



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM PENDINGINAN  
KOMPONEN ELEKTRONIK  
BERBASIS JET SINTETIK ALIRAN IMPINGING**

**TESIS**

**RIKKO DEFRIADI  
1006735744**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM PENDINGINAN  
KOMPONEN ELEKTRONIK  
BERBASIS JET SINTETIK ALIRAN IMPINGING**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**RIKKO DEFRIADI  
1006735744**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Thesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rikko Defriadi

NPM : 1006735744

Tanda Tangan : 

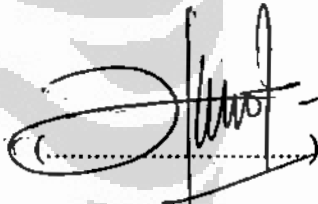

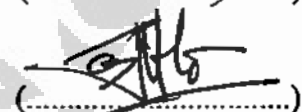

Tanggal : 24/01-2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Rikko Defriadi  
NPM : 1006735744  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Thesis : Pengembangan Prototype Sistem Pendinginan  
Komponen Mikroelektronik Berbasis Jet Sintetik  
Aliran Impinging

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng	
Penguji	: Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT	
Penguji	: Dr. Ir. Warjito, M.Eng	
Penguji	: Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng	

Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : JANUARI 2012

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan thesis ini. Penulisan thesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penulisan thesis ini, saya sangat berterima kasih kepada berbagai pihak atas bantuan dan bimbingannya karena sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan thesis ini tanpa bantuan dan bimbingan tersebut. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng, atas segala waktu, tenaga dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan dari awal sampai akhir pembuatan thesis ini.
2. Damora Rhakasywi ST., M.T, Kenfery ST. dan Edward ST.. selaku mahasiswa S3 dan S1 yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalamannya dalam pembuatan alat pengujian thesis.
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada saya untuk tetap semangat.
4. Edward sebagai rekan satu tim yang selalu bersemangat, kreatif dan aktif untuk mengerjakan thesis ini.
5. Teman – teman lab mekanika fluida dan lab pendingin yang banyak memberikan bantuan, saran dan motivasinya dalam mengerjakan thesis.
6. Serta pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga thesis ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, JANUARI 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rikko Defriadi

NPM : 1006735744

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Thesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM PENDINGINAN KOMPONEN ELEKTRONIK BERBASIS JET SINTETIK ALIRAN IMPINGING**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok (Universitas Indonesia)

Pada tanggal : JANUARI 2012

Yang menyatakan



(Rikko Defriadi)

## ABSTRAK

Nama : Rikko Defriadi

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : **Pengembangan Prototype Sistem Pendinginan Komponen Mikroelektronik Berbasis Jet Sintetik Aliran Impinging**

Sejalan dengan perkembangan peradaban, kehidupan manusia tidak bisa terlepas dari berbagai peralatan elektronika yang memiliki banyak sekali komponen seperti: transistor, kapasitor, resistor, dll. Komponen elektronik ini memancarkan panas sewaktu mereka beroperasi, sehingga untuk mengatasi masalah ini, diperlukan suatu sistem pendinginan yang efektif. Kebanyakan dari system pendinginan komponen elektronika yang dipakai sekarang ini berbasis pada fan. Namun sistem ini semakin tidak memadai dengan perkembangan teknologi elektronika yang semakin mengarah pada miniaturisasi produk. Sebagai alternatif pengganti sistem berbasis fan ini, manusia mengembangkan suatu alat yang disebut jet sintetik. Jet sintetik memiliki dimensi yang relatif kecil, tingkat kebisingan yang lebih kecil, lebih sedikit memancarkan panas dan yang paling penting jet sintetik memiliki efisiensi pendinginan yang lebih besar dibanding fan.

Thesis ini membahas hasil penelitian yang dilakukan terhadap 4 prototype desain original jet sintetik dengan menggunakan kombinasi pendekatan komputasi dan eksperimen. Tahap komputasional pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *CFD Fluent* dengan model turbulensi *k- $\omega$  SST* dengan elemen *meshing* Tet/Hybrid tipe Tgrid untuk melihat distribusi aliran pada jet sintetik. Sedangkan pada tahap eksperimental akan dipelajari karakteristik perpindahan panas konveksi dengan variasi jenis gelombang sinusoidal, triangle dan square pada frekuensi 80 Hz, 120 Hz dan 160 Hz.

***Kata Kunci : Efisiensi, Impinging Jet Sintetik, Gelombang Sinusoidal, Gelombang Triangle, Gelombang Square, CFD Fluent, Model Turbulensi k- $\omega$  SST, Meshing, Laju Perpindahan Panas Konveksi.***

## ABSTRACT

Name : Rikko Defriadi  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : **Development of Microelectronic Component Cooling System Prototype Using Synthetic Jet Impinging Flow**

In line with the development of civilization, human life can not be separated from a various electronic equipment that has many components such as transistors, capacitors, resistors, etc. These electronic components emits heat when they operate, an effective cooling system is required in order to overcome this problem. Most of the electronic component cooling systems used today are based on the fan. But this system is inadequate to the development of electronics technology that increasingly lead to the product miniaturization. As an alternative to this fan-based system, humans developed a device called synthetic jet. Synthetic jets have relatively small dimensions, smaller noise level, emits less heat and the most important that synthetic jet has a greater cooling efficiency than fan.

This thesis discusses the results of research conducted on four original designed synthetic jet prototype using a combination of computational and experimental approaches. Computational phase was conducted using *Fluent CFD* software with *k- $\omega$  SST* turbulence model with *meshing* elements of the Tet / Hybrid type Tgrid to see the flow distribution in the synthetic jet. While the experimental phase will be studied at the convective heat transfer characteristics with variations in type of sinusoidal wave, triangle and square at a frequency of 80 Hz, 120 Hz dan 160 Hz.

***Key Words : Efficiency, Impinging Synthetic Jet, Sinusoidal Wave, Triangle Wave, Square Wave, Fluent CFD, Turbulence Models of k- $\omega$  SST, Meshing, Convective Heat Transfer.***

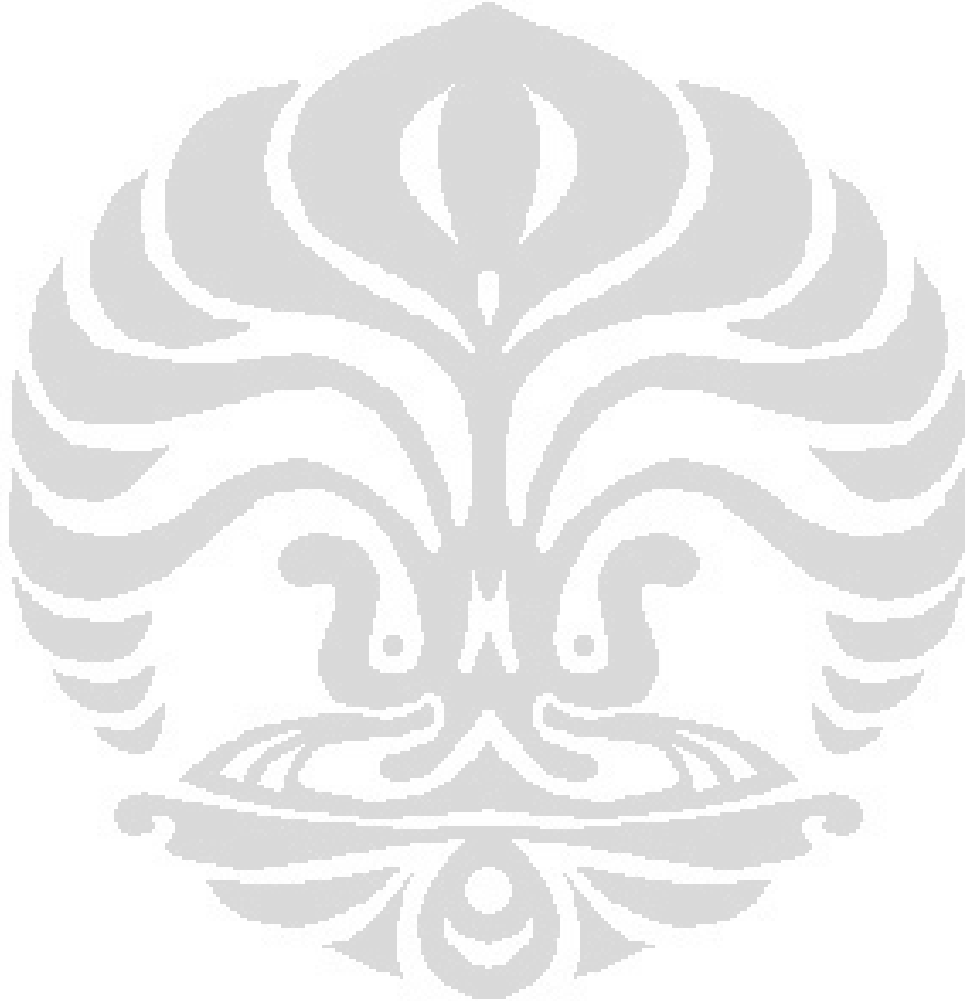


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pembatasan Masalah .....	1
1.3 Metodologi .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2. DASAR TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Jet Sintetik .....	4
2.2 Gelombang .....	8
2.3 Perpindahan Kalor.....	14
2.3.1 Perpindahan Kalor Konduksi .....	14
2.3.2 Perpindahan Kalor Konveksi.....	15
2.3.3 Perpindahan Kalor Radiasi .....	16
2.4 Aliran Fluida.....	16
2.4.1 Aliran Laminar .....	16

2.4.2 Aliran Transisi .....	17
2.4.3 Aliran Turbulen .....	17
2.5 CFD Fluent .....	18
2.5.1 Gambit .....	18
2.5.2 Fluent .....	19
<b>BAB 3. SISTEM PENDINGINAN DENGAN JET SINTETIK.....</b>	<b>22</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Modul Jet Sintetik .....	23
3.3 Tahap Komputasional.....	25
3.4 Tahap Eksperimen .....	29
3.4.1 Komponen dan Peralatan Tambahan.....	29
3.4.2 Prosedur Pengambilan Data.....	34
<b>BAB 4. ANALISA DATA .....</b>	<b>36</b>
4.1 Analisa Data Komputasional.....	36
4.1.1 Evolusi aliran pada prototype 1 .....	36
4.1.2 Evolusi aliran pada prototype 2.....	46
4.1.3 Evolusi aliran pada prototype 3 .....	56
4.1.4 Evolusi aliran pada prototype 4.....	66
4.2 Analisa Data Eksperimental .....	75
4.2.1 Analisa koefisien perpindahan panas konveksi thdp waktu pada pro 1 .....	77
4.2.2 Analisa koefisien perpindahan panas konveksi thdp waktu pada pro 2 .....	78
4.2.3 Analisa koefisien perpindahan panas konveksi thdp waktu pada pro 3 .....	79
4.2.4 Analisa koefisien perpindahan panas konveksi thdp waktu pada pro 4 .....	80
4.3 Perbandingan data komputasional dan eksperimental .....	80
4.4 Tingkat Kepercayaan & Persentase Error Pengukuran Penelitian .....	82
4.4.1 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 1 .....	83
4.4.2 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 2 .....	84
4.4.3 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 3 .....	85

4.4.4 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 4 .....	85
<b>BAB 5. KESIMPULAN .....</b>	<b>87</b>
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	87
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>88</b>

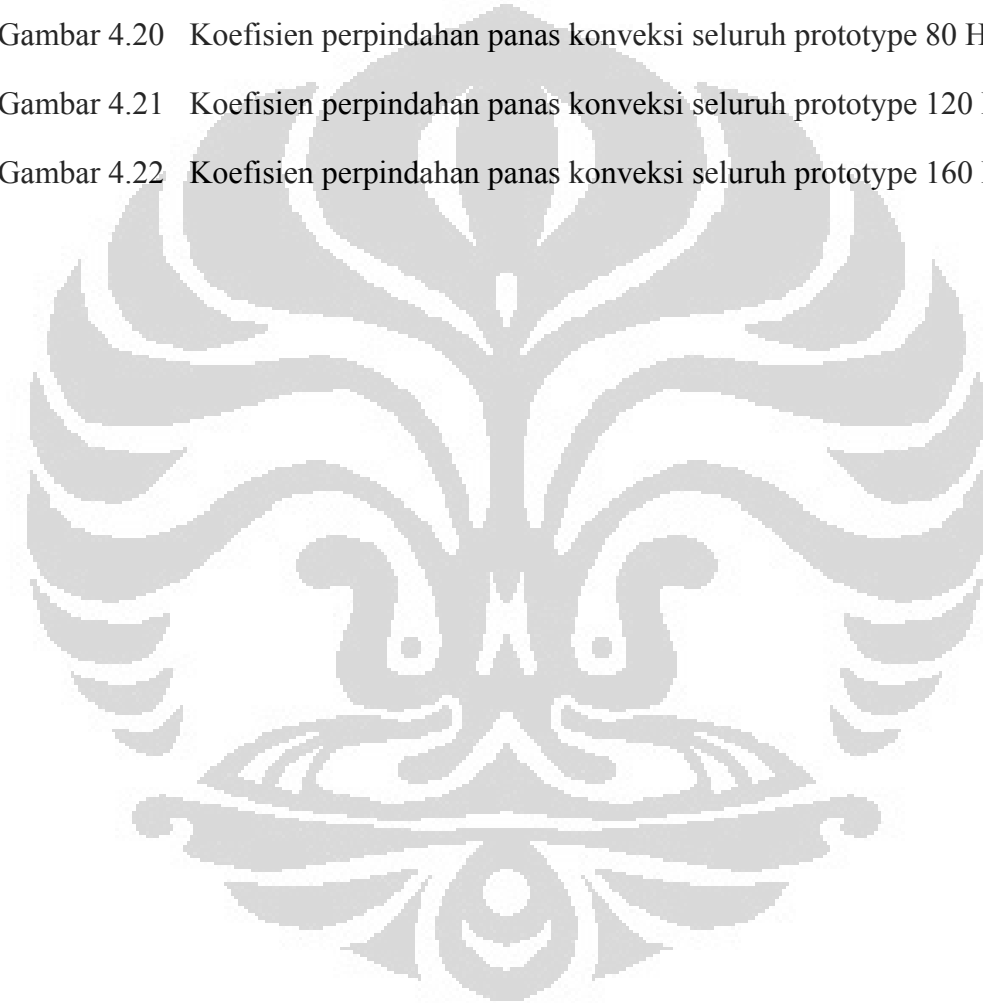


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sketsa dari <i>synthetic jet</i> yang terbentuk karena adanya pergerakan diafragma dalam <i>cavity</i> .....	4
Gambar 2.2	Model <i>Impinging Jet</i> .....	6
Gambar 2.3	Model <i>Cross-Flow Jet</i> .....	6
Gambar 2.4	Gelombang yang merambat pada sebuah tali .....	8
Gambar 2.5	Gelombang Transversal .....	9
Gambar 2.6	Gelombang Longitudinal .....	9
Gambar 2.7	Gelombang satu dimensi yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan $v$ pada $t=0$ .....	10
Gambar 2.8	Gelombang satu dimensi yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan $v$ setelah berjalan selama $t$ detik .....	11
Gambar 2.9	Gelombang sinusoidal yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan $v$ .....	11
Gambar 2.10	Gelombang square dan triangle .....	12
Gambar 2.11	Transformasi gelombang sinus menjadi triangle .....	13
Gambar 2.12	Transformasi gelombang sinus menjadi square .....	13
Gambar 2.13	Skema perpindahan kalor konveksi .....	15
Gambar 2.14	Aliran laminar .....	17
Gambar 2.15	Aliran turbulen .....	17
Gambar 2.16	Skematik proses kerja <i>step by step</i> Gambit – CFD .....	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	22
Gambar 3.2	Model fisik <i>synthetic jet</i> .....	23
Gambar 3.3	<i>Synthetic jet cross section</i> (dalam cm) .....	24
Gambar 3.4	<i>Synthetic jet computational domain</i> .....	26
Gambar 3.5	Experimental <i>Set-Up</i> .....	29

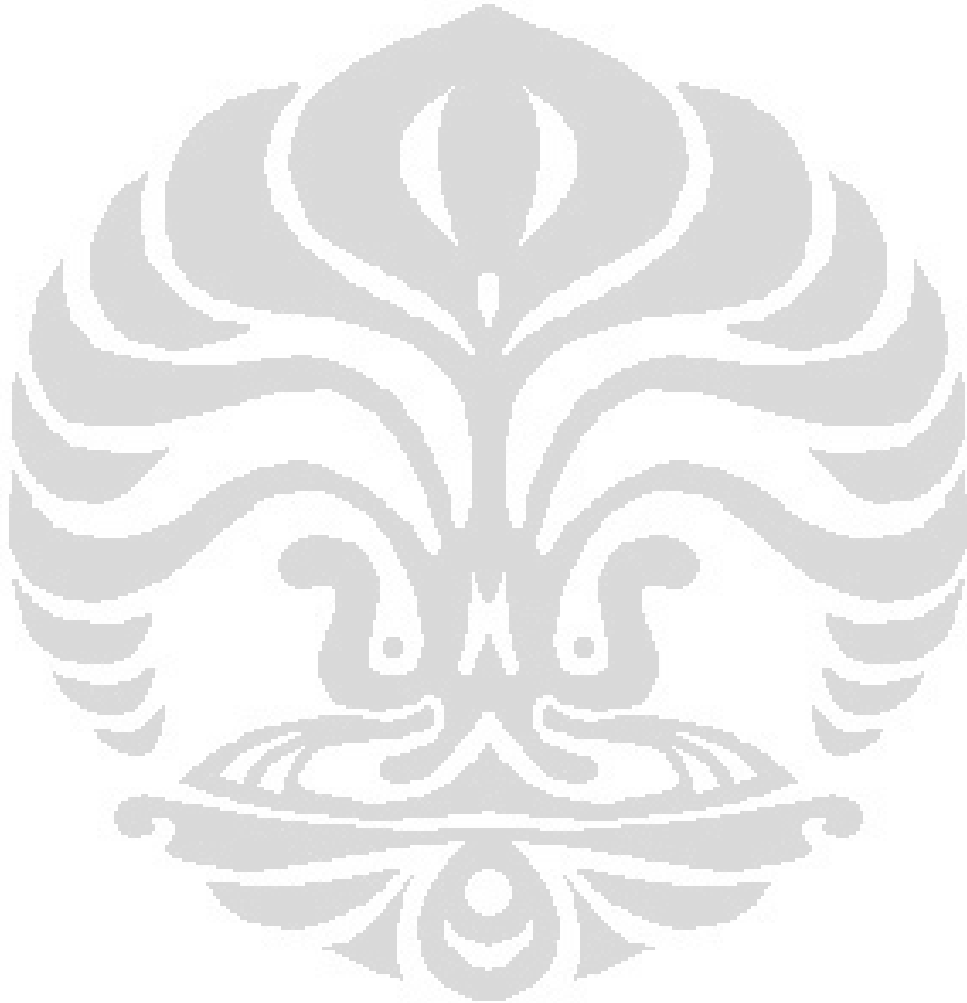
Gambar 3.6	<i>Thermostat</i> .....	29
Gambar 3.7	<i>Heater Mat</i> .....	30
Gambar 3.8	Jet sintetik tampak atas dan tampak bawah .....	30
Gambar 3.9	<i>Temperature data logger</i> .....	31
Gambar 3.10	<i>Heat sink</i> .....	32
Gambar 3.11	<i>Function Generator</i> .....	32
Gambar 3.12	Komputer .....	33
Gambar 3.13	<i>Thermocouple</i> .....	33
Gambar 3.14	<i>Thermo-Hygrometer</i> .....	34
Gambar 3.15	Skema peletakan thermocouple pada heatsink.....	34
Gambar 4.1	Skema pergerakan <i>synthetic jet</i> .....	36
Gambar 4.2	Intensitas turbulensi (%) pada prototype 1 .....	37
Gambar 4.3	Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 1 .....	40
Gambar 4.4	Nilai temperature (°C) pada prototype 1 .....	43
Gambar 4.5	Intensitas turbulensi (%) pada prototype 2 .....	47
Gambar 4.6	Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 2 .....	50
Gambar 4.7	Nilai temperature (°C) pada prototype 2 .....	53
Gambar 4.8	Intensitas turbulensi (%) pada prototype 3 .....	57
Gambar 4.9	Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 3 .....	60
Gambar 4.10	Nilai temperature (°C) pada prototype 3 .....	63
Gambar 4.11	Intensitas turbulensi (%) pada prototype 4 .....	66
Gambar 4.12	Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 4 .....	69
Gambar 4.13	Nilai temperature (°C) pada prototype 4.....	72
Gambar 4.14	Ilustrasi peletakan thermocouple pada heatsink .....	75

Gambar 4.15	Ilustrasi resistansi thermal yang terjadi pada pengukuran .....	75
Gambar 4.16	Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 1 thdp waktu .....	77
Gambar 4.17	Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 2 thdp waktu .....	78
Gambar 4.18	Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 3 thdp waktu .....	79
Gambar 4.19	Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 4 thdp waktu .....	80
Gambar 4.20	Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototype 80 Hz.....	81
Gambar 4.21	Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototype 120 Hz.....	82
Gambar 4.22	Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototype 160 Hz.....	82

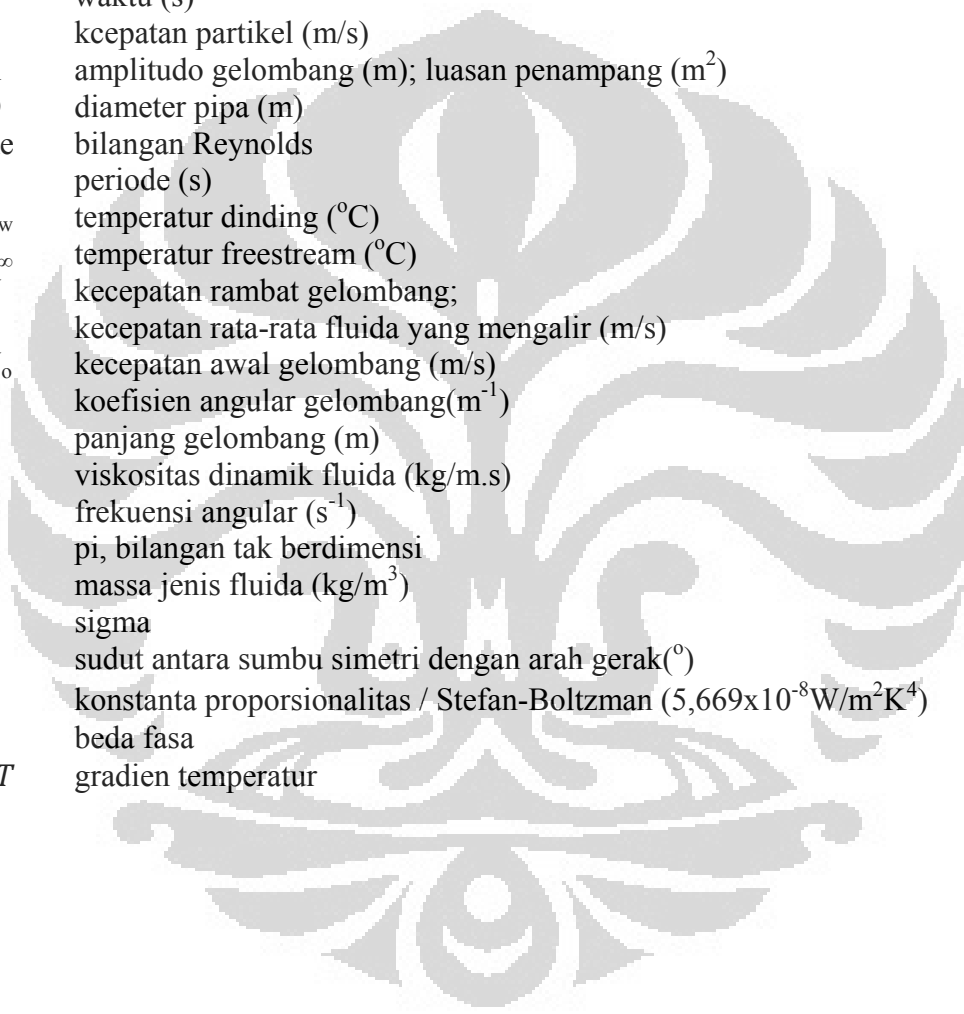


## DAFTAR TABEL

Tabel Kondisi Komputasi .....	27
-------------------------------	----



## DAFTAR NOTASI



f	frekuensi (hz)
k	konduktivitas,kehantaran termal benda (W/m.K)
q	laju perpindahan kalor (W)
s	jarak tempuh (m)
t	waktu (s)
v	kecepatan partikel (m/s)
A	amplitudo gelombang (m); luasan penampang (m <sup>2</sup> )
D	diameter pipa (m)
Re	bilangan Reynolds
T	periode (s)
T <sub>w</sub>	temperatur dinding (°C)
T <sub>∞</sub>	temperatur freestream (°C)
V	kecepatan rambat gelombang; kecepatan rata-rata fluida yang mengalir (m/s)
V <sub>o</sub>	kecepatan awal gelombang (m/s)
k	koefisien angular gelombang(m <sup>-1</sup> )
λ	panjang gelombang (m)
μ	viskositas dinamik fluida (kg/m.s)
ω	frekuensi angular (s <sup>-1</sup> )
π	pi, bilangan tak berdimensi
ρ	massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
Σ	sigma
θ	sudut antara sumbu simetri dengan arah gerak(°)
σ	konstanta proporsionalitas / Stefan-Boltzman (5,669x10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
φ	beda fasa
∂T	gradien temperatur



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perangkat elektronik telah menjadi suatu kebutuhan yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia. Setiap manusia memerlukan perangkat elektronik terutama untuk menunjang kebutuhan mereka seperti komunikasi, hiburan dan sebagainya. Sejak pertama kali diciptakan hingga sekarang perangkat elektronik seperti telepon genggam dan laptop, telah mengalami perubahan yang sangat drastis terutama dari segi dimensi. Dimensi perangkat elektronik tersebut mengecil sesuai dengan kebutuhan manusia akan kemudahan dan kepraktisan sehingga dapat menunjang mobilitas mereka.

Setiap perangkat elektronik memiliki kekurangan yakni panas yang dihasilkan dari komponen-komponen yang terdapat dalam perangkat tersebut selama beroperasi. Selama ini fan (kipas angin) menjadi solusi terhadap permasalahan tersebut. Panas ditiup keluar dari dalam casing perangkat elektronik guna mendinginkan suhu di dalam casing perangkat elektronik tersebut. Tetapi cara ini tidak efektif dikarenakan fan memiliki keterbatasan dalam hal dimensi. Fan berkerja berdasarkan prinsip elektromagnet sehingga ia memerlukan ruang minimum untuk meletakkan komponen berupa coil (lilitan kawat tembaga) dan magnet.

Jet sintetik merupakan suatu terobosan baru dalam hal pendinginan komponen elektronika. Dengan menggunakan prinsip vortex flow dari aliran udara yang melalui celah sempit (nozzle) jet sintetik dapat memungkinkan terjadinya pendinginan yang optimum pada dimensi yang kecil. Jet sintetik menggunakan membran elastis yang berosilasi untuk membangkitkan aliran udara di dalam rongga jet sintetik.

### **1.2 Pembatasan Masalah**

Pada laporan ini akan dibahas mengenai sistem pendinginan pada heat sink menggunakan 4 prototype jet sintetik yang telah di desain sebelumnya

dan kemudian dikontrol menggunakan function generator. Experimen yang dilakukan ini menggunakan gelombang sinusoidal, triangle dan square untuk meng-oscilasikan membran bagian atas dan bawah pada jet sintetik dengan variasi frekuensi gelombangnya 80Hz, 120Hz dan 160Hz dan dengan amplitudo 1m/s pada suhu temperatur lingkungan +/- 27 °C – 30 °C. Kemudian dilakukan simulasi aliran dan analisa data perubahan panas dari waktu ke waktu serta analisa terhadap koefisien perpindahan panas pada sintetik jet dengan variasi frekuensi gelombang tersebut.

### 1.3 Metodologi

Dalam pengerjaan laporan ini dilakukan pengumpulan data dengan menggunakan

#### 1. Studi Literatur

Digunakan referensi dari buku, jurnal dan penelusuran internet sebagai informasi tambahan mengenai dasar sistem pendinginan pada sintetik jet dan perhitungan yang ada

#### 2. Software CFD FLUENT

Software ini digunakan untuk mensimulasikan aliran udara yang terjadi di dalam *Jet sintetik*.

#### 3. Software Solid Works

Software ini digunakan untuk mendesain *Jet sintetik*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini secara umum adalah mengembangkan prototype serta kombinasi sinyal yang baik guna meningkatkan efektivitas kerja jet sintetik dalam hal pendinginan komponen mikroelektronik. Diharapkan dengan penelitian ini didapatkan suatu acuan untuk mendesain prototype jet sintetik yang lebih baik dari segi desain serta dimensi serta lebih kompatibel dengan berbagai tujuan pendinginan yang ada.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

**BAB 1** :Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan peneletian.

**BAB 2** :Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian thesis ini.

**BAB 3** :Pada bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**BAB 4** :Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil dari studi literatur

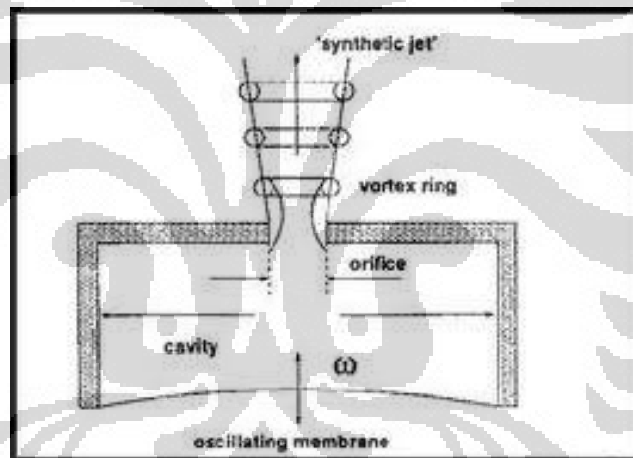
**BAB 5** :Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Jet Sintetik

Jet sintetik adalah aliran jet yang terbentuk oleh perubahan waktu ke waktu, dari akumulasi suction dan discharge fluida yang berulang melewati celah sempit. Jet sintetik digerakkan oleh sebuah aktuator berupa membran elastis khusus. Jet sintetik berbeda dengan jet tradisional dimana pada jet tradisional diperlukan suatu saluran khusus sebagai tempat udara masuk sedangkan jet sintetik memiliki satu channel sebagai saluran masuk dan keluar sehingga jet sintetik disebut juga sebagai *Zero Net Mass Flux*. Prinsip kerja Jet sintetik secara visual dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sketsa dari jet sintetik yang terbentuk karena adanya pergerakan diafragma dalam *cavity*  
(Sumber: Lasance & Aarts, 2008)

Proses terbentuknya jet sintetik telah diteliti dan ditunjukkan dalam beberapa hasil penelitian yang diantaranya telah dilakukan oleh Jagannatha dkk. (2007) dan Zhang & Tan (2007). Proses-proses terbentuknya jet sintetik terjadi di dalam *cavity*. Dimana diafragma atau membran akan digerakkan secara periodik menggunakan sinyal yang disupply oleh *function generator*. Pada saat membran tersebut beresilasi, gerakan membran akan mendorong

udara di dalam *cavity* ke segala arah. Kemudian fluida udara di dalam *cavity* dipaksa bergerak menuju keluar dari *cavity* melalui *nozzle*.

Terdapat 2 fase dalam siklus gerakan jet sintetik yaitu fase hisap (*suction*) dan fase semburan (*discharge*). Kedua fase ini terbentuk karena gerakan membran yang mengalami amplitudo pada titik tertinggi dan titik terendah. Titik tertinggi ialah saat dimana fase *discharge* terjadi sedangkan titik terendah ialah saat dimana fase *suction* terjadi. Pada saat aliran fluida keluar dari *cavity* jet sintetik, aliran fluida cenderung akan membentuk *vortex* akibat gesekan antara udara keluar dengan udara sekitar (adanya perbedaan kecepatan). Lapisan geser akan terbentuk antara udara keluar jet sintetik dengan udara luar. Lapisan geser dan turbulensi pada sisi luar mengakibatkan terbentuknya pasangan cincin *vortex* dan kemudian cincin-cincin *vortex* ini dipergunakan untuk menghasilkan efek perpindahan panas konvektif kontrol aliran termal yang lebih baik terhadap suatu *heat sink* yang dipasang.

