



# **PROSIDING A**

# **SEMINAR NASIONAL**

**TEKNIK MESIN 2016 POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**PENGUATAN TEKNOLOGI MANUFAKTUR,  
REKAYASA MATERIAL, DAN KONVERSI ENERGI  
DALAM MENGHADAPI MASYARAKAT EKONOMI ASEAN**

**Rabu, 20 Juli 2016**

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT atas segala nikmat dan karuniaNya.

Syukur alhamdulillah dapat dilaksanakan seminar Teknik Mesin 2016 yang bertema PENGUATAN TEKNOLOGI MANUAKTUR, REKAYASA MATERIAL, DAN KONVERSI ENERGI DALAM MENGHADAPI MASYARAKAT EKONOMI ASEAN. Dengan program ini Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta bersama akademisi, peneliti, dan praktisi industri berusaha mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi terapan dengan berbagi pengetahuan, pengalaman penelitian, dan perancangan produk untuk penguatan kemampuan teknologi dalam menghadapi era Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) yang sudah di depan mata. Program ini juga ditujukan untuk memperbaharui pengetahuan, jejaring akademis, dan kompetensi peneliti, perancang, dan para mahasiswa Teknik Mesin.

Seminar ini melibatkan banyak pihak yang dipandang mempunyai kemampuan yang dapat mewakili peran sebagai akademisi, peneliti, praktisi industri dan pengusaha sehingga diharapkan bisa menjadi inspirasi dan motivasi bagi pengembangan kemampuan teknologi dalam menghadapi MEA. Hal ini merupakan tantangan yang harus dihadapi agar tidak menjadi bangsa yang kalah di negeri sendiri. Hasil seminar Nasional diharapkan dapat memberikan sumbangan nyata bagi penguasaan teknologi permesinan nasional

Hasil seminar ini berupa artikel yang disusun dalam Prosiding yang memuat semua tulisan berupa pemikiran dan perancangan para civitas akademik, baik dosen, peneliti, mahasiswa maupun praktisi industri. Tulisan-tulisan dalam Prosiding ini diharapkan menjadi jawaban dan menumbuhkan inspirasi, ide dan konsep yang menjawab tantangan di atas.

Prosiding ini disusun dalam 2 kategori: Prosiding A dan Prosiding B. Prosiding A memuat tulisan dengan kualitas yang lebih baik dibanding dengan Prosiding B. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa tulisan-tulisan tersebut merupakan hasil pemikiran yang bagus, hanya saja masih perlu peningkatan dalam penulisannya. Selain itu, judul atau tulisan-tulisan tersebut dapat menjadi inspirasi tumbuhnya ide atau konsep baru yang lebih baik.

Panitia Seminar Nasional Teknik Mesin 2016 pada kesempatan ini menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Prof. Dr. Ir. Erry Yulian T. Adesta CEng. MIMechE. Deputy Dean (Postgraduate and Research) IIUM, International Islamic University Malaysia.
- Ir Richard Budihadianto, Ketua Umum IAMSAs Indonesian Aircraft Maintenance And Services Association
- Ir Nicke Wydiawati, Direktur Perencanaan PT PLN (Persero)

yang telah bersedia menjadi pembicara utama dan berbagi pengetahuan dalam seminar ini.

Panitia menyampaikan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada

- para sponsor : PT Badak LNG dan PT Holcim Indonesia
- para undangan, pemakalah dan para tamu, baik sebagai dosen, peneliti, praktisi industri, dan mahasiswa yang telah ikut hadir berpartisipasi dalam seminar ini.
- seluruh anggota panitia dan semua pihak yang mendukung terlaksananya seminar ini.

Panitia menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dalam pelayanan dan pelaksanaan seminar ini.

Semoga seminar ini akan menjadi kegiatan tahunan yang akan melibatkan lebih banyak lagi pihak-pihak yang kompeten dalam bidang teknologi yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta mengharapkan seminar ini dapat dilanjutkan dalam bentuk kerja sama yang lebih konkrit antara peneliti dan praktisi industri dalam bidang penelitian terapan di masa yang akan datang.

Depok, 20 Juli 2016  
Ketua Panitia

Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng(Hons)

**SUSUNAN PANITIA**

<b>Penasihat</b>	:	Direktur Politeknik Negeri Jakarta Pembantu Direktur I
<b>Penanggung Jawab</b>	:	Ketua Jurusan Teknik Mesin
<b>Ketua Pelaksana</b>	:	Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng. (Hons)
<b>Wakil Ketua</b>	:	Adi Syuriadi, M.T.
<b>Koordinator Kesekretariatan, Publikasi, Reviewing dan Proceeding</b>	:	Drs. Moch. Sholeh, M.T.
<b>Anggota</b>	:	Hasnah Syarif, S.T. Nuke Amanda, A.Md.
<b>Seksi Publikasi</b>	:	Haolia Rahman, M.T. Gun Gun R. Gunadi, M.T.
<b>Seksi Proceeding</b>	:	Gun Gun R. Gunadi, M.T.
<b>Seksi Reviewing</b>	:	Candra Damis, M.T.
<b>Bendahara dan Sponsorship</b>	:	Dewin Purnama, M.T. Fuad Zainuri, M.T.
<b>Anggota</b>	:	Nuryanti
<b>Koordinator Seksi Acara, Perlengkapan, Konsumsi dan Keamanan</b>	:	Dra. Indriyani Rebet, M.Si.
<b>Seksi Acara</b>	:	Drs. Sugeng Mulyono, M.Kom. Hamdi, M.Kom.
<b>Seksi Perlengkapan</b>	:	Asep Apriana, M.T. Amril Slamet Supriyadi
<b>Seksi Konsumsi</b>	:	Dra. Arieke Sulistyowati, M.Kom RR. Estuti Budimulyani, M.Si. Dra. Wardah Hanafiah, M.Pd. Supriyatna Baihaqi
<b>Reviewer</b>	:	Prof. Dr. Ir. Johny Wahyudi Soedarsono, DEA. Dr. Totok Prasetyo, B.Eng. M.T. Dr-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. Dr. Sugeng Ariyono Dr. M. Sjahrul Annas Rosyida Permatasari, Ph.D. Ir. Syamsul Hadi, M.T., Ph.D. Dr. Ir. Bambang Sugiyono Agus Purwono, M.Sc. Dr. Carolus Bintoro Dr. Drs. Agus Edi Pramono, S.T., M.T. Dr. Dianta Mustafa Kamal, M.T. Dr. Vika Rizkia, M.T. Mera Kartika, M.T. Ir. Benhur Nainggolan, M.T. Rachmat Subarkah, M.T. Haolia Rahman, M.T.

