

Pengaruh Diameter Saluran Refrigeran Cair terhadap Kapasitas Sisi Udara AC Split dengan R410a

Apip Badarudin, Andriyanto Setyawan

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
apipbdr@polban.ac.id; andriyanto@polban.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh diameter pada pemipaan refrigeran cair (*liquid line*) terhadap kondisi kerja suatu mesin tata udara jenis split. Pengujian rugi tekanan pada sistem refrigerasi dilakukan melalui pengukuran tekanan dan temperatur pada sistem refrigerasi dengan refrigeran R-410a. Hasil yang diinginkan dari penelitian ini adalah kaitan antara diameter pipa pada saluran refrigeran cair dengan prestasi mesin, khususnya kapasitas pendinginan pada sisi udara. Penelitian ini menggunakan variasi saluran refrigeran cair dengan diameter 10.3 mm, 9.8 mm, dan 5.4 mm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin kecil diameter saluran cair, semakin kecil pula kapasitas pendinginan yang dihasilkan. Saluran cair dengan diameter 10.3 mm memberikan kapasitas pendinginan sebesar 2.331 kW. Sementara itu, saluran cair dengan diameter 9.8 mm dan 5.4 mm masing-masing memberikan kapasitas sebesar 2.260 kW dan 2.047 kW.

Kata Kunci: kapasitas pendinginan, kinerja mesin pendingin, R410a

1. Pendahuluan

Rugi tekanan pada pemipaan refrigeran tidak dapat dihindari. Penggunaan pipa yang berdiameter kecil cenderung akan menyebabkan rugi tekanan yang lebih besar. Green dkk. (1992) melaporkan bahwa pada beban rendah dan tekanan kondenser tinggi, kerja mesin refrigerasi akan terganggu. Motta dan Domanski (2001) melaporkan penurunan COP (coefficient of performance atau koefisien kinerja) pada saat mesin bekerja pada lingkungan bertemperatur tinggi. Penurunan kinerja mesin refrigerasi juga dipengaruhi oleh desain sistem. Pengujian dengan R22 dan R407C oleh Vaisman (1998) juga menunjukkan bahwa COP turun saat temperatur dan tekanan kondensasi tinggi.

Terjadinya rugi tekanan pada koil kondenser juga menyebabkan naiknya kerja kompresor untuk mengimbangi rugi tekanan pada kondenser (Love dkk., 2005). Karena pemipaan kondenser lebih panjang dibandingkan dengan saluran buang dan *liquid line*, maka rugi tekanan pada kondenser akan lebih besar. Hal ini masih ditambah lagi dengan adanya belokan berbentuk U yang jumlahnya bisa mencapai puluhan hingga ratusan untuk satu unit kondenser. Akibatnya, kerugian energi juga akan besar.

Rugi tekanan refrigeran pada keluaran kondenser atau saluran refrigeran cair atau *liquid line* dapat menyebabkan turunnya beda tekanan pada alat ekspansi. Akibatnya, laju aliran massa refrigeran akan turun. Karena kapasitas pendinginan sebanding dengan laju aliran massa refrigeran, maka kapasitas pendinginan juga akan menurun.

Rugi tekanan menimbulkan banyak kerugian pada suatu sistem refrigerasi. Diameter pemipaan refrigeran mempengaruhi besarnya rugi tekanan yang terjadi. Mengingat besarnya potensi kerugian yang diakibatkan oleh rugi tekanan pada pemipaan refrigeran, maka desain sistem refrigerasi ini harus dilakukan dengan baik untuk agar sesuai dengan kapasitas komponen-komponen refrigerasi yang lain. Melalui penelitian ini, pengaruh diameter saluran refrigeran cair terhadap kinerja sistem refrigerasi dapat ditentukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter pada pemipaan saluran cair pada suatu mesin pendingin terhadap kinerja pendinginan yang dihasilkan, khususnya kapasitas pendinginan dari sisi udara.

