



**PENGARUH VARIASI DIAMETER *INLET MESO-SCALE COMBUSTOR*
DENGAN *SUDDEN EXPANSION* TERHADAP *OUTPUT* DAYA LISTRIK
*THERMOELECTRIC GENERATOR***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik.

Oleh

Dani Arif Wibowo

NIM 161910101096

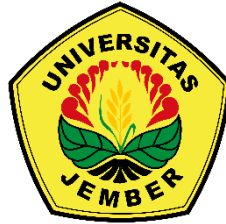
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH VARIASI DIAMETER *INLET MESO-SCALE COMBUSTOR*
DENGAN *SUDDEN EXPANSION* TERHADAP *OUTPUT* DAYA LISTRIK
*THERMOELECTRIC GENERATOR***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik.

Oleh

Dani Arif Wibowo

NIM 161910101096

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillahirabbil'alamin puji serta syukur atas ke Hadirat Allah SWT yang selalu mencurahkan limpahan nikmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Dengan penuh rasa syukur saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Orang tua tercinta yang senantiasa memberikan dukungan;
2. Seluruh keluarga tercinta;
3. Dosen dan staff almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, terkhusus kepada Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji;
4. Semua sahabat dan teman-teman, terutama sahabat kontrakan, teman kuliah dan teman sejurusan;
5. Dan seluruh pihak yang turut meberikan dukungan dan bantuan yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Terimakasih atas segala kebaikan, dukungan, dan bantuan baik dalam bentuk moril maupun materil, semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan yang berlipat ganda dalam bentuk apapun.

MOTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Al-Qur'an surat *Al-Insyrah* ayat 5-6) *)

“Ketika ia memberi gelar sardjana teknik kepadaku, Presiden universitas berkata, "Ir. Sukarno, idjazah ini dapat robek dan hantjur mendjadi abu disatu saat. Ia tidak kekal. Ingatlah, bahwa satu-satunja kekuatan jang bisa hidup terus dan kekal adalah karakter dari seseorang. Ia akan tetap hidup dalam hati rakjat, sekalipun sesudah mati.".”

(Ir. Soekarno) **)

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: PT Syaamil Cipta Media.

**) Soekarno, dan Cindy Heller Adams. 1966. *Bung Karno, penjambung lidah rakjat Indonesia*. Jakarta: Gunung Agung.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Dani Arif Wibowo

NIM : 161910101096

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Diameter *Inlet Meso-Scale Combustor* dengan *Sudden Expansion* Terhadap *Output Daya Listrik Thermoelectric Generator*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 1 September 2020

Yang menyatakan,

(Dani Arif Wibowo)

NIM 161910101096

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI DIAMETER *INLET MESO-SCALE COMBUSTOR*
DENGAN *SUDDEN EXPANSION* TERHADAP *OUTPUT* DAYA LISTRIK
*THERMOELECTRIC GENERATOR***

Oleh

Dani Arif Wibowo
NIM 161910101096

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Diameter *Inlet Meso-Scale Combustor* dengan *Sudden Expansion* Terhadap *Output Daya Listrik Thermoelectric Generator*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 1 Agustus 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.
NIP 19750502 200112 1 001

Ir. Rika Dwi Hidayatul Q., S.T., M.T.
NIP 760014642

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP 19850117 201212 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Diameter Inlet Meso-Scale Combustor dengan Sudden Expansion Terhadap Output Daya Listrik Thermoelectric Generator, Dani Arif Wibowo, 161910101096; 2020: 103 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Saat ini Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik. Hal ini menyebabkan perlu adanya pengembangan pada sektor pengolahan, pengelolaan dan pemanfaatan bahan bakar fosil. Salah satu wujud pengembangan teknologi dalam pemanfaatan bahan bakar fosil yang sedang berlangsung yakni penggunaan bahan bakar fosil pada pembakaran skala meso sebagai *micro power generator*. *Meso-scale combustion* adalah pembakaran pada ruang bakar berdiameter sebesar 1 – 10 mm.

Fokus pada penelitian ini adalah untuk melakukan pengamatan terhadap *output* energi listrik perangkat *thermoelectric generator* yang diperoleh dari perbedaan temperatur dinding *meso-scale combustor*, dan temperatur *cooling jacket*. Penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan variasi utama menggunakan ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* sebesar 3,3 mm dan 4,2 mm dengan diameter *outlet combustor* konstan sebesar 4,7 mm. Sementara, variasi pendukung menggunakan kecepatan reaktan 31,40 cm/s, 33,10 cm/s, dan 34,79 cm/s dengan rasio ekuivalen konstan sebesar $\phi = 1$ pada setiap pengujian yang dilakukan.

Hasil analisa berdasarkan tingginya *output* energi listrik dan rendahnya nilai *exhaust heat loss* yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa *micro power generator* dengan menggunakan ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* yang lebih besar mampu memberikan *output* energi yang lebih baik bila dibandingkan dengan ukuran diameter *inlet* yang lebih kecil. Penggunaan *Meso-scale combustor* dengan ukuran diameter *inlet* sebesar 4,2 mm memiliki *output* energi listrik tertinggi dengan nilai rata-rata diketiga variasi laju kecepatan reaktan sebesar 20,35 mW. *Output* energi listrik yang diperoleh dihasilkan dengan rata-rata beda temperatur dinding *combustor* terhadap temperatur *cooling jacket* sebesar 61,88 °C. Kerugian berupa *heat loss* yang diperoleh pada penelitian ini meliputi *sink heat loss*, *uncovered sides heat loss*, dan *exhaust heat loss* yang masing-masing memiliki nilai sebesar 47,04%, 38,60%, dan 14,37%.

SUMMARY

Effect of Variation Diameter Inlet Meso-Scale Combustor with Sudden Expansion On Electric Power Output Thermoelectric Generator, Dani Arif Wibowo, 161910101096; 2020: 103 page; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Currently, Indonesia is the country with the largest energy consumption in Southeast Asia and fifth in the Asia Pacific. This causes the need for development in the processing, management and utilization of fossil fuels. One form of technology development in the use of fossil fuels is the use of fossil fuels in meso-scale combustion as a micro power generator. Meso-scale combustion is combustion in the combustion chamber with a diameter of 1 - 10 mm.

