

PRESTASI ALAT PENDINGIN TERMOAKUSTIK DENGAN VARIASI BENTUK STACK

Mitha Tri Indraswari^[1], Dinni Agustina^[2]

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

^[1]mitha.tri@student.unri.ac.id ^[2]dinniagfa@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The use of conventional cooling machines that have an impact on the environment because it uses refrigerant gas containing CFC and HFC gases that are harmful to the atmosphere. One alternative to the cooling machine is a thermoacoustic cooling system. The thermoacoustic cooling system is a system that converts high-amplitude sound waves into heat energy which produces temperature changes. This system is called environmentally friendly because it uses air conditioning or noble gas cooling media. The main components of the thermoacoustic system are the resonator tube, the stack, the working fluid and the loudspeaker. In this study the working fluid used is air. The shape of the stack and stack position affect the performance of the cooling device. Thermoacoustic cooling devices using a stack of mica plastic material with a thickness of 0.5 mm and a length of 9 cm have been designed and operated on a resonator tube with a diameter of 5 cm and a length of 60 cm. The test was carried out experimentally using a loudspeaker sound source at a resonant frequency of 145 Hz. The ability of the cooling device based on results of the stack plate parallel produces a temperature difference at both ends of the stack of 4.31°C at 28°C ambient temperature.

Keywords: Thermoacoustic, cooling device, COP

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin canggih memunculkan berbagai macam barang elektronik. Dalam hal ini misalnya saja penggunaan AC dan mesin pendingin yang menggunakan gas refrigerant sebagai media penghantar. Gas refrigerant yang biasa digunakan pada AC dan lemari pendingin adalah *clorofluorocarbon* (CFC) dan HFC (*Hydroflouorocarbon*). Pada dasarnya gas CFC dan HFC tidak berbahaya namun jika digunakan secara berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan atau kerusakan lapisan ozon. Maka dari itu, perlu adanya energi baru alternatif yang ramah lingkungan yaitu sistem pendingin termoakustik.

Sistem pendingin termoakustik merupakan suatu sistem yang mengkonversikan gelombang suara beramplitudo tinggi menjadi energi kalor yang menghasilkan perbedaan temperatur [1]. Menurut [2] sistem termoakustik merupakan suatu bidang yang berkaitan dengan fenomena fisis dimana perbedaan suhu dapat membangkitkan gelombang akustik (bunyi) atau sebaliknya gelombang bunyi dapat menimbulkan perbedaan suhu. Sistem pendingin termoakustik memiliki keunggulan diantaranya konstruksi relatif lebih sederhana, media penghantar yang digunakan ramah lingkungan karena menggunakan udara atau gas mulia dan ketersediaan media penghantar yang

melimpah sehingga pembuatannya memerlukan biaya yang relatif murah. [3]

Komponen utama dari perangkat sistem pendingin termoakustik yaitu *loudspeaker*, fluida kerja, tabung resonator dan *stack* sebagai *heat exchanger* atau penukar kalor. Sistem pendingin termoakustik telah didiskusikan oleh beberapa peneliti seperti [4] meneliti pengaruh dimensi resonator silindris terhadap kinerja suatu pendingin termoakustik, [5] meneliti karakteristik bahan *stack* untuk termoakustik refrigerator gelombang berdiri dan [6] membahas pengaruh ketebalan plat dan kinerja tegangan *loudspeaker* pada termoakustik pendingin.

Berdasarkan uraian diatas, tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan hasil rancangan, pembuatan dan analisis sistem pendingin termoakustik dengan variasi bentuk *stack*.