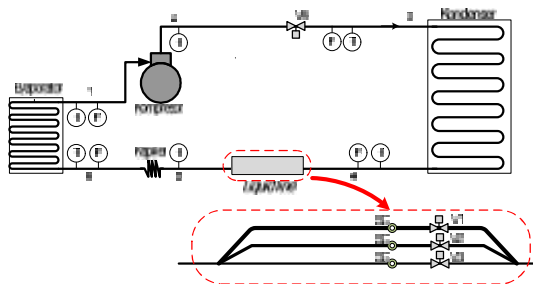
2. Metode

Mesin yang diuji adalah AC split dengan kapasitas pendinginan nominal 3.5 kW. Perangkat uji yang digunakan diberikan pada Gambar 1. Diameter pipa yang digunakan adalah 10.3 mm, 9.8 mm, dan 5.4 mm.

Peralatan ukur yang digunakan pada eksperimen berupa sensor-sensor temperatur dan tekanan. Sensor temperatur digunakan untuk mendapatkan temperatur pada titik-titik masukan dan keluaran kompresor, masukan dan keluaran kondenser, dan masukan dan keluaran evaporator. Sensor tekanan digunakan untuk mengukur tekanan pada masukan dan keluaran kompresor, kondenser,

pipa kapiler, dan evaporator. Data temperatur dan tekanan yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan hubungan antara rugi tekanan dengan kapasitas pendinginan pada evaporator dan kinerja mesin secara umum.

Alat ukur temperatur dipasang pada saluran isap kompresor, saluran buang kompresor, saluran masuk kondenser, *liquid line*, saluran *inlet* kapiler, dan *inlet* evaporator. Pada saluran isap dan buang kompresor, data temperatur digunakan menentukan kerja kompresi. Pengukuran pada saluran masuk kondenser dan keluaran kondenser digunakan untuk menentukan laju pembuangan kalor kondenser, *subcooling*, dan pembuangan kalor. Selanjutnya, temperatur pada masukan dan keluaran evaporator digunakan untuk menentukan besarnya *superheating* dan menentukan kapasitas pendinginan. Pengukuran temperatur dilakukan dengan sensor DS18B20 dengan thermokopel tipe K.



Gambar 1. Detail perangkat eksperimen dengan beberapa modifikasi untuk penelitian.

Pengukuran tekanan pada saluran masuk dan keluar kompresor digunakan untuk menentukan tekanan isap dan tekanan buang kompresor guna menentukan rasio kompresi dan menentukan titik kerja sistem refrigerasi. Pada *liquid line*, data tekanan digunakan untuk menentukan tekanan kondensasi refrigeran. Data tekanan pada saluran masuk evaporator digunakan untuk menentukan tekanan evaporasi. Rugi tekanan diukur dengan pressure gage pada saluran buang kompresor, saluran cair, dan sambungan U pada pipa kondenser. Pada saluran buang kompresor dan saluran cair, data rugi tekanan digunakan untuk mengetahui rugi tekanan pada berbagai kondisi operasi mesin.

Untuk variasi rugi tekanan pada saluran cair, diameter saluran cair diubah-ubah untuk mendapatkan nilai rugi tekanan yang berbeda-beda. Variasi rugi tekanan dilakukan dengan cara mengatur katup mana yang dibuka. Sebagai contoh, untuk rugi tekanan terkecil, katup yang dibuka adalah V1 dan untuk rugi tekanan terbesar, katup yang dibuka adalah V3 dan lainnya ditutup.

Data pengukuran temperatur, tekanan dan beda tekanan diolah untuk mendapatkan profil temperatur, tekanan, dan rugi tekanan terhadap

waktu. Kombinasi data temperatur dan tekanan digunakan untuk menghitung besaran-besaran refrigerasi seperti efek refrigerasi, kerja kompresi, *COP* (*coefficient of performance*), efisiensi refrigerasi, dan rasio efisiensi energi atau *EER* (*energy efficiency ratio*). Dari hasil perhitungan besaran-besaran tadi, selanjutnya dapat ditentukan hubungan antara rugi tekanan pada *liquid line* dengan kapasitas pendinginan mesin.