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b>	
<b>Kata Pengantar</b> .....	i
<b>Susunan Panitia</b> .....	iii
<b>Daftar Isi</b> .....	iv
<b>Bidang Manufaktur dan Proses Produksi, Perancangan Produk, dan Material</b>	
Model Economic Order Quantity untuk Barang yang Tidak Sempurna dengan Perbaikan dan Tingkat Permintaan Stokastik .....	1
Rancang Bangun Electrical Wiring pada Panel Tripper Limestone 242-TR1 Sesuai Holcim Standard Design Criteria .....	17
Modifikasi Basic Position Encoder untuk Optimalisasi Kiln Temperature Scanner .....	27
Analisa Geometrik pada Mesin Perkakas Milling Vertikal .....	39
Desain Model Cyclone untuk Analisa Penurunan Pressure Drop .....	51
Rancangan Upgrade Program PLC CF dan Low Kiln Feed pada Sistem PT Holcim Indonesia..	59
Modifikasi Flange Sensor Back End Temperature (BET) untuk Pengurangan Frekuensi Rusaknya Sensor .....	67
Rancangan Slat Chain Conveyor Pengangkut Paper Roll Kapasitas 4 Ton .....	73
Modifikasi Dudukan Sensor Speed Switch pada 211-MD-3 Dan 211-MD-4 untuk Optimalisasikinerja Roller Crusher .....	83
Smart-Port (Smart AC Portable) dengan Dual Power Source In High Efficiency .....	89
Modifikasi Panelview untuk Pengurangan Terjadinya Shutdown Palletizer .....	97
<b>Bidang Konversi Energi dan Perawatan dan Perbaikan</b>	
Analisis Efektivitas Heat Exchanger Tipe Plat di PLTP Unit IV Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang .....	107
Karakteristik Pendinginan pada Heat Sink Menggunakan Synthetic Jet dengan Fungsi Gelombang Triangle .....	115
Rekondisi Rumah Bearing untuk Mengatasi Kebocoran Oli pada Reducer Harrow Reclaimer Limestone .....	125
Analisis Kerusakan pada Forklift dengan Metode Diagram Tulang Ikan di PT. XYZ .....	135
Analisa Kerusakan Sistem Kelistrikan pada Forklift di PT Hyundai Indonesia Motor .....	143
Condition Based Maintenance (CBM) Menggunakan Teknik Analisis Spektrum Vibrasi untuk Meningkatkan Keandalan Mesin .....	149
Analisa Kelayakan Mesin Milling F3 dengan Pengujian Ketelitian Geometrik .....	159

**BIDANG MANUFaktur DAN PROSES PRODUKSI, PERANCANGAN PRODUK, DAN  
MATERIAL**

## KARAKTERISTIK PENDINGINAN PADA *HEAT SINK* MENGGUNAKAN *SYNTHETIC JET* DENGAN FUNGSI GELOMBANG *TRIANGLE*

Damora Rhakasywi<sup>1</sup>, Djoni Rustino<sup>2</sup>, Edward<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila,  
Kampus Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia  
damora@univpancasila.ac.id, djonirustino@yahoo.com

### Abstrak

Kebutuhan akan sistem pendinginan pada masa kini sangat penting terkait meningkatnya beban panas pada saat beroperasi selama 24 jam, serta perkembangan piranti elektronik yang berukuran minimalis sehingga diperlukan alternative baru dalam sistem pendinginan tersebut. Sistem pendinginan konvensional berbasis fan telah mencapai batas efisiensinya dan dibutuhkan teknik pendinginan baru. *Synthetic jet* merupakan sistem pendinginan baru berdasar input massa netto nol tetapi momentum tidak nol. Dalam penelitian ini sebuah *synthetic jet* impinging digetarkan dengan fungsi gelombang *triangle*. Pada penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan yaitu komputasional dan eksperimental. Tahapan komputasional bertujuan untuk melihat distribusi aliran panas *synthetic jet*. Tahapan eksperimental bertujuan untuk mendapatkan karakterisasi pendinginan menggunakan *synthetic jet*. Pada tahap komputasional penelitian ini menggunakan software CFD Fluent dengan model turbulensi  $k-\omega$  SST dengan elemen meshing Tet/Hybrid tipe Tgrid, sedangkan pada tahap eksperimental menggunakan function generator untuk menggerakkan membran dengan tiga variasi frekuensi osilasi yaitu 80 hz, 120 hz, dan 160 hz dengan nilai amplitude tetap 2 mm. Hasil eksperimen menunjukkan adanya pengaruh gelombang dan frekuensi osilasi terhadap laju perpindahan panas yang terjadi dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 268.5 W/m<sup>2</sup>K. Laju perpindahan panas atau proses pendinginan terbaik terjadi pada frekuensi osilasi yang lebih rendah dalam penelitian ini pada frekuensi 80 hz.

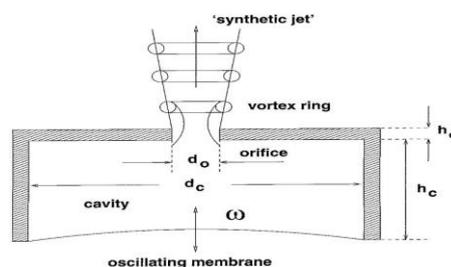
**Kata Kunci :** Gelombang Triangle, Synthetic Jet, Model turbulensi  $k-\omega$  SST

### 1. PENDAHULUAN

Berbagai peralatan elektronik seperti laptop, netbook, PC, handphone, dan lain-lainnya berkembang semakin canggih. Seiring dengan tantangan efisiensi kinerja alat, maka diperlukan suatu sistem pendingin baru yang mampu menunjang hal tersebut, salah satu yang dikembangkan dalam hal ini sistem pendinginan elektronik (cooling devices) menggunakan teknologi *synthetic jet*.