2. Metode

Metode penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

2.1 Prinsip Kerja Sistem Pendingin Termoakustik

Prinsip kerja dari termoakustik pendingin terdiri dari 4 tahapan. Tahapan kerja termoakustik berdasarkan kondisi kenaikan dan penurunan temperatur dan tekanan yaitu sebagai berikut [1]:

1. Kompresi Adiabatik

Bila udara dikompresikan maka udara akan mengalami kenaikan temperatur dan tekanan

2. Perpindahan Panas Secara Irreversible

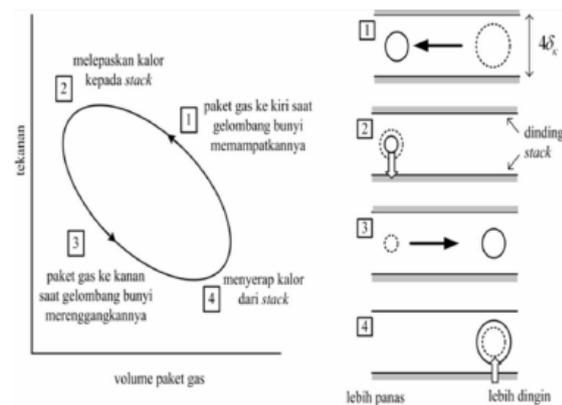
Kenaikan temperatur pada udara menyebabkan perpindahan panas terjadi dari udara menuju *stack*. Karena temperatur *stack* lebih rendah dibandingkan udara.

3. Ekspansi Adiabatik

Perpindahan panas yang terjadi secara terus menerus menyebabkan udara mengalami penurunan temperatur dan tekanan tetap, sehingga udara mengalami proses ekspansi. Pada tahapan ini temperatur *stack* yang lebih tinggi dibandingkan temperatur udara.

4. Perpindahan Panas Secara Irreversible

Panas berpindah dari *stack* menuju udara sehingga tekanan dan temperatur kembali ke keadaan semula. Siklus ini akan terus terjadi hingga sejumlah panas dapat dipindahkan ke sepanjang *stack*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram p-v siklus empat tahap sistem pendingin termoakustik [2]

2.2 Perancangan Perangkat Sistem Pendingin Termoakustik

Setelah menentukan dimensi dari tabung resonator dan mendapatkan parameter yang digunakan untuk merancang perangkat sistem pendingin termoakustik maka perancangan dapat dilakukan dengan menghitung parameter-parameter yaitu sebagai berikut:

1. frekuensi resonansi

frekuensi resonansi merupakan frekuensi yang saling menguatkan sehingga jika kerja dilakukan pada frekuensi ini maka sistem akan berjalan dengan optimal [7].

$$f_n = \frac{nv}{4(L + \frac{14D}{23\pi})}$$

Keterangan:

f_n = frekuensi resonansi (Hz)

$n = 1, 3, 5$, orde harmonik

v = cepat rambat gelombang bunyi di udara (m/s)

L = panjang tabung resonator (m)

D = diameter tabung resonator (m)

2. kedalaman penetrasi termal

kedalaman penetrasi termal merupakan jarak suatu difusi kalor yang melalui fluida kerja dalam waktu konstan [8].

$$\delta_k = \sqrt{\frac{K}{\pi\rho c_p f}}$$

keterangan:

K =konduktivitas termal (W/m.K)

ρ = massa jenis fluida kerja (kg/m³)

c_p =panas spesifik (kJ/kg.C)

f = frekuensi resonansi(Hz)

3. kedalaman penetrasi viskositas

kedalaman penetrasi viskositas merupakan jarak dimana momentum bisa berdifusi dalam satu waktu [8].

$$\delta_v = \sqrt{\frac{\mu}{\rho_m \pi f}}$$

keterangan:

μ = viskositas dinamik fluida kerja (kg/m.s),

ρ = massa jenis fluida kerja (kg/m³)

f = frekuensi resonansi (Hz)

4. Blockage ratio

Blockage ratio didefinisikan sebagai perbandingan luas penampang terbuka terhadap total luas penampang *stack*[8].

$$Br = \frac{y_o}{y_o + l_o}$$

y_o = jarak antar layer *stack*

l_o = ketebalan plat *stack*

5. posisi *stack*.