The focus of this research is to observe the electrical energy output of the thermoelectric generator device obtained from the difference in the temperature of the meso-scale combustor wall, and the temperature of the cooling jacket. This research was conducted by providing the main variation using the size of the combustor meso-scale inlet diameter of 3.3 mm and 4.2 mm with a constant combustor outlet diameter of 4.7 mm. Meanwhile, the supporting variation uses reactant velocities of 31.40 cm / s, 33.10 cm / s, and 34.79 cm / s with a constant equivalent ratio of $\phi = 1$ for each test performed.

The results of the analysis are based on the high output of electrical energy and the low value of the exhaust heat loss obtained, it can be concluded that the micro power generator using a larger meso-scale combustor inlet diameter can provide a better energy output when compared to a smaller inlet diameter. The use of Meso-scale combustor with an inlet diameter of 4.2 mm has the highest electrical energy output with an average value in the three variations of the bond speed of 20.35 mW. Output of electrical energy generated by the acquired average temperature difference walls of the combustor to a temperature of cooling jacket of 61.88 ° C. Losses in the form of heat loss obtained in this study include sink heat loss, uncovered sides heat loss, and exhaust heat loss, each of which has a value of 47.04%, 38.60%, and 14.37%.

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamin segala puji serta syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Diameter *Inlet Meso-Scale Combustor* dengan *Sudden Expansion* Terhadap *Output Daya Listrik Thermoelectric Generator*” dapat disusun dan diselesaikan oleh penulis. Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah demi melengkapi salah satu syarat guna menyelesaikan jenjang pendidikan strata satu (S1) jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember:

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu memulai dan menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga tercinta. Ibunda Lusianawati dan Ayahanda Danang Priwibawa yang selalu memberikan motivasi, dukungan moral dan materi serta kasih sayang yang tak terhingga kepada penulis. Serta kedua adik laki-laki penulis yakni, Dika Aprilio Wibowo dan Diki Aldino Wibowo sebagai penerus cita-cita keluarga yang selalu memotivasi penulis agar dapat dijadikan contoh yang baik dikemudian hari.
3. Bapak Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing utama dan Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing anggota yang telah yang telah membantu penelitian, melatih keterampilan dan memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis sehingga penelitian dapat berjalan dan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T, M.T. sebagai penguji utama dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. sebagai penguji anggota yang telah memberikan banyak kritik serta saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar dan staff akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan

dan selalu memberikan layanan terbaik kepada seluruh mahasiswanya meskipun ditengah masa pandemi seperti saat sekarang ini.

6. Sahabat Q19 : Hubby, Amru, Iqbal, Ganang, Bagas, Romy, Rio dan Ilham atas kebersamaan dalam suka dan duka selama empat tahun menempuh masa studi di Universitas Jember.
7. Salsabilla Mutazam yang selalu setia memberi semangat dan motivasi serta menjadi salah satu alasan penulis untuk segera menyelesaikan studi strata satu ini.
8. Tim penelitian *Meso-scale Combustor Research Group*.
9. Rekan kuliah satu angkatan Teknik Mesin Universitas Jember 2016 yang sangat luar biasa.
10. Paguyuban Imada Jaya sebagai rumah kedua bagi penulis di Kota Jember.

Dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mencapai hasil yang terbaik. Namun, penulis menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sehingga dapat menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata yang penulis dapat sampaikan, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembacanya.