Analisis kinerja sistem refrigerasi dimulai dengan menghitung efek refrigerasi, q_e dan kerja kompresi spesifik, w , dan *COP* (Arora, 2000; ASHRAE, 2013):

$$q_e = h_{e,out} - h_{e,in} \quad (1)$$

$$w = h_{comp,out} - h_{comp,in} \quad (2)$$

$$COP = q_e / w \quad (3)$$

di mana

$h_{e,out}$, $h_{e,in}$: Entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator [kJ/kg]

$h_{comp,in}$, $h_{comp,out}$: Entalpi refrigeran keluar dan masuk kompresor [kJ/kg]

COP : Koefisien kinerja (*coefficient of performance*)

Kapasitas pendinginan dan kapasitas kompresor dihitung dengan

$$Q_e = \dot{m}(h_{e,out} - h_{e,in}) \quad (4)$$

$$W = \dot{m}(h_{comp,out} - h_{comp,in}) \quad (5)$$

di mana

Q_e : Kapasitas pendinginan [Watt]

W : Kerja kompresor [Watt]

Kapasitas dari sisi udara ditentukan dengan

$$Q_{udara} = \dot{m}(h_{udara,in} - h_{udara,out}) \quad (6)$$

di mana

Q_{udara} : Kapasitas pendinginan dari sisi udara [Watt]

$h_{udara,in}$: Entalpi udara masuk evaporator [kJ/kg]

$h_{udara,out}$: Entalpi udara keluar evaporator [kJ/kg]

3. Hasil dan Pembahasan

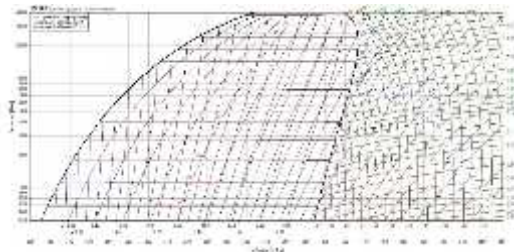
Rangkuman hasil akuisisi data dengan Sensor Temperatur DS18B20, SD card dan PLX-DAQ diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman hasil eksperimen pada tiga diameter saluran cair yang berbeda diameter.

No	Besaran	Satuan	Diameter saluran cair		
			10,3 mm	9,8 mm	5,4 mm
1.	Tekanan <i>Discharge</i>	Bar	27.5	28.1	28.6
2.	Tekanan <i>Suction</i>	Bar	9.2	10.2	10.2
3.	Tekanan <i>in Liquid Line</i>	Bar	25.6	26.9	28.3
4.	Tekanan <i>out Liquid Line</i>	Bar	27.2	28.9	29.2
5.	Temperatur <i>Discharge</i>	°C	60.2	60.8	61.7
6.	Temperatur <i>Suction</i>	°C	15.5	14.6	14.5
7.	T_{db} In Evaporator	°C	25.4	25.5	25.5
8.	T_{wb} In Evaporator	°C	22.0	22.0	22.0
9.	T_{db} Out Evaporator	°C	14.4	14.9	15.9
10.	T_{wb} Out Evaporator	°C	13.5	13.9	14.7
11.	Tegangan	Volt	220	220	220
12.	Arus	A	4.2	4.2	4.2
13.	Kec. udara out ev.	m/s	3.5	3.5	3.5
14.	Kec. udara out kond.	m/s	4.8	4.8	4.8

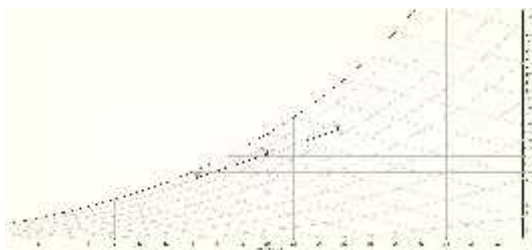
3.1. Hasil untuk diameter saluran cair 10.3 mm

Plot hasil eksperimen pada diagram tekanan entalpi untuk pipa saluran refrigeran cair berdiameter 10.3 mm diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot hasil eksperimen pada diagram tekanan-entalpi untuk pipa saluran cair berdiameter 10.3 mm.