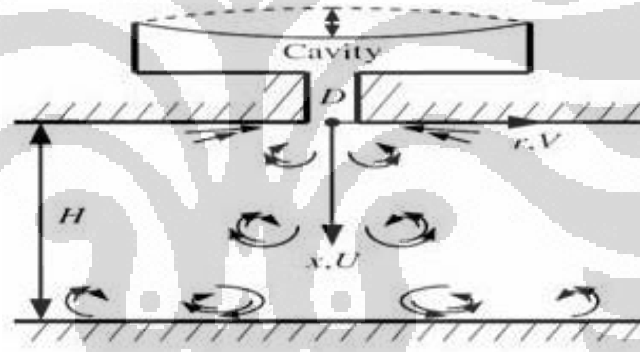
Setiap tahunnya, jet sintetik mengalami pengembangan secara terus menerus. Dimana diharapkan suatu teknologi jet sintetik dapat menggantikan pendinginan konvensional berbasis fan. Jet sintetik memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan fan. Pada sistem fan kebutuhan suplai udara dipenuhi dengan mengalirkan fluida udara dari satu tempat ke tempat lainnya. Sedangkan sistem jet sintetik menawarkan keuntungan utama yaitu hanya menggunakan udara yang sama yang terus diputar oleh sistemnya (Sharma, 2007). Selain itu fan dinilai kurang efisien pada besarnya panas yang dibuang terhadap besarnya volume aliran (Mahalingam dkk, 2006). Keuntungan lain dari sistem pendinginan menggunakan jet sintetik dibanding fan untuk performa *heat transfer* yang sama, antara lain (Lasance & Aarts, 2008):

- Tingkat kebisingan yang jauh lebih rendah
- Efisiensi (termodinamik) yang lebih baik, kebutuhan daya hanya setengahnya atau kurang
- Memiliki form factor yang jauh lebih baik sehingga bersifat “*design-friendly*”
- Reliability (tahan uji) intrinsik yang lebih tinggi

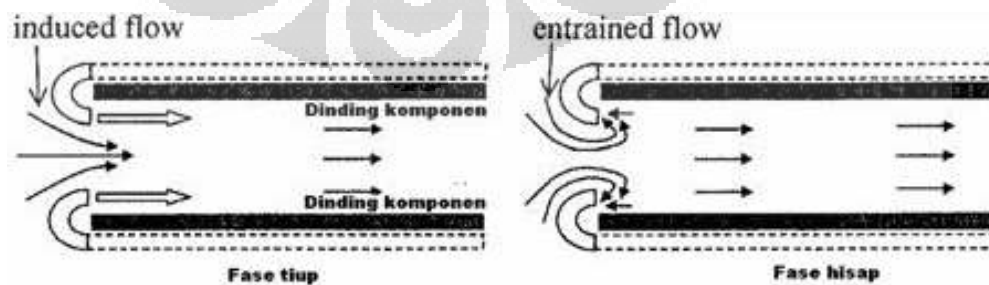
- Masalah *fouling* yang lebih rendah, komponen bergerak dapat dilindungi dari ambient
- Miniaturisasi produk lebih mudah dibanding fan
- Memiliki kemungkinan peredaman kebisingan yang lebih simple

Jet sintetik juga memiliki kelemahan, terutama pada jenis *impinging*. Hal ini terlihat pada fluida udara yang dihisap kembali pada fase *suction* saat membran jet sintetik beresilasi. Jika udara yang dibuang pada fase *discharge* terdapat udara panas dan dihisap kembali ke dalam *cavity* maka akan timbul akumulasi panas dalam *cavity* jet sintetik (Tesar, 2005).

Jet Sintetik terbagi atas dua macam model uji yaitu model *impinging* jet dan *cross-flow* jet. Kedua model tersebut digambarkan seperti pada gambar 2.2 dan gambar 2.3.



Gambar 2.2 Model *Impinging* Jet  
(Sumber: Persoons, O'Donovan & B.Murray, 2008)



Gambar 2.3 Model *Cross-Flow* Jet  
(Sumber: Raghav Mahalingam, 2007)

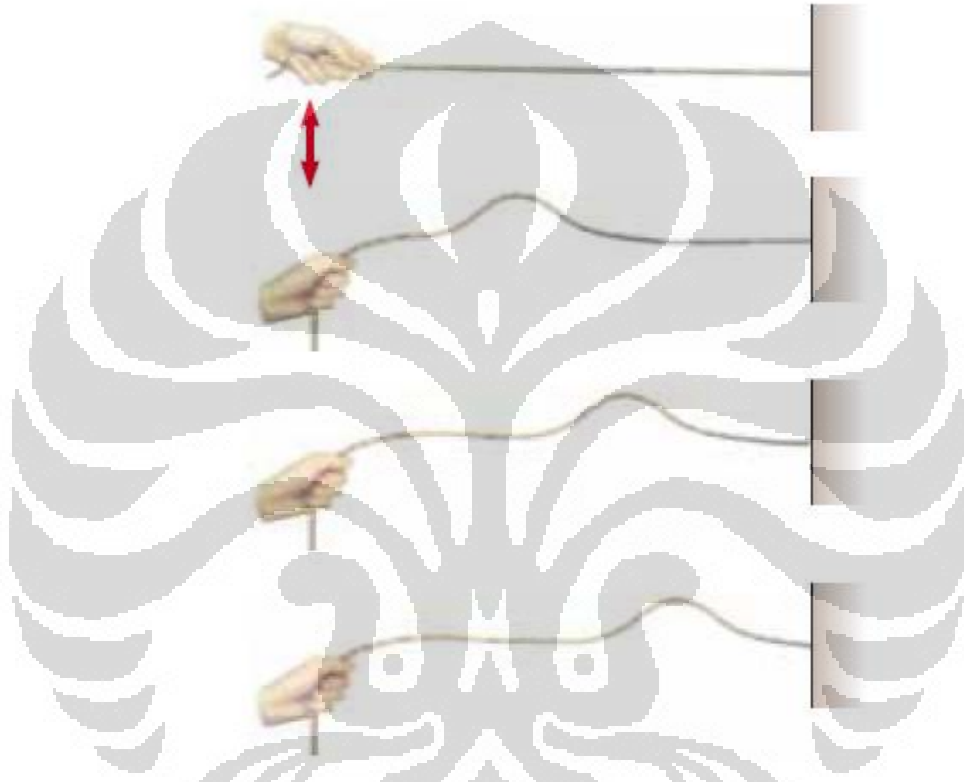
Model *impinging* dan *cross-flow* jet memiliki perbedaan pada bagian bidang aliran fluida yang dituju. Pada *Impinging* jet, arah aliran *vortex* diarahkan menuju *heated wall* sehingga aliran *vortex* membentur *heated wall* dan kemudian aliran *vortex* bergerak sepanjang dinding, sementara *cross-flow* jet mengarahkan *vortex* yang keluar dari orifis langsung melewati dinding komponen dan bergerak sejajar dinding. Terdapat tiga variabel utama yang mempengaruhi perpindahan kalor pada *jet sintetik impinging* yaitu frekuensi eksitasi, panjang langkah dan ketinggian orifis terhadap permukaan (Mc Guinn dkk, 2008).

Jet sintetik telah diteliti oleh banyak pihak dan instansi, akan tetapi pengetahuan mengenai jet sintetik sebenarnya masih sangat terbatas. Seperti dikemukakan oleh King & Jagannatha (2009) dimana mereka mengatakan bahwa perbandingan bilangan Nusselt pada jet sintetik dengan menggunakan gelombang sinusoidal dan non-sinusoidal menunjukkan koefisien *heat transfer* yang lebih baik sekitar 5-10% lebih baik untuk gelombang non-sinusoidal. King dan Jagannatha telah menunjukkan bahwa penelitian mengenai jet sintetik menggunakan gelombang non-sinusoidal masih sangat kurang, padahal penggunaan gelombang non-sinusoidal untuk jet sintetik menunjukkan koefisien *heat transfer* yang lebih baik. Oleh karena itu, penggunaan gelombang lain yang umum seperti triangle dan square perlu dilakukan.

Jet sintetik dengan menggunakan perpaduan dua sinyal belum pernah diteliti sebelumnya. Kebanyakan hanya menggunakan eksitasi dari satu sinyal dengan memvariasikan cavity untuk mendapat vortex dengan intensitas tertentu. Lasance dkk (2010) membuat jet sintetik dengan menggunakan loudspeaker sebagai membran dan cavity dengan ruangan yang memiliki perbedaan volume yang menyempit guna menciptakan suatu vortex yang memiliki nilai heat transfer coefficient yang cukup kuat. Dimana nilai heat transfer coefficient yang dihasilkan bergantung dari eksitasi (frekuensi) getaran yang diberikan kepada loudspeaker.

## 2.2 Gelombang

Gelombang merupakan perubahan energi dan momentum dari satu titik di dalam ruang ke titik lain tanpa perpindahan materi. Contohnya pada sebuah tali yang digerakkan dimana salah satu ujungnya diikat di sebuah dinding, maka ketika tali itu digerakkan, energi dan momentum yang diberikan akan menjalar melalui tali tersebut.



Gambar 2.4 Gelombang yang merambat pada sebuah tali  
(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)

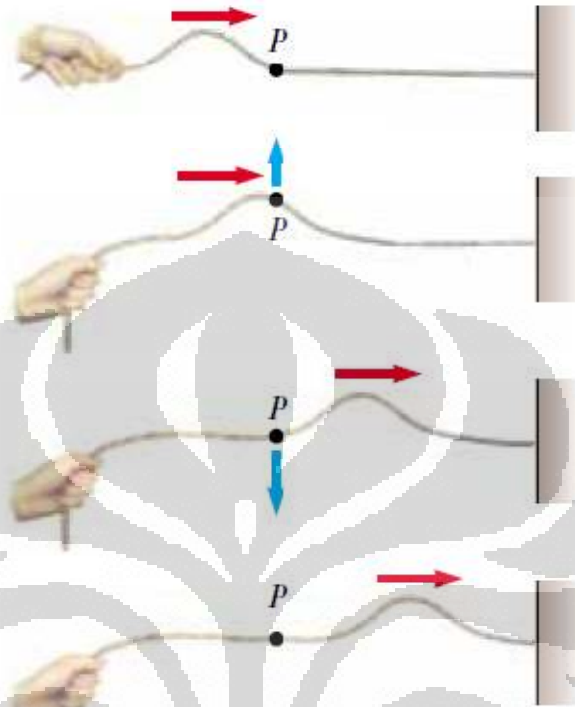
Gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

- 1) berdasarkan arah rambat gelombang,
- 2) berdasarkan mediumnya.

Berdasarkan arah rambat gelombang, gelombang dibedakan lagi menjadi dua yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus



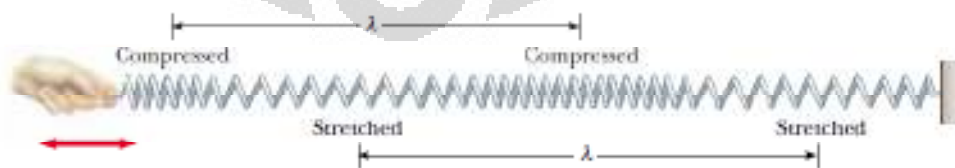
dengan arah rambatannya. Contoh gelombang transversal adalah gelombang cahaya dan gelombang pada tali.



Gambar 2.5 Gelombang Transversal

(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)

Sedangkan gelombang longitudinal merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya sejajar dengan arah rambatannya. Contoh gelombang ini adalah gelombang bunyi di udara. Gelombang longitudinal ini memiliki rapatan dan regangan tertentu pada bentuk gelombangnya.



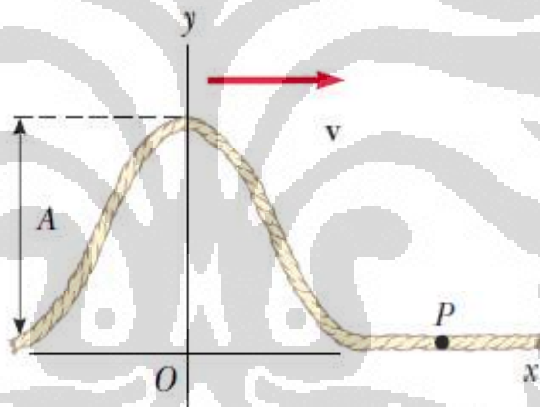
Gambar 2.6 Gelombang Longitudinal

(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)

Selanjutnya adalah gelombang berdasarkan mediumnya. Gelombang jenis ini dibagi dua yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik merupakan gelombang yang energi dan momentumnya dipindahkan melalui suatu medium. Contoh gelombang ini adalah gelombang pada tali dan gelombang bunyi di udara. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang energi dan momentumnya dibawa oleh medan listrik dan magnet yang dapat menjalar di dalam ruang vakum. Contoh gelombang ini adalah gelombang cahaya, gelombang radio dan sinar X.

Jika kita tinjau sebuah tali yang panjang yang diregangkan pada sumbu  $x$  dan sebuah gelombang transversal bergerak sepanjang tali tersebut, maka pada suatu saat  $t=0$ , bentuk persamaan pada tali tersebut dapat dinyatakan oleh:

$$y = f(x) \quad (2.1)$$



Gambar 2.7 Gelombang satu dimensi yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan  $v$  pada  $t = 0$

(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)

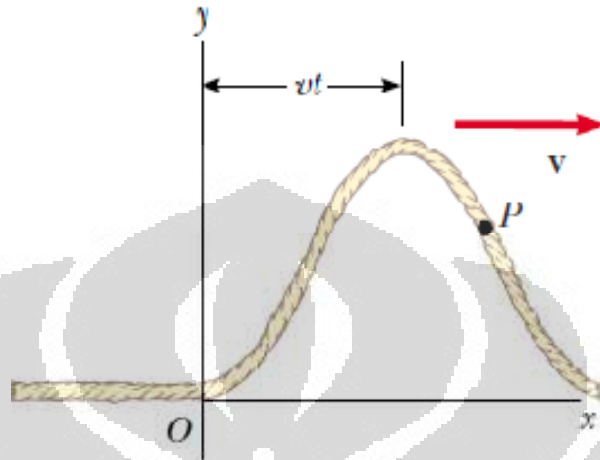
Setelah gelombang berjalan selama  $t$  detik sejarak  $vt$ , dimana  $v$  adalah besarnya kecepatan gelombang yang dianggap konstan maka persamaan pada tali tersebut dapat dinyatakan oleh

-pada saat gelombang berjalan ke arah kanan

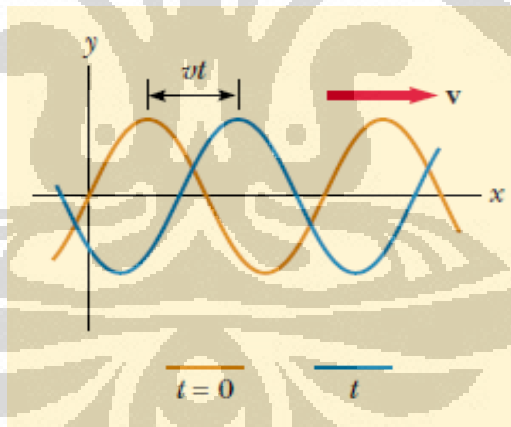
$$y = f(x - vt) \quad (2.2)$$

-pada saat gelombang berjalan ke arah kiri

$$y = f(x + vt) \quad (2.3)$$



Gambar 2.8 Gelombang satu dimensi yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan  $v$  setelah berjalan selama  $t$  detik  
(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)



Gambar 2.9 Gelombang sinusoidal yang berjalan ke arah kanan dengan kecepatan  $v$   
(Sumber: Fundamental of Physics-Haliday Resnick,2000)

Bentuk gelombang terdiri dari berbagai macam di antaranya adalah gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga. Gelombang sinusoidal merupakan gelombang yang mempunyai bentuk kurva yang sama dengan kurva fungsi  $\sin \theta$  terhadap  $\theta$ . Jika kita lihat gambar 2.9, kurva merah menandakan sebuah gelombang sinusoidal berjalan pada  $t = 0$  dan kurva biru

menandakan gelombang sinusoidal tersebut berjalan setelah  $t$  detik, maka fungsi yang menggambarkan posisi dari partikel medium dimana gelombang sinusoidal berjalan dapat ditulis

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \quad (2.4)$$

dimana  $A$  adalah amplitude,  $\lambda$  adalah panjang gelombang. Jika gelombang bergerak ke arah kanan dengan kecepatan  $v$ , maka fungsi gelombang setelah  $t$  detik adalah

$$y = A \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)\right] \quad (2.5)$$

dimana

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.6)$$

maka persamaan menjadi,

$$y = A \sin\left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right] \quad (2.7)$$

Selain persamaan di atas, kita juga dapat menulis fungsi gelombang dengan mendefinisikan *angular wave number*  $k$  dan *angular frequency*  $\omega$ :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.8)$$

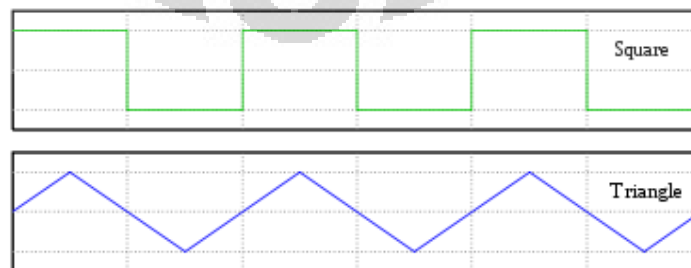
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.9)$$

Maka,

$$y = A \sin(kx - \omega t) \quad (2.10)$$

$$y = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.11)$$

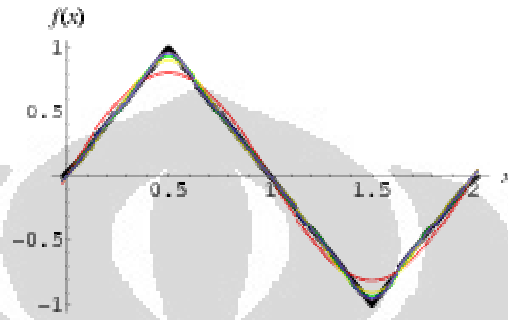
Terdapat juga gelombang dengan bentuk non-sinusoidal. Yaitu gelombang triangle dan square.



Gambar 2.10 Gelombang square dan triangle

(Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Triangle\\_wave](http://en.wikipedia.org/wiki/Triangle_wave))

Kedua gelombang ini sebenarnya merupakan penurunan dari gelombang sinusoidal dengan nilai harmonic tertentu. Apabila dijabarkan gelombang triangle dapat dijabarkan dengan persamaan fourier dengan formula sebagai berikut :

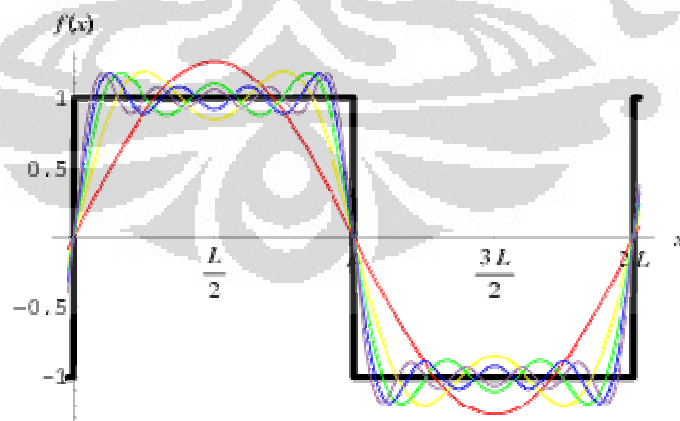


Gambar 2.11 Transformasi gelombang sinus menjadi triangle  
(Sumber: <http://mathworld.wolfram.com/FourierSeriesTriangleWave.html>)

Fungsi gelombang triangle dinyatakan dengan deret *Fourier* yaitu:

$$V = V_0 + \left\{ \frac{8}{\pi^2} \sum_{A=0,1,2,\dots}^{\infty} (-1)^A \frac{\sin\{(2A+1)2\pi ft\}}{(2A+1)^2} \right\} \quad (2.12)$$

Sedangkan gelombang square dapat dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 2.12 Transformasi gelombang sinus menjadi square  
(Sumber: <http://mathworld.wolfram.com/FourierSeriesTriangleWave.html>)

Fungsi gelombang square dinyatakan dengan deret *Fourier* yaitu:

$$f(x) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right). \quad (2.13)$$

## 2.3 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah suatu bidang ilmu yang menganalisa perpindahan energi akibat terjadinya gradien suhu pada benda atau suatu material. Energi yang berpindah tersebut disebut kalor atau panas dan secara umum perpindahan kalor dibagi menjadi tiga, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.3.1 Perpindahan kalor konduksi

Perpindahan kalor konduksi merupakan perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah dimana perpindahan kalor tersebut terjadi secara hantaran melalui benda padat dan laju perpindahan kalor berbanding dengan gradien suhu normal:

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.14)$$

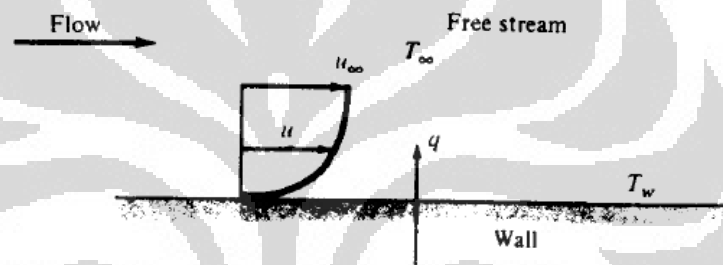
Dengan memasukkan konstanta proporsionalitas atau tetapan kesebandingan:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.15)$$

di mana  $q$  merupakan laju perpindahan kalor dan  $\partial T/\partial x$  merupakan gradien suhu dari perpindahan kalor. Konstanta positif  $k$  merupakan konduktivitas atau kehantaran termal benda, sementara tanda minus menandakan pemenuhan hukum kedua termodinamika dimana hukum kedua termodinamika menyebutkan bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. Persamaan di atas merupakan persamaan dasar dari konduktivitas termal dan satuan  $k$  adalah Watt per meter per derajat Celcius.

### 2.3.2 Perpindahan kalor konveksi

Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada permukaan suatu benda (tidak padat) dengan suatu fluida dikarenakan adanya pergerakan dari partikel-partikel fluida pada dua temperature yang berbeda. Mekanisme perpindahan kalor konveksi terdiri atas dua yaitu difusi dan gerakan fluida. Gerakan fluida ditimbulkan karena adanya perbedaan temperatur pada fluida sehingga terjadi proses perpindahan kalor. Proses perpindahan kalor konveksi dapat digambarkan seperti pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.13 Skematik perpindahan kalor konveksi  
(Sumber: JP.Holman, p.11)

Gambar 2.13 menggambarkan interaksi permukaan suatu dinding dengan medan aliran fluida dimana medan aliran fluida mewakili aliran fluida sepanjang permukaan panas. Interaksi antara permukaan dinding dengan fluida akan menghasilkan medan kecepatan yang bervariasi, dimulai dari nol pada daerah dekat permukaan sampai dengan kecepatan maksimum pada aliran. Jika pada permukaan dinding dengan aliran fluida ini memiliki perbedaan temperatur maka akan membentuk suatu daerah batas termal yang besarnya bervariasi (terdapat distribusi temperature) dari  $T_w$  sampai dengan  $T_\infty$ . Jika besar  $T_w > T_\infty$  maka konveksi akan terjadi.

Perpindahan kalor konveksi secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam dua bagian yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi

bebas adalah jenis konveksi yang fenomena perpindahan kalornya terjadi akibat adanya perbedaan densitas yang disebabkan perubahan temperatur pada fluida, sedangkan konveksi paksa merupakan suatu fenomena perpindahan kalor konveksi yang dipengaruhi oleh adanya gaya eksternal terhadap aliran, misalnya karena adanya pengaruh aliran paksa dari fan dan pompa.

### 2.3.3 Perpindahan kalor radiasi

Mekanisme perpindahan kalor tanpa melalui medium antara disebut radiasi. Radiasi merupakan perpindahan kalor melalui daerah hampa dimana konduksi dan konveksi melakukan perpindahan kalor melalui suatu medium. Dalam termodinamika ditunjukkan bahwa setiap benda hitam memiliki pancaran energi dengan laju sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda tersebut dan berbanding langsung dengan luas permukaan. Persamaan radiasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \quad (2.16)$$

di mana  $\sigma$  merupakan konstanta proporsionalitas atau konstanta Stefan – Boltzmann dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Persamaan tersebut berlaku hanya untuk radiasi termal saja.

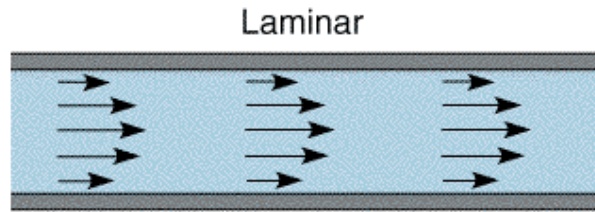
## 2.4 Aliran Fluida

Aliran fluida dibedakan menjadi tiga macam yaitu laminar, transisi, dan turbulen.

### 2.4.1 Aliran Laminar

Aliran fluida yang mengalir dengan lancar pada setiap lapisan disebut aliran laminar. Viskositas yang terjadi di dalam aliran menyebabkan efek peredaman gerakan antar lapisan fluida dengan dinding. Aliran laminar ini dapat digambarkan pada gambar 2.14.





Gambar 2.14 Aliran Laminar

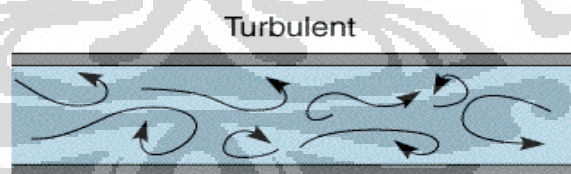
(Sumber: <http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/hydrodynamic-voltammetry.html>)

#### 2.4.2 Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran antara dua fase yaitu fase laminar dan fase turbulen dimana aliran laminar mengalami transisi ke aliran turbulen. Aliran ini ditandai dengan adanya fase laminar dan turbulen yang terjadi secara bergantian.

#### 2.4.3 Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran acak pada suatu partikel atau fluida pada suatu lapisan dimana partikel atau fluida tersebut mengalami olakan sehingga terjadi pertukaran momentum antar lapisan dengan intensitas tinggi.



Gambar 2.15 Aliran Turbulen

(Sumber: <http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/hydrodynamic-voltammetry.html>)

Dalam membedakan antara jenis aliran laminar, transisi, dan turbulen maka dapat ditentukan dengan bilangan *Reynolds* (sesuai dengan nama penemunya). Bilangan *Reynolds* merupakan perbandingan antara efek inersia dan viskos dalam aliran. Bilangan *Reynolds* dinyatakan dengan:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.17)$$

dimana,

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = kecepatan rata-rata dari fluida yang mengalir (m/s)

$D$  = diameter pipa (m)

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m.s}$ )

Secara umum untuk aliran di dalam pipa bundar, jika besar bilangan *Reynolds* kurang dari 2100 maka aliran laminar dan jika lebih dari 4000 maka aliran turbulen. Nilai di antara keduanya merupakan aliran transisi.

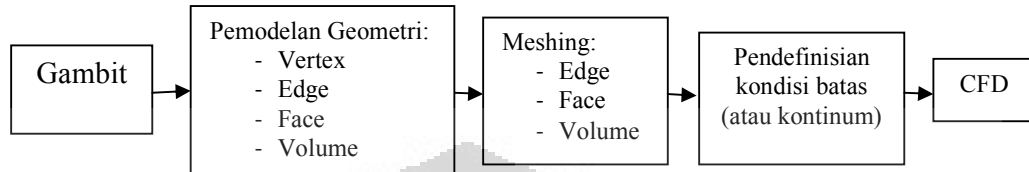
## 2.5 CFD Fluent

Dalam kehidupan sehari-hari banyak fenomena yang terjadi seperti contohnya fenomena fluida baik dalam bentuk gas maupun cair. Fenomena-fenomena fluida tersebut bisa terjadi dalam bentuk sederhana maupun dalam bentuk kompleks. Dalam mempelajari fenomena fluida yang kompleks tersebut dibutuhkan sebuah *tools* yang dapat memprediksi dan menganalisa aliran fluida yang terjadi pada suatu benda. Salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam mempelajari fenomena fluida tersebut adalah *software CFD Fluent*. *Software CFD Fluent* ini dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan akan ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamics* atau CFD. Ilmu CFD dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena-fenomena lain dengan menyelesaikan persamaan Matematika. Prediksi aliran fluida dengan CFD berdasarkan tiga hal yaitu model Matematika (Navier-Stokes), metode numerik, dan *tools* (*Pre-* dan *postprocessing, Solvers*).

### 2.5.1 Gambit

Gambit (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) adalah alat *preprocessor* yang dibuat untuk membantu menciptakan model dan

diskritisasi (*meshing*) yang selanjutnya dianalisis menggunakan program CFD. Penggunaan Gambit untuk pemodelan dan analisis CFD secara garis besar digambarkan oleh gambar 2.11.



Gambar 2.16 Skematik proses kerja *step by step* Gambit – CFD

### 2.5.2 Fluent

Fluent merupakan suatu program yang digunakan untuk mensimulasikan perpindahan kalor dan aliran fluida dengan berbagai bentuk geometri. Program fluent menyelesaikan permasalahan aliran fluida dengan menggunakan *mesh*, dimana *mesh* yang didukung oleh fluent adalah 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran. Langkah-langkah penyelesaian masalah menggunakan fluent adalah sebagai berikut:

1. Membuat geometri dan *mesh* pada model
2. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D)
3. Mengimpor *mesh* model
4. Melakukan pemeriksaan pada *mesh* model
5. Memilih formulasi *solver*
6. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis. Misalnya: laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain
7. Menentukan sifat material yang akan dipakai
8. Menentukan kondisi batas
9. Mengatur parameter kontrol solusi
10. *Initialize the flow field*
11. Melakukan perhitungan/iterasi
12. Memeriksa hasil iterasi
13. Menyimpan hasil iterasi

14. Jika perlu, memperhalus *grid* kemudian melakukan iterasi ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik
15. Hasil iterasi dapat ditampilkan baik dalam bentuk kontur, vektor, *pathline*, maupun trek partikel

Dalam melakukan simulasi model dengan menggunakan fluent, maka dibutuhkan *solver* untuk menyelesaikan simulasi tersebut dengan memilih formula *solver* yang tersedia di dalam fluent. Salah satu *solver* tersebut adalah model turbulensi k- $\omega$  SST. Model turbulensi k- $\omega$  SST adalah dua persamaan model eddy-viskositas yang menjadi sangat populer. Model ini menggunakan model 2D *Double Precision*. Penggunaan formula k- $\omega$  di bagian dalam lapisan batas membuat model secara langsung dapat digunakan sepanjang dinding sub-lapisan viskos, maka model turbulensi k- $\omega$  SST dapat digunakan sebagai model turbulensi dengan *Reynold* rendah tanpa fungsi redaman tambahan. Model k- $\omega$  SST mirip dengan model k- $\omega$  standar, tetapi juga meliputi perbaikan sebagai berikut:

1. Model k- $\omega$  standard dan model transform k- $\omega$ , keduanya dikalikan dengan *blending function* dan kedua model ditambahkan bersama-sama. *Blending Function* dirancang menjadi satu di dekat daerah dinding, dimana mengaktifkan model k- $\omega$  standar, dan nol dari permukaan, dimana mengaktifkan model transform k- $\omega$ .
2. Model SST menggabungkan derivatif *cross-diffusion* ke dalam persamaan  $\omega$ .
3. Definisi viskositas turbulen dimodifikasi untuk memperhitungkan transportasi dari *turbulent shear stress*.
4. Konstanta permodelan berbeda.