Sistem pendinginan elektronik konvensional dengan konveksi paksa menggunakan kipas semakin tidak memadai, hal tersebut menimbulkan sistem pendinginan baru yang mampu menghasilkan efek pendinginan lebih baik dan efektif dengan konsumsi daya yang lebih rendah dari kipas. Sistem pendinginan baru yang cukup baik adalah sistem pendinginan berbasis efek aliran jet, atau disebut dengan *synthetic jet*.

*Synthetic jet* merupakan suatu bentuk aliran fluida berupa rangkaian cincin vortex yang terbentuk karena adanya pergerakan periodik dari membran di suatu cavity. Prinsip kerja *synthetic jet* tersebut berupa input massa netto nol tetapi menghasilkan output momentum netto tidak nol. Secara visual *synthetic jet* digambarkan seperti pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Sketsa dari *synthetic jet* yang terbentuk karena adanya pergerakan diafragma dalam cavity (Sumber: Clemens, 2008)

Secara garis besar *synthetic jet* terbentuk sebagai berikut Jagannatha dkk. (2007) dan Zhang & Tan (2007), di dalam cavity terdapat suatu diafragma atau membran. Membran tersebut akan digerakkan secara periodik dan membentuk getaran sehingga udara didalam cavity ikut bergerak. Fluida udara

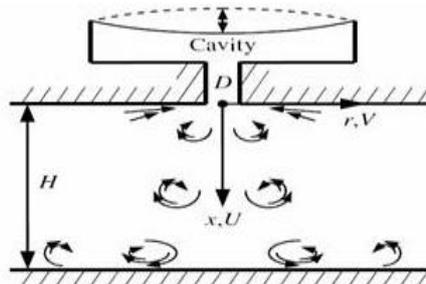
didalam cavity dipaksa bergerak melewati dua fase yaitu fase hisap (suction) dan fase tiup (blowing). Pada sisi keluar orifis terjadi separasi aliran dari fluida udara karena adanya fase tersebut dan membentuk pasangan cincin vortex. Pasangan cincin vortex ini terbentuk karena separasi aliran akibat amplitude getaran membran yang cukup besar yang membentuk lapisan geser (shear layer) antara fluida keluar orifis dengan fluida udara disekitar. Cincin-cincin vortex ini dipergunakan untuk menghasilkan efek perpindahan panas konvektif kontrol aliran termal yang lebih baik terhadap suatu heat sink.

Pada sistem pendingin kipas kebutuhan suplai udara dipenuhi dengan mengalirkan fluida udara dari satu tempat ke tempat lainnya. Sistem synthetic jet menawarkan keuntungan utama yaitu hanya menggunakan udara yang sama yang terus diputar oleh sistem tersebut (Sharma, 2007). Selain itu mengacu pada besarnya panas yang dibuang terhadap besarnya volume aliran maka kipas dinilai kurang efisien (Mahalingam dkk, 2006). Keuntungan lain dari sistem pendinginan menggunakan synthetic jet dibanding kipas untuk performa heat transfer yang sama, antara lain (Lasance & Aarts, 2008) :

- Tingkat kebisingan yang jauh lebih rendah
- Kebutuhan daya hanya setengahnya atau kurang
- Memiliki form factor yang jauh lebih baik sehingga bersifat “design-friendly”
- Problem fouling yang lebih rendah, komponen bergerak dapat dilindungi dari lingkungan (ambient)
- Miniaturisasi produk lebih mudah dibanding kipas

Pada synthetic jet terutama impinging memiliki kelemahan utama pada fluida udara yang dihisap kembali pada fase suction. Jika udara yang dibuang pada fase pembuangan kalor memiliki udara panas dan dihisap kembali ke dalam cavity maka akan timbul akumulasi panas dalam cavity synthetic jet (Tesar, 2005).

Pada penelitian ini menggunakan model synthetic jet impinging, model tersebut digambarkan seperti pada gambar 1.2



Gambar 1.2 Model *Impinging jet*

(Sumber: Persoons, O'Donovan&B.Murray,2008)

Model impinging jet mengarahkan vortex untuk menumbuk dinding kemudian vortex berjalan sepanjang dinding. Terdapat tiga variabel utama yang mempengaruhi perpindahan kalor pada synthetic jet impinging yaitu frekuensi eksitasi, panjang langkah dan ketinggian orifis terhadap permukaan bidang panas.

Pengetahuan mengenai synthetic jet sebenarnya masih sangat terbatas. Penelitian mengenai synthetic jet seperti perbandingan bilangan Nusselt pada synthetic jet dengan menggunakan gelombang sinusoidal dan non- sinusoidal untuk melihat koefisien heat transfer gelombang menunjukkan hasil 5 – 10% lebih baik untuk gelombang non-sinusoidal (King & Jagannatha, 2009).

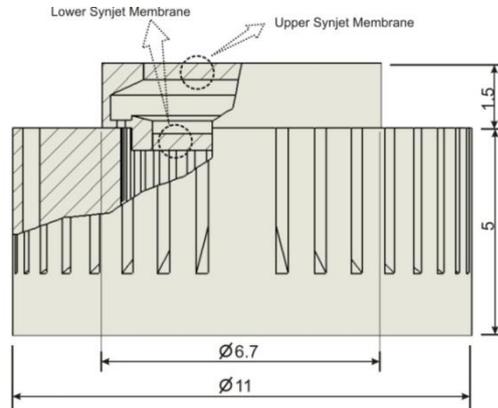
King dan Jagannatha telah menunjukkan bahwa penelitian mengenai synthetic jet menggunakan gelombang non-sinusoidal masih sangat kurang padahal penggunaan gelombang non-sinusoidal untuk synthetic jet menunjukkan koefisien heat transfer yang cukup baik.