Posisi *stack* dihitung berdasarkan panjang gelombang[9].

$$x_{sn} = \frac{\lambda}{20}$$

2.3 COP (Coefficient of performance)

Prestasi dapat diartikan sebagai unjuk kerja. Faktor unjuk kerja pada perangkat system pendingin termoakustik adalah koefisien kinerja pendingin (COP). Kinerja sebuah sistem pendingin didefinisikan sebagai rasio kalor yang ditransfer dari sisi dingin dan daya yang digunakan untuk

transfer tersebut. Koefisien kinerja system pendingin (COP) sebagai [10]:

$$COP = \frac{Q_l}{W_{in,net}}$$

Dimana Q_l adalah kapasitas pendinginan yang dihasilkan dan $W_{in,net}$ merupakan daya yang digunakan untuk memompa Q_l . Untuk mendapatkan nilai dari Q_l maka didapatkan dengan rumus[11]:

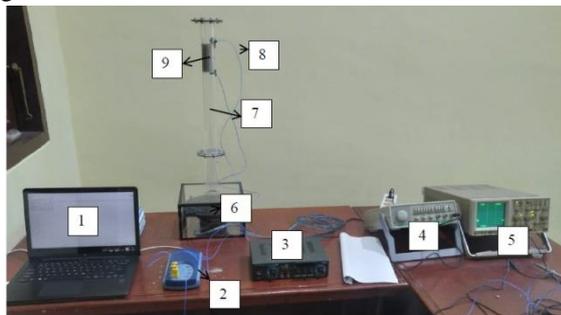
$$Q_l = (1 - B_r)(A_{Resonator})K\left(\frac{T_H - T_C}{L_s}\right)$$

2.4 PembuatanPerangkat Sistem Pendingin Termoakustik

Dalam proses pembuatan perangkat sistem pendingin termoakustik hal pertama yang dilakukan adalah pembuatan *stack* dimana pada penelitian ini bentuk *stack* yang digunakan adalah *stack* plat dan *stack* spiral, pembuatan kotak akrilik, pembuatan *flange* dan tabung resonator dan tahapan akhir adalah perakitan.

2.5 Experimental Set-up

Pada Gambar 2 memperlihatkan bagian-bagian dari perangkat sistem pendingin termoakustik. perangkat sistem pendingin termoakustik dihubungkan ke amplifier yang berfungsi sebagai pembangkit gelombang suara yang akan diinputkan ke perangkat melalui *loudspeaker* dan dihubungkan ke function generator.



Keterangan :

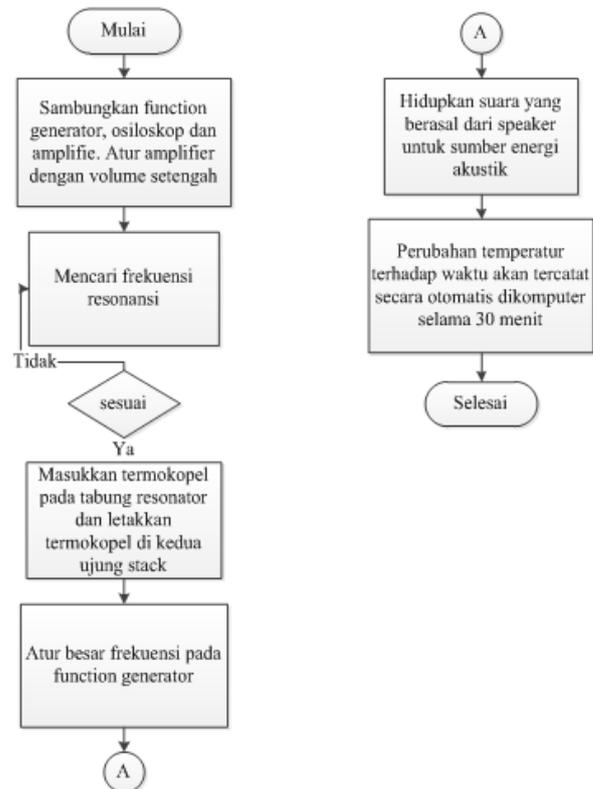
- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. Komputer | 6. <i>loudspeaker</i> |
| 2. <i>Thermocouple controller</i> | 7. Tabung resonator |
| 3. <i>Amplifier</i> | 8. <i>Thermocouple</i> |
| 4. <i>Function generator</i> | 9. <i>stack</i> |
| 5. Osiloskop | |