Model k- $\omega$  SST memiliki bentuk mirip dengan model k- $\omega$  standar seperti dinyatakan dalam persamaan 2.16 dan 2.17

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_k - Y_k + S_k \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G\omega - Y\omega + D\omega + S\omega \quad (2.19)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \alpha_\infty^* &= 1, & \alpha_\infty &= 0.52, & \alpha_0 &= \frac{1}{9}, & \beta_\infty^* &= 0.09, \\ \beta_i &= 0.072, & R_\beta &= 8, & R_\kappa &= 6, & R_\omega &= 2.95, & \zeta^* &= 1.5, \\ M_{t_0} &= 0.25, & \sigma k &= 2.0, & \sigma \omega &= 2.0 \end{aligned}$$

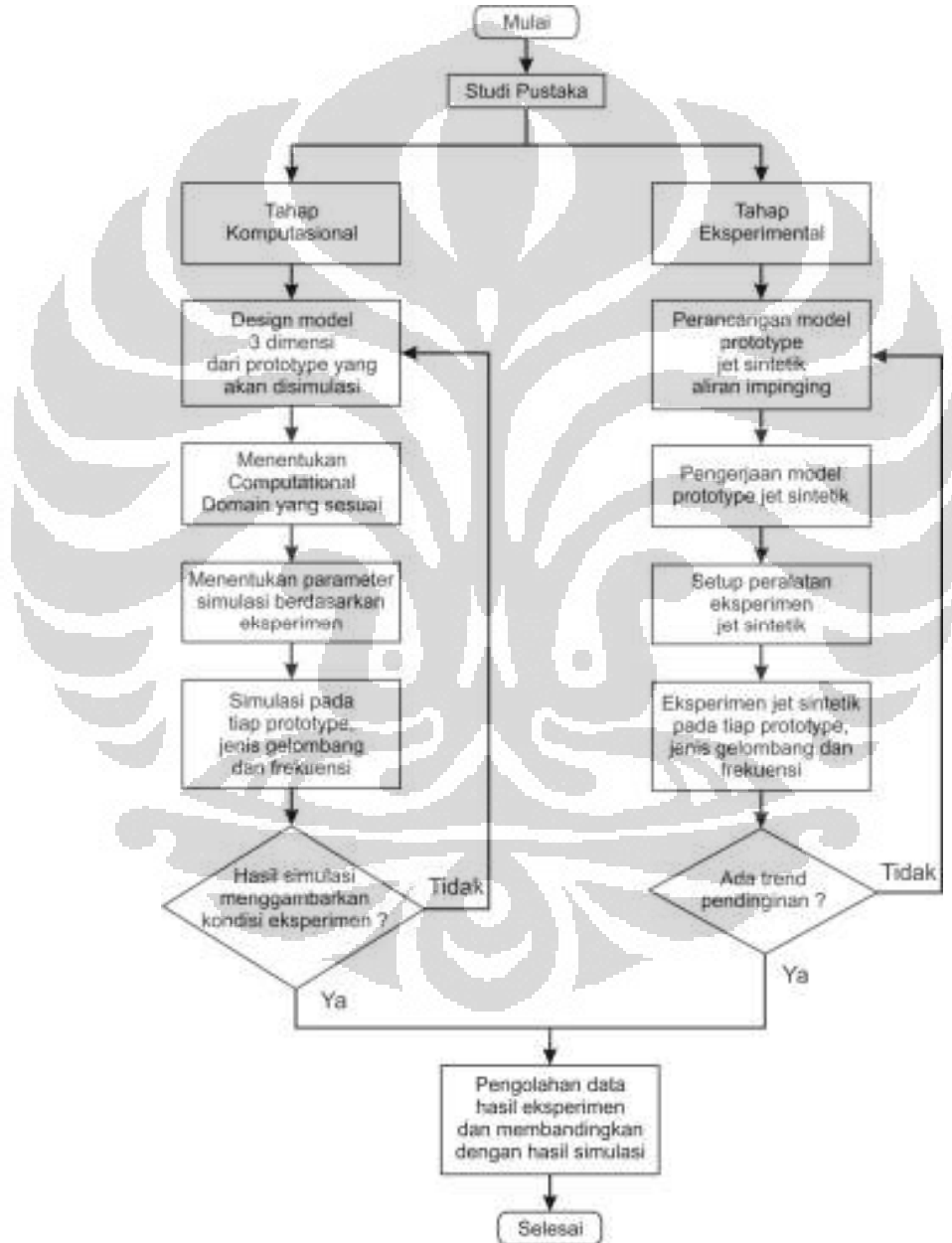
Selain solver k- $\omega$  SST, jika ingin menyelesaikan permasalahan yang lebih kompleks dan detail, maka diperlukan formula *solver* yang dibuat sendiri. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan *software fluent* dimana formula *solver* dapat dimasukkan dalam bentuk bahasa pemrograman C yang disebut *User Define Function*(UDF). Langkah-langkah dalam pembuatan *User Define Function* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan permasalahan yang ingin diselesaikan
2. Membuat formula *solver* dalam bentuk bahasa pemrograman
3. Menjalankan Fluent dan membaca *case file* yang telah dibuat.
4. *Menginterpret* atau *mengcompile* formula *solver* yang dibuat pada step 2
5. Memasukkan UDF yang telah dibuat ke dalam *Fluent*
6. Menjalankan kalkulasi
7. Menganalisa solusi numerik dan membandingkan hasil yang diperoleh dengan hasil yang diperkirakan

## BAB 3 EXPERIMENTAL SET-UP

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, jalannya eksperimen dapat dijabarkan melalui gambar 3.1 di bawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

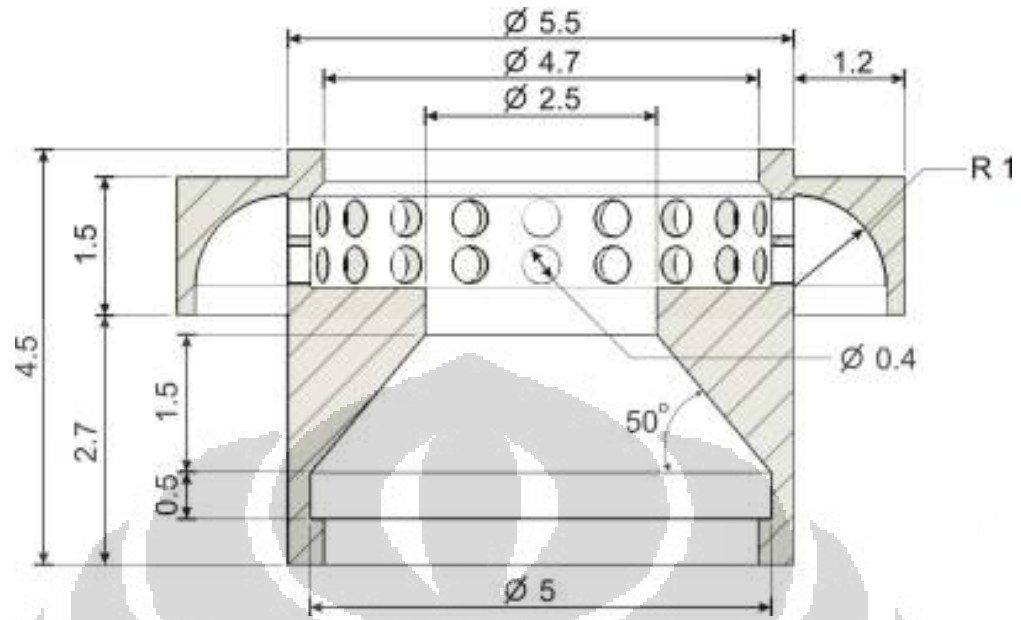
### 3.2 Modul Jet Sintetik

Pada penelitian ini terdapat 4 *prototype* jet sintetik untuk melakukan percobaan. Dimana diharapkan rancangan *prototype* jet sintetik tersebut mampu untuk menghasilkan aliran jet sintetik yang memiliki *heat transfer coefficient* yang baik. Desain yang akan digunakan merupakan desain orisinal hasil penelusuran pustaka serta analisa terhadap sifat aliran fluida udara. Desain jet sintetik yang dipergunakan ditunjukkan dalam gambar 3.2.

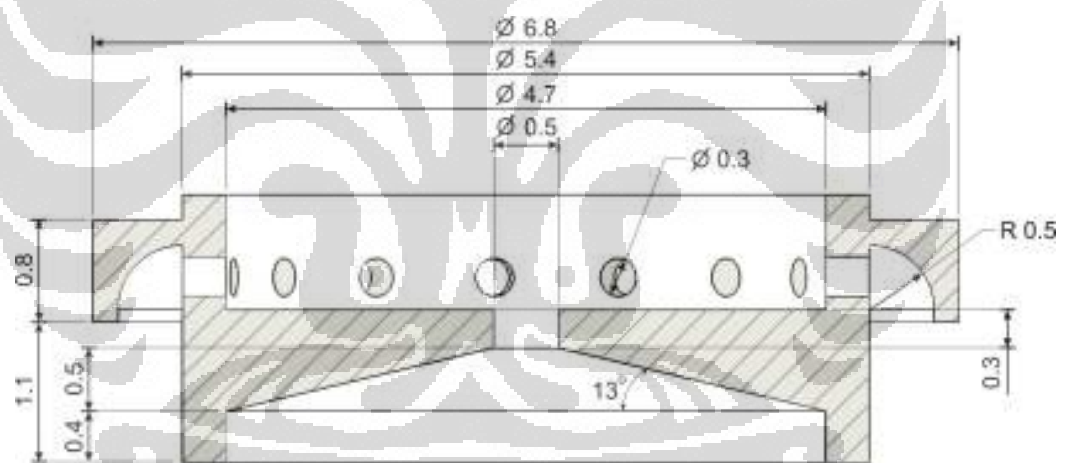


Gambar 3.2 Model fisik *synthetic jet*. (Dari kiri ke kanan : Prototype 1, Prototype 2, Prototype 3, Prototype 4)

Desain cavity jet sintetik digambarkan dalam *cross-section* pada gambar 3.3. Gambar 3.3(a) Prototype 1. Gambar 3.3(b) Prototype 2. Gambar 3.3(c) Prototype 3. Gambar 3.3(d) Prototype 4.



(a)

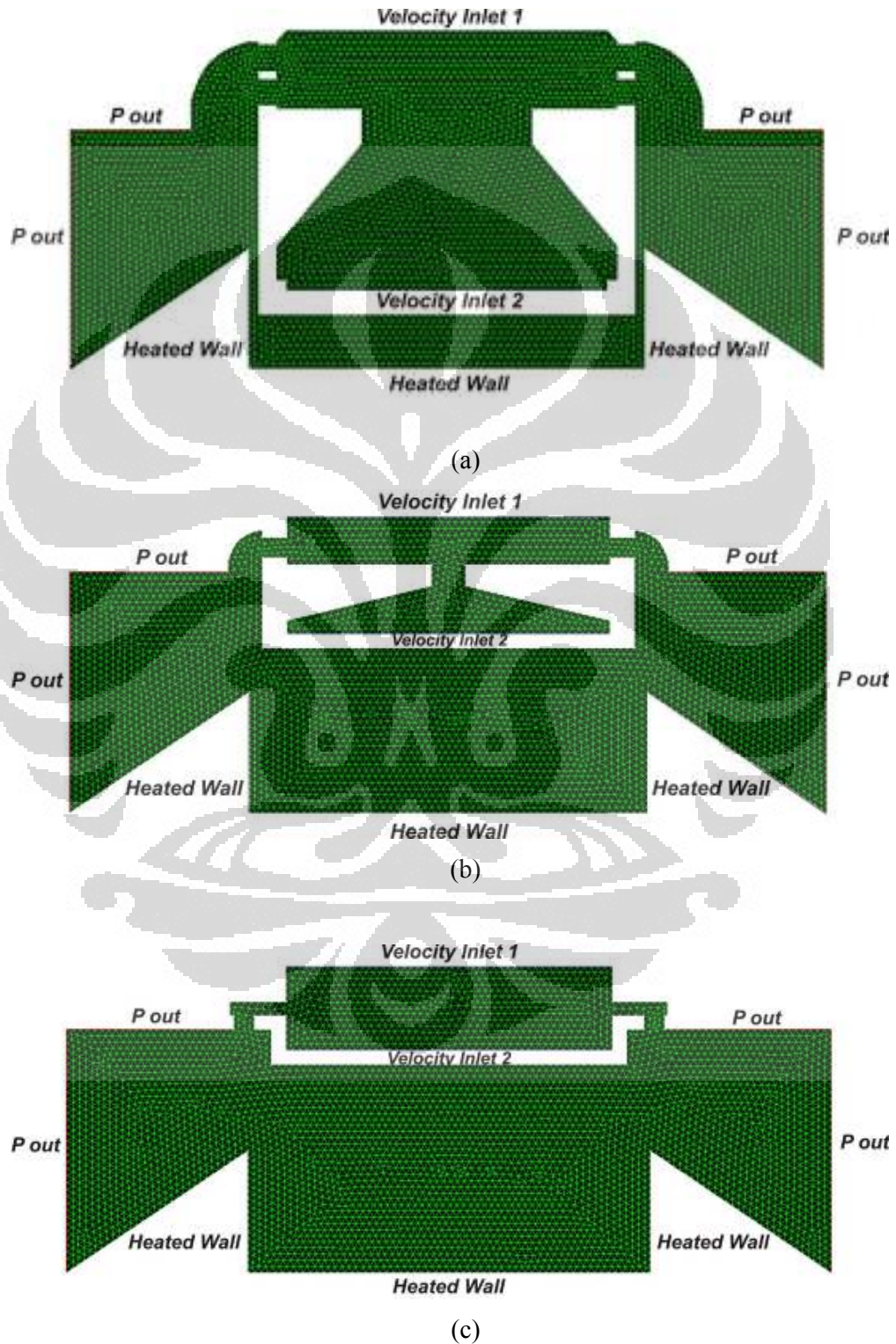


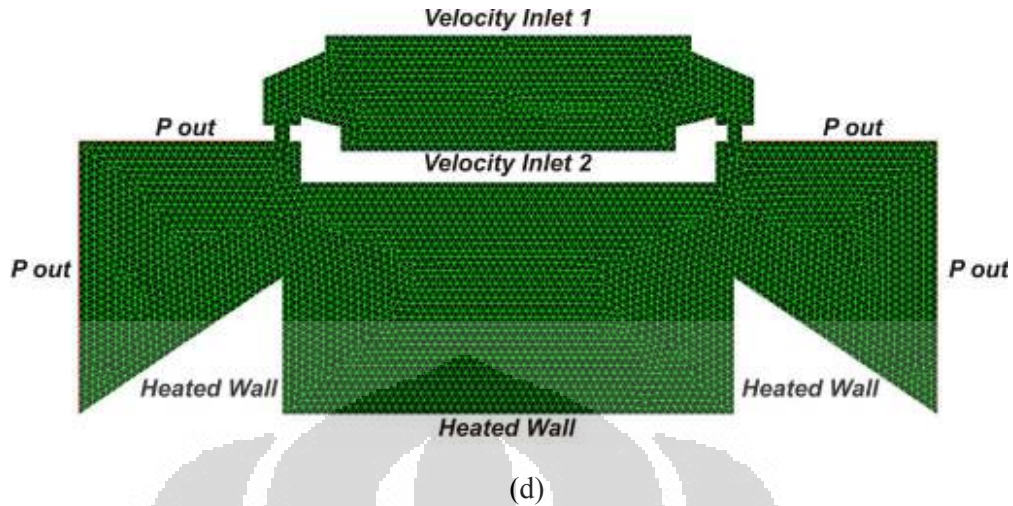
(b)





dipasangkan pada heatsink (kondisi operasional). Dimana computational domain untuk semua prototype digambarkan seperti pada gambar 3.4.





Gambar 3.4 *Synthetic jet computational domain* (a) Prototype 1 (b) Prototype 2 (c) Prototype 3 (d) Prototype 4

Model komputasi ini digunakan untuk menganalisis daerah aliran termal pada jet sintetik dengan menggunakan model matematika  $k-\omega$  SST (*Shear Stress Transport*). Pada daerah kerja, udara diasumsikan *isothermal* dan juga *incompressible*. Suhu lingkungan diasumsikan  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan suhu bagian bawah dari dinding yang dipanaskan, dipertahankan pada suhu *isothermal*  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dinding batas di kedua sisi actuator diasumsikan memiliki tekanan statik konstan dengan tekanan 1 atm. Detail lain dari kondisi komputasi dituliskan pada tabel di bawah ini.

Tabel Kondisi komputasi

Computation Condition		
Model settings		2D, Unsteady
Fluid		Air
Fluid Properties	Density	$1.225\text{ kg/m}^3$
	Viscosity	$1.7894\text{ e}^{-05}\text{ kg/m-s}$
	Cp	$1006.43\text{ J/kg-k}$
	Thermal Conductivity	$0.0242\text{ w/m-k}$
Boundary Condition	Velocity Inlet 1,2	UDF
	Pressure Outlet (Gauge pressure)	0 Pascal
	Heater	$60^{\circ}\text{C}$
	Frequency	80 Hz, 120 Hz, and 160 Hz
	Amplitude	1 m/s

Setelah itu, gerakan diafragma dimodelkan dengan *user defined function* (UDF). Pada permodelan ini akan terlihat beberapa daerah aliran turbulen, sementara aliran lain tetap pada kondisi laminar yang diindikasikan dengan

nilai *Reynolds* yang rendah. Parameter yang digunakan pada simulasi ini adalah pengaturan model, sifat fluida dan nilai kondisi batas.

Pada saat awal ( $t = 0$ ), posisi diafragma berada pada bagian bawah *cavity*. Gerakan diafragma diasumsikan sama dengan gerakan piston di dalam sebuah silinder, dimana diekspresikan sebagai fungsi gelombang di bawah ini :

*Sinusoidal* :

$$V = V_0 + A \sin(2\pi f)t \quad (3.1)$$

Persamaan 3.1, disubstitusikan dengan nilai amplitude,  $A = 1$  m/s dan nilai kecepatan awal  $V_0 = 0$  m/s. Maka didapat persamaan 3.2.

$$V = \sin(2\pi f)t \quad (3.2)$$

*Triangle* :

$$V = V_0 + \left[ \frac{8}{\pi^2} \sum_{A=0}^{\infty} (-1)^A \frac{\sin\{(2A+1)2\pi ft\}}{(2A+1)^2} \right] \quad (3.3)$$

Persamaan 3.3, disubstitusikan dengan nilai amplitude,  $A = 1$  m/s dan nilai kecepatan awal  $V_0 = 0$  m/s. Maka didapat persamaan 3.4.

$$V = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \sin(2\pi ft) - \frac{1}{9} \sin(3\pi ft) \right\} \quad (3.4)$$

*Square* :

$$V = V_0 + \left[ \frac{4}{\pi} \sum_{A=1}^{\infty} \frac{\sin\{(2A-1)2\pi ft\}}{(2A-1)} \right] \quad (3.5)$$

Persamaan 3.5, disubstitusikan dengan nilai amplitude,  $A = 1$  m/s dan nilai kecepatan awal  $V_0 = 0$  m/s. Maka didapat persamaan 3.6.

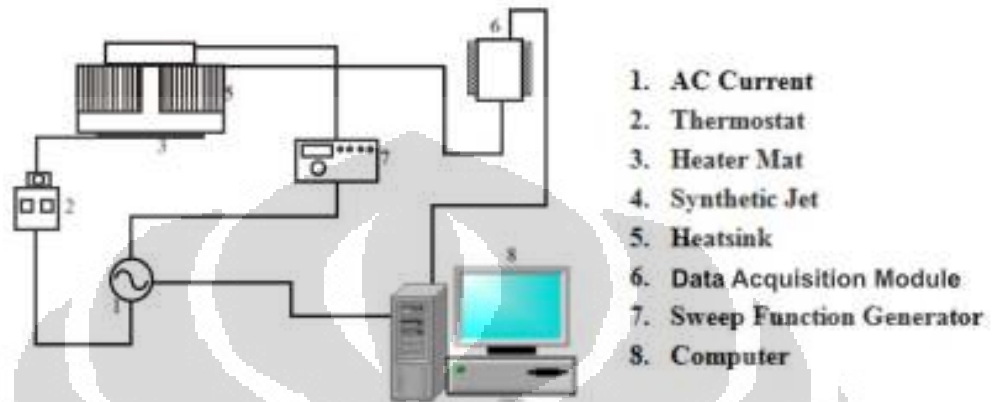
$$V = \frac{4}{\pi} \sin(2\pi ft) \quad (3.6)$$

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



### 3.4 Tahap Eksperimen

Tahap eksperimen ini dilakukan untuk mendapatkan data temperatur sebuah *heatsink* yang didinginkan menggunakan jet sintetik. Sistem eksperimen yang dibuat pada penelitian ini dapat dijabarkan pada gambar 3.2



Gambar 3.5 *Experimental Setup*

#### 3.4.1 Komponen dan peralatan tambahan

Komponen yang digunakan pada sistem eksperimen tersebut ialah sebagai berikut:

##### 1. *Thermostat*

*Thermostat* merupakan alat yang digunakan sebagai pengatur suhu pada *heater mat*. Suhu yang diset pada *heater mat* ini adalah 60 °C. Dengan fitur PID diaktifkan untuk menjaga temperature tetap stabil.



Gambar 3.6 *Thermostat*

## 2. Heater Mat

*Heater mat* merupakan alat yang digunakan sebagai sumber panas yang ditempatkan di bawah *heatsink*.



Gambar 3.7 Heater Mat

## 3. Jet Sintetik

Jet sintetik merupakan alat pendingin pada penelitian ini yang telah di desain sebelumnya yang digunakan untuk mendinginkan heatsink. Jet sintetik ini dibuat dengan menggunakan bahan nilon karena bahan ini mudah dibentuk dan juga mempunyai sifat insulator yang baik. Pada jet sintetik ini memakai 2 membran piezoelektrik yang dipasang di atas dan bawah cavity.



Gambar 3.8 Jet Sintetik tampak atas dan tampak bawah

#### 4. *Data Logger*

*Temperature data logger* dengan 8 channel input dipergunakan untuk mengukur suhu pada 8 titik di *heatsink* dimana 4 thermocouple diletakkan setiap  $90^\circ$  dari bagian atas *heatsink* dan 4 sisanya diletakkan pada bagian samping *heatsink* setiap  $90^\circ$  juga.



Gambar 3.9 *Temperature data logger*

#### 5. *Heat sink*

*Heat sink* merupakan benda yang digunakan sebagai sumber pengukuran temperatur. *Heat sink* yang digunakan pada eksperimen ini mempunyai bentuk lingkaran dengan 32 *fin*, dengan diameter 11 cm dan tinggi 5 cm. Bahan yang digunakan untuk membuat *heat sink* ini adalah aluminium.



Gambar 3.10 *Heat sink*

#### 6. *Sweep Function Generator*

Alat ini digunakan untuk mengatur bentuk gelombang yang digunakan dan juga mengatur variasi frekuensi gelombang. Pada penelitian ini digunakan gelombang sinusoidal dengan variasi frekuensi gelombangnya 80Hz, 120 Hz dan 160 Hz.



Gambar 3.11 *Function Generator*

#### 7. Komputer

Komputer digunakan sebagai penyimpan data temperatur *heatsink* yang dibaca menggunakan *data logger*, dimana digital multimeter ini dihubungkan dengan komputer sebelumnya.





Gambar 3.12 Komputer

Peralatan tambahan pada eksperimen ini meliputi:

1. Thermocouple

Merupakan komponen untuk mengukur temperatur di suatu titik pada system



Gambar 3.13 *Thermocouple*

2. Termo-Hygrometer

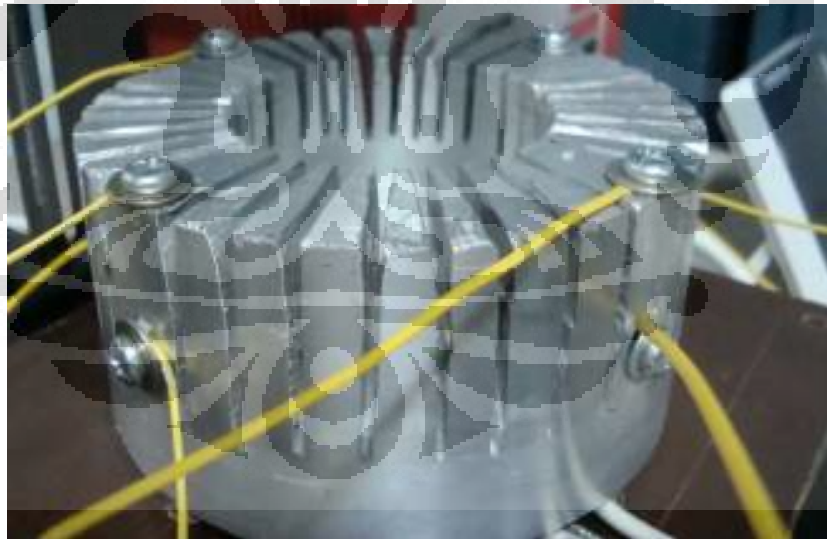
Alat ini digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan.



Gambar 3.14 Thermo-Hygrometer

#### 3.4.2 Prosedur pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur suhu pada *heat sink* pada 8 titik dengan menggunakan temperature data logger dengan akurasi pengukuran  $\pm 0.05$  °C.

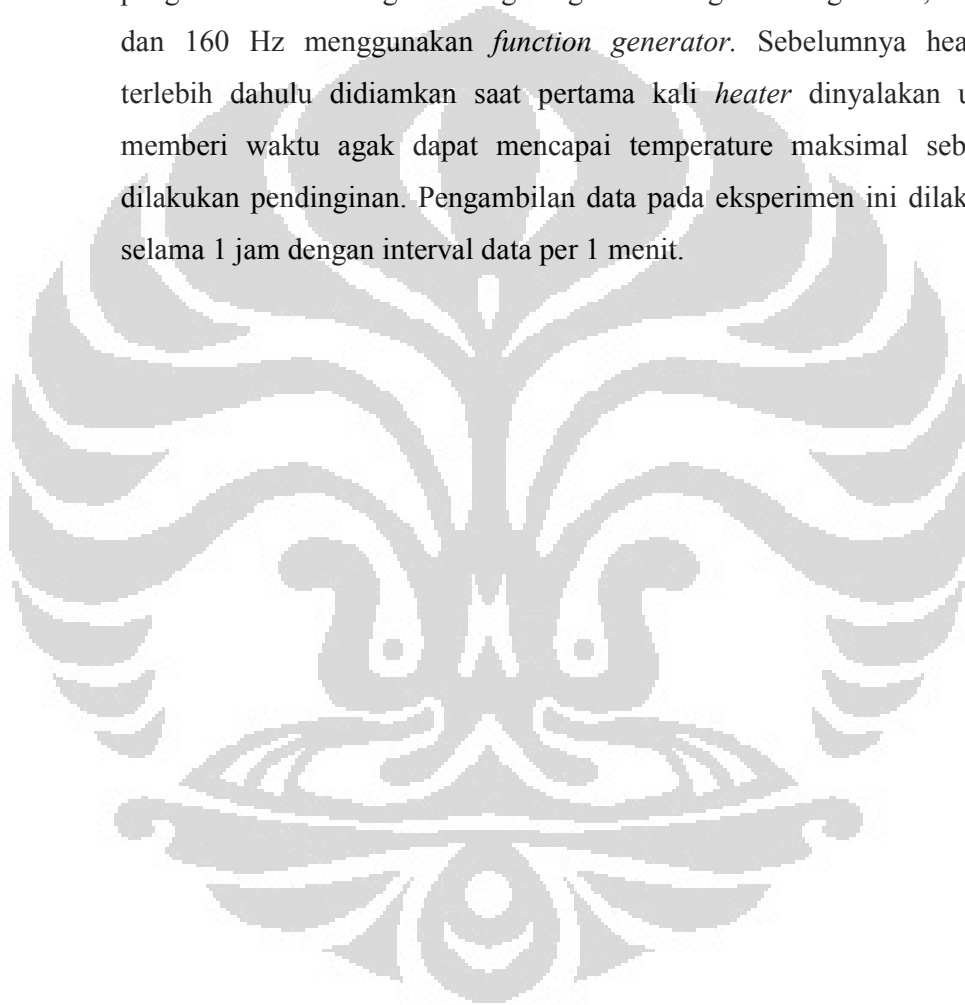


Gambar 3.15 Skema peletakan thermocouple pada heatsink

Sebelum dilakukan eksperimen, dilakukan pengaturan suhu pada *heat sink*. Sumber panas pada *heat sink* didapatkan dengan menempatkan *heater mat* pada bagian bawah *heat sink* dengan suhu 60 °C yang diatur

menggunakan *thermostat* dan pengukuran dilakukan pada suhu lingkungan  $27^{\circ}\text{C}$ . Fitur PID (proporsional band, integral time dan derivative time) pada *thermostat* diaktifkan untuk mencegah terjadi *overshoot* yang terlalu besar pada suhu *heatsink*.

Kemudian dilakukan pengaturan bentuk gelombang sinusoidal, triangle dan square yang dipakai pada eksperimen ini. Serta dilakukan pengaturan frekuensi gelombang dengan variasi gelombang 80 Hz, 120 Hz dan 160 Hz menggunakan *function generator*. Sebelumnya heatsink terlebih dahulu didiamkan saat pertama kali *heater* dinyalakan untuk memberi waktu agak dapat mencapai temperature maksimal sebelum dilakukan pendinginan. Pengambilan data pada eksperimen ini dilakukan selama 1 jam dengan interval data per 1 menit.

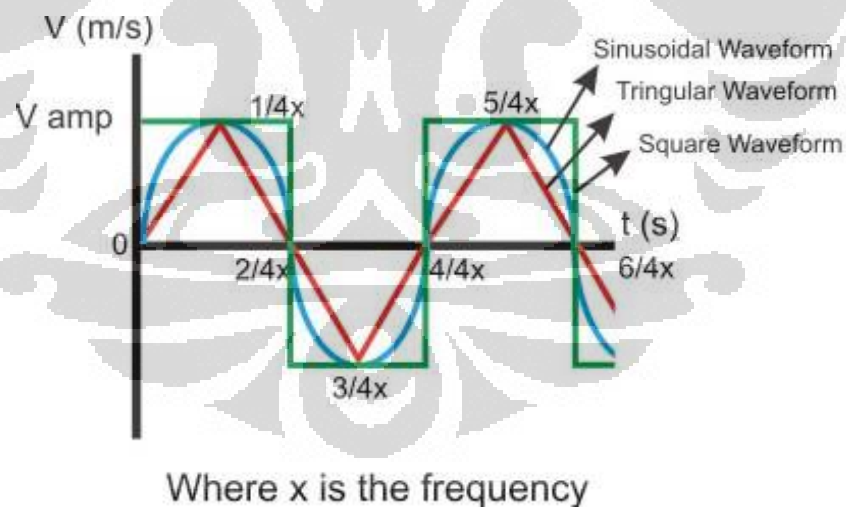


## BAB 4

### ANALISA DATA

#### 4.1 Analisa Data Komputasional

Simulasi aliran dilakukan untuk mendapatkan gambaran perubahan medan aliran (kecepatan, turbulent intensity) akibat efek tiupan dari jet sintetik. Pendekatan simulasi dilakukan guna menjelaskan karakteristik laju perubahan aliran jet sintetik pada fase-fase gelombang tertentu. Pada tahap komputasional, analisa akan dilakukan terhadap evolusi aliran yang terjadi pada tiap-tiap prototype, jenis sinyal dan frekuensi. Profil kecepatan pada jet sintetik ditentukan dengan mensubstitusikan nilai frekuensi 80 Hz, 120 Hz dan 160 Hz ke dalam persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3. Model UDF untuk sintetik jet tersebut dibuat dalam bahasa pemrograman C. Simulasi dilakukan dengan melihat kondisi aliran pada satu panjang gelombang saat amplitude berada di puncak, tengah, lembah dan ujung gelombang seperti ditunjukkan dalam gambar 4.1.