Sehingga pada penelitian ini mencoba mengkarakterisasi eksitasi menggunakan fungsi gelombang triangle. Pada awalnya synthetic jet digunakan dalam bidang aerodinamika untuk memodifikasi lapisan batas agar dapat mengurangi drag atau gaya hambat. Kemudian synthetic jet ini dipakai dalam bidang perpindahan kalor untuk kontrol aliran termal konveksi.

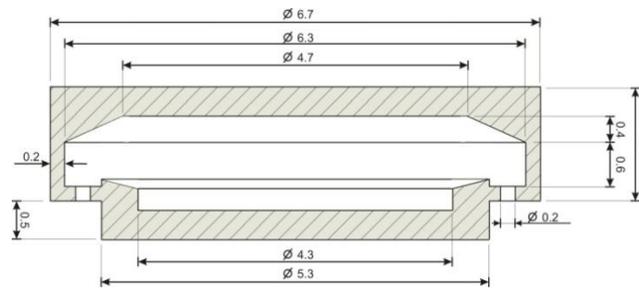
## 2. MODEL SYNTHETIC JET

### 2.1 Tata Letak

Synthetic jet yang ingin diuji membutuhkan rancangan prototype synthetic jet. Oleh karena itu perlu dibuat suatu model uji yang mampu menghasilkan aliran synthetic jet yang menghasilkan heat transfer coefficient yang baik. Rancangan model uji synthetic jet yang dibuat dan dipakai dalam eksperimen digambarkan dalam gambar 2.1 dan 2.2. Gambar 2.1 memperlihatkan detail model fisik susunan model synthetic jet dengan heat sink. Gambar 2.2 memperlihatkan aktuator synthetic jet secara detail. Aktuator synthetic jet diproduksi dengan material nilon.



Gambar 2.1 Susunan aktuator *synthetic jet* dengan *heat sink* (satuan cm)



Gambar 2.2 Detail aktuator *synthetic jet*

(satuan cm)

Untuk menjamin keseragaman format, makalah hendaknya mempunyai margin sebagai berikut:

- Margin atas sebesar 2 cm
- Margin kiri dan kanan berturut-turut adalah 2,5 dan 1,5cm.
- Margin bawah 2 cm, harus bebas dari tulisan, kecuali nomor halaman (bagian kanan bawah). Bagian terbawah catatan kaki (jika ada) harus diatas margin bawah.

### 2.2 Huruf dan Spasi

Badan makalah dicetak satu spasi dengan huruf Times New Romans 11 poin dengan spasi satu. Judul makalah dicetak tebal dengan Times New Romans 14 poin, nama dan afiliasi penulis ditulis dengan huruf Times New Romans 11 poin, dan abstrak (abstract) dicetak miring dengan huruf Times New Romans 10 poin.

Judul bagian : judul bagian dicetak tebal dengan huruf besar, dan diberi nomor.

Judul sub bagian : judul sub bagian dicetak tebal dengan gabungan huruf besar dan kecil.

### 2.3 Bahasa, Satuan dan Persamaan

Bahasa yang digunakan adalah Bahasa Indonesia yang baik dan benar atau Bahasa Inggris.

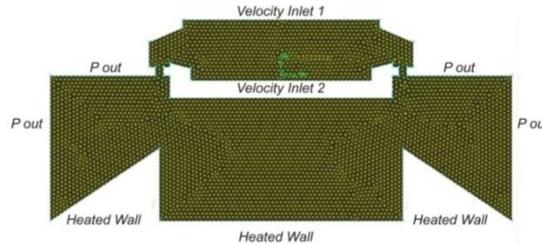
Penggunaan singkatan atau tanda-tanda mengikuti aturan nasional atau internasional. Satuan yang digunakan hendaknya mengikuti Sistem Satuan Internasional (SI).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Komputasional

Tahap komputasional merupakan tahapan untuk mendapatkan aliran fluida dan pola bidang termal dari *impinging synthetic jet* secara visual.

Tahap komputasional dimulai dengan proses pemodelan model *synthetic jet* yang telah di *meshing* menggunakan *software* Gambit (*Computational Fluid Dynamics/CFD*). Model komputasi dan *meshing* dari prototipe *synthetic jet* ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 *Boundary condition* komputasi *synthetic jet*

Model komputasi *synthetic jet* pada gambar 3.1 dipergunakan dalam analisis daerah aliran termal pada *synthetic jet* dengan menggunakan model matematika (model turbulensi) *k-ω SST (Shear Stress Transport)*. Model turbulensi ini digunakan karena mampu memprediksi daerah aliran dekat dinding dengan baik dan pada aliran *freestream*. Daerah kerja fluida udara diasumsikan bersifat *isothermal* dan *compressible* (mampu mampat). Suhu lingkungan diasumsikan 30 °C dan suhu bagian bawah dinding yang dipanaskan dibuat konstan pada suhu 60 °C. Dinding batas pada kedua sisi aktuator diasumsikan gerakan periodik membran yang berosilasi bergerak naik dan turun, dalam hal ini menggunakan UDF (*user define function*). Kondisi komputasi secara detail dijelaskan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Kondisi Komputasi

Computation Condition		
<i>Model settings</i>		
	2D, unsteady	
<i>Fluid</i>		
	Air	
<i>Fluid Properties</i>	<i>Density</i>	1.225 kg/m <sup>3</sup>
	<i>Viscosity</i>	1.7894 e <sup>-05</sup> kg/ms
	<i>Cp</i>	1006.43 J/kg-k
	<i>Thermal Conductivity</i>	0.0242 w/m-k
<i>Boundary condition</i>	<i>Velocity inlet 1,2</i>	UDF
	<i>Pressure outlet</i>	0 Pascal
	<i>Heater</i>	60 °C
	<i>Frekuensi</i>	80 hz, 120 hz, and 160 hz
	<i>Amplitude</i>	2 mm

UDF akan mendefinisikan pergerakan model membran sesuai dengan fungsi masukan yang diinginkan. Penentuan kondisi batas dengan fungsi masukan diperlukan untuk men-definisi gerakan dinding batas membran.