Dari hasil pengukuran pada mesin pendingin dengan *liquid line* berdiameter 10.3 mm, pada sisi udara masuk evaporator didapatkan T_{db} 25.4°C, T_{wb} 22.0°C. Pada keluaran evaporator diperoleh T_{db} 14.5°C dan T_{wb} 13.5°C. Hasil pengujian ini selanjutnya diplot pada diagram psikrometrik sebagaimana diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Plot hasil eksperimen pada diagram psikrometrik untuk pipa saluran cair berdiameter 10.3 mm.

Plot pada diagram psikrometrik memberikan nilai entalpi udara masuk evaporator, entalpi udara keluar evaporator, dan volume spesifik masing-masing

$$\begin{aligned} h_{in, evap} & : 64,5 \text{ kJ/kg} \\ h_{out, evap} & : 38,3 \text{ kJ/kg} \\ \text{Volume spesifik} & : 0,845 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Dari data ini selanjutnya dapat dihitung kapasitas pendinginan dari sisi udara dengan menggunakan persamaan 6.

$$Q_{udara} = \dot{m}(h_{udara, in} - h_{udara, out})$$

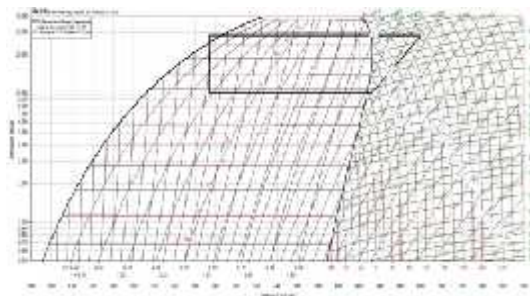
$$Q_{udara} = \frac{\text{luas bukaan} \times \text{kec. udara}}{\text{Vol. spesifik}} (h_{udara, in} - h_{udara, out})$$

$$Q_{udara} = \frac{(0.03 \times 0.71) \times 3.5}{0.845} (64.5 - 38.3)$$

$$Q_{udara} = 2.331 \text{ kW}$$

3.2. Hasil untuk diameter saluran cair 9.8 mm

Plot hasil eksperimen pada diagram tekanan entalpi untuk pipa saluran refrigeran cair berdiameter 9.8 mm diberikan pada Gambar 4. Hasil ini kelihatan mirip dengan hasil sebelumnya untuk diameter saluran cair 10.3 mm. COP yang dihasilkan pada eksperimen ini besarnya 3.30, sama dengan hasil sebelumnya.



Gambar 4. Plot hasil eksperimen pada diagram tekanan-entalpi untuk pipa saluran cair berdiameter 9.8 mm.

Pengujian pada sisi udara memberikan hasil sebagai berikut:

Sisi udara masuk evaporator:

$$\begin{aligned} T_{db} & : 25.5^\circ\text{C} \\ T_{wb} & : 22.0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sisi keluaran evaporator:

$$\begin{aligned} T_{db} & : 14.6^\circ\text{C} \\ T_{wb} & : 13.8^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Plot hasil pengukuran pada diagram psikrometrik diberikan pada Gambar 5. Dari hasil plot ini diperoleh nilai entalpi udara:

