara temperatur evaporator dengan COP

Refrigerasi dimaksudkan untuk mendapatkan pendinginan suatu ruangan agar temperaturnya turun hingga di bawah temperatur udara lingkungan. Dari hasil penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa sistem yang diteliti telah menunjukkan adanya fenomena refrigerasi. Hal ini ditandai dengan diperolehnya temperatur evaporator antara 18,5 °C sampai 20 °C, temperatur air beban sekitar 22,5 °C, dengan temperatur lingkungan 29 °C. Hal ini bersesuaian dengan tekanan uap air jenuh pada 2,33 kPa absolut atau sama dengan tekanan relatif (*gage*) – 74 cm Hg.

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur beban evaporator semakin tinggi pula kapasitas refrigerasi. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, antara lain kerugian pendinginan yang lebih besar pada temperatur beban yang rendah, laju penguapan refrigeran yang lebih besar pada temperatur evaporator yang lebih tinggi. Sebagai akibatnya

dari hal ini, COP juga semakin tinggi pada temperatur evaporator yang lebih tinggi.

Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa harga COP masih relatif rendah, yaitu 0,0803 pada temperatur evaporator 18,5 °C dan maksimum 0,1798 pada temperatur evaporator 20 °C. Nilai ini masih lebih rendah dari pada COP sistemrefrigerasidengan ejector yang menggunakan uap sebagai *motive fluid*, yang mampu menghasilkan COP maksimum sebesar 0,9580 (Alexis dan Rogdakis, 2002). Namun demikian masih jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan alat yang sama dengan sistem siklus terbuka, yaitu sebesar maksimum 0,017 (Abdulkadir dan Harianto, 2015).

Secara teoritis, untuk siklus refrigerasi kompresi uap air yang ideal, nilai COP dapat mencapai sekitar 16, seperti ditunjukkan pada uraian diatas, yaitu pada Gambar 3. Maka nilai COP yang dapat dicapai penelitian ini masih jauh dari yang diharapkan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Ukuran evaporator dan ejector yang terlalu kecil. Hal ini menyebabkan debit volumetris uap air yang terhisap dari evaporator oleh ejector terlalu kecil. Sedangkan uap air pada kondisi jenuh pada 20 °C memiliki volume spesifik yang sangat besar, yaitu 57,84 m³/kg. Sebagai perbandingan adalah R22, pada 20 °C memiliki volume spesifik 26, 1/kg (0,026 m³/kg). Jadi volume spesifik uap air jenuh pada 20 °C adalah 2.224,615 kali volume spesifik R22 pada temperatur dan tekanan yang sama. Hal ini berakibat debit massa uap air yang mengalir juga sangat kecil, sehingga efek refrigerasi yang dihasilkan juga sangat kecil.
2. Tekanan keluar ejector terlalu besar, yaitu 1 atm, atau sama dengan tekanan udara luar, karena dalam penelitian ini menggunakan siklus terbuka. Hal ini menyebabkan beban ejector terlalu berat, sehingga tidak mampu menghasilkan tekanan evaporator yang rendah. Dalam hal ini hanya mencapai sekitar -74 cm Hg, atau sama dengan tekanan jenuh air pada 20 °C. Akibat lain adalah kecepatan alir uap air yang mengalir ke ejector menjadi rendah.

Untuk mengatasi hal ini, pada penelitian selanjutnya akan dirancang dengan menggunakan ukuran ejector dan evaporator yang lebih besar, dan menggunakan siklus tertutup. Dengan menggunakan siklus tertutup, tekanan keluar ejector dapat diatur lebih rendah, disesuaikan dengan tekanan jenuh uap air pada temperatur air primer. Tekanan air keluar ejector, yang harganya hampir sama dengan tekanan masuk pompa, dijaga sedikit lebih tinggi dari pada uap air jenuh pada temperatur yang bersangkutan. Hal ini untuk mencegah terjadinya kavitasi pada pompa.