Jember, September 2020

Penulis,

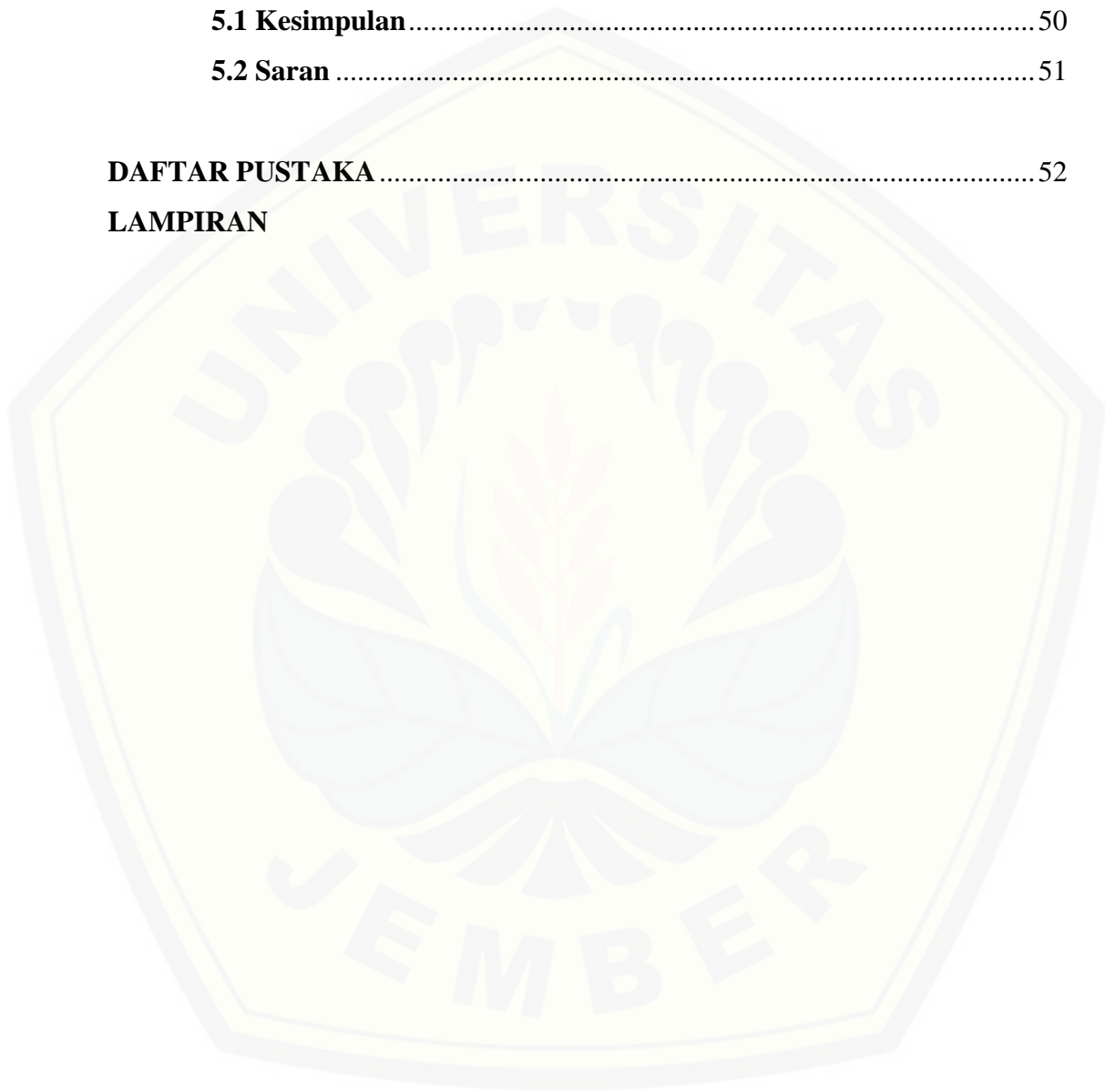
Dani Arif Wibowo

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembakaran	5
2.1.1 <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i>	5
2.1.2 <i>Equivalence Ratio (ϕ)</i>	6
2.1.3 Butana	7
2.2 Perpindahan Panas	8
2.2.1 Alat Penukar Kalor	11
2.2.2 Analogi Energi Panas dan Energi Listrik	13

2.3 Sifat Termal Material	14
2.4 <i>Micro dan Meso Scale Combustion</i>	15
2.4.1 <i>Meso-scale Combustor</i>	16
2.4.2 <i>Sudden Expansion / Backward Facing Step</i>	16
2.5 <i>Micro Power Generator (MPG)</i>	17
2.6 Prinsip Kerja <i>Thermoelectric Generator</i>	18
2.6.1 <i>Thermoelectric Effect</i>	18
2.7 Penelitian Sebelumnya	19
2.8 Hipotesis	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Metodologi Penelitian	23
3.2 Waktu dan Tempat	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.3.1 Variabel Bebas	23
3.3.2 Variabel Terikat	23
3.3.3 Variabel Kontrol	23
3.4 Alat dan Bahan	24
3.4.1 Alat dan Bahan Rangkaian <i>Combustor</i>	24
3.4.2 Alat dan Bahan Rangkaian TEG	28
3.5 Skema Alat Uji	32
3.5.1 Skema Instalasi <i>Micro Power Generator</i>	32
3.5.2 Skema Pengukuran Suhu TEG	34
3.5.3 Skema Pengukuran <i>Output</i> Energi Listrik	34
3.6 Prosedur Penelitian	35
3.7 Diagram Alir Penelitian	36
3.8 Penyajian Data Penelitian	37
BAB 4. PEMBAHASAN	39
4.1 Data Hasil Penelitian	39
4.1.1 Beda Temperatur Dinding TEG	40
4.1.2 <i>Output</i> Energi Listrik	42
4.1.3 <i>Output</i> Energi Terhadap Diameter <i>Inlet Combustor</i>	43

4.1.4 <i>Heat loss</i>	45
4.2 Analisis Hasil Penelitian	47
BAB 5. PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

2.1	Konduksi pada dimensi plat	8
2.2	Skema diagram konveksi	10
2.3	Klasifikasi alat penukar kalor	12
2.4	Combustor dengan <i>backward facing step / sudden expansion</i>	16
2.5	<i>Thermoelectric generator</i>	18
2.6	Instalasi TEG.....	20
2.7	Visualisasi api dengan variasi rasio combustor.....	21
3.1	Dimensi <i>Meso-scale combustor</i>	24
3.2	<i>Combustor holder</i> dan <i>mixer</i>	25
3.3	<i>Flowmeter</i> bahan bakar dan udara.....	25
3.4	Kompresor udara	26
3.5	Selang	26
3.6	Regulator butana	26
3.7	<i>Thermocouple</i> tipe-K.....	27
3.8	<i>Data logger</i>	27
3.9	<i>Laptop</i>	27
3.10	Tabung gas butana.....	28
3.11	TEG SP1848-2714SA	28
3.12	<i>Powermeter data logger</i>	29
3.13	Pompa air.....	30
3.14	Radiator	30
3.15	<i>Water block / cooling jacket</i>	31
3.16	Selang silikon	31
3.17	<i>Resistor</i>	32
3.18	<i>Thermal paste</i>	32
3.19	Skema instalasi <i>Micro Power Generator</i>	33
3.20	Skema Titik Pengukuran Suhu TEG	34
3.21	Skema Pengukuran Energi Listrik	34
3.22	Diagram alir penelitian.....	36

3.23	Grafik temperatur terhadap waktu.....	38
3.24	Grafik daya terhadap waktu	38
4.1	Grafik ΔT dinding TEG terhadap waktu ($D_{in} = 3,3$ mm).....	41
4.2	Grafik ΔT dinding TEG terhadap waktu ($D_{in} = 4,2$ mm).....	41
4.3	Grafik daya terhadap waktu ($D_{in} = 3,3$ mm)	42
4.4	Grafik daya terhadap waktu ($D_{in} = 4,2$ mm)	42
4.5	Grafik perbandingan \bar{x} ΔT dinding TEG ($D_{in} = 3,3$ dan $4,2$ mm).....	43
4.6	Grafik perbandingan \bar{x} daya ($D_{in} = 3,3$ dan $4,2$ mm)	44
4.7	Grafik perbandingan \bar{x} T_c dan T_h pada setiap diameter <i>inlet combustor</i> .	44
4.8	Grafik perbandingan \bar{x} T_i pada setiap diameter <i>inlet combustor</i>	45
4.9	Grafik persentase perbandingan <i>heat loss</i>	45

DAFTAR TABEL

2.1	Spesifikasi butana.....	7
2.2	Analogi energi listrik – energi panas.....	13
2.3	Tabulasi sifat termal untuk berbagai bahan.....	14
2.4	Klasifikasi jenis dan kegunaan <i>combustor</i>	15
3.1	Ukuran dimensi <i>combustor</i>	24
3.2	Spesifikasi TEG SP1848-2714SA.....	29
3.3	Spesifikasi pompa air pendingin	30
3.4	Rencana Penyajian data debit bahan bakar dan rasio ekuivalen	37
3.5	Rencana pengambilan data temperatur dan energi <i>output</i>	37
4.1	Data pengujian debit bahan bakar, udara dan kecepatan reaktan.....	39
4.2	Data pengujian MPG dengan $D_{in} = 3,3$ mm.....	40
4.3	Data pengujian MPG dengan $D_{in} = 4,2$ mm.....	40
4.4	Nilai <i>heat loss</i>	40

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang, dan Korea Selatan (Yudiartono dkk., 2018). Beberapa penyebab dari tingginya jumlah konsumsi energi di Indonesia yakni ada pada kebutuhan sektor industri dan transportasi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menyatakan bahwa kebutuhan energi pada sektor industri dalam rentang tahun 2016 – 2050 akan mengalami peningkatan dari 35,5% menjadi 46,8%, sedangkan kebutuhan energi pada sektor transportasi telah mengalami peningkatan sebesar 4,6% setiap tahunnya terhitung sejak tahun 2016.