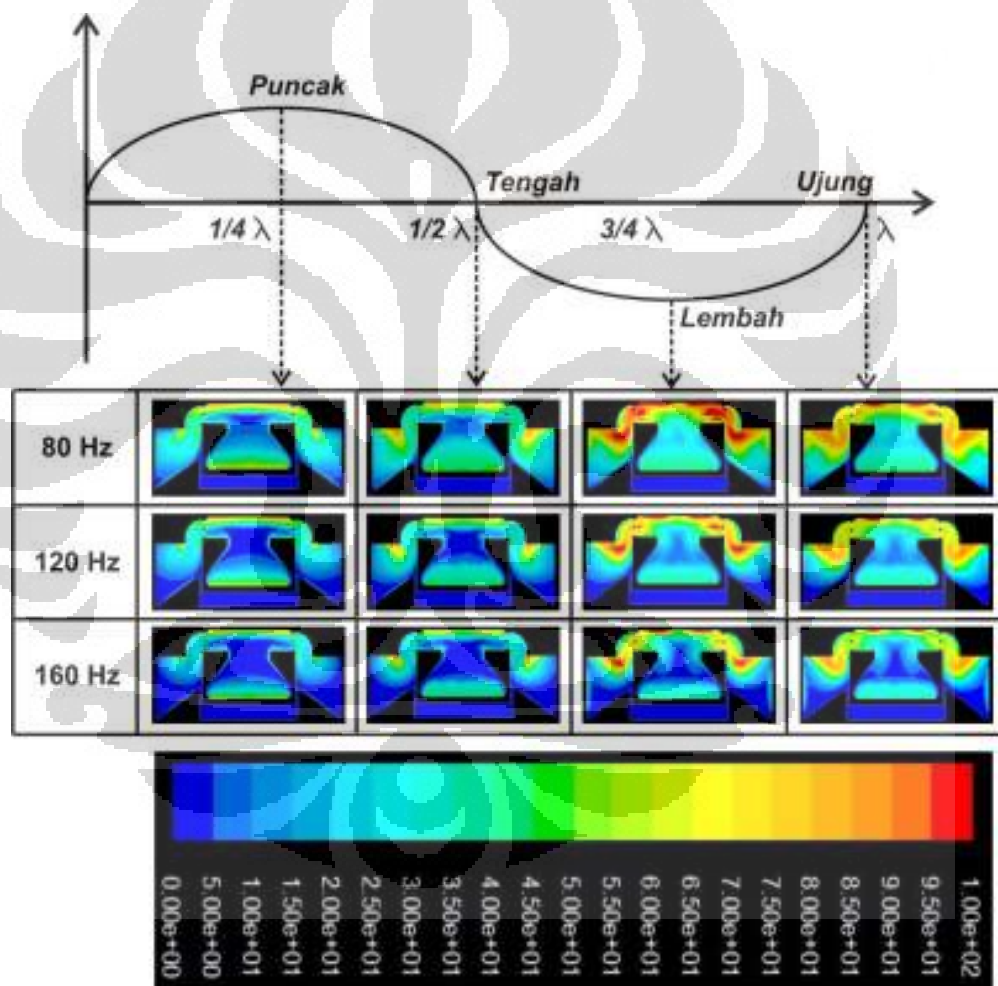


Gambar 4.1 Skema pergerakan *synthetic jet*

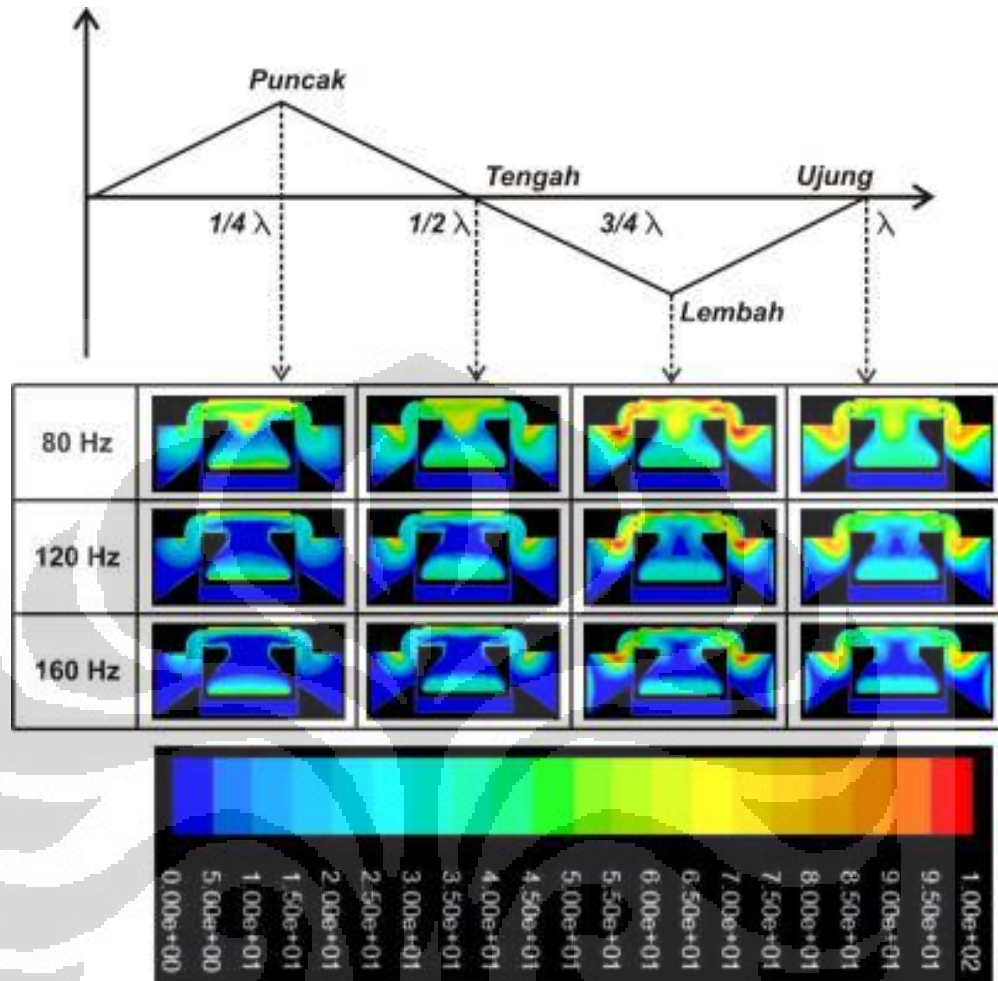
##### 4.1.1 Evolusi aliran pada prototype 1

Prototype 1 didesain dengan dimensi yang paling besar di antara prototype lainnya. Dengan adanya pengecilan diameter pada bagian tengah diharapkan

agar fluida yang tertiuip dari membrane bagian bawah tertekan dengan kecepatan yang tinggi sehingga kecepatannya dapat berakumulasi dengan membrane atas dan menghasilkan aliran dengan kecepatan yang cukup tinggi untuk melakukan pendinginan. Proses evolusi aliran dari tiap frekuensi dan jenis gelombang digambarkan dalam kontur intensitas turbulensi (%) pada gambar 4.2. Gambar 4.2(a) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.2(b) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. Gambar 4.2(c) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

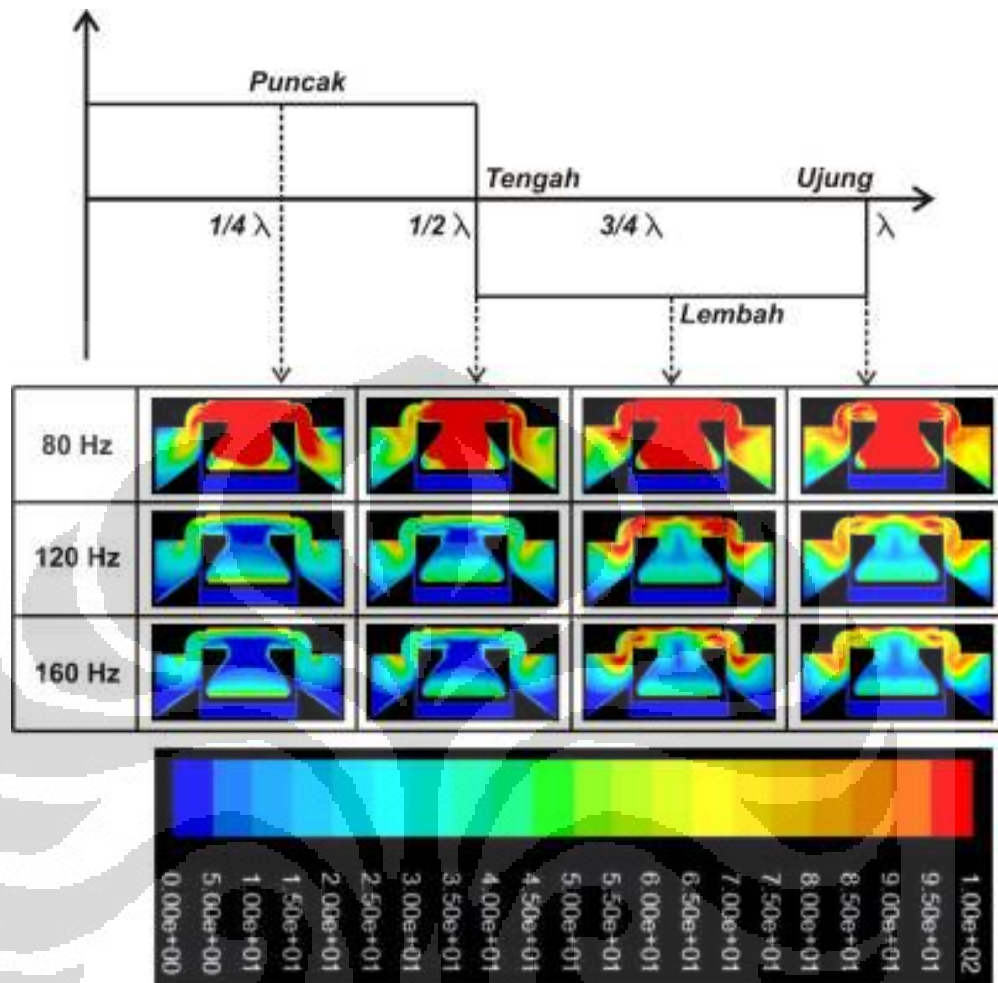


(a)



(b)

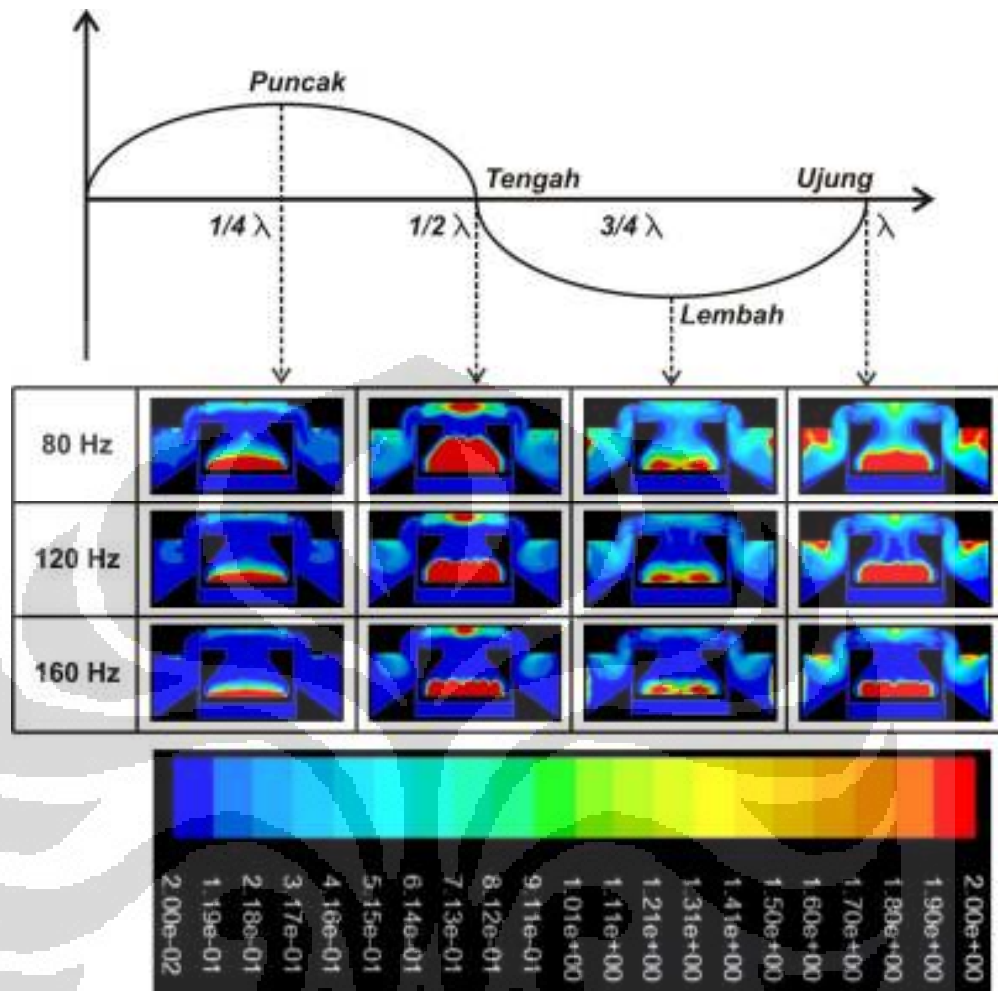




(c)

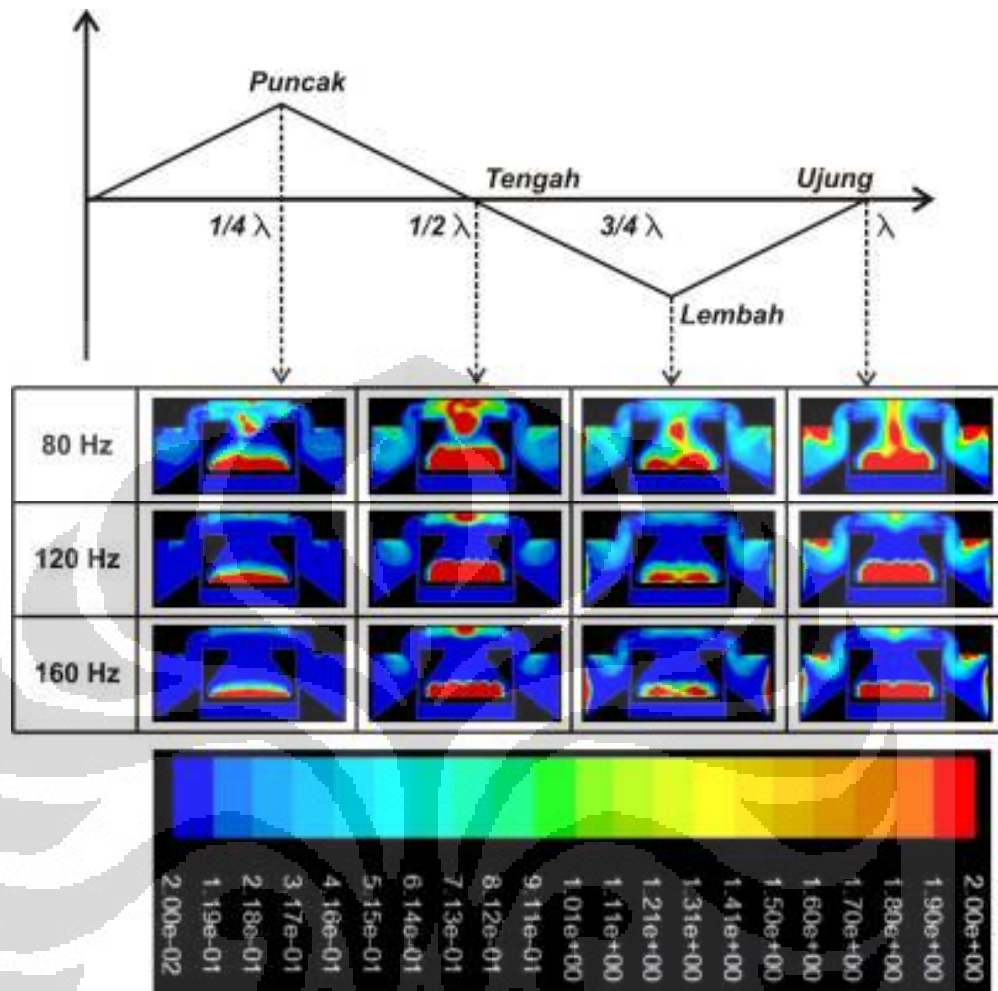
Gambar 4.2 Intensitas turbulensi (%) pada prototype 1. (a) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. (c) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai konduktivitas udara yang terjadi akibat dari gerakan udara yang turbulen digambarkan dalam kontur konduktivitas thermal (W/mK) pada gambar 4.3. Gambar 4.3(a) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.3(b) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. Gambar 4.3(c) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

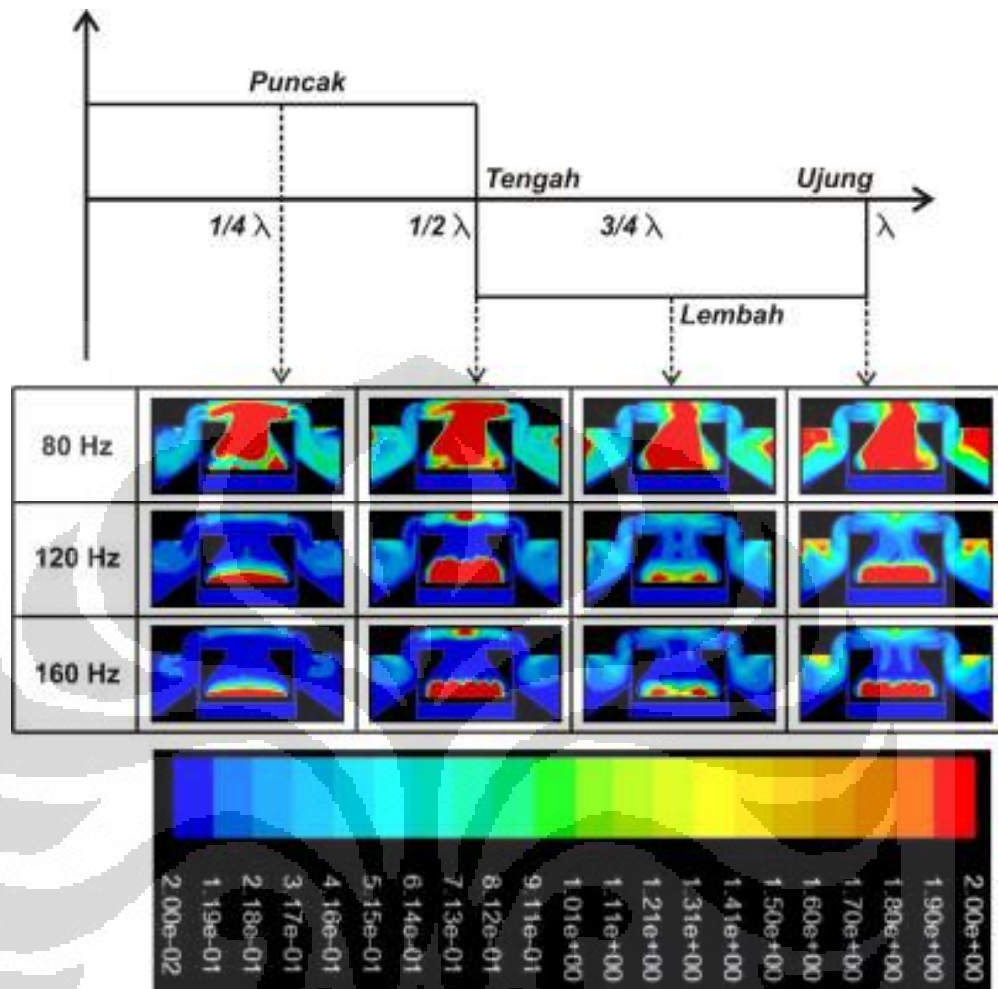


(a)





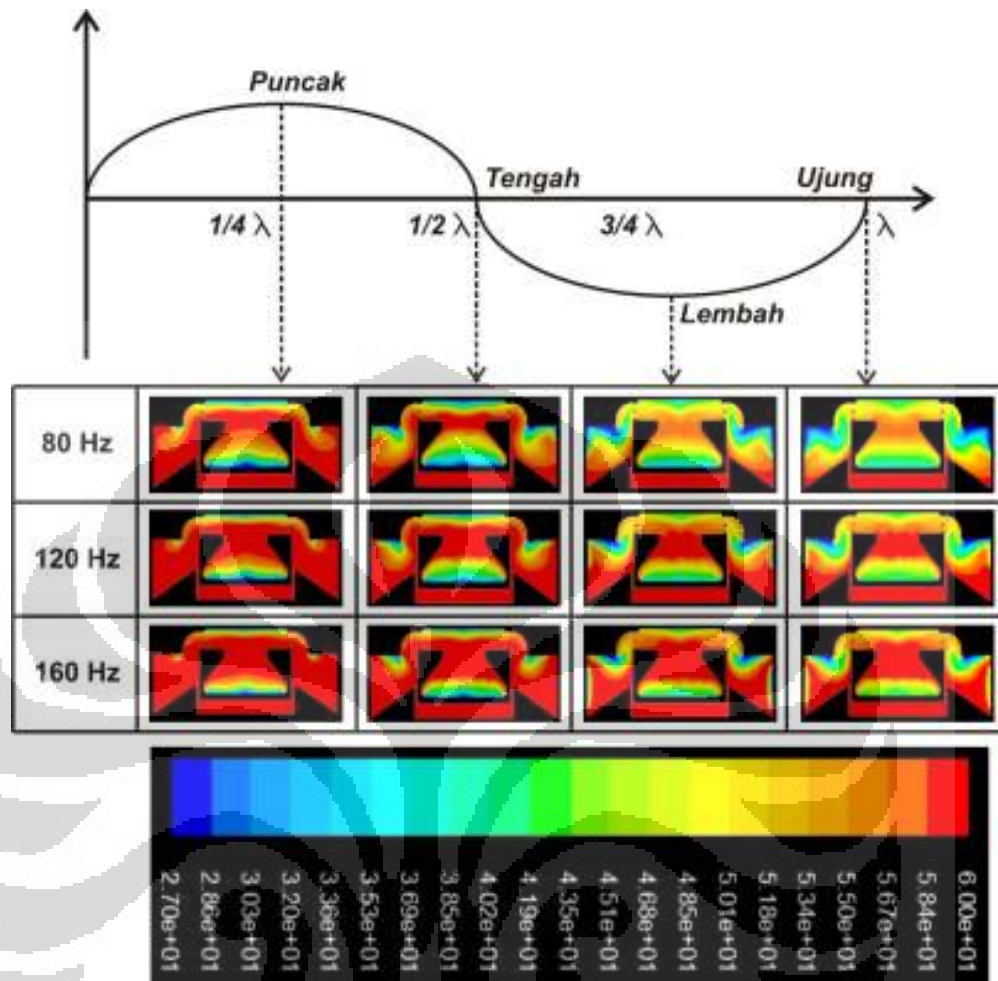
(b)



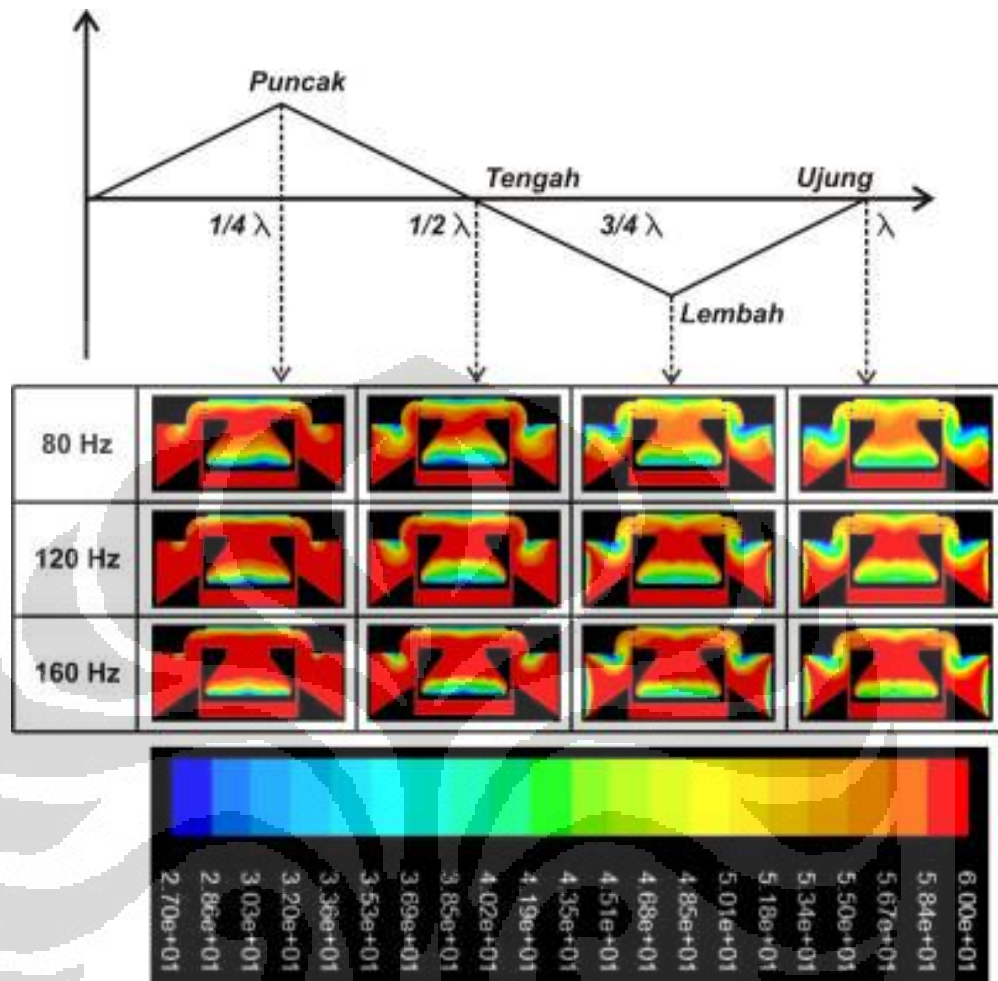
(c)

Gambar 4.3 Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 1. (a) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. (c) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

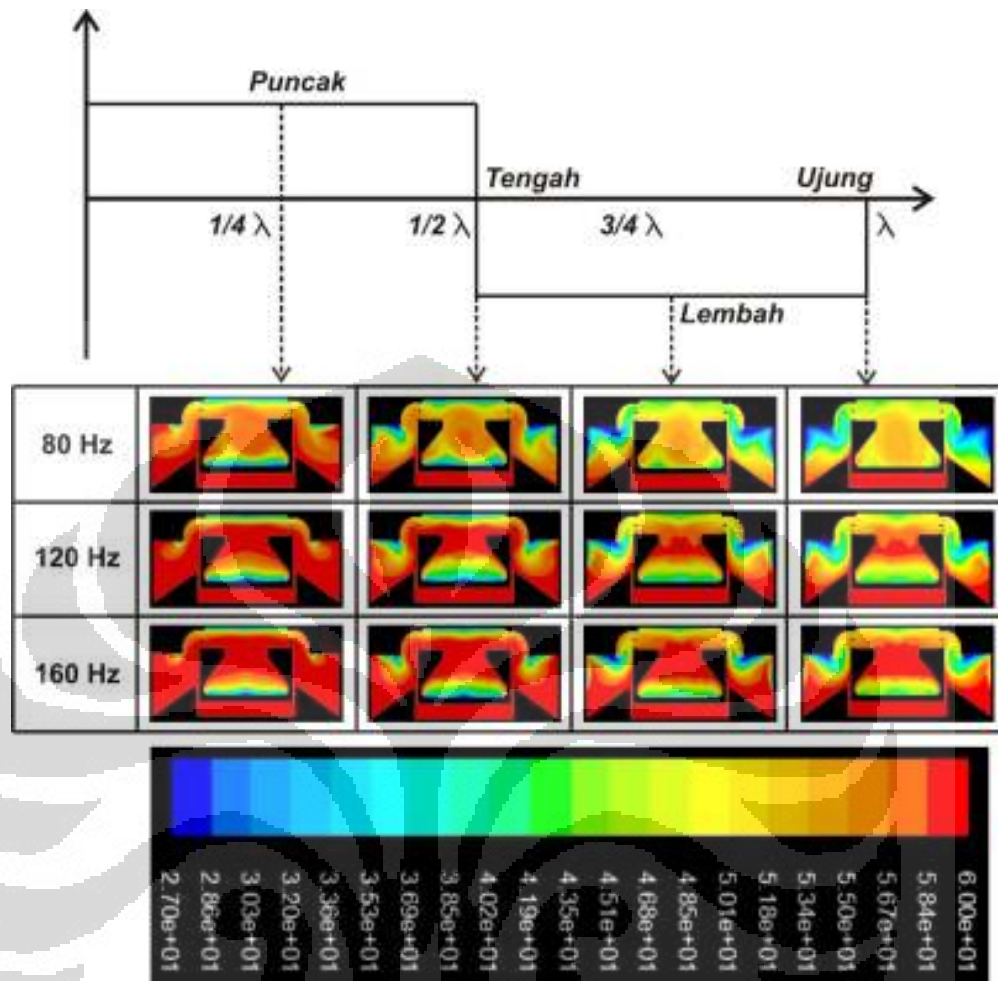
Sedangkan dari segi nilai temperature pada tiap fase gelombang digambarkan dalam kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada gambar 4.4. Gambar 4.4(a) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.4(b) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. Gambar 4.4(c) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Nilai temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada prototype 1. (a) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. (c) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

Dari ketiga aspek antara intensitas turbulensi dan thermal conductivity, terlihat bahwa nilai square 80 Hz lah yang memberikan nilai tertinggi. Sedangkan pada aspek temperature terlihat bahwa nilai square 80 Hz memberikan nilai penurunan temperature yang paling tinggi. Pada kontur intensitas turbulensi terlihat bahwa pada bagian lembah gelombang daerah terjadinya turbulensi lebih besar dibandingkan dengan yang terjadi pada puncak gelombang. Sedangkan dari segi konduktivitas thermal terlihat kecenderungan bahwa nilai konduktivitas thermal berfluktuatif dari mulai puncak hingga ke ujung

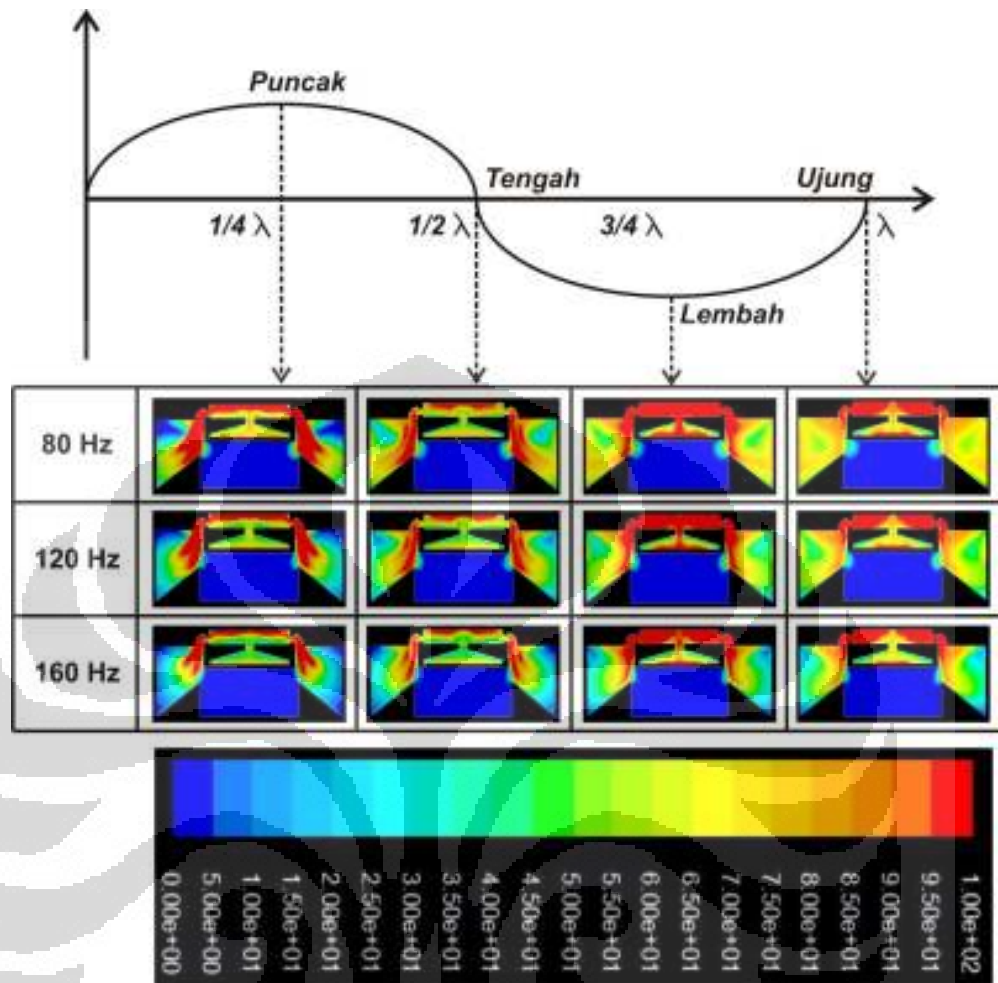


gelombang. Terlihat bahwa nilai konduktivitas thermal pada fase  $\frac{1}{2}$  dan 1 gelombang memiliki nilai yang paling besar, walaupun pada saat memasuki fase  $\frac{1}{4}$  dan  $\frac{3}{4}$  nilai tersebut berkurang.