Gambar 2 *Experimental set-up*

2.6 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara berulang kali. Data akuisisi digunakan untuk pengambilan data. Pengambilan data yang

dilakukan adalah pengambilan data temperatur di kedua ujung *stack* dan lingkungan dengan menggunakan termokopel dan direkam langsung kedalam komputer dengan menggunakan USB data logger OMEGA TC-08 dengan data per 1 menit selama 30 menit. Diagram alir pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Pengambilan Data

3. Hasil

3.1 Hasil Perancangan

Adapun hasil dari perhitungan perancangan perangkat sistem pendingin termoakustik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Rancangan Sistem Pendingin Termoakustik

Parameter Rancangan	Hasil	Satuan
Frekuensi Resonansi (f_n)	141,32	Hz
Panjang gelombang (λ)	2,43	m
Kedalaman penetrasi termal (δ_k)	0,22	mm
Kedalaman penetrasi viskositas (δ_v)	0,96	mm
Jarak antar layer (y_o)	0,89	mm

Panjang $stack$ (L_s)	8,92	cm
Posisi $stack$ (X_{sn})	12,17	cm
Blockage ratio (Br)	0,64	

3.2 Penentuan Frekuensi Resonansi

Untuk mendapatkan frekuensi resonansi pada tabung resonator, digunakan sound level meter yang diletakkan pada ujung tabung resonator. Dilakukan pengujian untuk mendapatkan tingkat intensitas suara terbesar diantara 100-200 Hz. Frekuensi akan diatur pada function generator dengan cara dinaikkan dan diturunkan dengan kelipatan 5 Hz. Adapun hasil dari frekuensi resonansi teoritis dan pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Frekuensi Resonansi

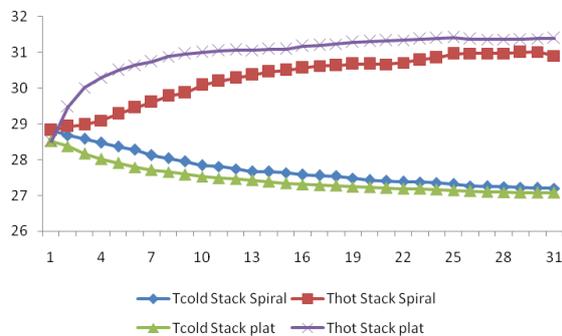
n	L	D	fn, Hz Teoritis	fn, Hz pengujian
1	0.60 m	0.050 m	141,32 hz	145 hz

Setelah dilakukan pengujian frekuensi resonansi didapat nilai tingkat intensitas suara tertinggi berada pada frekuensi 145 Hz. Maka frekuensi resonansi yang digunakan adalah 145 Hz.

4 Pembahasan

4.1 Data Pengujian Stack Plat dan Stack Spiral

Pengujian dilakukan dengan 3 kali percobaan. setelah data pengujian presisi dilakukan perhitungan rata-rata. Pengujian dilakukan pada $stack$ plat dan $stack$ spiral pada temperatur lingkungan 28°C. Grafik perbandingan penggunaan $stack$ spiral dan $stack$ plat dengan temperatur lingkungan 28°C pada perangkat sistem pendingin termoakustik dapat dilihat pada Gambar 4.



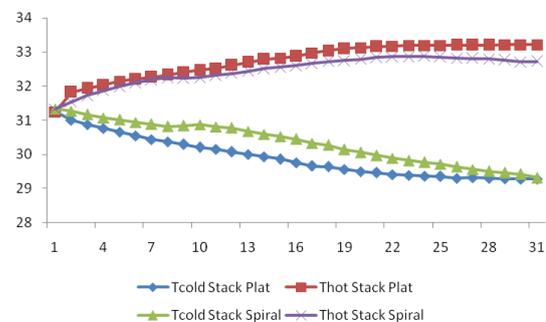
Gambar 4 Grafik ΔT_{stack} plat dan $stack$ spiral

Dari hasil pengujian didapatkan pada $stack$ plat menghasilkan perbedaan temperatur sebesar

4,31°C dengan penurunan temperatur sisi dingin sebesar 1,46°C. Sedangkan dengan penggunaan $stack$ spiral menghasilkan perbedaan temperatur sebesar 4,30°C dengan penurunan temperatur pada sisi dingin sebesar 0,86°C. Perbedaan temperatur yang dihasilkan antara $stack$ spiral dan $stack$ plat tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan.