Dengan meningkatnya kebutuhan energi pada sektor-sektor tersebut maka sudah dapat dipastikan bahwa konsumsi bahan bakar fosil akan terus meningkat. Sementara, produksi minyak bumi saat ini sebesar 338 juta barel dan dengan mempertimbangkan cadangan terbukti minyak yang ada, maka diperkirakan cadangan terbukti minyak akan habis dalam kurun waktu 9 tahun ke depan. Demikian juga dengan cadangan terbukti gas bumi dengan kondisi saat ini diperkirakan gas bumi akan habis dalam kurun waktu 42 tahun (Yudiartono dkk., 2018).

Salah satu wujud dari pengembangan teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil yang sedang berlangsung yakni penggunaan bahan bakar fosil dalam pembakaran skala mikro dan meso (*micro and meso-scale combustion*). Jika dilihat dari segi ukurannya *meso-combustion* adalah pembakaran pada saluran ruang bakar (*combustor*) dengan diameter sebesar 1 – 10 mm (Maruta dan Ju, 2011). Aravind dkk. (2018) menyatakan bahwa kepadatan energi pada pembakaran bahan bakar hidrokarbon cair memiliki kepadatan energi sebesar 45 MJ/kg.

Menurut Aravind dkk. (2018) pada penelitiannya menyatakan bahwa kepadatan energi yang dihasilkan oleh pembakaran hidrokarbon yang terjadi di dalam *combustor* sangat berpotensi sebagai sumber energi listrik dengan cara mengubahnya secara langsung menggunakan perangkat *thermoelectric generator* yang diinstalasi pada dinding *combustor*. Chow dkk. (2011) dalam penelitiannya menggunakan perangkat *thermophotovoltaic* guna memanfaatkan pembakaran hidrokarbon pada *meso-scale combustor*. Sedangkan, pembangkitan energi listrik yang dilakukan Qiu dan Hayden (2012) menggunakan kombinasi dari sel *thermophotovoltaic* dan perangkat *thermoelectric generator* secara bersamaan.

Dari beberapa penelitian tersebut terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi hasil konversi energi pada perangkat *thermoelectric generator* maupun *thermophotovoltaic generator* yakni perbedaan suhu diantara kedua sisi *thermoelectric / thermophotovoltaic generator* dan temperatur yang dihasilkan *combustor*. Temperatur pada *meso* maupun *micro combustor* dipengaruhi oleh kestabilan pembakaran dan karakteristik nyala api. Terdapat pula faktor yang mempengaruhi kestabilan pembakaran dan karakteristik nyala api adalah variasi geometri *combustor*, material *combustor* dan bahan bakar yang digunakan.

Rohadi (2016) menyatakan dalam penelitiannya bahwa panjang saluran *sudden expansion / backward facing step* dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran pada *meso-scale combustor*. Hasil penelitian tersebut yakni kecerahan nyala api semakin meningkat seiring dengan bertambahnya panjang saluran *sudden expansion*. Visualisasi nyala api yang semakin cerah merepresentasikan semakin tinggi temperatur api yang dihasilkan. Pada penelitian yang dilakukan Prabowo (2017) menyatakan bahwa ukuran diameter *outlet* pada *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* memiliki pengaruh terhadap distribusi temperatur yang dihasilkan. Distribusi temperatur tertinggi diperoleh pada ukuran diameter *outlet* terkecil, hal ini disebabkan oleh besarnya nilai *surface to volume ratio*. Sedangkan, temperatur ruang bakar tertinggi diperoleh pada ukuran diameter *outlet* terbesar yang disebabkan oleh terbentuknya *vortex* pada aliran reaktan. Zulkarnain (2017) pada penelitiannya menyatakan bahwa karakteristik nyala api pada *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* dipengaruhi oleh ukuran diameter *inlet*.

Temperatur tertinggi yang dihasilkan pada ruang bakar diperoleh dengan variasi *inlet* terbesar. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Sedangkan terdapat perbedaan karakteristik nyala api pada setiap variasi *inlet* diameter *combustor*. Oleh karena itu, bahasan penelitian ini terkait perbandingan daya listrik yang dihasilkan *thermoelectric generator* dengan adanya perbedaan posisi nyala api pada ruang bakar *combustor* yang diakibatkan variasi geometri diameter *inlet meso-scale combustor* dengan *sudden expansion*. Pada penelitian ini diharapkan perbedaan karakteristik nyala api dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi diameter *inlet meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh *thermoelectric generator*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bahan bakar dan oksidator menggunakan gas butana C_4H_{10} dan udara.
2. Elemen *thermoelectric generator* bertipe TEG SP1848 27145 SA.
3. Sistem pendingin menggunakan fluida cair dengan skema *closed loop*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini yakni untuk:

Mengetahui dan menganalisa pengaruh variasi diameter *inlet meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* terhadap energi listrik yang dihasilkan dengan menggunakan perangkat *thermoelectric generator*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian adalah:

1. Menjadi referensi baru untuk penelitian selanjutnya terkait pemanfaatan *thermoelectric generator* dan teknologi pembakaran skala meso.

2. Merupakan salah satu kontribusi dalam pengembangan teknologi dibidang pemanfaatan dan pengelolaan bahan bakar fosil.
3. Menambah pengetahuan mengenai potensi *heat losses* sebagai sumber energi listrik.

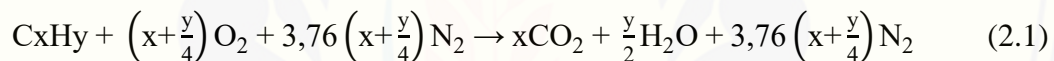


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembakaran

Pembakaran adalah sebuah rangkaian reaksi kimia dimana bahan bakar seperti hidrogen maupun karbon digabung dengan oksigen kemudian melepaskan energi panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Kondisi yang diperlukan dalam pembakaran adalah adanya campuran bahan bakar dengan oksidator dan pemicu proses pembakaran. Dalam proses pembakaran bahan bakar yang umumnya digunakan adalah bahan bakar organik seperti hidrokarbon dalam fasa padat, cair, dan gas (Ganesan, 2012).