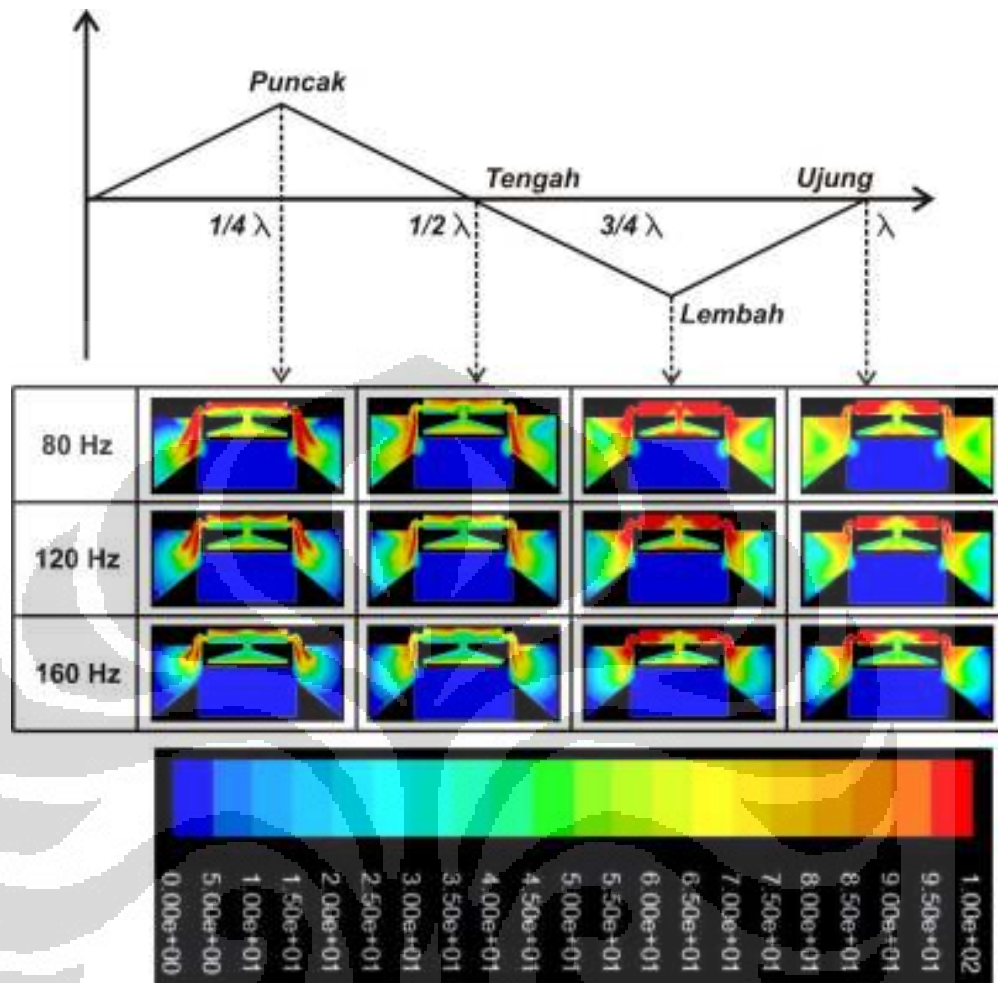
Kemudian dari segi temperatur terlihat bahwa pada seluruh sinyal nilai temperature di sekitar domain makin lama makin berkurang dari mulai puncak hingga ujung gelombang.

#### 4.1.2 *Evolusi aliran pada prototype 2*

Prototype 2 didesain dengan bentuk yang serupa dengan prototype 1 hanya saja memiliki dimensi yang lebih kecil. Bentuk cavity serupa dengan prototype 1. Prinsip kerja pun sama yaitu pengecilan diameter pada bagian tengah guna mengakumulasikan kecepatan fluida dengan membrane atas dan menghasilkan aliran dengan kecepatan yang cukup tinggi untuk melakukan pendinginan. Proses evolusi aliran dari tiap frekuensi dan jenis gelombang digambarkan dalam kontur intensitas turbulensi (%) pada gambar 4.5. Gambar 4.5(a) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.5(b) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. Gambar 4.5(c) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

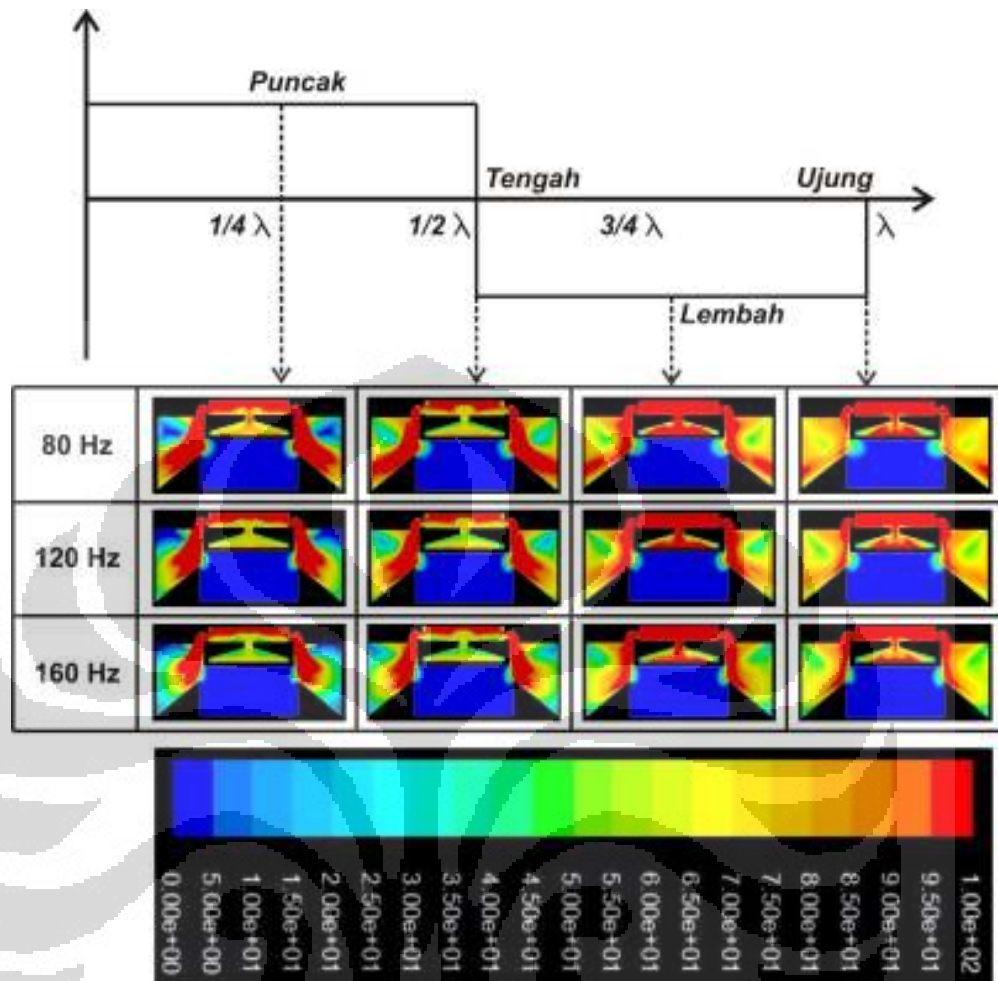


(a)



(b)

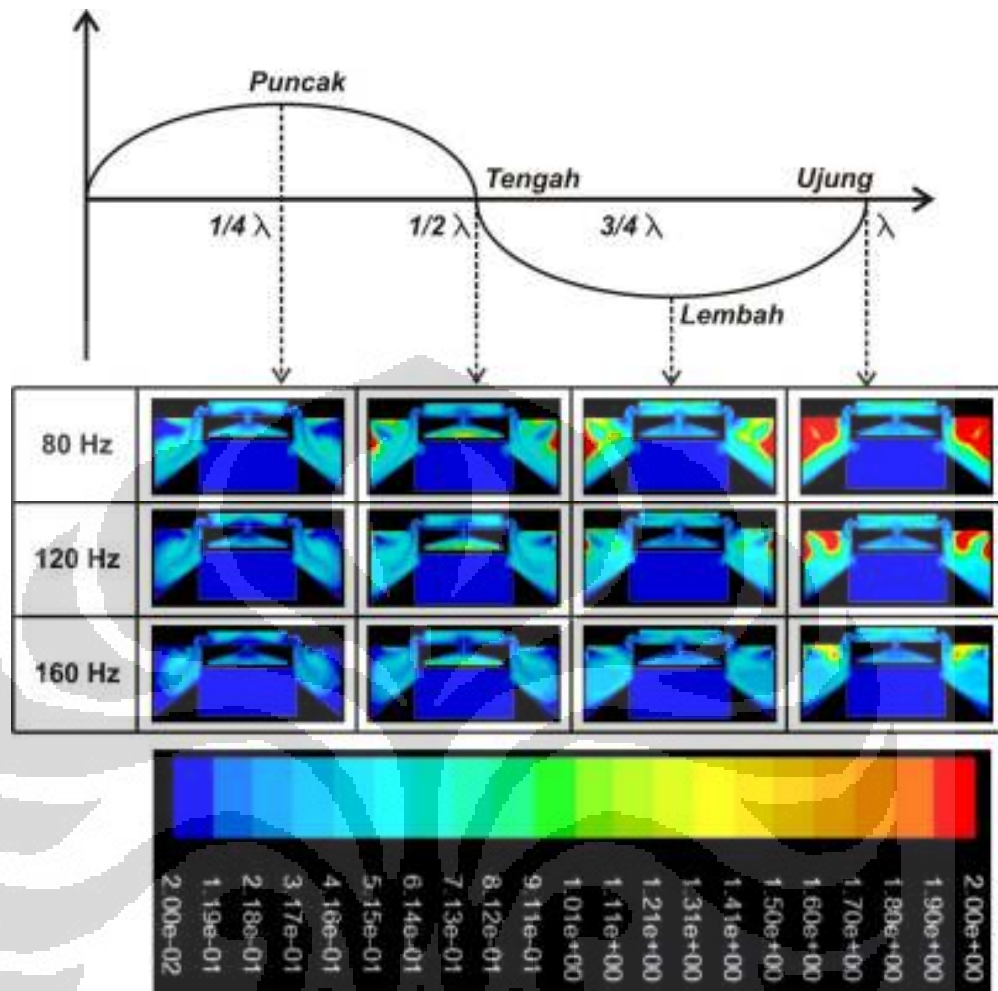




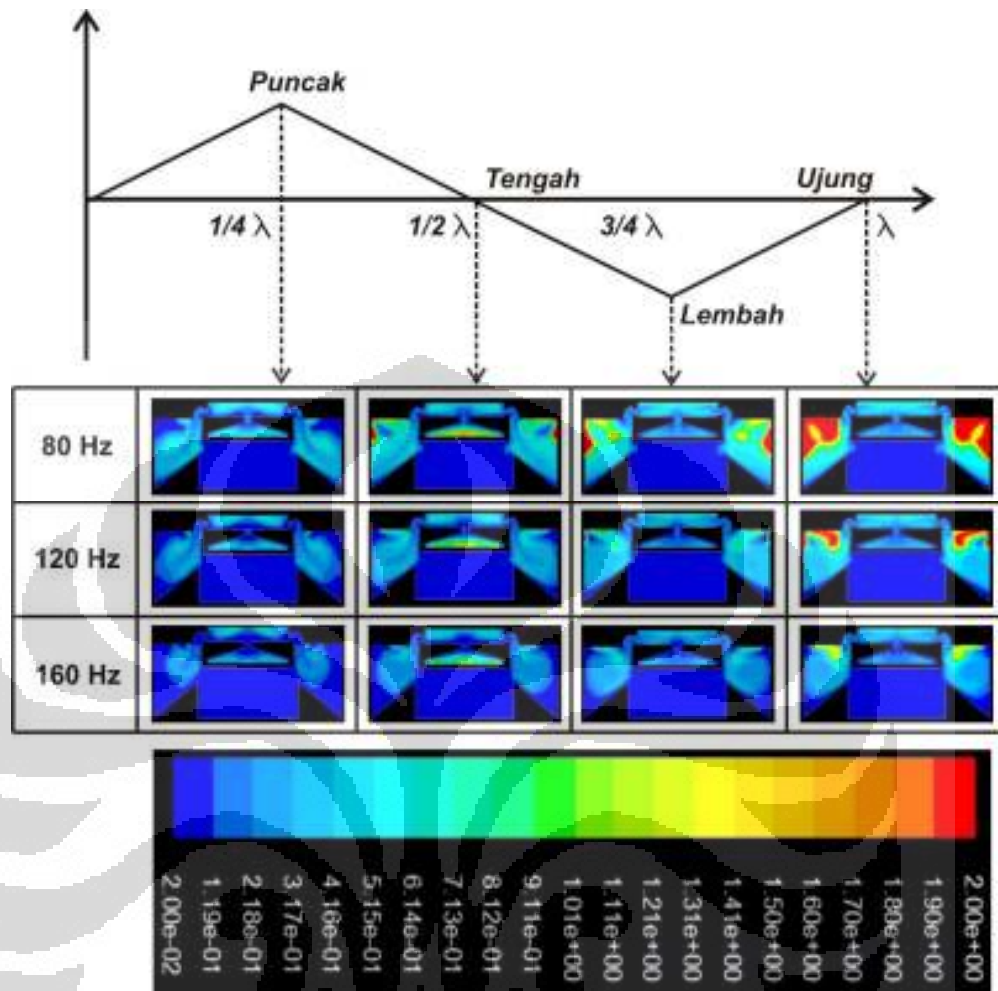
(c)

Gambar 4.5 Intensitas turbulensi (%) pada prototype 2. (a) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. (c) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

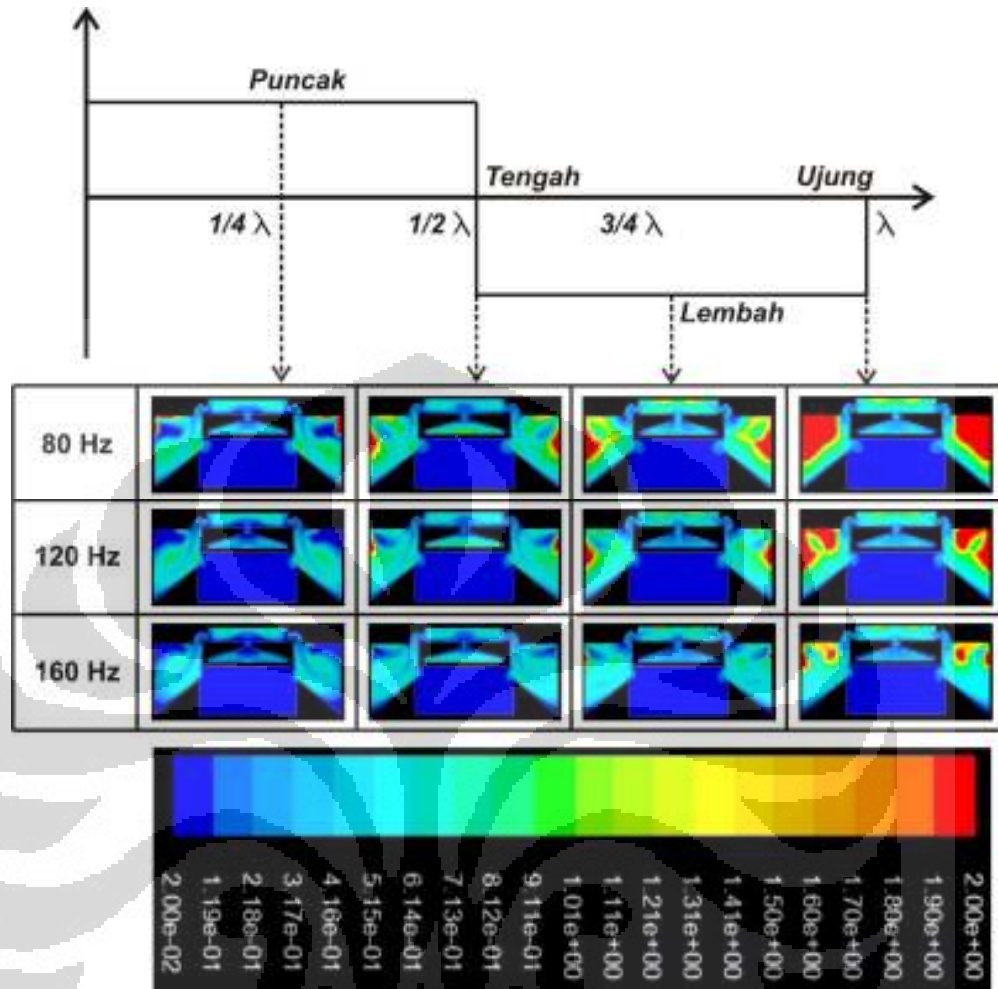
Sedangkan dari segi nilai konduktivitas udara yang terjadi akibat dari gerakan udara yang turbulen digambarkan dalam kontur konduktivitas thermal (W/mK) pada gambar 4.6. Gambar 4.6(a) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.6(b) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. Gambar 4.6(c) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.



(a)



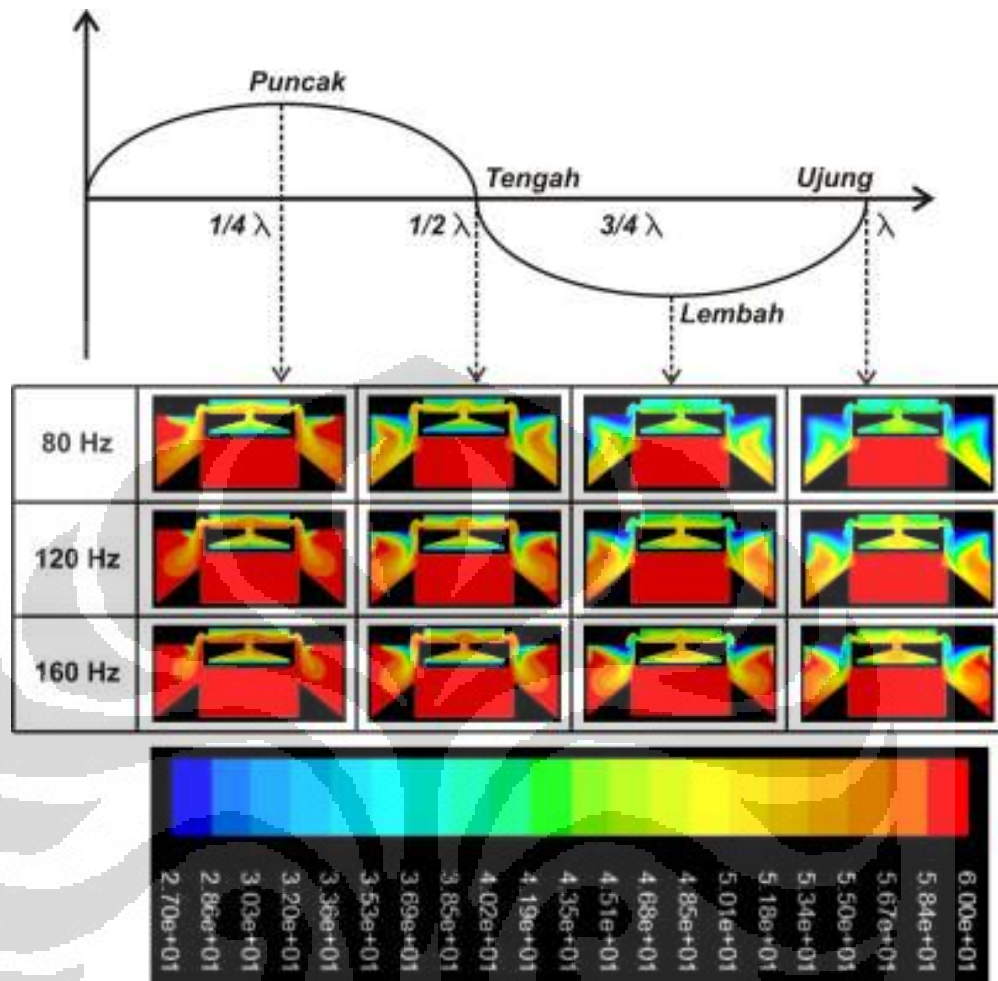
(b)



(c)

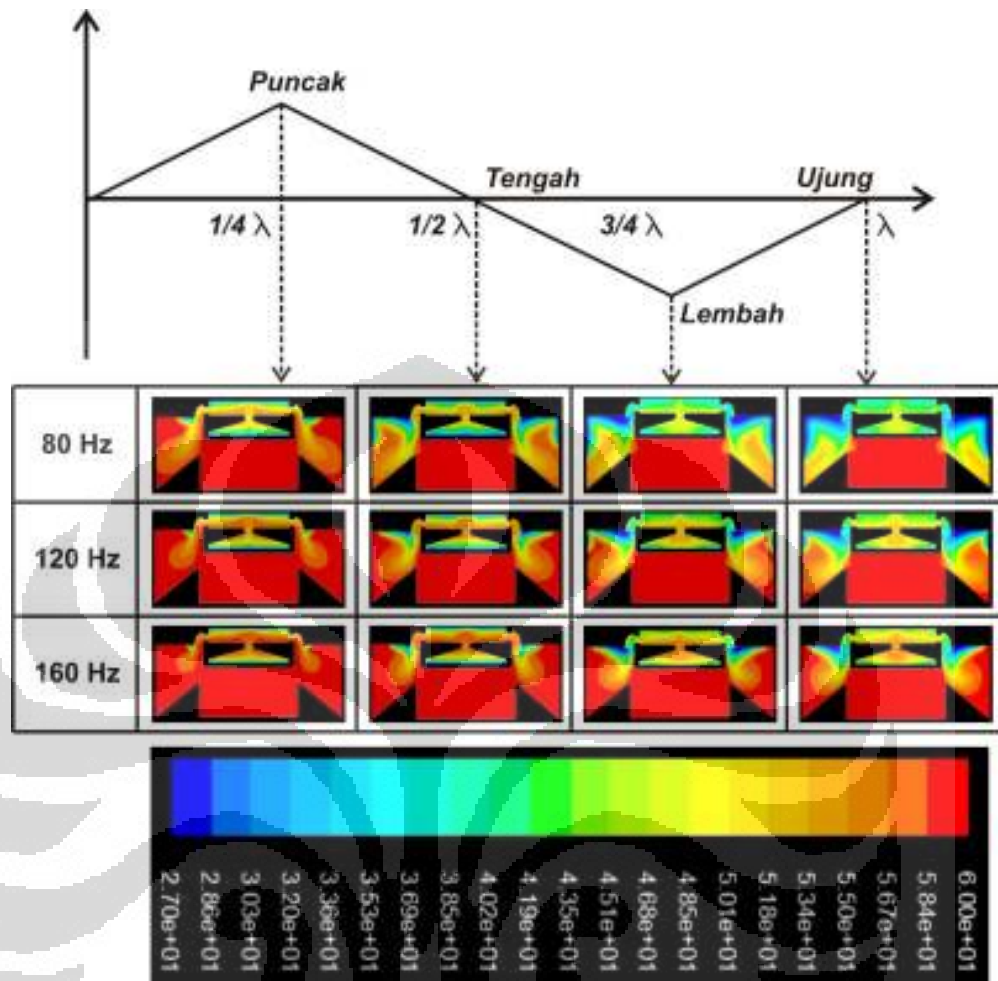
Gambar 4.6 Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 2. (a) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. (c) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai temperature pada tiap fase gelombang digambarkan dalam kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada gambar 4.7. Gambar 4.7(a) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.7(b) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. Gambar 4.7(c) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

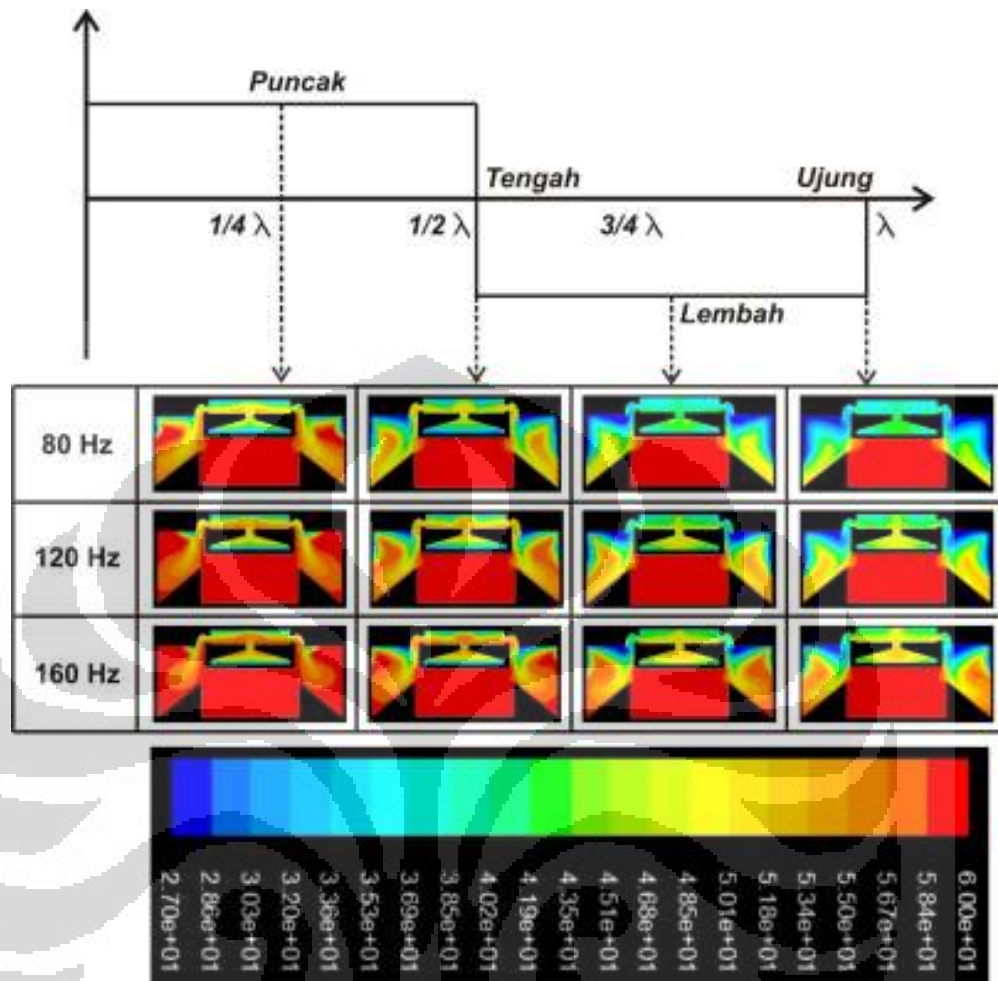


(a)





(b)



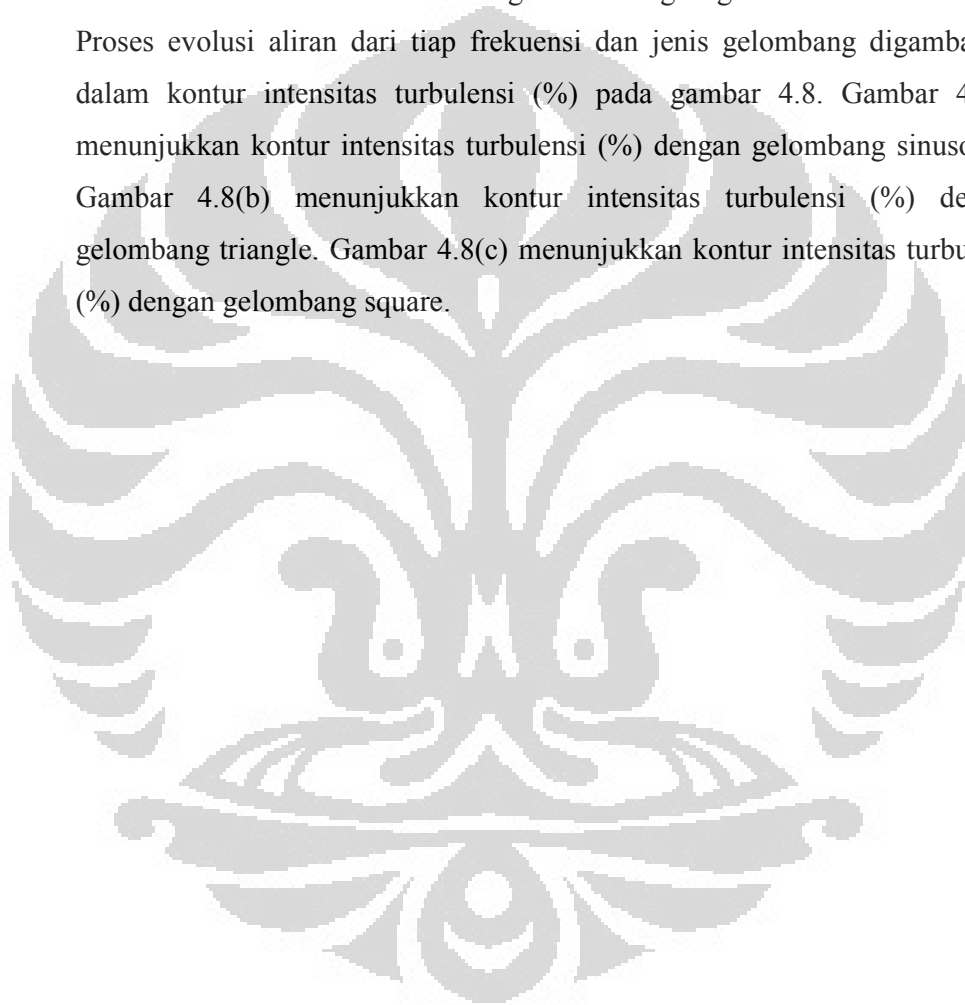
(c)

Gambar 4.7 Nilai temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada prototype 2. (a) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. (c) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

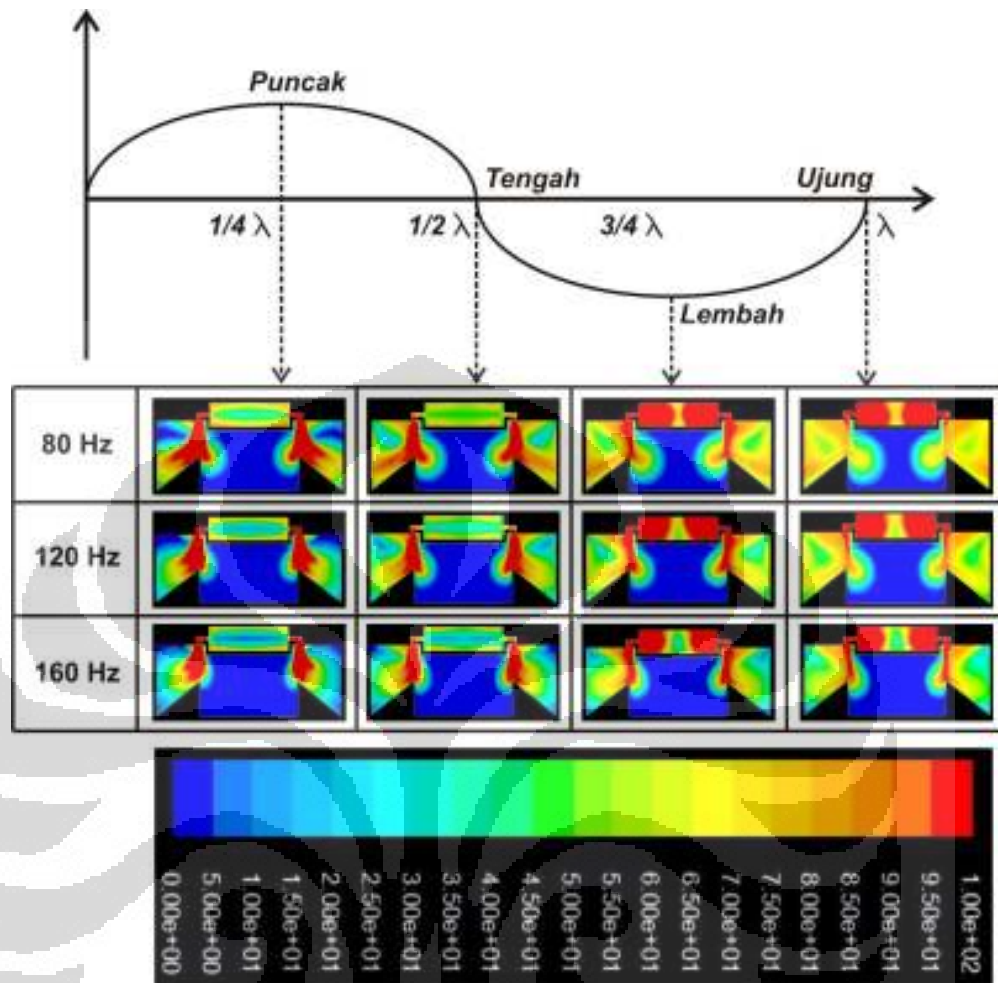
Sama halnya seperti pada prototype 1, terlihat bahwa jenis gelombang square pada frekuensi 80 Hz nilai intensitas turbulensi, konduktivitas thermal dan penurunan temperatur yang paling tinggi. Tetapi berbeda dengan prototype 1, pada prototype 2 ini terlihat bahwa pada fase suction (daerah lembah gelombang) nilai intensitas turbulensi lebih besar dari pada fase discharge (daerah puncak gelombang) dengan konsentrasi terbesar pada bagian dalam cavity jet sintetik.