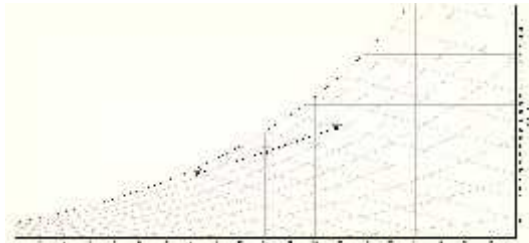
$$\begin{aligned} h_{in, evap} &: 64,5 \text{ kJ/kg} \\ h_{out, evap} &: 38,8 \text{ kJ/kg} \\ \text{Volume spesifik} &: 0,845 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Dari hasil ini diperoleh kapasitas dari sisi udara sebesar

$$Q_{udara} = \frac{\text{luas bukaan} \times \text{kec. udara}}{\text{Vol. spesifik}} (h_{udara, in} - h_{udara, out})$$

$$Q_{udara} = \frac{(0.03 \times 0.71) \times 3.5}{0.845} (64.5 - 38.8)$$

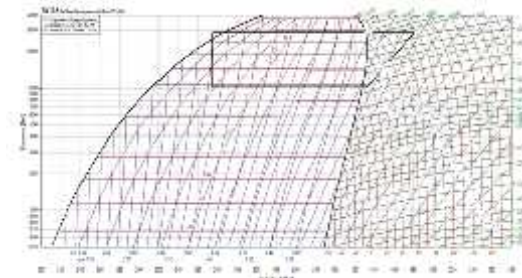
$$Q_{udara} = 2.260 \text{ kW}$$



Gambar 5. Plot hasil eksperimen pada diagram psikrometrik untuk pipa saluran cair berdiameter 9.8 mm.

3.3. Hasil untuk diameter saluran cair 5.4 mm

Plot hasil eksperimen dengan diameter saluran cair 5.4 mm pada diagram tekanan entalpi diberikan pada Gambar 6. Hasil eksperimen ini memberikan nilai COP sebesar 3.24, lebih rendah dibandingkan eksperimen-eksperimen sebelumnya.



Gambar 6. Plot hasil eksperimen pada diagram tekanan entalpi untuk pipa saluran cair berdiameter 4.4 mm.

Pengujian pada sisi udara memberikan hasil sebagai berikut:

Sisi udara masuk evaporator:

$$\begin{aligned} T_{db} &: 25.4^\circ\text{C} \\ T_{wb} &: 22.0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sisi keluaran evaporator:

$$\begin{aligned} T_{db} &: 15.9^\circ\text{C} \\ T_{wb} &: 14.7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Plot hasil pengukuran pada diagram psikrometrik diberikan pada Gambar 7. Dari hasil plot ini diperoleh nilai entalpi udara:

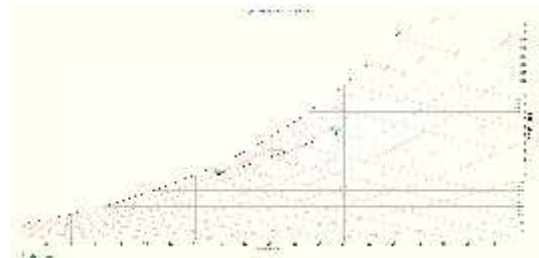
$$\begin{aligned} h_{in, evap} &: 64,5 \text{ kJ/kg} \\ h_{out, evap} &: 39,1 \text{ kJ/kg} \\ \text{Volume spesifik} &: 0,845 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Dari hasil ini diperoleh kapasitas dari sisi udara sebesar

$$Q_{udara} = \frac{\text{luas bukaan} \times \text{kec. udara}}{\text{Vol. spesifik}} (h_{udara, in} - h_{udara, out})$$

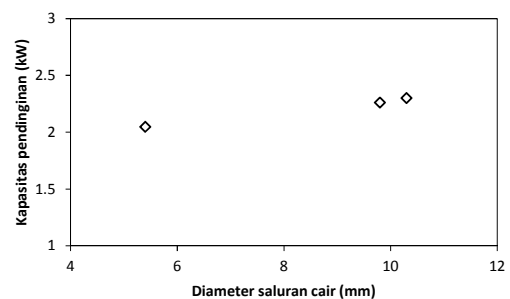
$$Q_{udara} = \frac{(0.03 \times 0.71) \times 3.5}{0.845} (64.5 - 41.2)$$

$$Q_{udara} = 2.047 \text{ kW}$$



Gambar 7. Plot hasil eksperimen pada diagram psikrometrik untuk pipa saluran cair berdiameter 5.4 mm.