Rumus umum reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_xH_y menurut McAllister dkk. (2011) sebagai berikut:



Menurut McAllister dkk. (2011) pembakaran terbagi menjadi dua jenis yang dibedakan berdasarkan metode pencampurannya yakni pembakaran difusi dan pembakaran *premixed* dengan pengertian sebagai berikut :

a. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah pembakaran yang dimana proses pencampuran antara bahan bakar dan oksidator terjadi langsung pada ruang bakar, sebagai contoh pembakaran difusi yakni pembakaran pada mesin berbahan bakar diesel dimana solar diinjeksikan setelah udara sebagai oksidator berada pada ruang bakar.

b. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang dimana proses pencampuran antara bahan bakar dan oksidator terjadi secara sempurna di luar ruang bakar. Sebagai contoh pembakaran *premixed* yakni proses pembakaran pada mesin bensin dimana udara yang telah bercampur dengan bahan bakar memasuki ruang bakar sesaat setelah melalui proses pengkabutan pada karburator.

2.1.1 Air Fuel Ratio (AFR)

Pada proses pembakaran difusi dan *premixed* terdapat reaksi kimia yang melibatkan udara (oksigen, nitrogen) dan bahan bakar. Rasio udara - bahan bakar singkatnya adalah perbandingan jumlah udara terhadap jumlah bahan bakar dalam sebuah reaksi pembakaran. Menurut Moran dan Saphiro (2004), rasio udara – bahan bakar dapat dituliskan dengan basis molar yakni mol udara dibagi dengan mol bahan bakar atau dapat dituliskan dengan basis massa yakni massa udara dibagi dengan massa bahan bakar.

Menurut McAllister dkk. (2011), Persamaan yang digunakan untuk menyatakan nilai dari rasio udara dan bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- \dot{m}_a : laju massa udara (kg/detik)
- \dot{m}_f : laju massa bahan bakar (kg/detik)
- M_a : massa molar udara (g/mol)
- N_a : jumlah molar udara (mol)
- M_f : massa molar bahan bakar (g/mol)
- N_f : jumlah molar udara bahan bakar (mol)

2.1.2 Equivalent Ratio (ϕ)

Equivalent ratio merupakan nilai perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometrik terhadap rasio campuran udara dan bahan bakar aktual.

$$\phi = \frac{AF_{stoic}}{AF_{actual}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- ϕ : *equivalent ratio*
- AF_{stoic} : rasio udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometrik
- AF_{actual} : rasio udara dan bahan bakar pada kondisi aktual

Menurut McAllister dkk. (2011), berdasarkan nilainya, *equivalent ratio* pada campuran udara dan bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yakni.

- a. $\phi > 1$ Campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- b. $\phi < 1$ Campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- c. $\phi = 1$ Campuran tepat pada kondisi stoikiometrik

2.1.3 Butana

Butana adalah salah satu dari dua hidrokarbon jenuh atau alkana, dengan rumus kimia C_4H_{10} . Dalam n-butana (normal), rantai butana bersifat kontinu dan tidak bercabang, sedangkan di i-butana (iso-butana), salah satu atom karbon membentuk cabang ke arah samping (Nolan dkk., 2011). Menurut Pohanish dkk. (2017) kegunaan dari gas butana yakni sebagai material mentah untuk butadine, bahan bakar rumah tangga dan industri (tanpa atau dengan campuran gas propana), sebagai ekstraktan, solvent, aerosol dan juga digunakan pada produksi *plastic foam* untuk menggantikan fluorocarbons.

Tabel 2.1 Spesifikasi Butana

<i>Description</i>	
<i>Nature properties</i>	<i>Colorless</i> <i>Extremely flammable</i> <i>Natural gas-like odor</i>
<i>Liquid below</i>	30 °F / -1.1 °C
<i>Odor threshold</i>	204 ppm
<i>Molecular weight</i>	58.12
<i>Specific gravity (H₂O:1)</i>	0.599
<i>Relative vapor density (air =1)</i>	2.11
<i>Boiling point</i>	-0.5 °C
<i>Freezing / melting point</i>	-135 °C
<i>Vapor pressure (18.8 °C)</i>	1520 mmHg
<i>Flash point (flammable gas)</i>	-60 °C
<i>Autoignition temperature</i>	287 °C

(Sumber: Pohanish dkk., 2017)

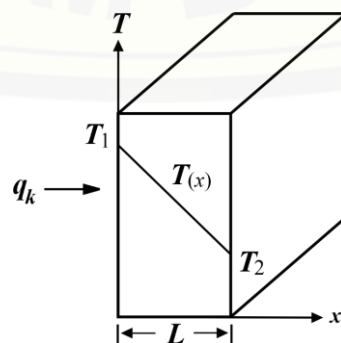
2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas atau dingin). Perpindahan panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya rendah. Peristiwa perpindahan panas sangat banyak dijumpai dalam industri, misalnya pemanfaatan panas yang terbawa hasil akhir ataupun hasil antara untuk memanaskan umpan yang akan masuk ke reaktor dalam sebuah alat penukar panas, perpindahan panas dari sebuah pipa uap ke udara, pembuangan panas pada sebuah pembangkit listrik (Bastanta, 2012)

Sementara itu Haryadi dan Mahmudi (2012), menyatakan bahwa konsep dasar dari perpindahan panas yakni disebabkan oleh ketidakseimbangan dari adanya perbedaan temperatur pada suatu luasan. Proses perpindahan panas yang terjadi sesungguhnya sangat rumit dan memerlukan pengkajian yang cukup sulit. Oleh karena itu, proses perpindahan panas disederhanakan untuk memperhatikan hal-hal yang kurang berpengaruh pada proses keseluruhan, maka berdasarkan mekanismenya perpindahan panas dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu: konveksi, konduksi dan radiasi.