#### 4.1.3 Evolusi aliran pada prototype 3

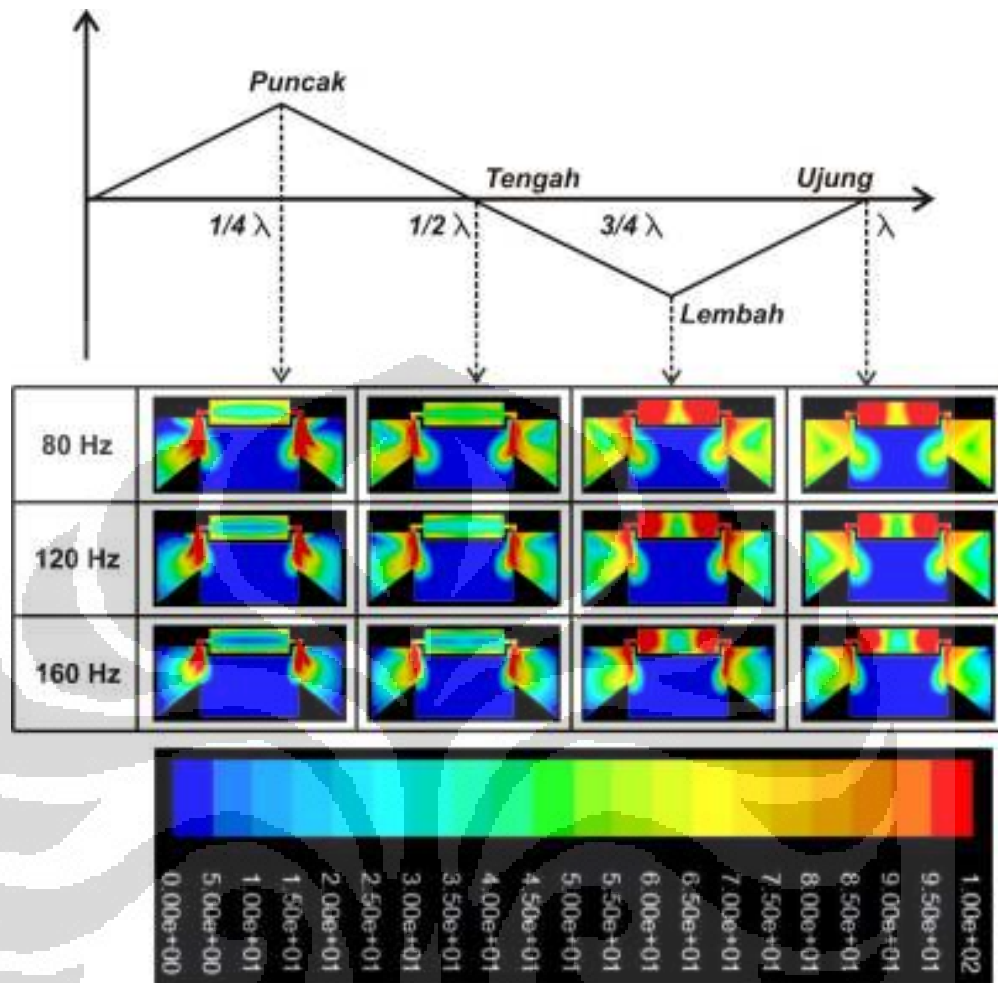
Prototype 3 didesain dengan dimensi paling kecil di antara semua prototype. Prototype ini didesain dengan ukuran cavity yang amat kecil guna meminimalkan terjadinya kehilangan energy pada fluida akibat gesekan dengan permukaan cavity. Dengan memperkecil jarak antara membrane atas dan bawah  $\pm 3$  mm diharapkan fluida yang didorong oleh kedua membrane tersebut akan berakumulasi di tengah dan langsung keluar melalui nozzle. Proses evolusi aliran dari tiap frekuensi dan jenis gelombang digambarkan dalam kontur intensitas turbulensi (%) pada gambar 4.8. Gambar 4.8(a) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.8(b) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. Gambar 4.8(c) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.



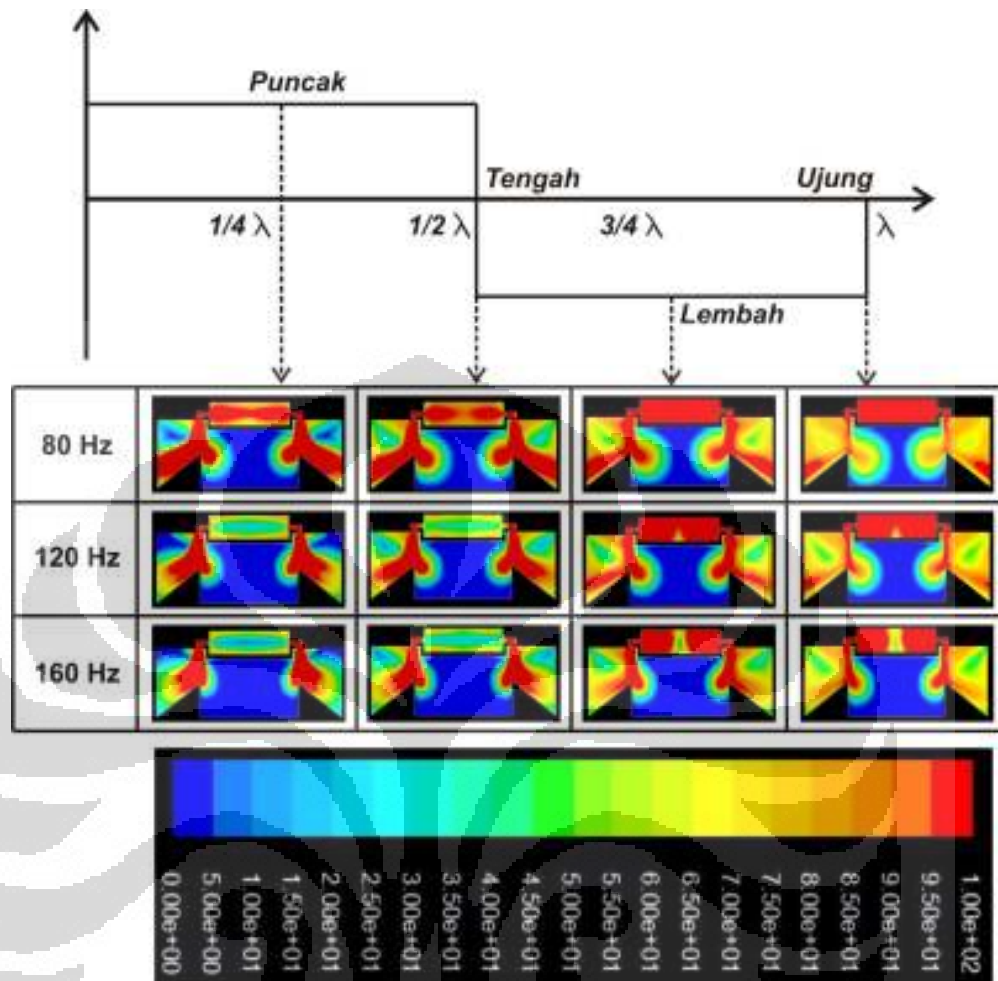




(a)



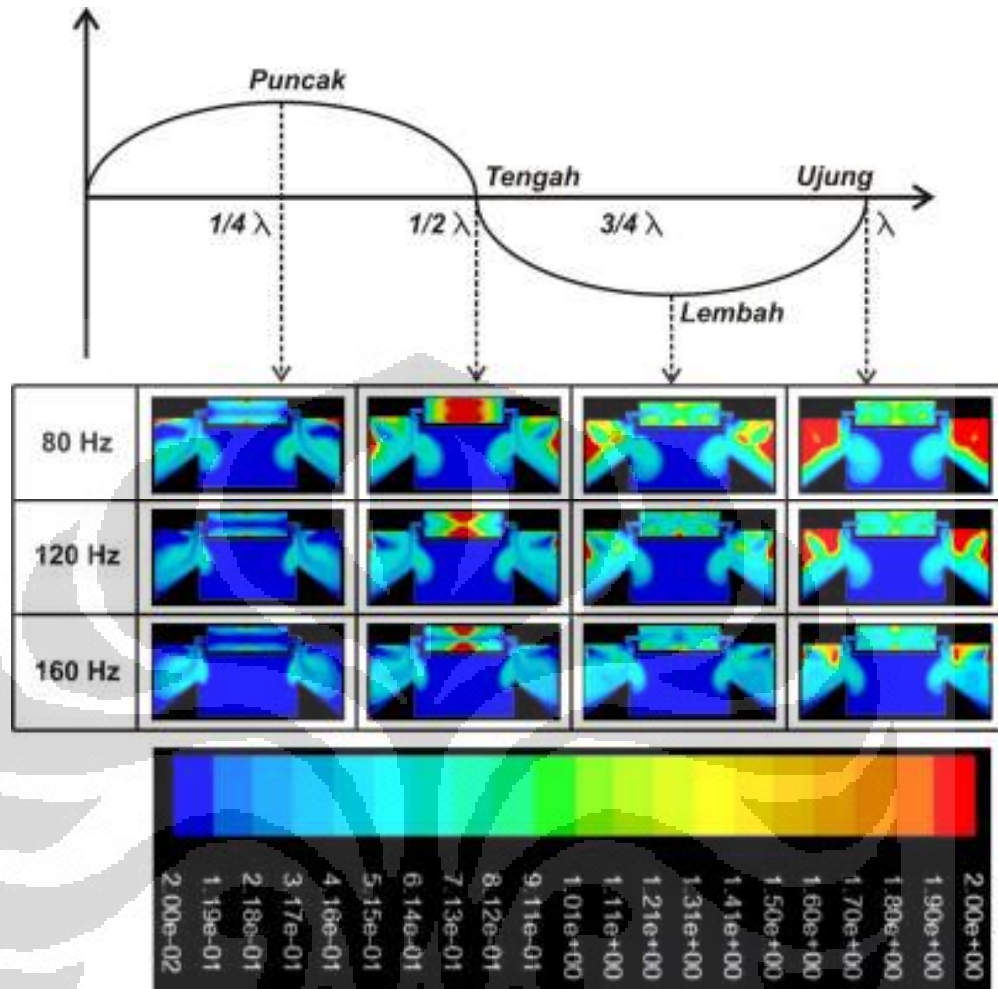
(b)



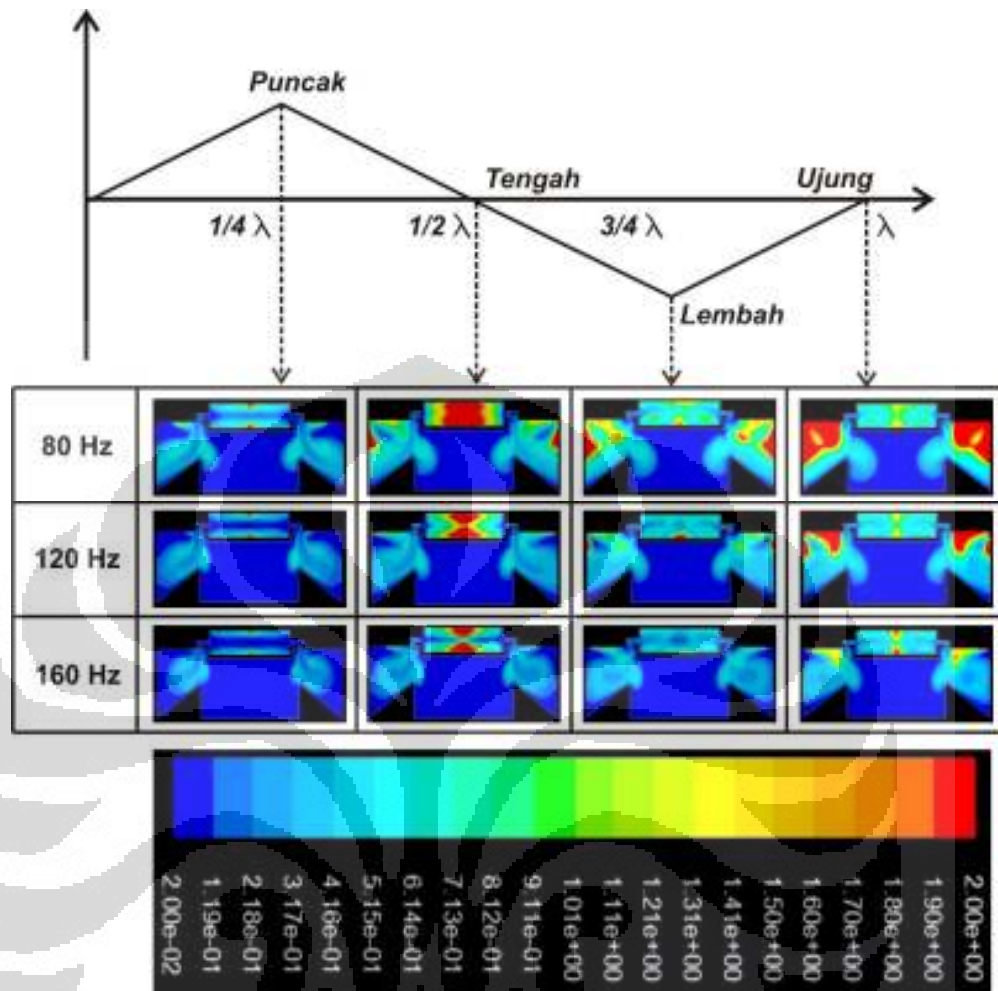
(c)

Gambar 4.8 Intensitas turbulensi (%) pada prototype 3. (a) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. (c) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai konduktivitas udara yang terjadi akibat dari gerakan udara yang turbulen digambarkan dalam kontur konduktivitas thermal (W/mK) pada gambar 4.9. Gambar 4.9(a) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.9(b) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. Gambar 4.9(c) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

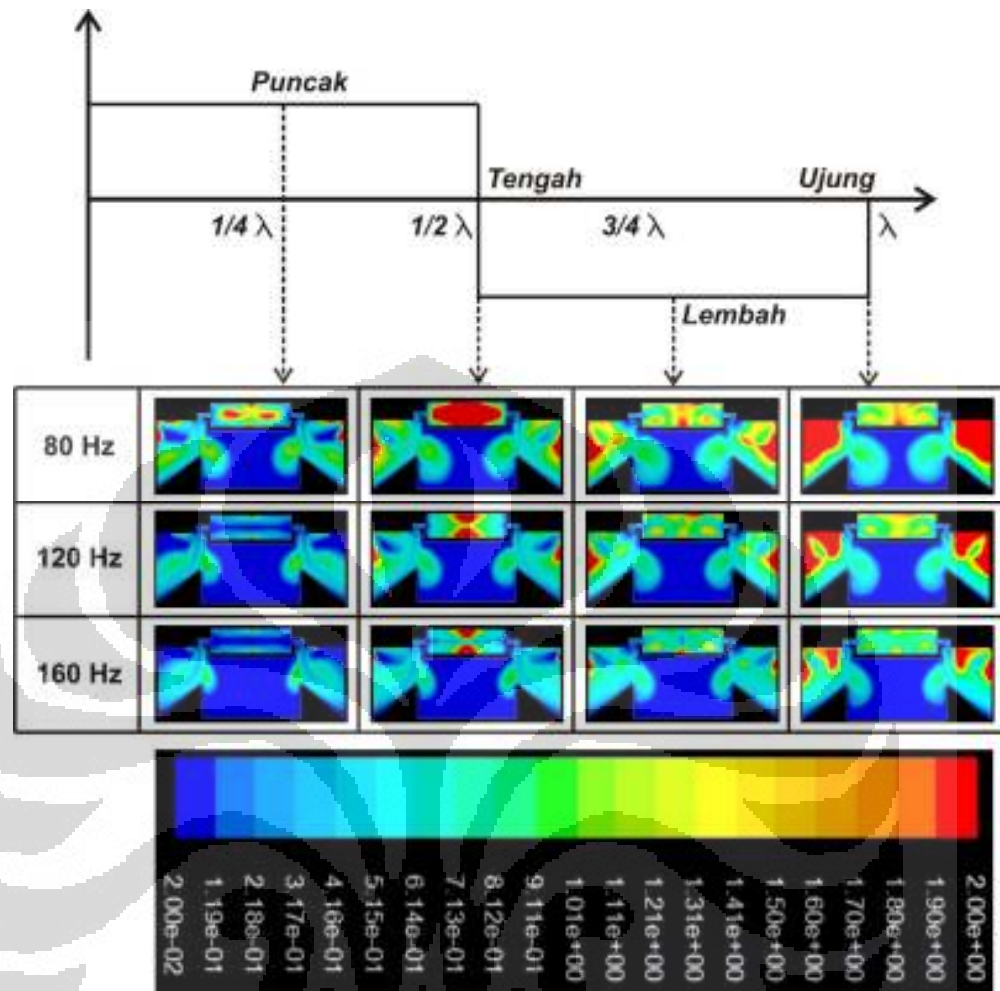


(a)



(b)

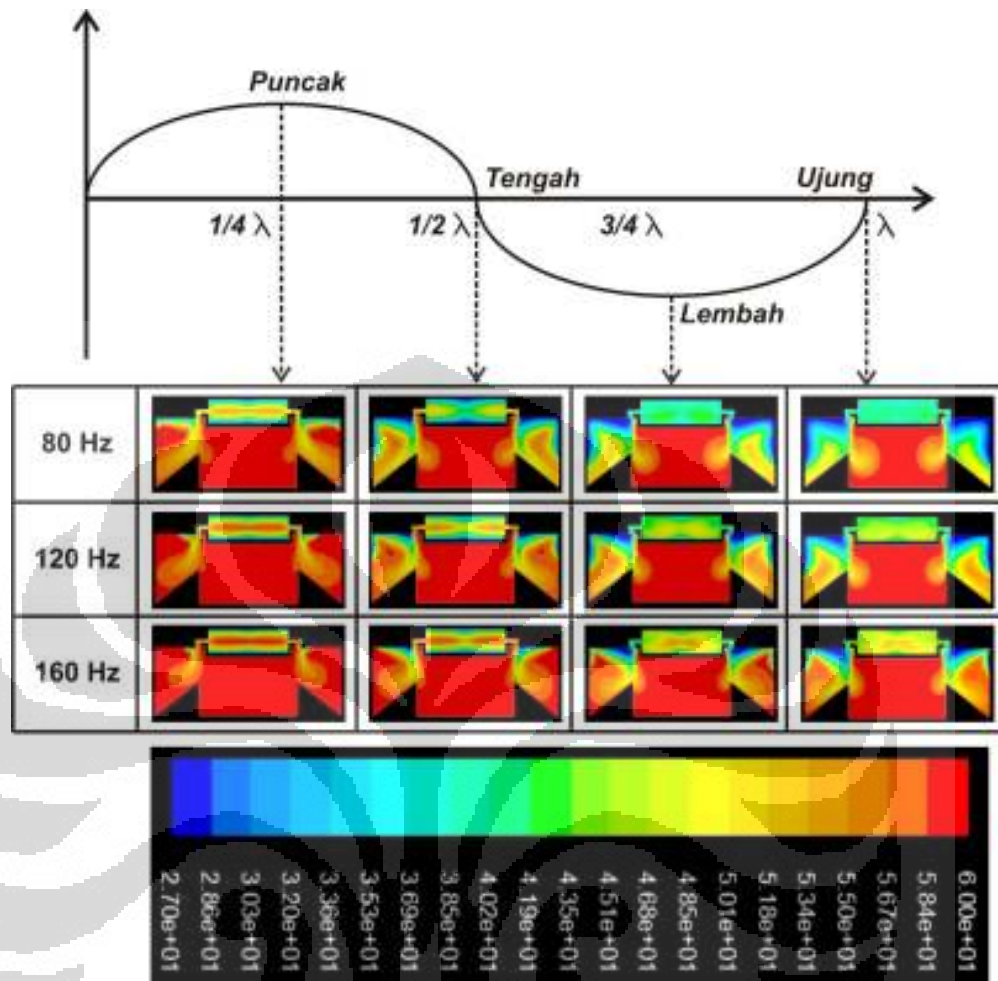




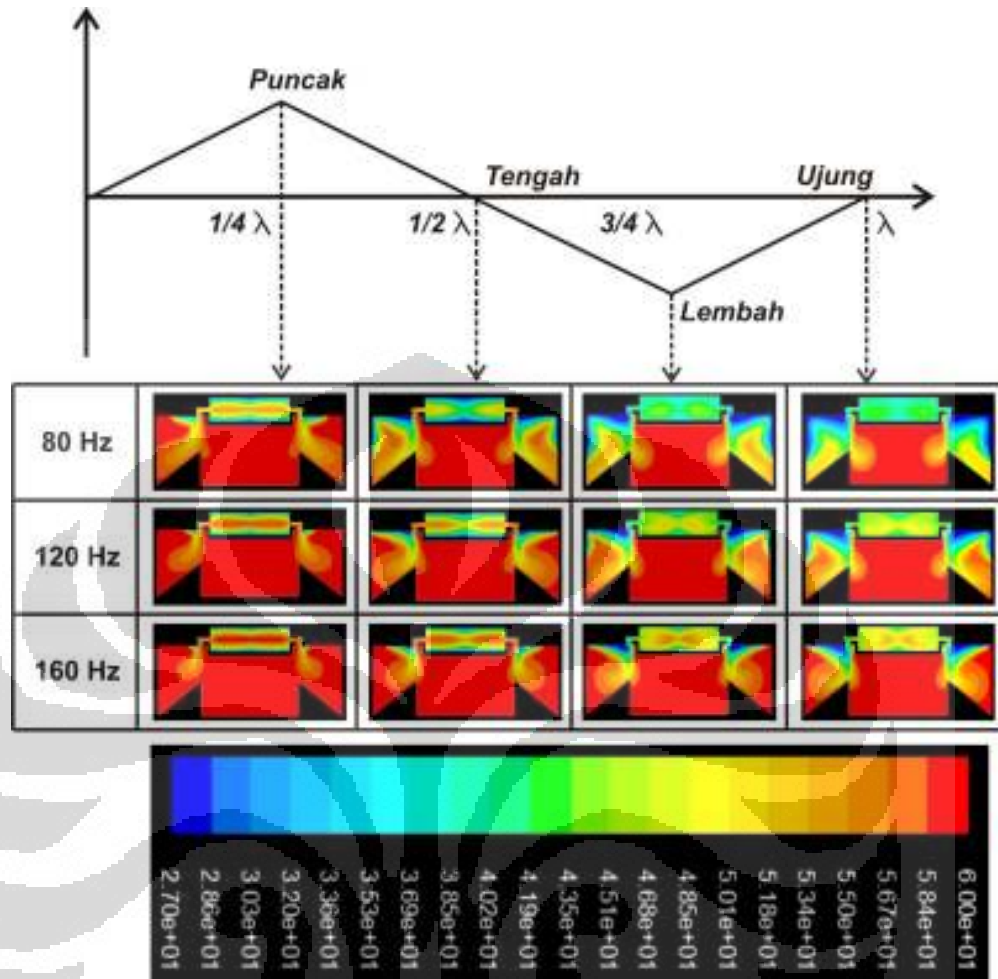
(c)

Gambar 4.9 Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 3. (a) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. (c) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai temperature pada tiap fase gelombang digambarkan dalam kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada gambar 4.10. Gambar 4.10(a) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.10(b) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. Gambar 4.10(c) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

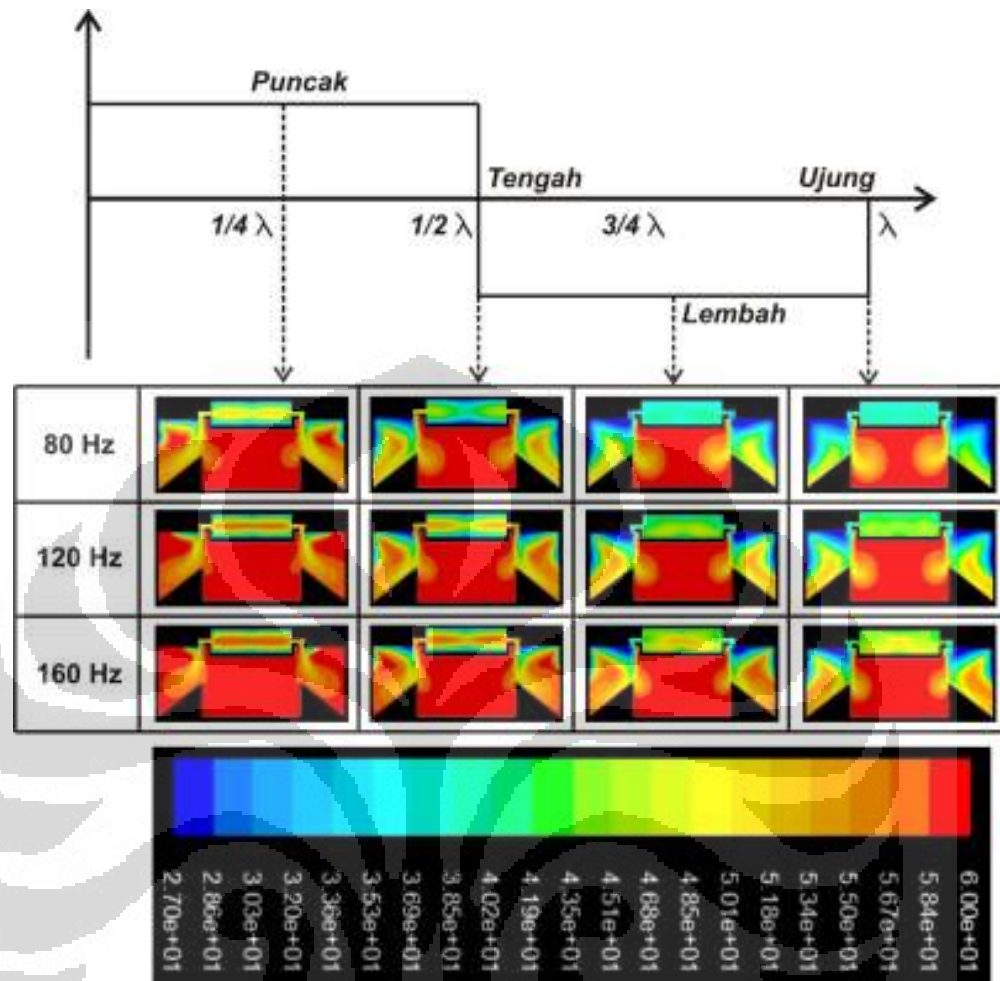


(a)



(b)





(c)

Gambar 4.10 Nilai temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada prototype 3. (a) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. (c) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

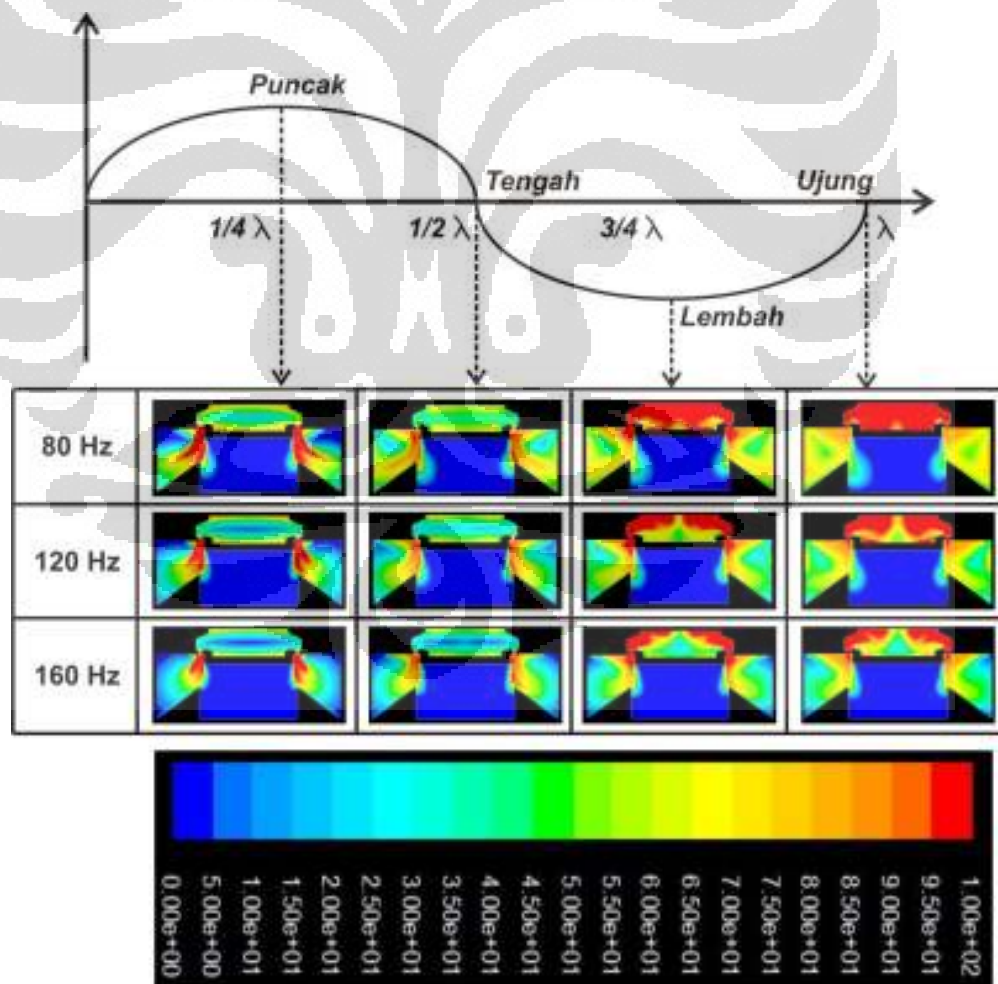
Sama halnya seperti pada prototype sebelumnya, dari kontur intensitas turbulensi, konduktivitas thermal dan penurunan temperatur terlihat bahwa jenis gelombang square dengan frekuensi 80 Hz yang dapat menghasilkan nilai tertinggi. Pada prototype ini nilai intensitas turbulensi memiliki karakteristik yang sama seperti halnya pada prototype 2 dimana nilai pada fase suction lebih besar dan terkonsentrasi pada bagian dalam cavity.