4.2 Data pengujian fenomena sistem

Pengujian dilakukan dengan 3 kali percobaan. setelah data pengujian presisi dilakukan perhitungan rata-rata. Pengujian dilakukan pada $stack$ plat dan $stack$ spiral pada temperatur lingkungan 31°C. Grafik perbandingan penggunaan $stack$ spiral dan $stack$ plat dengan temperatur lingkungan 31°C pada perangkat sistem pendingin termoakustik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik ΔT_{stack} plat dan $stack$ spiral

Dari hasil pengujian didapatkan pada $stack$ plat menghasilkan perbedaan temperatur sebesar 3,94°C dengan penurunan temperatur sisi dingin sebesar 1,97°C. Sedangkan dengan penggunaan $stack$ spiral menghasilkan perbedaan temperatur sebesar 3,59°C dengan penurunan temperatur pada sisi dingin sebesar 0,76°C. Penggunaan $stack$ spiral dan $stack$ plat yang digunakan pada sistem pendingin termoakustik tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan terlihat pada hasil perbedaan temperatur yang dihasilkan

4.3 Coefficient of performance (COP)

COP (*coefficient of performance*) merupakan nilai yang menunjukkan performansi atau kinerja dari suatu sistem, digunakan dalam suatu system pendingin. Pada temperatur lingkungan 28°C menggunakan $stack$ plat menghasilkan COP sebesar:

$$Q_1 = (1 - B_r)(A_{Resonator})K\left(\frac{\Delta T}{L_s}\right)$$

$$Q_1 = (1 - B_r)(\pi D t)K\left(\frac{\Delta T}{L_s}\right)$$

$$Q_1 = (1 - 0,64)(3,14 \times 0,044 \times 0,6) 0,71 \left(\frac{4,31}{0,09}\right)$$

$$Q_1 = 0,8804 \text{ Watt}$$

Nilai $W_{in,net}$ merupakan daya yang digunakan untuk memompa Q_1 . Dapat dihitung berdasarkan nilai tegangan dan nilai dari arus yang dapat dihasilkan *loudspeaker*.

$$W_{in,net} = V \cdot I$$

$$W_{in,net} = 12,24 \text{ V} \times 1,53 \text{ A}$$

$$W_{in,net} = 18,72 \text{ Watt}$$

Maka di dapatkan nilai dari kinerja system pendingin termoakustik. Dengan rasio antara kapasitas pendinginan dan daya yang diperlukan untuk memompa Q_1 .

$$COPC = \frac{Q_1}{W_{in,net}}$$

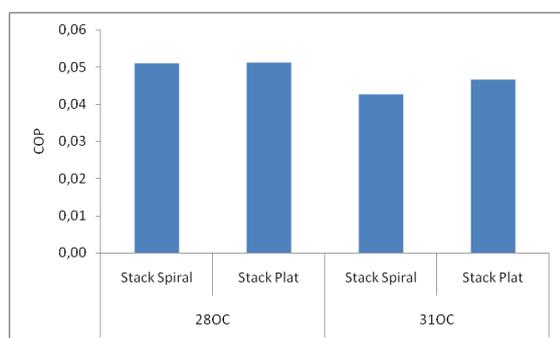
$$COPC = \frac{0,8804}{18,72}$$

$$COPC = 0,0447$$

Untuk hasil dari COP atau kinerja system pendingin termoakustik dengan menggunakan *stack* spiral dan *stack* plat pada variasi temperatur lingkungan di menit ke-30 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 *Coefficient of Performance*(COP)

Jenis Stack	Temperatur Lingkungan	T1 (°C)	T2 (°C)	Q1 (Watt)	W _N (Watt)	COP
Stack plat	28°C	27,08	31,38	0,956	18,75	0,0511
Stack spiral	31°C	29,28	33,67	0,798	18,75	0,0467
Stack spiral	28°C	27,57	31,88	0,958	18,75	0,0510
Stack plat	31°C	30,47	34,07	0,876	18,75	0,0426



Gambar 6 Grafik COP (*Coefficient of performance*)

Pada gambar 6 merupakan grafik dari COP dimana dapat dilihat bahwa temperatur lingkungan 28°C menggunakan *stack* plat menghasilkan nilai COP tertinggi dibandingkan penggunaan dengan menggunakan *stack* spiral. Semakin tinggi nilai COP yang dihasilkan oleh system pendingin maka

semakin baik performa dari system pendingin tersebut.