Pada kondisi awal (t=0), posisi membran diasumsikan berada pada bagian bawah cavity. Gerakan membran diasumsikan sama dengan gerakan piston di dalam sebuah silinder, dimana model persamaan untuk fungsi gelombang triangle

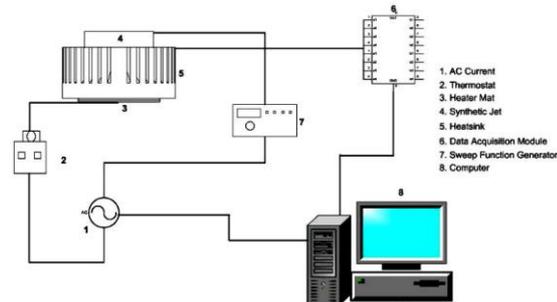
yaitu :

$$V = V_0 + \left\{ \frac{8}{\pi^2} \sum_{A=0,1,2,\dots}^{\infty} (-1)^A \frac{\sin\{(2A+1)2\pi ft\}}{(2A+1)^2} \right\}$$

dimana  $A$  merupakan *amplitude* maksimum yang terbentuk akibat gerakan membran di dalam *cavity* dan  $t$  adalah waktu eksperimen.

### 3.2 Tahap eksperimen

Tahap eksperimen merupakan tahapan untuk mengukur suhu pada *heatsink* dengan menggunakan *data acquisition module*. Susunan sistem eksperimen penelitian digambarkan pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Experimental Setup

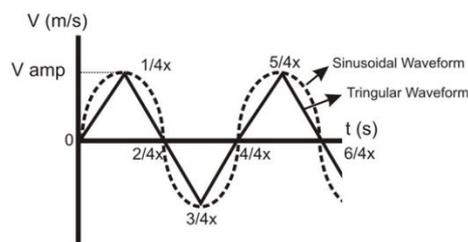
### 3.3 Pengambilan data

Proses pengambilan data eksperimen dilakukan dengan mengukur suhu pada *heatsink* di satu titik bagian atas *fin* dari *heatsink* dengan menggunakan alat *data acquisition module* yang terhubung komputer dengan tingkat akurasi pengukuran  $\pm 0.05$  °C. Sebelum eksperimen dilakukan, *heatsink* dipanaskan dengan sumber panas. Sumber panas yaitu berupa *heatermat* ditempatkan pada dasar *heatsink* dengan suhu 60 °C yang dikontrol menggunakan *thermostat* dan pengukuran dilakukan pada suhu lingkungan 30 °C. Kemudian dilakukan pengaturan sinyal elektrik gelombang *triangle* menggunakan *sweep function generator* beserta pengaturan frekuensi gelombang pada variasi gelombang 80 hz, 120 hz dan 160 hz. Pengambilan data dilakukan selama 2 jam dengan interval data per 1 detik pada setiap gelombang (80 hz, 120 hz, dan 160 hz).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Komputasi Countour Suction dan Blowing

Countour suction dan blowing dipergunakan untuk menunjukkan gerakan aliran yang terjadi di dalam sistem heat sink synthetic jet dalam dua fase. Dalam satu fase gelombang



Gambar 4.1 Skema Bentuk Gelombang

Pada gelombang *triangle* bentuk *Countour suction* dan *blowing* ditunjukkan pada tiap kedudukan waktu pada menit ke-0, 10, dan 120.

*Countour* vortisitas pada kondisi *suction* dan *blowing* pada gambar 4.2 memperlihatkan distribusi dan gerak vortisitas dalam satu fasa. Pada menit ke-0, fase  $1/4$  memperlihatkan aliran *blowing* yang ditandai dengan besarnya vortisitas pada sisi keluar membran. Pada fase  $2/4$  vortisitas yang keluar melemah karena masih berada pada waktu awal. Pada fase  $3/4$  mulai terbentuk vortisitas yang kuat pada sisi dalam *cavity* membran. Hal ini disebabkan karena membran berada pada fasa peralihan dari *blowing* ke *suction*. Pada fase  $4/4$  memperlihatkan vortisitas yang kuat dalam *cavity* membran karena berada dalam fasa *suction*. Pada menit ke-10 dan 120 terlihat vortisitas yang kuat terbentuk pada sisi dalam *cavity* membran. Pada menit ke-10 terjadi fasa *blowing* dari  $1/4$  ke  $3/4$  tetapi tidak terlalu terlihat kuat karena

visualisasi penggambaran *countour* pada sisi dalam membran yang masih kuat. Pada menit ke-120 terlihat *countour* vortisitas *blowing* yang kuat dari 1/4 sampai ke 3/4 dan *suction* pada 4/4.

Gambar 4.3 memperlihatkan *Countour* kecepatan pada kondisi *suction* dan *blowing* dalam satu fasa gelombang *triangle*. *Countour* kecepatan juga memperlihatkan hubungan antara *countour* vortisitas dan kecepatan yang linear. Apabila *countour* kecepatan dan vortisitas dibandingkan terlihat bahwa *countour* yang terbentuk antara keduanya hampir sama. Semakin tinggi kecepatannya, semakin kuat pula vortisitas yang terbentuk.

Pada gambar 4.4 memperlihatkan *countour* temperatur pada sistem saat mengalami *suction* dan *discharge*. Terlihat pada menit ke-0 belum ada pengaruh fase *suction* dan *discharge* pada aliran karena baru mulai terjadi efek konduksi. Pada menit 10 terlihat adanya pengaruh panas yang dibuang pada sisi *heat sink* dan temperatur yang tinggi pada sisi tengah *heat sink*. Pada menit 120 terlihat adanya akumulasi panas pada sisi dalam *cavity* membran akibat *suction* dan *discharge*.

Akumulasi panas dari 1/4 ke 4/4 terus berkurang disebabkan karena fase *discharge* membran.