Pada nilai konduktivitas thermal terlihat bahwa pada fase  $1/2$  dan  $1$  gelombang terlihat bahwa nilainya lebih besar dari saat fase  $1/4$  dan  $3/4$  gelombang. Hanya

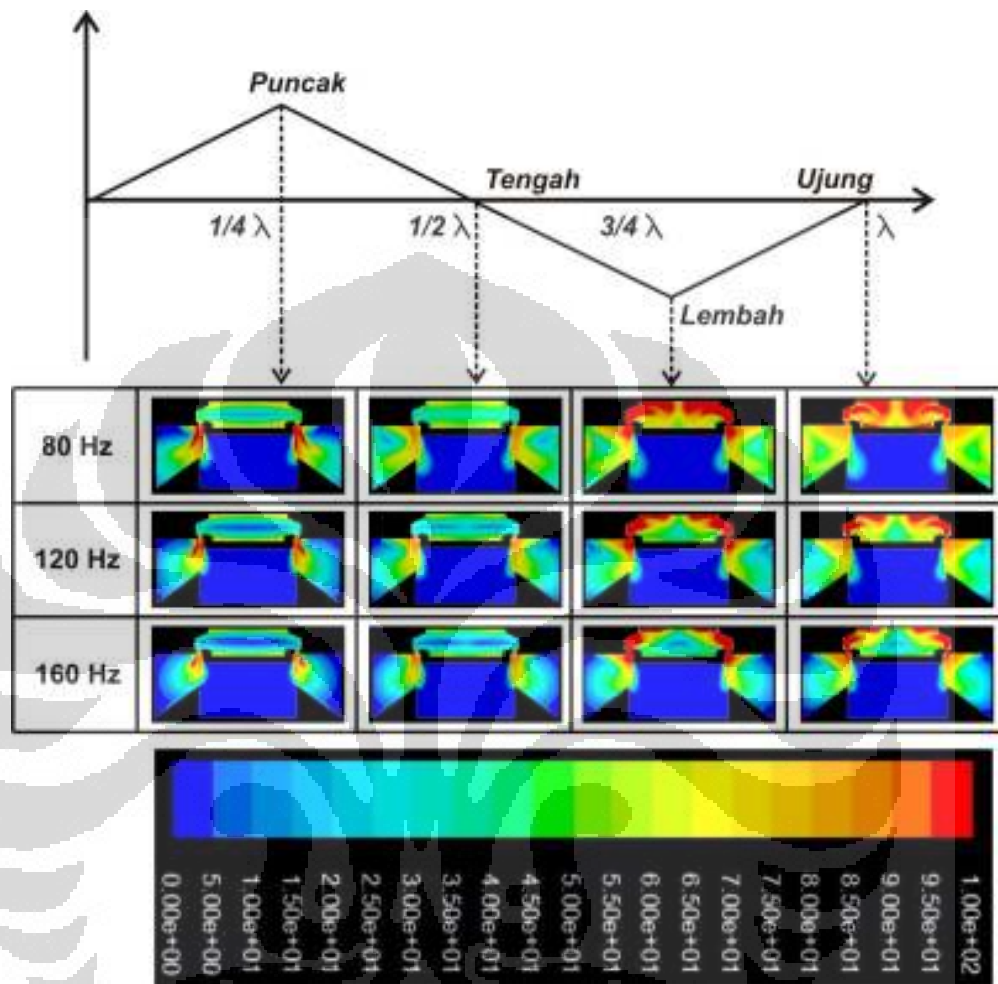
saja pada fase  $\frac{1}{2}$  gelombang nilai tersebut terkonsentrasi pada bagian dalam cavity dari prototype.

#### 4.1.4 Evolusi aliran pada prototype 4

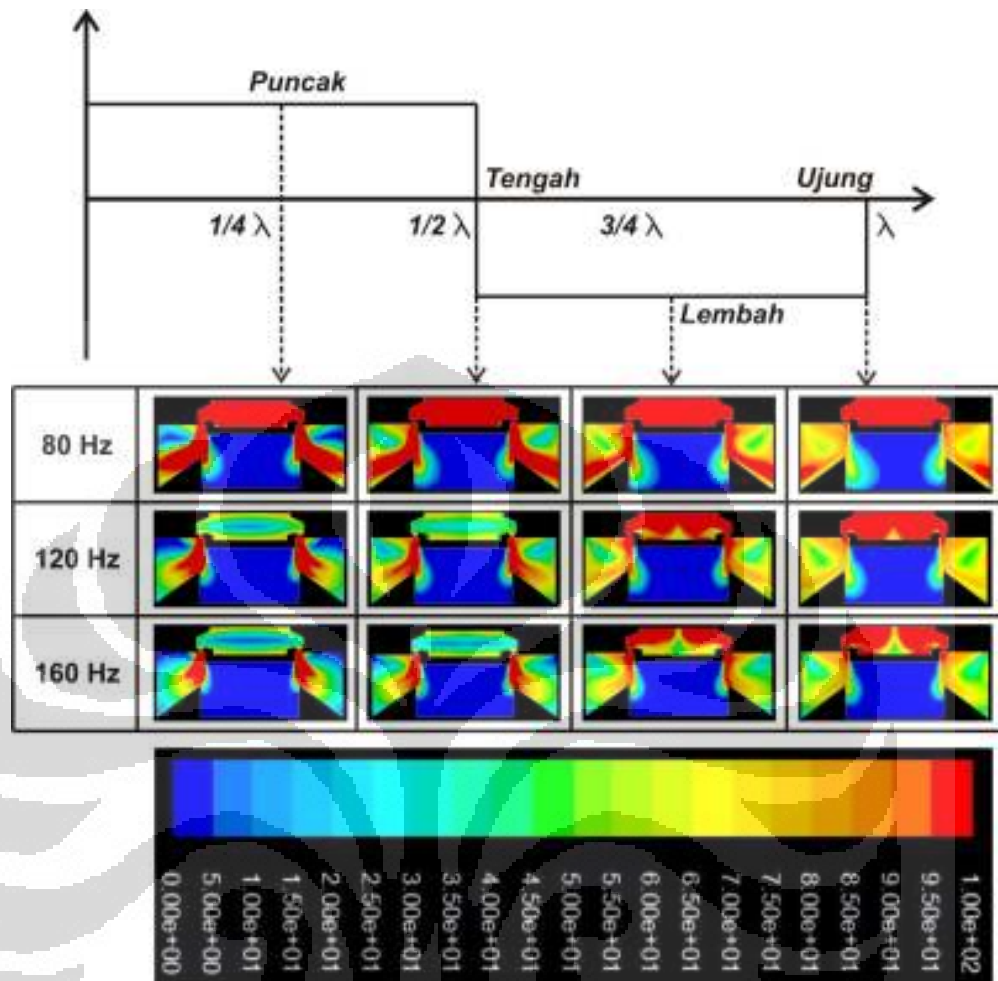
Prototype 4 didesain mengacu kepada prototype 3, hanya saja di dalam cavity diberi sudut dan sedikit cekungan. Hal ini ditujukan untuk mengarahkan aliran fluida agar langsung mengalir menuju nozzle. Proses evolusi aliran dari tiap frekuensi dan jenis gelombang digambarkan dalam kontur intensitas turbulensi (%) pada gambar 4.11. Gambar 4.11(a) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.11(b) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. Gambar 4.11(c) menunjukkan kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.



(a)



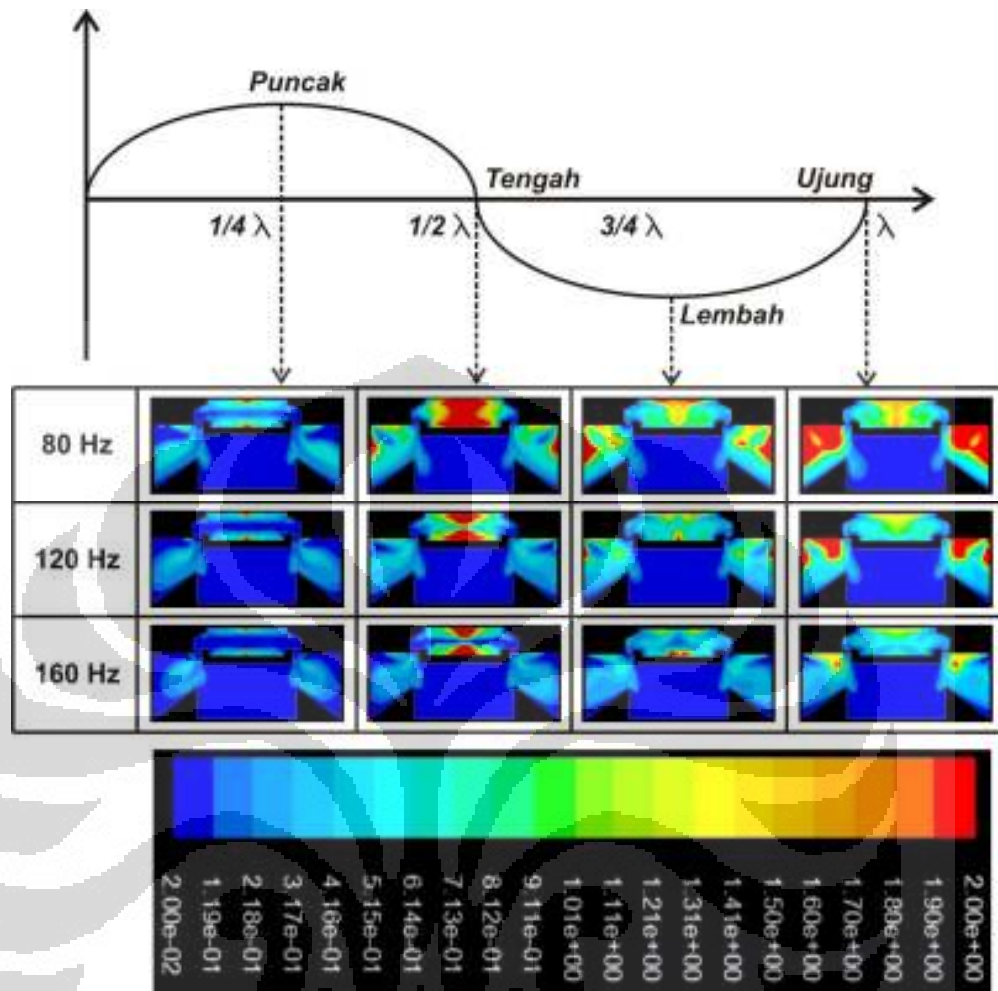
(b)



(c)

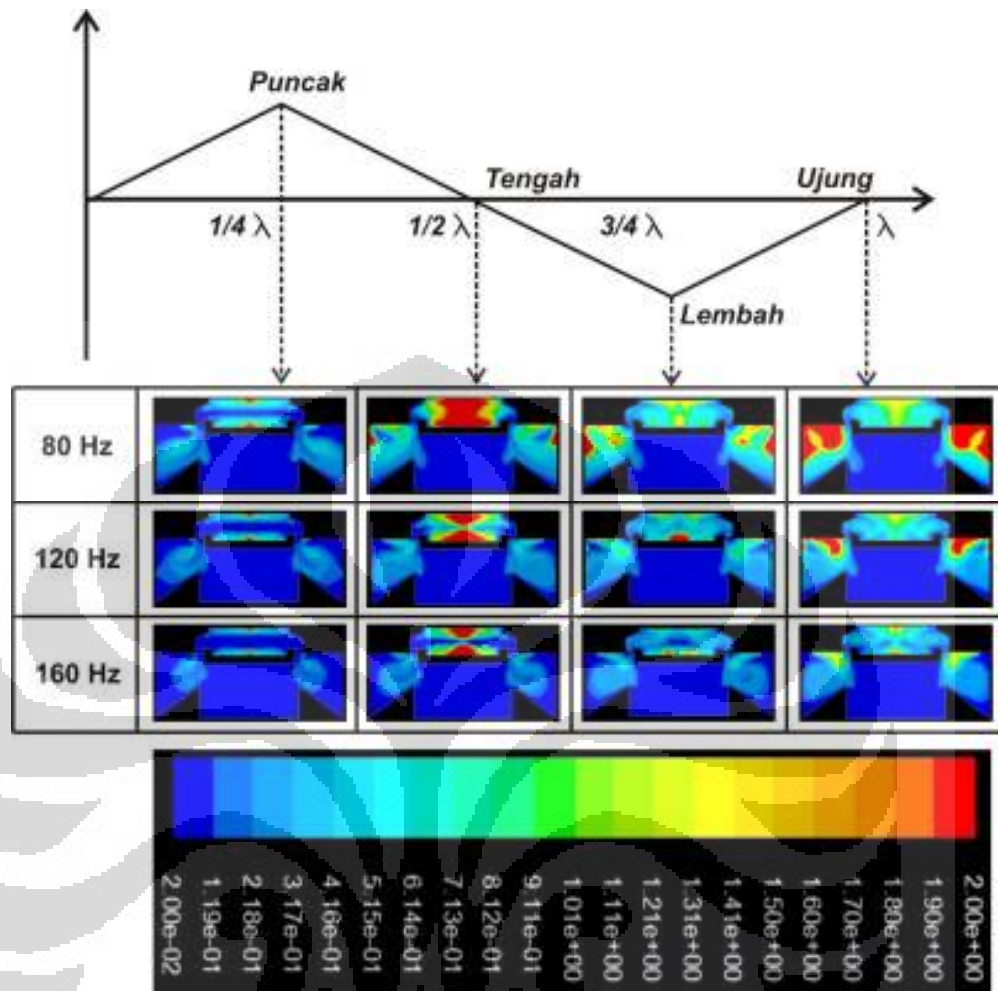
Gambar 4.11 Intensitas turbulensi (%) pada prototype 4. (a) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang triangle. (c) kontur intensitas turbulensi (%) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai konduktivitas udara yang terjadi akibat dari gerakan udara yang turbulen digambarkan dalam kontur konduktivitas thermal (W/mK) pada gambar 4.12. Gambar 4.12(a) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.12(b) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. Gambar 4.12(c) menunjukkan kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

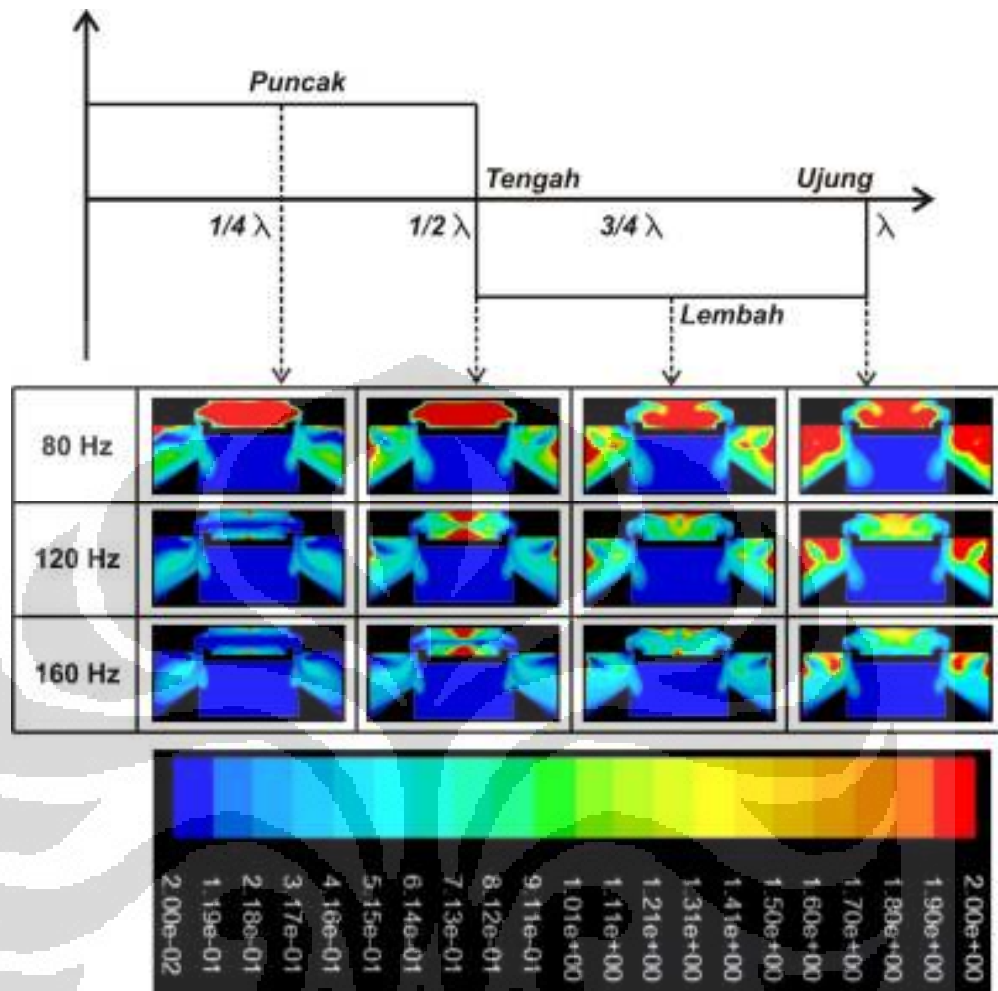


(a)





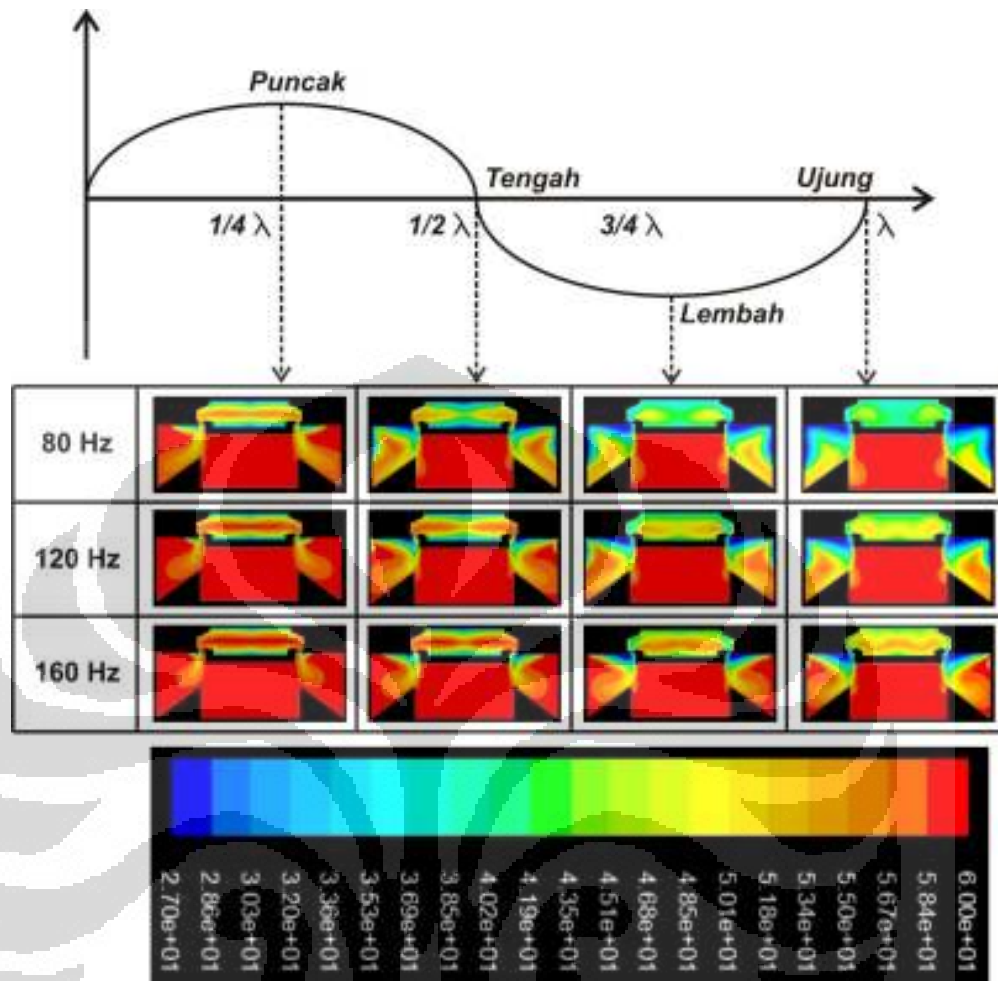
(b)



(c)

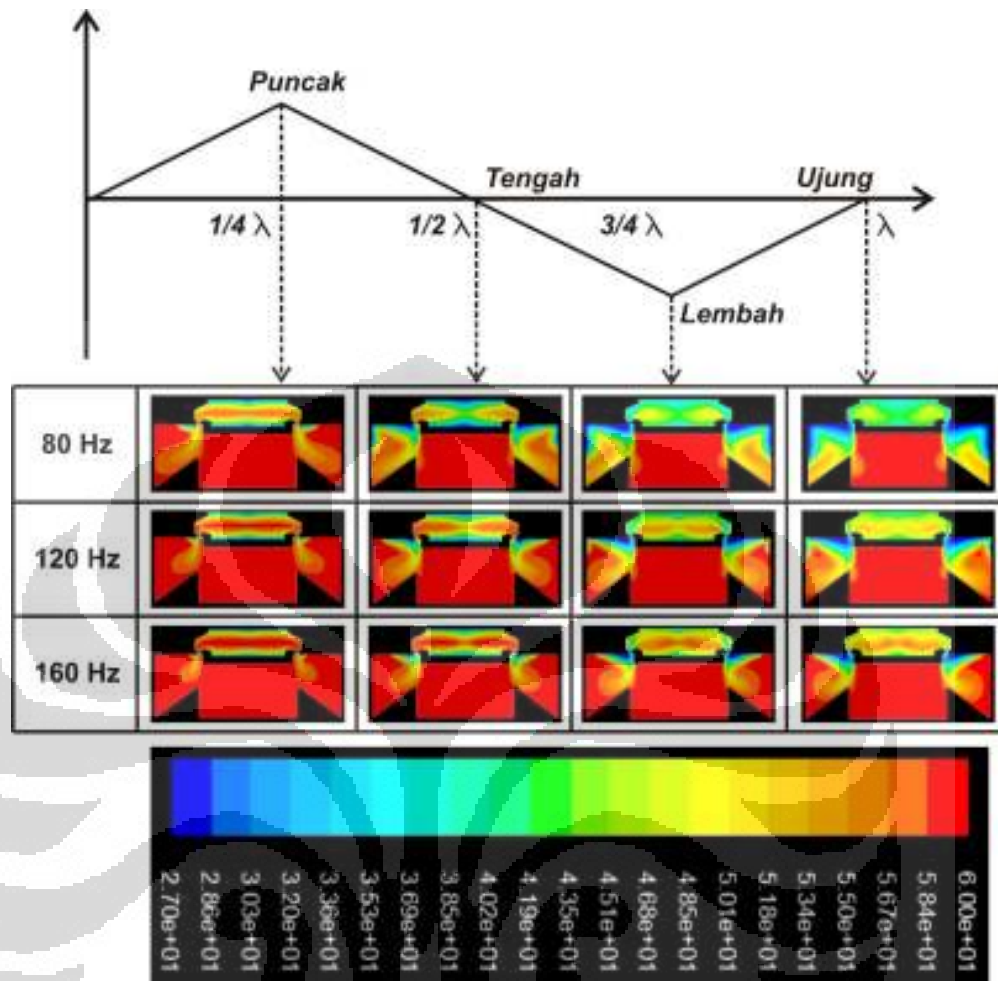
Gambar 4.12 Konduktivitas thermal udara (W/mK) pada prototype 4. (a) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang triangle. (c) kontur konduktivitas thermal (W/mK) dengan gelombang square.

Sedangkan dari segi nilai temperature pada tiap fase gelombang digambarkan dalam kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada gambar 4.13. Gambar 4.13(a) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. Gambar 4.13(b) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. Gambar 4.13(c) menunjukkan kontur temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

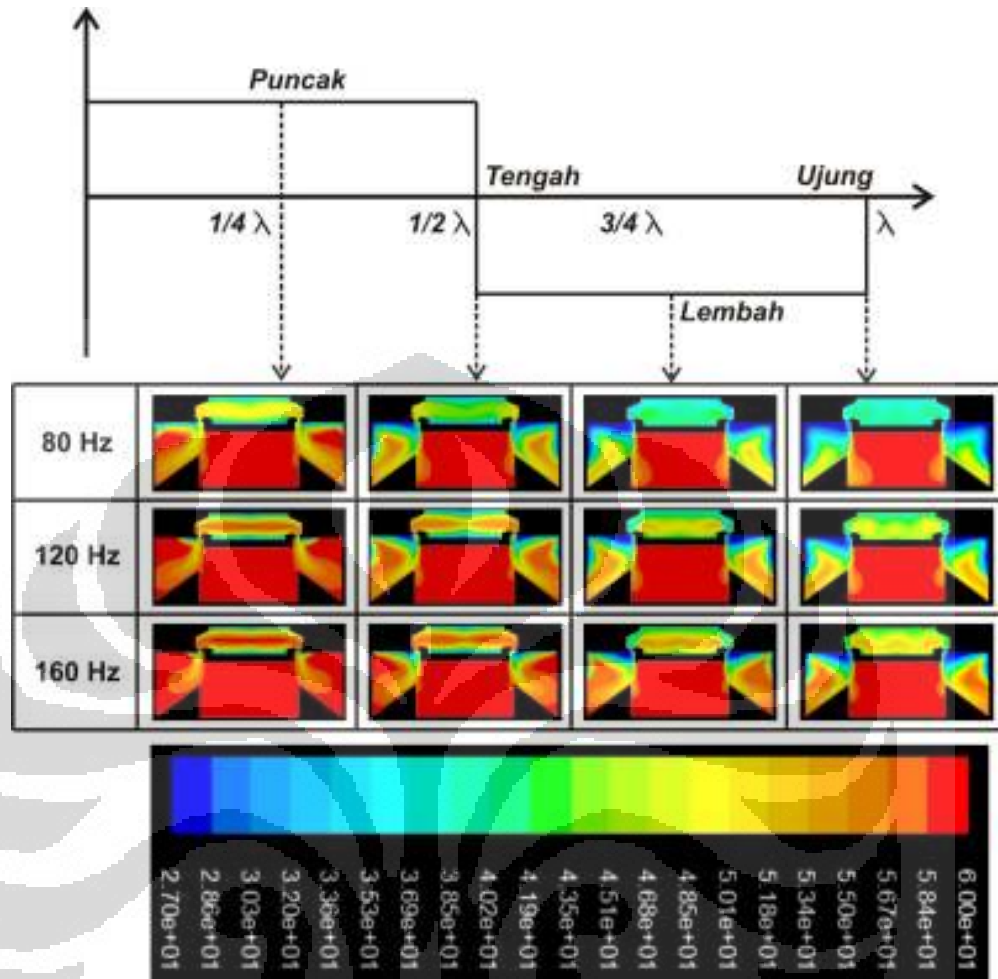


(a)





(b)



(c)

Gambar 4.13 Nilai temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada prototype 4. (a) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang sinusoidal. (b) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang triangle. (c) kontur temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan gelombang square.

Sama halnya seperti pada prototype sebelumnya, terlihat bahwa pada jenis gelombang square 80 Hz dapat menghasilkan nilai intensitas turbulensi, konduktivitas thermal serta penurunan temperature tertinggi. Sama seperti prototype 3 nilai intensitas turbulensi pada saat suction lebih besar hanya saja terakumulasi pada bagian dalam cavity. Sama halnya dengan konduktivitas thermal dimana nilai terbesar terjadi pada fase  $\frac{1}{2}$  dan 1 gelombang dimana pada fase  $\frac{1}{2}$  gelombang nilai tersebut terkonsentrasi pada bagian dalam cavity.

## 4.2 Analisa Data Eksperimental

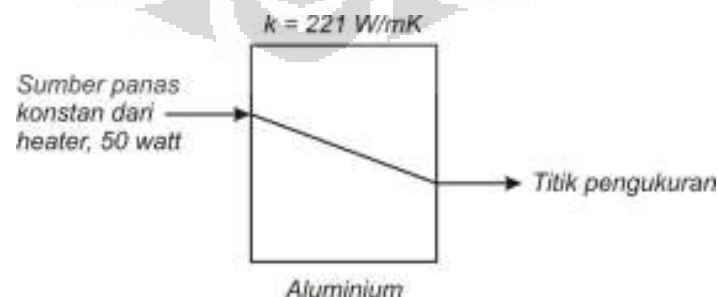
Tahap eksperimental dilakukan untuk menganalisa efek pendinginan pada *heat sink* menggunakan prototype jet sintetik dengan gelombang sinusoidal, triangle dan square pada frekuensi 80 Hz, 120 Hz dan 160 Hz. Analisa efek pendinginan pada *heat sink* ini direpresentasikan pada sebuah grafik perubahan *heat transfer coefficient* terhadap waktu. Pada tahap ini, pengambilan data dilakukan selama 120 menit pada tiap kondisi. Untuk mencari nilai *heat transfer coefficient* digunakan nilai kalor ( $Q$ ) dari heater yaitu 50 watt, nilai luasan dari heatsink ( $A$ ) yaitu  $0.081843 \text{ m}^2$ , dan nilai temperature ambient ( $T_{\text{amb}}$ ) yakni  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Dimana daerah peletakan thermocouple sebagai rincian pengambilan data digambarkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.14 Ilustrasi peletakan thermocouple pada heatsink

Sehingga kondisi pengukuran bila memperhitungkan resistansi thermal dari heatsink dapat diilustrasikan pada gambar 4.11.



Gambar 4.15 Ilustrasi resistansi thermal yang terjadi pada pengukuran

Dalam menghitung data *heat transfer coefficient* perlu diperhitungkan mengenai area luasan dari heatsink yang mengalami pendinginan dari efek jet sintetik dan daerah yang mengalami pendinginan oleh udara *ambient*. Hubungan tersebut dapat dijabarkan dengan persamaan 4.1.

$$Q_{in \text{ heatsink}} = Q_{out \text{ jet sintetik}} + Q_{out \text{ udara}} \quad (4.1)$$

Dimana untuk mencari  $Q_{out \text{ udara}}$  perlu diketahui nilai heat transfer coefficient oleh udara yang ada di sekitar heatsink. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran terhadap heatsink tanpa adanya pengaruh dari jet sintetik. Hubungan tersebut dapat dijabarkan dengan persamaan 4.2.

$$Q_{in \text{ heatsink}} = Q_{out \text{ udara}} \quad (4.2)$$

Dengan nilai  $Q_{in \text{ heatsink}}$  diketahui sebesar 50 watt, maka persamaan 4.2 dapat dijabarkan menjadi persamaan 4.3.

$$50 = h_{udara} * A_{dengan \text{ udara}} * \Delta T \quad (4.3)$$

Luas total area heatsink  $0.081843 \text{ m}^2$ , dengan mengurangi area luasan bagian bawah yang kontak langsung dengan heater yaitu  $0.009503 \text{ m}^2$  maka didapat area luasan yang kontak langsung dengan udara *ambient*  $0.07234 \text{ m}^2$ . Dengan nilai  $T_{heatsink}$  setelah stabil yaitu  $56^\circ\text{C}$ . Maka dengan memasukan nilai tersebut maka  $h_{udara}$  dapat dicari dengan mensubstitusikan ke persamaan 4.3.

$$h_{udara} = 50 / (A_{dengan \text{ udara}} * \Delta T)$$

$$h_{udara} = 50 / (0.07234 * (56 - 27)) \Rightarrow h_{udara} = \mathbf{23.8 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Dari hasil tersebut maka nilai  $h_{jet \text{ synthetic}}$  dapat dicari dengan menjabarkan persamaan 4.1 menjadi persamaan 4.4.

$$50 = h_{udara} * A_{dengan \text{ udara}} * \Delta T + h_{jet \text{ sintetik}} * A_{dengan \text{ jet sintetik}} * \Delta T \quad (4.4)$$

Untuk kondisi dengan jet sintetik terpasang maka nilai luasan yang dipengaruhi udara pun berkurang.

Area pendinginan oleh udara bagian samping,  $139.18 \text{ cm}^2$

Area pendinginan oleh udara bagian atas,  $43.76 \text{ cm}^2$

Total area pendinginan oleh udara,  $139.18 + 43.76 = 182.94 \text{ cm}^2$

Maka area yang terkena aliran udara synjet,  $818.43 - 95.03 - 182.94 = 540.46 \text{ cm}^2$

Persamaan 4.4 tersebut kemudian di substitusikan dengan dengan parameter yang telah ada.