Misalkan pada temperatur 30 °C, tekanan uap jenuh adalah 2,27 kPa. Maka tekanan air keluar ejector dapat diambil sekitar 7 kPa. Bila tekanan uap air jenuh pada 20 °C sebesar 2,5 kPa, maka perbandingan antara tekanan keluar ejector dengan tekanan evaporator hanya sekitar 2,8. Sedangkan pada siklus terbuka, tekanan keluar kompresor adalah 1 atm atau sekitar 100 kPa. Maka perbandingan tekanan keluar ejector dengan tekanan evaporator adalah 40. Hal ini menyebabkan efisiensi ejector menjadi sangat rendah.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggantikan kompresor dengan ejector dapat terjadi proses refrigerasi siklus tertutup dengan menggunakan air sebagai refrigeran. Hal ini terbukti bahwa temperatur evaporator dapat mencapai 18,5 °C pada ukuran nosel ejector 9 mm dan maksimum 20 °C dengan ukuran nosel ejector 12 mm. Ukuran ejector yang terlalu kecil menghasilkan kapasitas refrigerasi yang sangat kecil, yaitu hanya maksimum 336,22 Watt dan COP sebesar 0,1798.

Untuk mendapatkan kapasitas refrigerasi dan COP yang lebih besar, disarankan hendaknya menggunakan yang lebih besar dan luasan penguapan evaporator yang lebih besar.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan ukuran dan model ejector yang dapat menghasilkan kapasitas pendinginan yang memadai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Kemenristek dikti, yang telah mendanai penelitian ini melalui skim dosen pemula tahun anggaran 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir dan Harianto,(2015), Studi Tentang Sistem Refrigerasi Dengan Air Sebagai Refrigeran Dan Ejector Sebagai Pengganti Kompresor, laporan penelitian, tidak dipublikasikan.
- Alexis, G.K. and Rogdakis, E.D., (2003), *A Verification Study of Steam-Ejector Refrigeration Model*, Applied Thermal Engineering 23, 29–36
- Ali Kilicarslan and Norbert Muller (2005), *A Comparative Study of Water as a Refrigerant with Some Current Refrigerants*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH, Int. J. Energy Res. 2005; 29:947–959, Published online 18 July

- 2005 in Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com). DOI:
10.1002/er.1084.
- Arismunandar, W (1981), Termodinamika Teknik,
Tabel dan Gambar, penerbit ITB, Bandung
- ASHRAE HANDBOOK (1985), Fundamental,
American Society of Heating, Refrigerating
and Air Conditioning Engineer, Inc., Atlanta,
GA 30329
- Fox, W., R., dan McDonald, A., T., *Introduction
to Fluid Mechanics, 3 rd edition* (1985), John
Wiley & Sons, Inc., Canada
- Kuhnl, J., Kinel, (2007), *New Age Water Chillers
with Water as Refrigerant*, ST Division,
Cooling and Ventilation Group, CERN,
Geneva, Switzerland.
- Kuo, M. C., (2007), H₂O Refrigerant :
Exploitation of Dispersed Water Droplet,
International Congress of Refrigeration,
Beijing.
- Riffat, S.B., dan Smith, S.,(1996), *Computational
Fluid Dynamics Applied to Ejector Heat
Pumps*, Applied Thermal Engineering Vol.
16, No 4, pp 291-297
- Shigeharu, T., *The Development of Heat Pump
Water Heater Using CO₂ Refrigerant*,
DAIKIN Industries Ltd., 1000-2 AZA-
Ohtani, Okamoto-cho, Kusatsu, Shiga 525-
8526.
- Sontag, R., E., Van Wylen, G., J., Introduction to
Thermodynamics, 2nd edition (1982), John
Wiley & Sons, Inc., New York
- Stoeker, W. F., dan Jones, J., W., 1996,
Refrigerasi dan Pengkondisian Udara,
Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Uges, P. G. H., (2006), *Air Conditioning Using
R718 (Water) as Refrigerant*, 7 th IIR Gustav
Lorentzen Convergence on Natural Working
Fluids, Trondheim, Norway.
- Piantong, K. dkk., Investigation and Improvement
of Ejector refrigeration System Using
Computational Fluid Dynamics Technique
(2007), Energy Conversion and management
48 (2007) 2556-2564.
- Rohs,(2015),*VacuumEjector*,<http://ca01.smcworld.com/catalog/New-products-en/pdf/13-e612-zh-x267.pdf>
- Schutte & Koerting, (2015), *Steam Jet
Ejectors*,http://www.s-k.com/pdf/5EH_Steam_Jet_Ejectors.pdf
- Zhang, X.J. dan Wang, R.Z. (2005), *A New
Combined Adsorption–Ejector Refrigeration
and Heating Hybrid System Powered by
Solar Energy*, Energy Conversion and
Management 46, 3117–3135.