5 Simpulan

Perbandingan penggunaan *stack* spiral dan *stack* plat paralel dengan frekuensi resonansi sebesar 145 Hz. Dari percobaan yang telah dilakukan maka terlihat hasil penggunaan *stack* spiral dan *stack* plat, perbedaan temperatur tertinggi yang dihasilkan oleh *stack* plat sebesar 4,31°C dan perbedaan temperatur tertinggi yang dihasilkan oleh *stack* spiral sebesar 4,30°C. Namun perbedaan temperatur yang berbeda terdapat pada temperatur lingkungan 31°C dimana pada penggunaan *stack* plat menghasilkan perbedaan temperatur 3,94°C dengan penurunan temperatur sebesar 1,89°C dan pada penggunaan *stack* spiral menghasilkan perbedaan temperatur sebesar 3,59°C dengan penurunan temperatur sebesar 0,76°C dari temperatur awal. Hal ini disebabkan karena fabrikasi pada *stack* plat lebih baik dibandingkan *stack* spiral dan pada *stack* plat volume udara lebih besar dibandingkan *stack* spiral. Dapat disimpulkan penggunaan *stack* plat lebih baik dibanding *stack* spiral dikarenakan perbedaan temperatur yang dihasilkan *stack* plat lebih tinggi dibanding *stack* spiral.

Daftar Pustaka

- [1] Agustina, Dinni.2015. Pengaruh parameter resonator terhadap laju perubahan suhu pada perangkat pendingin termoakustik. Proseding seminar nasional rekayasa (SNTR) II.
- [2] Cahyono, A, Setiawan, Ikhsan dan Utomo, Agung Bambang Setio. 2013. Analisis Kinerja Pompa Kalor Termoakustik Pada Variasi Diameter Stack Berpori Lingkaran. *Berkala MIPA*. 23.
- [3] Elnegiry, E.A., Eltahan, H.R., Alamir, M.A. 2016. Optimizing the Performance of a Standing Wave Loudspeaker Driven Thermoacoustic Heat Pump. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Volume 7.
- [4] Setiawan, Ikhsan Dkk. 2008. The Influence of cylindrical Resonator Dimension On the Performance of a Thermoacoustic Refrigerator.
- [5] Yahya, Samir Gh, Mao, Xiaolan dan Jaworski, Artur J. 2015. Characterization of

Inexpensive Stack Material for Use In standing Wave Thermoacoustic Refrigerator. *ICR*, 16-22.

- [6] Putra. Nandy dan Agustina. Dinni. 2013. Influence of Stack Plate Thickness and Voltage Input on the Performance of Loudspeaker-driven. *Journal of physics;conference*, Series 423.
- [7] Kinsler, L.E., Fret, A.R. Coppens, A.B dan Sanders,J.V., 1999, Fundamentals of Acoustic, Wiley, New York, Edisi ke-4, Bab 8.
- [8] Alahmer, Ali, Omar.Mohammaddan Al Zubi.Mohammad. 2013. Demonstrating of a Standing- Thermoacoustic Refrigerator. *Int. J. Of Thermal &Enviromental Engineering*. Volume 6, No. 2, 75-81.
- [9] Tijani,M. 2001. Louspeaker-driven Therm-acoustic Refrigeration. Technische Universiteit Eindoven.
- [10] Cengel,Yunus A. 2015. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New york: McGraw-Hill Education.
- [11] Hanafi, Adnan.2018. Rancang bangun Pengujian penyimpanan pendingin dengan sistem pendingin termoakustik. Bogor: Institut Pertanian Bogor.