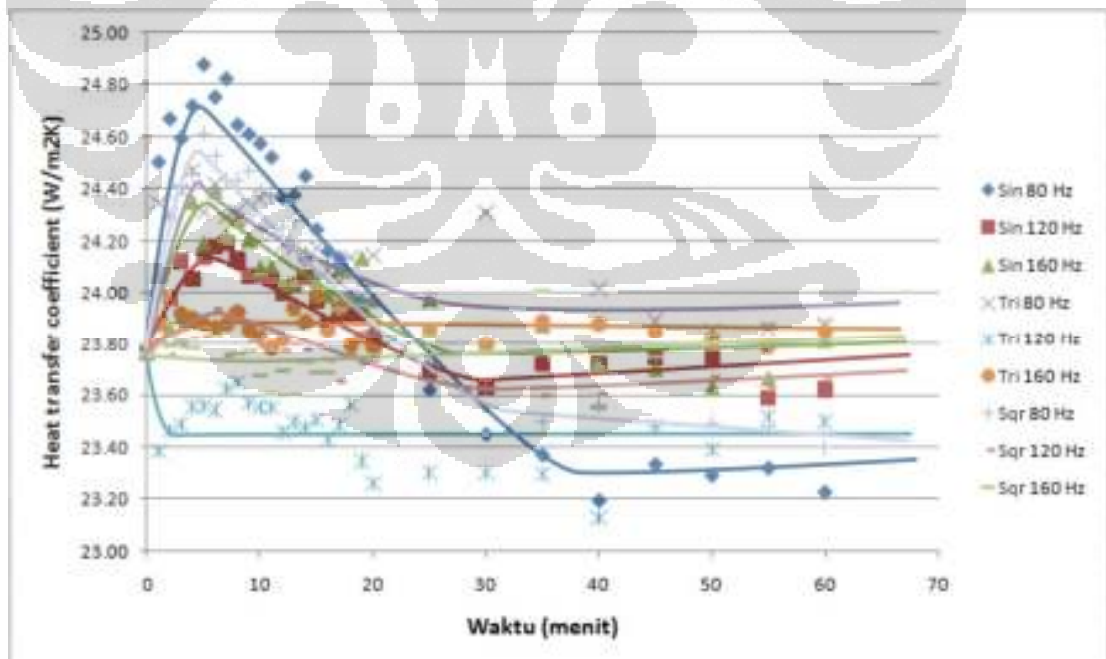
$$50 = 23.8 * (0.018294) * (dt-27) + h_{\text{jet sintetik}} * (0.054046) * (dt-27)$$

Maka,

$$h_{\text{jet sintetik}} = ((50/(dt-27))-0.44)/0.054046$$

#### 4.2.1 Analisa Koefisien Perpindahan Panas Konveksi terhadap Waktu pada Prototype 1

Nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi pada prototype 1 dapat di plot dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.16 dimana terlihat grafik koefisien perpindahan kalor konveksi terhadap waktu.

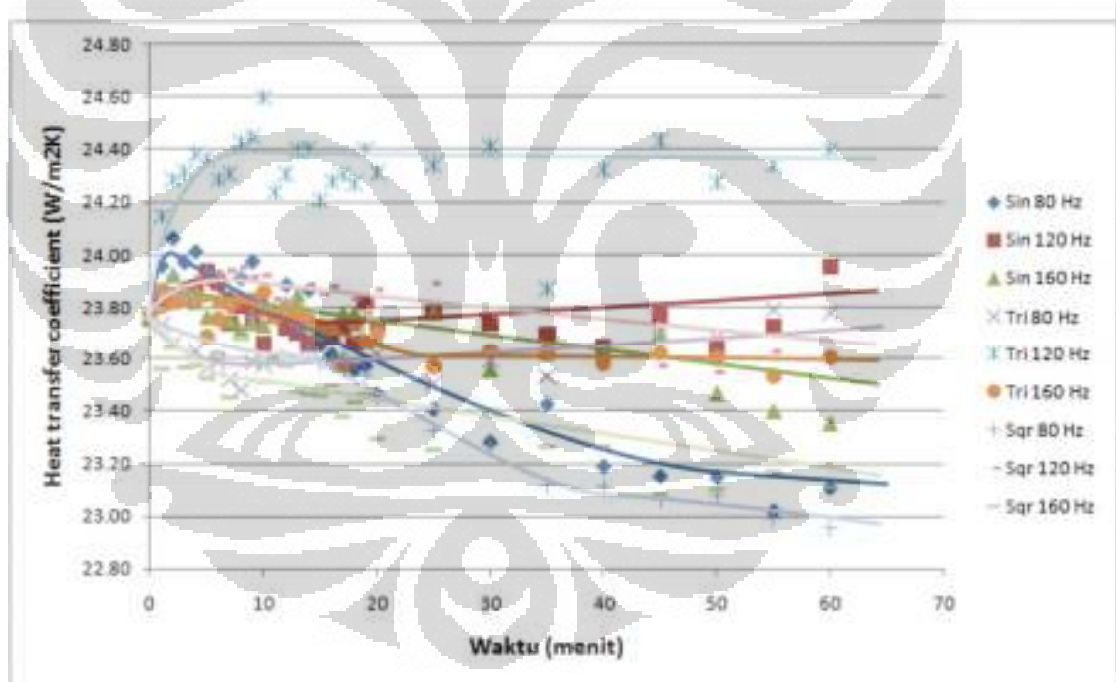


Gambar 4.16 Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 1 terhadap waktu

Pada gambar 4.16 di atas, terlihat *heat transfer coefficient* yang paling tinggi diraih prototype 1 yang diaplikasikan dengan sinyal sinusoidal dengan eksitasi 80 Hz. Sinusoidal 80 Hz memberikan nilai *heat transfer coefficient* yang terus meningkat sepanjang 10 menit sejak prototype dinyalakan kemudian terus turun hingga 40 menit lalu bergerak secara linier. Sedangkan untuk performa *heat transfer coefficient* terendah ialah pada triangle 120 Hz.

#### 4.2.2 Analisa Koefisien Perpindahan Panas Konveksi terhadap Waktu pada Prototype 2

Nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi pada prototype 2 dapat di plot dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.17 dimana terlihat grafik koefisien perpindahan kalor konveksi terhadap waktu.



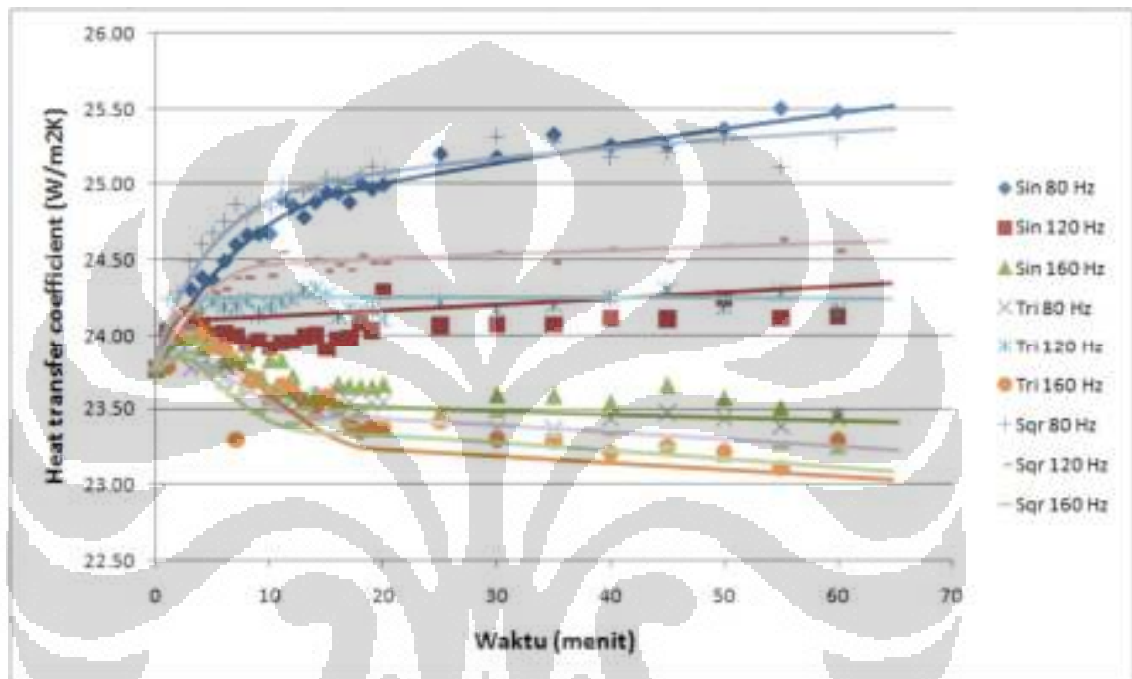
Gambar 4.17 Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 2 terhadap waktu

Pada gambar 4.17 di atas, terlihat *heat transfer coefficient* yang paling tinggi diraih prototype 2 yang diaplikasikan dengan sinyal triangle dengan eksitasi 120 Hz. Dimana nilai *heat transfer* akan naik sekitar 10 menit setelah dinyalakan kemudian akan bergerak secara linier.



#### 4.2.3 Analisa Koefisien Perpindahan Panas Konveksi terhadap Waktu pada Prototype 3

Nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi pada prototype 3 dapat di plot dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.18 dimana terlihat grafik koefisien perpindahan kalor konveksi terhadap waktu.

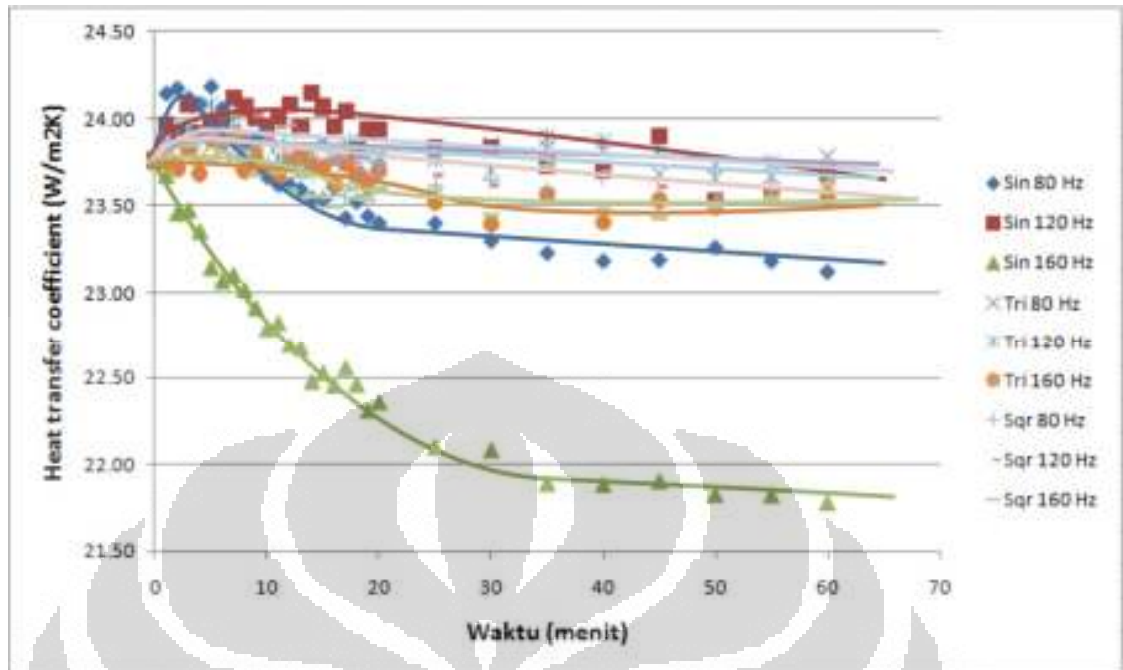


Gambar 4.18 Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 3 terhadap waktu

Pada gambar 4.18 di atas, terlihat *heat transfer coefficient* yang paling tinggi diraih prototype 3 yang diaplikasikan dengan sinyal square dan sinusoidal dengan eksitasi 80 Hz. Dimana sinyal sinusoidal akan terus naik sedikit melebihi dari sinyal square.

#### 4.2.4 Analisa Koefisien Perpindahan Panas Konveksi terhadap Waktu pada Prototype 4

Nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi pada prototype 4 dapat di plot dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.19 dimana terlihat grafik koefisien perpindahan kalor konveksi terhadap waktu.



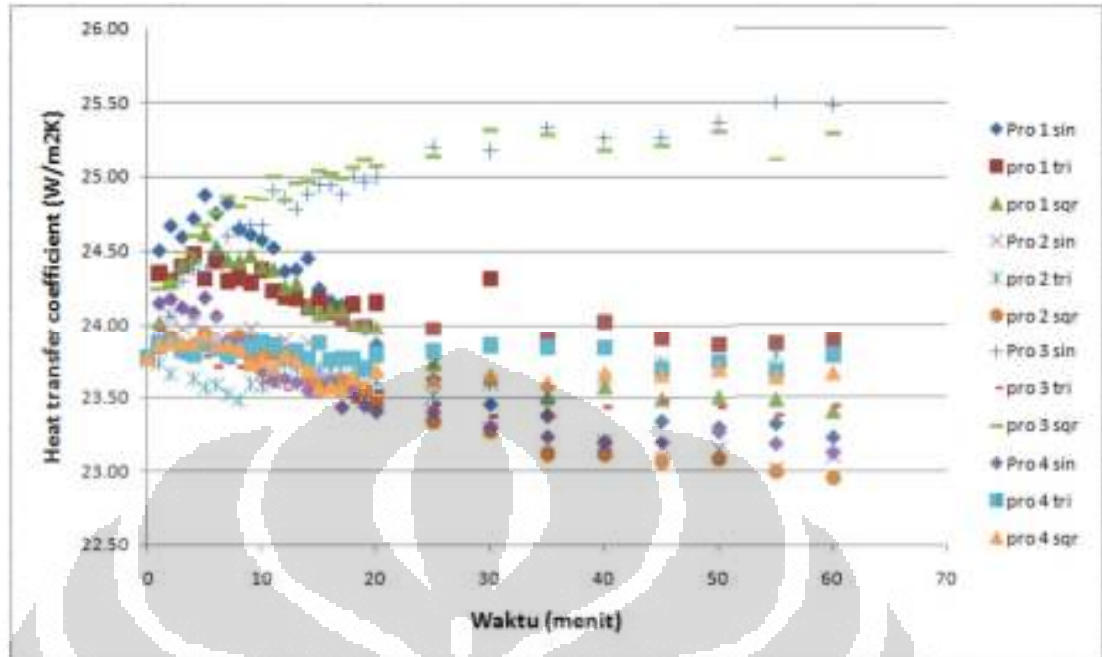
Gambar 4.19 Koefisien perpindahan panas konveksi prototype 4 terhadap waktu

Pada gambar 4.19 di atas, terlihat *heat transfer coefficient* yang paling tinggi diraih apabila prototype 4 diaplikasikan dengan sinyal sinusoidal dengan eksitasi 80 Hz. Setelah hampir melalui 10 menit pertama maka nilainya akan turun dan bergerak linier setelah 20 menit.

### 4.3 Perbandingan data komputasional dan eksperimental

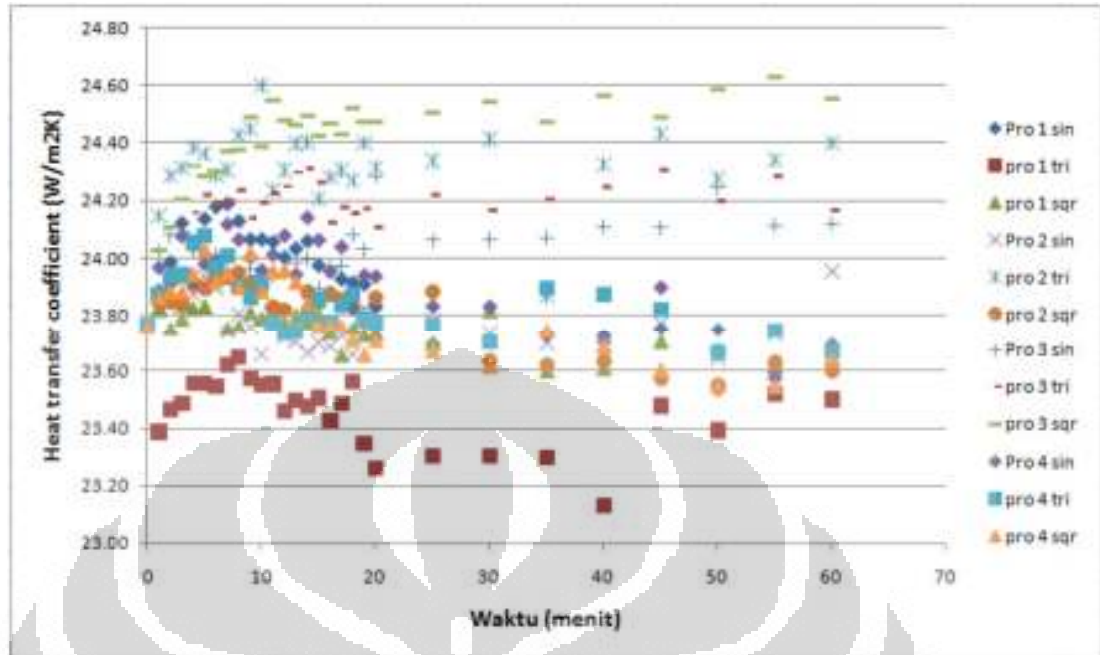
Terlihat bahwa masing masing prototype memiliki karakteristiknya sendiri. Tetapi sebagian besar prototype dapat menyentuh nilai *heat transfer coefficient* tertinggi pada sinyal dengan eksitasi 80 Hz. Pada gambar 4.20 terlihat perbandingan seluruh prototype dengan eksitasi sinyal 80 Hz.



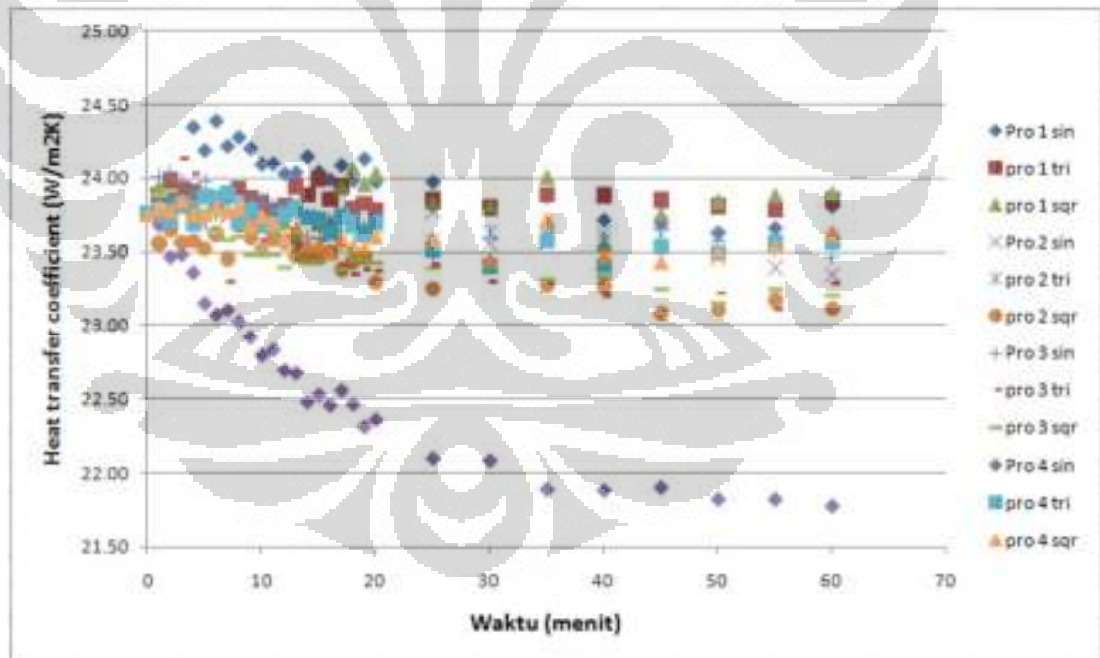


Gambar 4.20 Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototype pada eksitasi 80 Hz

Dari gambar terlihat bahwa prototype 3 dengan gelombang sinusoidal dan square lah yang mampu mencapai nilai tertinggi yaitu sekitar  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan nilai tersebut cenderung bergerak linier setelah mencapai waktu 30 menit setelah prototype dinyalakan. Dengan mengikutsertakan eksitasi 120 dan 160 Hz seperti digambarkan pada gambar 4.21 dan 4.22.



Gambar 4.21 Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototyppe pada eksitasi 120 Hz



Gambar 4.22 Koefisien perpindahan panas konveksi seluruh prototyppe pada eksitasi 160 Hz

Dari seluruh eksitasi sinyal terlihat bahwa sinyal dengan eksitasi 80 Hz memiliki nilai heat transfer coefficient yang paling tinggi. Pada gambar 4.20 terlihat bahwa indeks maksimal sumbu Y ialah sekitar  $25.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lebih

besar daripada 120 Hz yang hanya mampu mencapai nilai  $24.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan 160 Hz yang hanya mampu mencapai nilai  $24 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi paling rendah yaitu 80 Hz dapat menghasilkan nilai heat transfer coefficient yang paling besar. Hal ini dikarenakan dalam eksitasi yang kecil, udara akan mampu menempuh jarak yang lebih jauh karena periode waktu sebelum udara dihisap kembali akan lebih lama. Sehingga nilai intensitas turbulensi cenderung lebih luas, mulai dari keluar nozzle hingga ke area heatsink. Turbulensi memiliki kecenderungan untuk membentuk aliran secara acak sehingga udara akan memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk dapat mencapai seluruh permukaan heatsink. Hal ini akan meningkatkan nilai heat transfer coefficient jet sintetik. Hal ini terbukti dengan melihat grafik heat transfer coefficient pada seluruh prototype bahwasanya frekuensi yang lebih rendah memberikan nilai heat transfer coefficient yang paling tinggi bila dibandingkan dengan frekuensi yang lebih tinggi pada jenis gelombang yang serupa.

Dari segi konduktivitas thermal terlihat bahwa nilai konduktivitas thermal berfluktuatif seiring berjalannya waktu. Diketahui bahwa dari seluruh prototype terlihat bahwa nilai konduktivitas thermal lebih tinggi pada fase saat dimana membran mencapai posisi tengah ( $1/2$  dan  $1$  gelombang). Hal ini bisa disebabkan akibat dari energi yang terjadi akibat fase suction atau discharge yang bergerak dalam cavity dan berakumulasi sehingga pada saat membran berada pada posisi tengah (tidak ada energi yang diberikan atau diambil oleh membran) energi yang sebelumnya diberikan pada udara berkumpul sehingga volume udara yang dapat dipergunakan untuk menyerap kalor menjadi semakin besar. Pada seluruh prototype terlihat bahwa luasan dari konduktivitas thermal ini akan berakumulasi di sekitar area heatsink bagian atas dekat dengan udara ambient, tetapi luasan tersebut memiliki ukuran dan nilai yang berbeda pada tiap-tiap prototype, jenis sinyal dan eksitasi yang diberikan.

Dari segi temperatur terlihat bahwa dari seluruh prototype, prototype 3 pada sinyal square 80 Hz lah yang memberikan nilai pendinginan yang paling tinggi. Dan juga temperatur dalam domain cenderung akan turun dari waktu

ke waktu, terutama pada bagian dekat dengan domain pressure outlet bagian atas.

Dari segi intensitas turbulensi terlihat bahwa pada prototype 1 nilai turbulensi yang terbentuk pada *suction* lebih besar daripada *discharge*. Hal yang serupa terjadi pada prototype 2, hanya saja nilainya tidak sejauh seperti pada prototype 1. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kontur antara bagian atas dan bawah jet sintetik. Kemiringan pada bagian dalam cavity menyebabkan udara yang masuk saat fase suction terhambat untuk menyebar di dalam cavity sehingga udara berkecepatan tersebut akan terakumulasi di sekitar nozzle. Sehingga udara yang berakumulasi tersebut akan saling mendesak masuk ke dalam *cavity* jet sintetik melalui nozzle. Dikarenakan *cavity* jet sintetik memiliki dimensi yang relative kecil, maka udara tersebut akan cenderung berakumulasi dan bersirkulasi di dalam cavity selama fase *suction*.

Sedangkan pada prototype 3 dan 4 tidak memiliki perbedaan yang besar antara kecepatan *suction* dan *discharge*. Sama halnya seperti pada kontur intensitas turbulensi, antara fase *suction* dan *discharge* tidak terdapat perbedaan yang besar. Hal ini dikarenakan kontur bagian atas dan bawah jet sintetik cenderung simetris, sehingga udara akan menyebar secara lebih teratur ke seluruh bagian *cavity* jet sintetik. Tetapi hal ini tentunya juga memiliki pengaruh dari segi efektivitas pendinginan.

#### **4.4 Tingkat Kepercayaan (*Level of Confidence*) dan Persentase Error Pengukuran Penelitian**

Di dalam statistik ketika menduga sesuatu hal, maka akan dikenakan tingkat kepercayaan terhadap interval yang ada. Tingkat kepercayaan dapat dikatakan sebagai seberapa benar atau meyakinkan hasil pengukuran atau dugaan interval. Besarnya tingkat kepercayaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 95%.

Untuk menentukan besarnya error pengukuran, maka diperlukan nilai *error standard* dan *mean* pengukuran. *Mean* pengukuran dapat dinyatakan sebagai:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Sedangkan *error standard* didapat dari nilai standard deviasi dibagi dengan akar pangkat dua dari jumlah pengukuran yang dapat dinyatakan sebagai:

$$SD_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Hasil pengukuran *error standard* dan standard deviasi serta ketakpastian pengukuran yaitu:

#### 4.4.1 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 1

		Frekuensi	Mean	Standard Deviasi	Standar Error	Uncertainty
Prototype 1	Sinusoidal	80 Hz	55.24	0.501	0.0930	0.1904
		120 Hz	56.08	0.162	0.0300	0.0615
		160 Hz	56.10	0.183	0.0339	0.0695
	Triangle	80 Hz	55.99	0.176	0.0326	0.0669
		120 Hz	56.08	0.121	0.0225	0.0461
		160 Hz	56.22	0.055	0.0102	0.0209
	Square	80 Hz	55.92	0.340	0.0632	0.1294
		120 Hz	56.33	0.068	0.0127	0.0259
		160 Hz	56.31	0.117	0.0217	0.0445

Besarnya persentase error pada tiap sinyal adalah besarnya *uncertainty* dibagi *mean* yaitu:

		Frekuensi	Presentase error
Prototype 1	Sinusoidal	80 Hz	0.3448
		120 Hz	0.1098
		160 Hz	0.1239
	Triangle	80 Hz	0.1194
		120 Hz	0.0822
		160 Hz	0.0372
	Square	80 Hz	0.2314
		120 Hz	0.0461
		160 Hz	0.0789

#### 4.4.2 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 2

		Frekuensi	Mean	Standard Deviasi	Standar Error	Uncertainty
Prototype 2	Sinusoidal	80 Hz	56.07	0.287	0.0533	0.1092
		120 Hz	56.32	0.078	0.0145	0.0296
		160 Hz	56.56	0.123	0.0229	0.0469
	Triangle	80 Hz	56.69	0.081	0.0151	0.0309
		120 Hz	56.07	0.143	0.0266	0.0545
		160 Hz	56.10	0.092	0.0172	0.0352
	Square	80 Hz	56.04	0.292	0.0543	0.1111
		120 Hz	56.38	0.112	0.0208	0.0426
		160 Hz	56.41	0.168	0.0312	0.0639

Besarnya persentase error pada tiap sinyal adalah besarnya *uncertainty* dibagi *mean* yaitu:

		Frekuensi	Presentase error
Prototype 2	Sinusoidal	80 Hz	0.1947
		120 Hz	0.0526
		160 Hz	0.0829
	Triangle	80 Hz	0.0545
		120 Hz	0.0973
		160 Hz	0.0627
	Square	80 Hz	0.1983
		120 Hz	0.0755
		160 Hz	0.1133

#### 4.4.3 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 3

		Frekuensi	Mean	Standard Deviasi	Standar Error	Uncertainty
Prototype 3	Sinusoidal	80 Hz	55.30	0.386	0.0718	0.1470
		120 Hz	54.73	0.093	0.0173	0.0355
		160 Hz	55.25	0.150	0.0279	0.0571
	Triangle	80 Hz	55.97	0.144	0.0268	0.0548
		120 Hz	55.63	0.109	0.0203	0.0416
		160 Hz	56.01	0.251	0.0467	0.0956
	Square	80 Hz	55.31	0.307	0.0569	0.1166
		120 Hz	54.79	0.165	0.0306	0.0628
		160 Hz	55.39	0.186	0.0346	0.0709

Besarnya persentase error pada tiap sinyal adalah besarnya *uncertainty* dibagi *mean* yaitu:

		Frekuensi	Presentase error
Prototype 3	Sinusoidal	80 Hz	0.2658
		120 Hz	0.0648
		160 Hz	0.1033
	Triangle	80 Hz	0.0979
		120 Hz	0.0748
		160 Hz	0.1707
	Square	80 Hz	0.2108
		120 Hz	0.1145
		160 Hz	0.1279

#### 4.4.4 Statistik deskriptif terhadap data pengukuran prototype 4

		Frekuensi	Mean	Standard Deviasi	Standar Error	Uncertainty
Prototype 4	Sinusoidal	80 Hz	55.73	0.308	0.0572	0.1172
		120 Hz	55.87	0.141	0.0262	0.0536
		160 Hz	55.70	0.577	0.1072	0.2195
	Triangle	80 Hz	56.32	0.050	0.0093	0.0190
		120 Hz	56.20	0.097	0.0181	0.0370
		160 Hz	56.39	0.121	0.0225	0.0460
	Square	80 Hz	56.41	0.101	0.0187	0.0383
		120 Hz	56.34	0.128	0.0239	0.0489
		160 Hz	56.49	0.114	0.0211	0.0432

Besarnya persentase error pada tiap sinyal adalah besarnya *uncertainty* dibagi *mean* yaitu:

		Frekuensi	Presentase error
Prototype 4	Sinusoidal	80 Hz	0.2103
		120 Hz	0.0959
		160 Hz	0.3941
	Triangle	80 Hz	0.0337
		120 Hz	0.0658
		160 Hz	0.0816
	Square	80 Hz	0.0679
		120 Hz	0.0867
		160 Hz	0.0765

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

- Dari seluruh sinyal terlihat bahwa ekstasi 80 Hz dapat memberikan pendinginan secara menyeluruh yang paling baik pada heatsink. Hal ini dikarenakan pada sinyal yang kecil udara dapat menempuh jarak yang lebih jauh, sebelum akhirnya dihisap kembali oleh membran.
- Sedangkan dari seluruh prototype terlihat bahwa prototype 3 yang memberikan nilai pendinginan yang paling baik.
- Perpaduan terbaik antara prototype, sinyal dan eksitasi ialah pada prototype 3 sinusoidal 80 Hz dan prototype 3 square 80 Hz.
- Dari segi kontur thermal conductivity terlihat bahwa kecenderungan udara yang memiliki nilai thermal conductivity tertinggi terjadi pada bagian luar cavity di dekat area outlet udara.

#### **5.2 Saran**

Dalam mencapai hasil yang lebih maksimal, maka diperlukan beberapa pengembangan dalam penelitian jet sintetik, yaitu:

1. Pengkajian lebih lanjut mengenai hubungan geometri jet sintetik terhadap efek pendinginan seperti ukuran nozzle guna memperoleh efek turbulensi yang lebih besar untuk pendinginan.
2. Variasi pada jenis gelombang yang berbeda pada membran bagian atas dan membran bagian bawah pada jet sintetik.
3. Penggunaan piezoelectric sebagai alternative pengganti membrane speaker guna memperoleh kekutan untuk menghasilkan velocity inlet yang lebih besar.
4. Memvariasikan nilai amplitude sinyal serta membuat sinyal menjadi asymetris guna memperkecil efek suction.



## DAFTAR REFERENSI

- Haliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2000). *Fundamental of Physics*(6th ed.). New York: John Willey & Sons, Inc.
- 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*
- Holman, J.P. (1986). *Heat Transfer*(6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Jagannatha, D., Narayanaswamy, R., & Chandratilleke, T.T. (2007). Performance characteristics of a synthetic jet module for electronic cooling. pp. 1-10.
- 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 18<sup>th</sup> World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- Lasance, C.J.M., & Aarts, R.M. (2008). *Synthetic jet cooling partI: Overview of heat transfer and acoustics*. Paper presented at the 24<sup>th</sup> IEEE SEMI-THERM Symposium.
- Mahalingam, Raghav (2007). *Modeling of synthetic jet ejectors for electronics cooling*. Paper presented at the 23<sup>rd</sup> IEEE SEMI-THERM Symposium.
- Mahalingam, R., Heffington, S., Lee, J., & Schwickert, M. (2006). Newisys server processor cooling augmentation using synthetic jet ejectors. *IEEE*, pp. 705-709.
- 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.
- Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H. (2004). *Mekanika Fluida*(Harinaldi & Budiarto, Penerjemah). Jakarta:Erlangga.
- 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.
- Sharma, R.N. (2007, December). *Some insights into synthetic jet actuation from analytical modelling*. Paper presented at the 16<sup>th</sup> Australasian Fluid Mechanics Conference.

Tesar, V., Chuan, H.H., & Zimmerman, W.B. (2005). No-moving-part hybrid-synthetic jet actuator. *SNA-4850*, pp. 1-11.

Tuakia, F. (2008). *Dasar-Dasar CFD menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.

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.

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>