## 4.2 Hasil Eksperimen

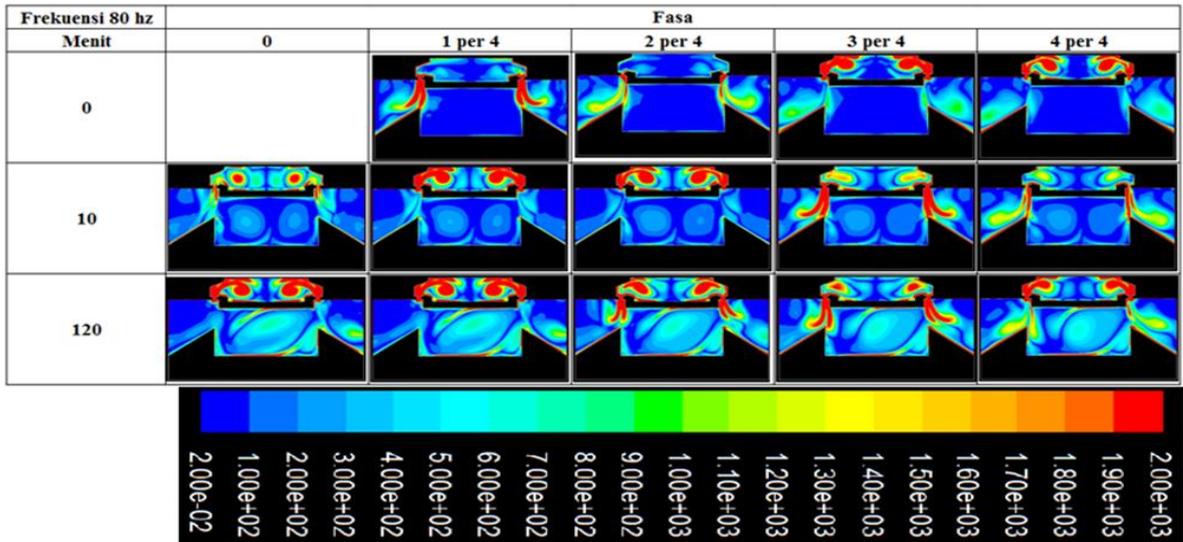
Tahap eksperimen dilakukan dengan mengamati perubahan temperatur pada satu titik *heat sink* pada kondisi ruang terbuka selama 120 menit. Pengambilan data dilakukan pada variasi frekuensi 80 hz, 120 hz, dan 160 hz dengan amplitude tetap 2 mm serta temperatur lingkungan +/- 28-30°C. Hasil pengambilan data disajikan dan dianalisis ke dalam dua grafik yaitu grafik perubahan temperatur terhadap waktu dan grafik koefisien perpindahan kalor konveksi terhadap waktu.

### 4.2.1 Analisis Perubahan Temperatur terhadap waktu

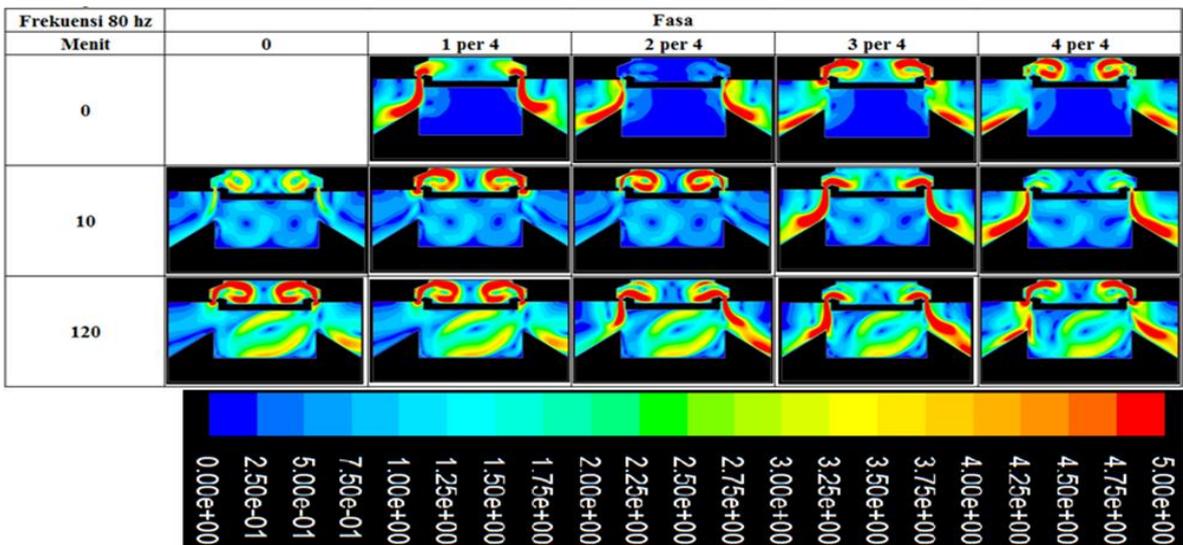
Gambar 4.5 menunjukkan karakteristik temperatur *synthetic jet* terhadap waktu. Terlihat pada grafik bahwa variasi frekuensi gelombang *triangle* memiliki pengaruh terhadap pendinginan *heat sink*.

Kecenderungan awal penurunan temperatur *heat sink* yang cepat semakin cepat mencapai temperatur terendah pada frekuensi yang semakin tinggi. Pada frekuensi 80 hz penurunan temperatur puncak dicapai pada waktu sekitar 15 menit dan kenaikan temperatur sebelum stabil dicapai pada waktu sekitar 30 menit setelah osilasi membran. Temperatur stabil model *synthetic jet* dengan gelombang *triangle* frekuensi 80 hz yaitu sekitar 58,3 oC atau menunjukkan trend pendinginan. Pada frekuensi 120 hz penurunan temperatur puncak dicapai pada waktu sekitar 10 menit dan kenaikan temperatur sebelum stabil dicapai pada waktu sekitar 30 menit setelah osilasi membran. Temperatur stabil model *synthetic jet* dengan gelombang *triangle* frekuensi 120 hz yaitu sekitar 59,0 oC atau dapat dikatakan tidak memiliki efek pendinginan yang baik. Pada frekuensi 160 hz penurunan temperatur puncak dicapai pada waktu sekitar 5 menit dan kenaikan temperatur sebelum stabil dicapai pada waktu sekitar 30 menit setelah osilasi membran. Temperatur stabil model *synthetic jet* dengan gelombang *triangle* frekuensi 160 hz yaitu sekitar 59,3 oC atau dapat dikatakan memiliki efek pendinginan yang buruk.