1. Konduksi

Menurut Haryadi dan Mahmudi (2012) Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada benda atau partikel-partikel yang memiliki kontak langsung dengan sumber panas dan tidak ada pergerakan relatif diantara partikel tersebut atau dapat dikatakan bahwa perpindahan panas dengan media penghantar panas tetap. Secara teoritis perpindahan panas secara konduksi menerapkan dasar hukum Fourier sebagai berikut:



Gambar 2.1 Konduksi pada dimensi plat (Sumber: Haryadi dan Mahmudi, 2012)

$$q_k = k A \left(-\frac{dT}{dx} \right) \quad (2.5)$$

$$q_k = k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \quad (2.6)$$

Keterangan :

- q_k : Laju perpindahan kalor (W)
 k : Konduktifitas termal material (W/m°C)
 A : Luas penampang (m²)
 $\frac{dT}{dx}$: Gradien temperatur arah garis x (C/m)

2. Konveksi

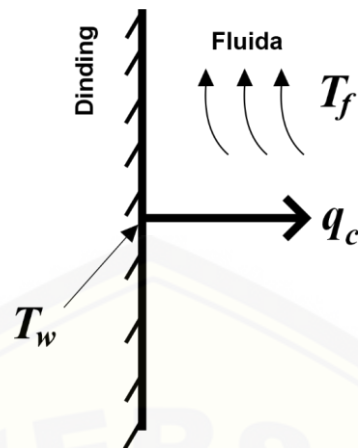
Perpindahan panas secara konveksi yakni perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida yang berada disekitarnya, dengan kata lain perpindahan panas ini menggunakan media penghantar panas berupa fluida cair atau gas. Buchori (2004) menyatakan bahwa perpindahan panas secara konveksi terjadi dengan menggunakan dua cara sebagai berikut:

1) Konveksi bebas (*free convection*).

Konveksi bebas adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda temperatur tanpa adanya bantuan tenaga dari luar yang mendorong aliran fluida disekitarnya. Contoh dari konveksi bebas yaitu plat panas yang dibiarkan pada udara sekitar hingga suhunya menurun dengan sendirinya tanpa adanya bantuan kipas.

2) Konveksi paksa (*forced convection*).

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang disebabkan beda temperatur namun dengan menggunakan bantuan tenaga dari luar sebagai penggerak aliran fluida yang berada disekitarnya. Perpindahan panas yang terjadi pada konveksi paksa memerlukan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan konveksi bebas. Contoh sederhana dari konveksi paksa yakni plat panas yang proses penurunan suhunya menggunakan kipas/*blower* sebagai penggerak fluida yang ada disekitarnya. Perpindahan panas konveksi secara teoritis perpindahan panas konveksi memiliki dasar hukum Newton sebagai berikut.



Gambar 2.2 Skema diagram konveksi (Sumber: Haryadi dan Mahmudi, 2012)

$$q_c = -h_c A \Delta T \quad (2.6)$$

$$q_c = h_c A (T_w - T_f) \quad (2.7)$$

Keterangan :

q_c : Laju perpindahan kalor konveksi (W)

A : Luas penampang bidang (m^2)

h_c : Koefisien konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_w : Suhu permukaan dinding ($^\circ C$)

T_f : Suhu fluida ($^\circ C$)

3. Radiasi

Menurut Buchori (2004) perpindahan panas secara radiasi yakni perpindahan panas yang terjadi diantara dua benda atau partikel tanpa adanya media perantara. Perpindahan panas tersebut terjadi karena pancaran gelombang elektromagnetik. Contoh dari perpindahan panas radiasi yakni pancaran panas dari matahari yang dapat sampai ke bumi melalui ruang hampa.

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (\Delta T^4) \quad (2.8)$$

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.9)$$

Keterangan :

q_r : Laju perpindahan kalor konveksi (W)

A : Luas penampang bidang (m²)

T : Temperatur (W/m² °C)

σ : Konstanta Stefan-Blotzaman (W/m² K⁴)

ε : Emisivitas bahan ($0 < \varepsilon < 1$)

$\varepsilon = 0$ (benda putih)

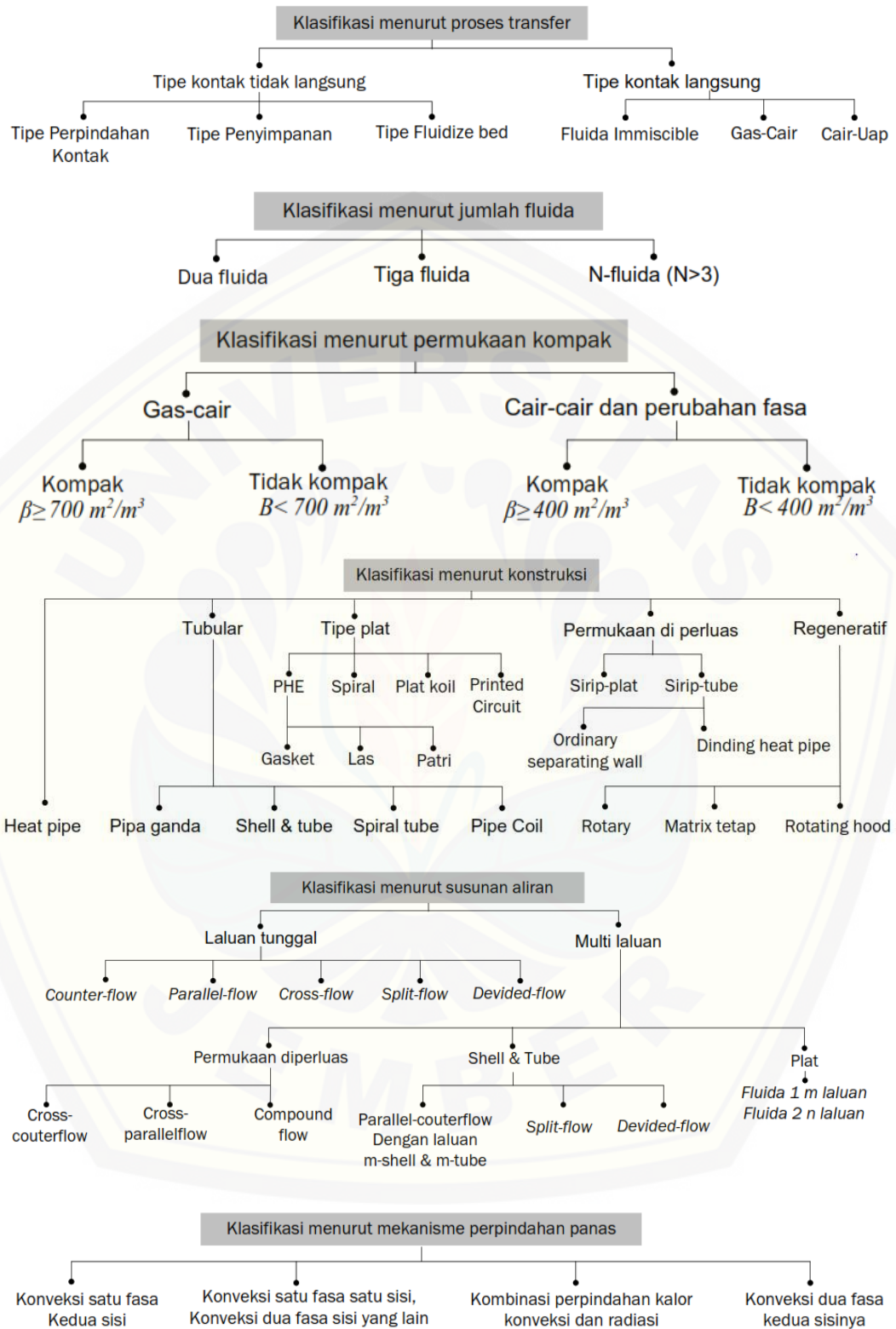
$\varepsilon = 1$ (benda hitam)