SEMINAR NASIONAL
**REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA**

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281 Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294
Email : seminar@sttnas.ac.id, website : www.retii.sttnas.ac.id



CERTIFICATE NO. ID1001471

**BERITA ACARA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETII Ke - 11 TAHUN 2016**

Pada hari ini Sabtu, tanggal 10 bulan Desember, tahun 2016 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) Ke -11, atas:

Nama Pemakalah : M. Abdul Kadir¹, Harianto²
Judul Makalah : *Pengaruh Suhu Evaporator terhadap Kapasitas Pendinginan pada Sistem Refrigerasi dengan Air sebagai Refrigeran dan Ejektor sebagai Pengganti Kompresor*
Pukul : 13.30 – 13.45 WIB
Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Ruang : A.24
Moderator : Dr. Daru Sugati, ST. MT.
Notulen : Hasta Kuntara, ST. MT.

Susunan Acara Seminar ini dibuka oleh moderator, diikuti oleh Pemaparan Singkat Hasil Penelitian Oleh Pemakalah, Tanggapan (Pertanyaan/Kritik/Saran) dari Peserta Seminar dan Tanggapan Pemakalah, dan ditutup kembali oleh moderator.

Jumlah Peserta yang Hadir : 6 Orang (Daftar Hadir Terlampir)

Demikian Berita Acara ini dibuat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Ketua Panitia,

Dr. Ir. Sugiarto, MT.

Moderator,

Dr. Daru Sugati, ST. MT.

Pemakalah,

M. Abdul Kadir¹,
Harianto²



SEMINAR NASIONAL
REKAYASA TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMASI
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman 55281 Telp. (0274) 485390, 486986 Fax. (0274) 487294
Email : seminar@sttnas.ac.id, website : www.retii.sttnas.ac.id



CERTIFICATE NO. ID1001471

NOTULEN JALANNYA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL RETII Ke - 11 TAHUN 2016

Nama Pemakalah : M. Abdul. Kadir¹, Harianto²
Judul Makalah : *Pengaruh Suhu Evaporator terhadap Kapasitas Pendinginan pada Sistem Refrigerasi dengan Air sebagai Refrigeran dan Ejektor sebagai Pengganti Kompresor*
Pukul : 13.30 – 13.45 WIB
Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Ruang : A.24

Jalannya Acara Seminar:

1. Pembukaan oleh Moderator.
2. Paparan Singkat Hasil Penelitian oleh Pemakalah.
3. Tanggapan (Pertanyaan/Kritik/Saran) dari Peserta Seminar dan Tanggapan dari Pemakalah.

Adapun pertanyaan/kritik/saran dari Peserta Seminar terhadap Pemakalah serta tanggapan Pemakalah adalah sebagai berikut:

Pertanyaan / Kritik / Saran	Tanggapan Pemakalah
Riyanto : <i>Pemurnian temperatur air?</i>	<i>Tinggi. Sampai 18°C.</i>

4. Penutup: Oleh Moderator.

Yogyakarta, 10 Desember 2016

Ketua Panitia,

Moderator,

Pemakalah,

Dr. Ir. Sugiarto, MT.

Dr. Daru Sugati, ST. MT.

M. Abdul Kadir¹,
Harianto²