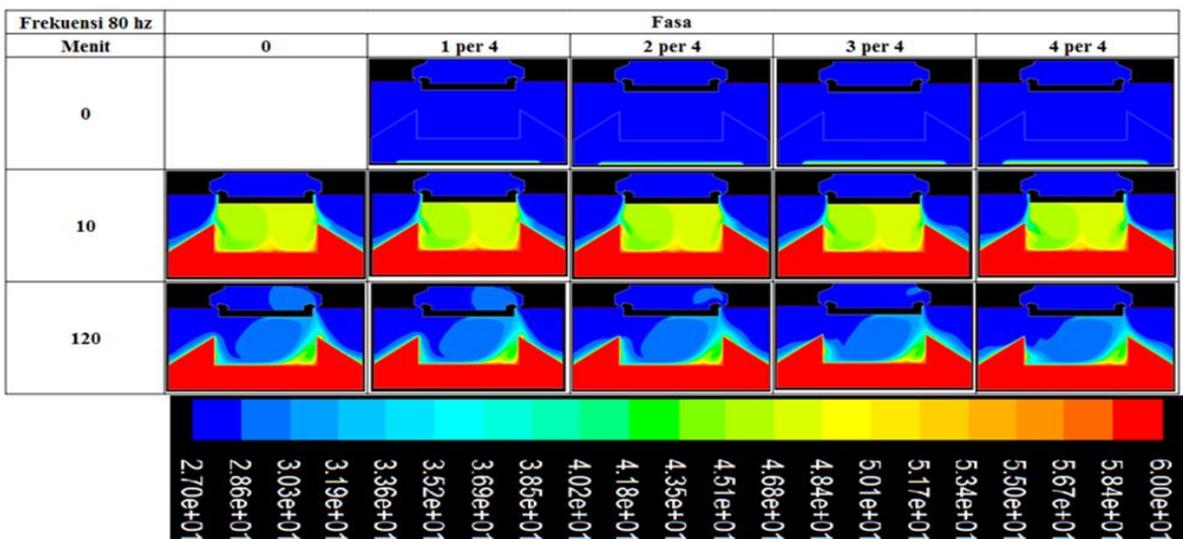
Gambar 4.5 juga memperlihatkan kecenderungan efek pendinginan yang jauh semakin baik pada frekuensi yang lebih rendah. Hal ini dimungkinkan karena adanya gerak osilasi membran dan pengaruh inersia aliran terhadap gerakan fluida. Estimasi temperatur CFD dengan eksperimen menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda.



Gambar 4.2 *Countour* vortisitas pada fase *suction* dan *blowing* dari 1/4 sampai 4/4



Gambar 4.3 *Countour* kecepatan pada fase *suction* dan *blowing* dari 1/4 sampai 4/4

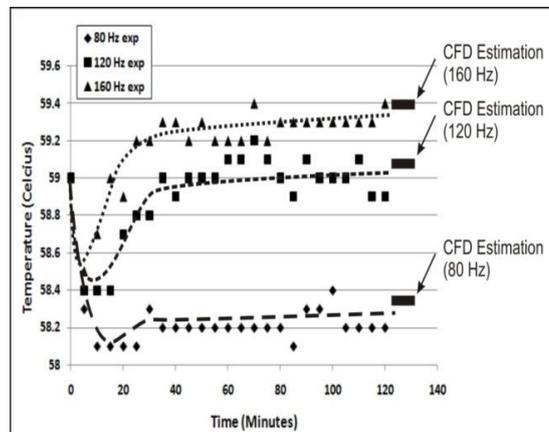


Gambar 4.4 *Countour* temperatur pada fase *suction* dan *discharge* dari 1/4 sampai 4/4

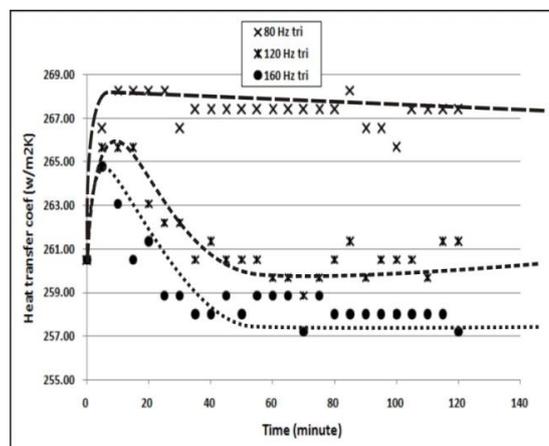
#### 4.2.2 Analisis Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Terhadap Waktu

Gambar 4.6 memperlihatkan karakteristik koefisien perpindahan panas gelombang triangle dengan variasi 3 frekuensi terhadap waktu. Terlihat pada grafik bahwa dibutuhkan waktu untuk mencapai kestabilan koefisien heat transfer pada berbagai frekuensi synthetic jet. Trend pada grafik memperlihatkan kecenderungan naiknya koefisien perpindahan panas pada tahap awal pendinginan menggunakan fungsi gelombang triangle. Trend koefisien perpindahan kalor gelombang triangle meningkat sampai pada suatu nilai puncak kemudian mengalami penurunan. Penurunan koefisien perpindahan panas ini mulai terjadi pada waktu sekitar 10 menit setelah membran bergetar.

Pada frekuensi 80 hz, koefisien perpindahan kalor mencapai nilai puncak sekitar 268.5 W/m<sup>2</sup>K dan setelah itu mengalami kecenderungan penurunan secara perlahan. Pada frekuensi 120 hz, koefisien perpindahan kalor mencapai nilai puncak yaitu sekitar 266 W/m<sup>2</sup>K dan setelah itu mengalami penurunan drastis sampai sekitar 260 W/m<sup>2</sup>K setelah 50 menit. Pada menit ke 50 dan seterusnya nilai koefisien perpindahan kalor cenderung stabil. Pada frekuensi 160 hz, koefisien perpindahan kalor mencapai nilai puncak yaitu sekitar 265 W/m<sup>2</sup>K dan setelah itu juga mengalami penurunan drastis seperti halnya pada frekuensi 120 hz serta mencapai kecenderungan kestabilan setelah sekitar 50 menit membran berosilasi. Grafik koefisien perpindahan kalor juga menunjukkan bahwa gelombang triangle dengan frekuensi 80 hz memiliki efek pendinginan yang terbaik dibanding pada frekuensi 120 hz dan 160 hz. Bahkan pada frekuensi 120 dan 160 hz nilai koefisien perpindahan kalor setelah 50 menit berada di bawah nilai awalnya. Hal tersebut menunjukkan buruknya efek pendinginan pada kedua frekuensi. Hal tersebut disebabkan karena akumulasi panas yang terjadi di dalam cavity synthetic jet yang tidak mampu diimbangi dengan pembuangan panas di dalamnya seiring dengan terus berjalannya fase suction dan discharge.