2.2.1 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor atau *heat exchanger* adalah sebuah alat yang dapat berfungsi sebagai pendingin atau pemanas pada sebuah sistem. Namun umumnya *heat exchanger* berfungsi sebagai pendingin pada suatu sistem kerja mesin agar terhindar dari kerusakan yang diakibatkan oleh panas yang berlebih (*over heat*). Sistem pendingin dapat menggunakan fluida cair atau gas sebagai media penghantar panas seperti minyak (oli), air, dan udara.

Perpindahan panas pada *heat exchanger* umumnya melibatkan perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada fluida yang mengalir di dalam alat penukar kalor (*heat exchanger*) dan konduksi terjadi pada dinding pemisah fluida atau pada dinding yang memiliki kontak langsung dengan *heat exchanger*. Laju perpindahan panas pada alat penukar kalor sangat bergantung pada besarnya perbedaan temperatur fluida pada titik kontak tersebut.

Alat penukar kalor dapat digolongkan dengan kriteria yang berbeda-beda. Penggolongan dapat berdasarkan atas proses perpindahan kalor, jumlah fluida, dan mekanisme perpindahan kalor. Alat penukar kalor konvensional digolongkan menurut tipe konstruksi dan susunan aliran. Penggolongan lain dapat dibuat berdasarkan nisbah luas permukaan perpindahan kalor/volume ataupun penggolongan dalam jenis alat penukar kalor kompak dan tidak kompak Putra (2012). Adapun klasifikasi alat penukar kalor menurut Putra (2012) yang dimuat pada gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Klasifikasi alat penukar kalor (Sumber: Putra, 2012)

2.2.2 Analogi Energi Panas dan Energi Listrik

Energi panas dan energi listrik memiliki kemiripan pada parameter kualitas besarnya dan memiliki persamaan yang hampir sama terkait persamaan yang ada oleh karena persamaan tersebut maka dapat dijadikan sebuah analogi. Analogi listrik tersebut dapat digunakan untuk memecahkan persoalan yang lebih rumit baik yang menyangkut tahanan termal dalam susunan seri, paralel maupun kombinasi (Haryadi dan Mahmudi, 2012). Adapun terdapat analogi dari parameter energi listrik – energi panas pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Analogi energi listrik – energi panas

Kualitas	Listrik	Kalor
Potensial	Voltase (V)	Beda Temperatur (ΔT)
Arus	Kuat Arus (I)	Laju Perp. Panas (q)
Tahanan	Tahanan Listrik (R)	Tahanan Termal (R)

(Sumber: Haryadi dan Mahmudi, 2012)

Dari data pada tabel 2.2 yang menghubungkan ketiga variabel dapat diperoleh persamaan untuk listrik dan perpindahan panas sebagai berikut.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.10)$$

$$q = \frac{\Delta T}{R} \quad (2.11)$$

Tahanan termal pada perpindahan panas secara konduksi dan konveksi sebagai berikut.

$$R_k = \frac{L}{kA} \quad (2.12)$$

$$R_k = \frac{1}{hA} \quad (2.13)$$

2.3 Sifat Termal Material

Pada proses perpindahan panas secara konveksi, konduksi maupun radiasi, diperlukan data terkait konduktivitas termal. Konduktivitas termal itu sendiri yakni kemampuan suatu zat partikel untuk menerima kalor. Menurut Haryadi dan Mahmudi (2012) setiap material memiliki sifat konduktivitas termal yang berbeda, hal tersebut dipengaruhi oleh densitas, massa jenis dan panas spesifik. Kombinasi dari sifat-sifat yang dimiliki material tersebut merupakan gambaran dari kemampuannya dalam menyimpan panas. Adapun klasifikasi sifat termal material menurut Callister dan Rethwisch (2009) dimuat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tabulasi sifat termal untuk berbagai bahan

Material	C_p (J/kg · K) ^a	α_1 [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶] ^b	k (W/m · K) ^c	L [Ω · W/(K) ² × 10 ⁻⁸]
Metals				
Aluminium	900	23,6	247	2,20
Copper	386	17,0	398	2,25
Iron	448	11,8	80	2,71
1025 Steel	486	12,0	51,9	-
316 Stainless Steel	502	16,0	15,9	-
Brass (70Cu-30Zn)	375	20,0	120	-
Ceramics				
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	7,6	39	-
Magnesia (MgO)	940	13,5 ^d	37,7	-
Borosilicate (Pyrex) glass	850	3,3	1,4	-

(Sumber: Callister dan Rethwisch, 2009)

2.4 *Micro dan Meso Scale Combustion*

Micro dan meso-scale combustion adalah bentuk pembakaran skala kecil yang umumnya digunakan sebagai sumber energi pada sistem *Micro Power Generator* (MPG) dan *Micro Electro-Mechanical System* (MEMS). Menurut Aravind dkk. (2018) berdasarkan kepadatan energinya, pembakaran dengan menggunakan bahan bakar hidrokarbon memiliki densitas energi sebesar 45 MJ/Kg. Pembakaran dengan skala mikro dan meso sangat berpotensi sebagai sumber energi baru untuk sistem dengan ukuran portable yang akan dikembangkan nantinya. Sejauh ini pembakaran dengan skala mikro dan meso telah digunakan pada aplikasi yang dimuat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi jenis dan kegunaan *combustor*.