Dari hasil ini terlihat bahwa semakin kecil diameter saluran cair, maka semakin kecil pula kapasitas pendinginan mesin dari sisi udara. Gambar 8 menunjukkan variasi kapasitas pendinginan sebagai fungsi dari diameter saluran cair.



Gambar 8. Variasi kapasitas pendinginan sebagai fungsi diameter saluran cair.

4. Kesimpulan

Eksperimen pengaruh diameter saluran cair terhadap kapasitas pendinginan dari sisi udara suatu mesin tata udara dengan R410a telah dilakukan. Pada diameter saluran cair 10.3 mm diperoleh kapasitas pendinginan dari sisi udara sebesar 2.331 kW. Pada diameter saluran cair 9.8 mm dan 5.4 mm, masing-masing diperoleh kapasitas pendinginan sebesar 2.260 kW dan 2.047 kW. Dengan demikian, semakin kecil

ukuran saluran cair, semakin kecil pula kapasitas pendinginan yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan untuk pembiayaan pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arora, CP, Refrigeration and Air Conditioning, 3ed., Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi, 2000
- ASHRAE, ASHRAE Handbook of Fundamental, American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers, Atlanta, 2013.
- Green, R. H., Technology, E. A. Vinnicombe, O. A., and Ibrahim, G. A., Refrigeration Control with Varying Condensing Pressures (1992). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 192
- Love, R. J., D. J. Cleland, I. Merts, B. Eaton (2005). Optimum compressor discharge pressure set point for condensers. Ecolibrium Forum, Centre for Postharvest and Refrigeration Research, Massey University, Palmerston North.
- Motta, S.Y, Domanski, P.A. (2001). Impact of elevated ambient temperature on capacity and energy input to a vapor compression system – Literature Review. Report for ARTI 21-CR Research Project.
- Pita, Edward G., Air Conditioning Principles and Systems: an Energy Approach, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- Vaisman, I. B., Computational Comparison of R22 and R407C Air Conditioners with Rotary Vane Compressors (1998). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 382.



BERITA ACARA
KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

Nama Pemakalah : Apip Badarudin¹, Andriyanto Setyawan²
Judul Makalah : PENGARUH DIAMETER SALURAN REFRIGERAN CAIR TERHADAP KAPASITAS SISI UDARA AC SPLIT DENGAN R410A
Pukul : 10.15 - 10.30
Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
Ruang : D.11
Moderator : Dr. Ratna Kartikasari, S.T., M.T.
Notulen : Sigit Budi Hartono, S.T., M.T.

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 : _____ orang (Daftar Hadir Terlampir)

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

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
 Dr. Ir. Sugiarto, MT	 Dr. Ratna Kartikasari, S.T., M.T.	 Apip Badarudin ¹ , Andriyanto Setyawan ²





NOTULEN KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

- Nama Pemakalah : Apip Badarudin¹, Andriyanto Setyawan²
- Judul Makalah : PENGARUH DIAMETER SALURAN REFRIGERAN CAIR TERHADAP KAPASITAS SISI UDARA AC SPLIT DENGAN R410A
- Pukul : 10.15 - 10.30
- Bertempat di : STTNAS Yogyakarta
- Dengan alamat : Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
- Ruang : D.11

Pertanyaan/Kritik/Saran	Tanggapan Pemakalah
<p>1. Kenapa diameternya yg di- catuhun dipunhui/ ? (Bak catot suwoto).</p>	<p>1. - sesuai ekonomis. dan co- uli (ter ekonomis) kali di- amiter berm the ekonomis. - Prugi & tekana kemati, berm mengurangi perfor- mannya.</p>

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
 Dr. Ir. Sugiarto, MT	 Dr. Ratna Kartikasari, S.T., M.T.	 Apip Badarudin ¹ , Andriyanto Setyawan ²