Gambar 4.5 Grafik temperatur pendinginan *synthetic jet* terhadap waktu



Gambar 4.6 Grafik koefisien perpindahan kalor *synthetic jet* terhadap waktu

## 5. KESIMPULAN

Penelitian mengenai synthetic jet dengan gelombang triangle telah berhasil menunjukkan karakteristik dan efek pendinginan yang baik dengan memberikan nilai koefisien perpindahan kalor sebesar 268.5 w/m<sup>2</sup>K. Suatu studi komputasional dan eksperimental telah dilakukan pada sebuah modul synthetic jet dengan desain orisinal. Dua buah membran piezoelektrik bergetar dan menggerakkan udara dalam cavity synthetic jet. Hasil studi menunjukkan adanya pengaruh jumlah fase suction dan discharge akibat variasi frekuensi osilasi terhadap efek pendinginan. Hasil studi komputasional dengan visualisasi aliran udara menggunakan software CFD Fluent memperlihatkan bahwa pergerakan membran berhasil menciptakan aliran udara dengan efek pendinginan.

Countour kecepatan mempunyai nilai 5 m/s menunjukkan momentum yang cukup bagi synthetic jet untuk menghasilkan efek pendinginan. Countour vortisitas menunjukkan potensi aliran synthetic jet untuk mengambil dan membuang kalor. Countour temperatur menunjukkan efek penurunan temperatur akibat adanya synthetic jet. Hasil studi eksperimental menunjukkan bahwa terjadinya efek pendinginan oleh synthetic jet. Efek pendinginan dengan gelombang triangle frekuensi 80 hz menunjukkan adanya penurunan temperatur dengan nilai 0.9 oC, tetapi pada frekuensi 120 dan 160 hz memperlihatkan hasil lebih rendah dari nilai 0.9 oC tersebut. Hal tersebut berarti bahwa pada frekuensi osilasi yang lebih rendah menunjukkan potensi pendinginan yang lebih baik. Koefisien perpindahan kalor pada frekuensi 80 hz juga menunjukkan peningkatan sehingga dapat menghasilkan pendinginan yang baik sedangkan pada frekuensi 120 dan 160 hz menunjukkan adanya kecenderungan penurunan nilai koefisien perpindahan kalor.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- [1] Clemens J.M. Lasance., Ronald M. Aarts (2008). " Synthetic Jet Cooling Part I: Overview of Heat Transfer and Acoustics ". pp. 20-25.
- [2] Clemens J.M. Lasance., Ronald M. Aarts., Okke Ouweltjes (2008). " Synthetic Jet Cooling Part II: Experimental Results of an Acoustic Dipole Cooler " IEEE. pp. 26-31.
- [3] Department of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge (n.d.). Hydrodynamic voltammetry. June 7, 2011. <http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/hydrodynamic-voltammetry.html>.
- [4] Haliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2000). *Fundamental of Physics* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Harinaldi, Rhakasywi, D., & Defriadi, R. (2011). Flow and heat transefer characteristics of an impinging synthetic air jet under sinusoidal and triangular wave forcing. *IJET-IJENS*: 2011.
- [6] Holman, J.P. (1986). *Heat Transfer* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- [7] Jagannatha, D., Narayanaswamy, R., & Chandratilleke, T.T. (2007). Performance characteristics of a synthetic jet module for electronic cooling. pp. 1-10.
- [8] King, A.J.C., & Jagannatha, D. (2009, July). Simulation of synthetic jets with non-sinusoidal forcing functions for heat transfer applications. Paper presented at the 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- [9] Mahalingam, R., Heffington, S., Lee, J., & Schwickert, M. (2006). Newisys server processor cooling augmentation using synthetic jet ejectors. *IEEE*, pp. 705-709.
- [10] Mahalingam, Raghav (2007). Modeling of synthetic jet ejectors for electronics cooling. Paper presented at the 23rd IEEE SEMI-THERM Symposium.
- [11] McGuinn, A., Persoons, T., Valiorgue, P., O'Donovan, T.S., & Murray, D.B. (2008). Heat transfer measurements of an impinging *synthetic air jet with constant stroke length*. Paper presented at the 5<sup>th</sup> European Thermal-Sciences Conference, Netherlands.
- [12] Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H. (2004). *Mekanika Fluida* (Harinaldi & Budiarmo, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- [13] Persoons, T., O'Donovan, T.S., & Murray, D.B. (2008, July). *Improving the measurement accuracy of PIV in a synthetic jet flow*. Paper presented at the 14<sup>th</sup> International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal.
- [14] Sharma, R.N. (2007, December). *Some insights into synthetic jet actuation from analytical modelling*. Paper presented at the 16<sup>th</sup> Auatralasian Fluid Mechanics Conference.
- [15] Tesar, V., Chuan, H.H., & Zimmerman, W.B. (2005). No-moving-part hybrid-synthetic jet actuator. *SNA-4850*, pp. 1-11.

- [16] Tuakia, Firman. (2008). Dasar - Dasar CFD menggunakan FLUENT. Bandung: Informatika.
- [17] Zhang, JingZhou, & Tan, XiaoMing (2007). Experimental study on flow and heat transfer characteristics of synthetic jet driven by piezoelectric actuator. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 50, 221-229.
- [18] *Productivity: Economic Revolution and the Future 500*.

Sponsored by :



**Badak LNG**



**LafargeHolcim**