<i>Definition based on</i>	<i>Combustion regime</i>	<i>Length Scale</i>	<i>Example</i>	<i>Applicatons</i>
<i>Physical Length</i>	<i>Mesoscale</i>	<i>1–10 mm</i>	<i>Rotary engine (UCB)</i>	<i>MEMS power</i>
	<i>Microscale</i>	<i>1–1000 μm</i>	<i>Micro-reactor (UIUC)</i>	<i>Thruster</i>
<i>Flame quenching diameter</i>	<i>Mesoscale</i>	<i>~ Quenching diameter (equilibrium)</i>	<i>Swiss-roll combustor (USC)</i>	<i>Power generation</i>
	<i>Microscale</i>	<i>Quenching diameter ~ Mean-free path (non-equilibrium)</i>	<i>Fuel Cell Nano-particle reactors</i>	<i>Energy conversion</i>
<i>Device scale</i>	<i>Microscale</i>	<i>Smaller than conventional engine size</i>	<i>Micro-thrusters (PSU) Micro-gas turbine (MIT)</i>	<i>Micro-satellites Micro-air planes</i>

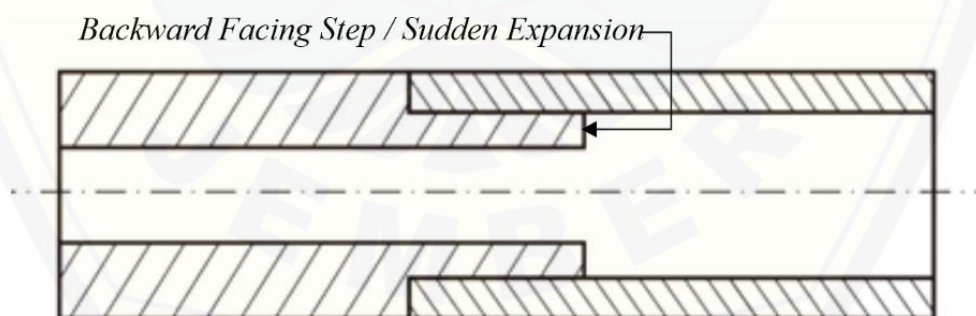
(Sumber: Maruta dan Ju, 2011)

2.4.1 Meso-scale Combustor

Menurut Maruta dan Ju (2011) pada tabel 2.4 menerangkan bahwa perbedaan skala ukuran *combustor* didasari oleh ukuran celah ruang bakarnya. pada *micro-scale combustor* celah ruang bakar berukuran kurang dari 1 mm sedangkan pada *meso-scale combustor* celah ruang bakar berukuran 1 mm – 10 mm. Menurut Chow dkk. (2010) pada dasarnya *combustor* dengan skala mikro dan meso berbentuk silinder dengan material berupa *stainless steel*, keramik, alumina, kuarsa, platinum, *cordierite*, dan silikon karbida dilapisi platinum. Pemilihan material *combustor* biasanya ditinjau dari sifat termal materialnya untuk diperoleh hantaran panas pada dinding sesuai dengan kebutuhan penelitian. Beberapa peneliti bahkan menggunakan bahan berupa *quartz glass* pada *combustor* untuk memudahkan penelitian terkait pengamatan visual nyala api pada celah ruang bakar.

2.4.2 Sudden expansion / Backward Facing Step.

Sudden expansion atau *Backward Facing Step* merupakan salah satu bentuk inovasi yang ditujukan untuk memaksimalkan pembakaran pada *combustor*. *Sudden expansion* adalah pembesaran/ekspansi geometri pada ruang bakar *combustor*. Sanata dkk. (2019) melakukan beberapa penelitian terkait penggunaan *sudden expansion* pada *combustor* dengan variasi diameter *inlet*.



Gambar 2.4 Combustor dengan *backward facing step / sudden expansion*
(Sumber: Sanata dkk., 2019)

Dari penelitian yang dilakukan tersebut diperoleh hasil bahwa penggunaan *sudden expansion* pada *combustor* memiliki karakteristik pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan *combustor* tanpa *sudden expansion*. Pembakaran pada

combustor dengan *backward facing step* memiliki nyala api yang dapat diposisikan sesuai dengan rasio perbandingan antara diameter *inlet* dan diameter *outlet*. Hal ini dikarenakan pembesaran diameter oleh *sudden expansion* dapat membentuk aliran turbulen pada fluida yang ada di dalam *combustor*.

2.5 Micro Power Generator (MPG)

Perkembangan *micro power generator* diawali dengan berkembangnya produksi miniaturisasi peralatan. Maruta dan Ju (2011) menyatakan bahwa munculnya beberapa konsep miniaturisasi peralatan ditujukan untuk menyediakan sumber energi listrik dengan menggunakan alat seperti *micro gas turbine*, *micro steam turbine* dan *micro internal combustion*. Chou dkk. (2010) menyatakan dalam penelitiannya bahwa *micro power generator* merupakan pengembangan sistem pembangkitan energi listrik dengan menggunakan teknologi mikro dan nano yang dapat berkontribusi dalam memenuhi kebutuhan akan energi yang semakin meningkat untuk daya dalam aplikasi skala kecil.

Menurut Maruta dan Ju (2011), *micro power generator* memiliki kepadatan energi yang tinggi dan memerlukan waktu pengisian ulang yang relatif singkat, selain itu perangkat ini juga ramah lingkungan dikarenakan pembakaran dengan skala kecil menyebabkan hasil emisi relatif lebih kecil. Sari (2015) menyatakan pada karya tulis ilmiahnya bahwa *micro power generator* terbagi menjadi dua jenis yakni *micro power generator* siklus konvensional dan *micro power generator* dengan menggunakan modul pengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Sementara itu Qiu dan Hayden (2012) menyatakan bahwa penggunaan *combustor* pada aplikasi *micro power generator* dibagi menjadi dua jenis yakni :

a. Thermoelectric generator

Thermoelectric generator adalah tipe pembangkit listrik skala mikro yang menggunakan elemen *thermoelectric* sebagai pengubah energi panas dari *combustor* menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip *Seebeck effect*. Dengan menggunakan prinsip efek *seebeck*, pembangkit termoelektrik (termoelektrik generator) mengubah energi termal pada elemen *peltier* yang ada pada termoelektrik, menjadi energi listrik. Dengan perbedaan temperatur antara sisi

dingin dan sisi panas pada elemen termoelektrik, pada elemen ini akan mengalir arus sehingga terjadi perbedaan tegangan (Nurdinawati, 2017).

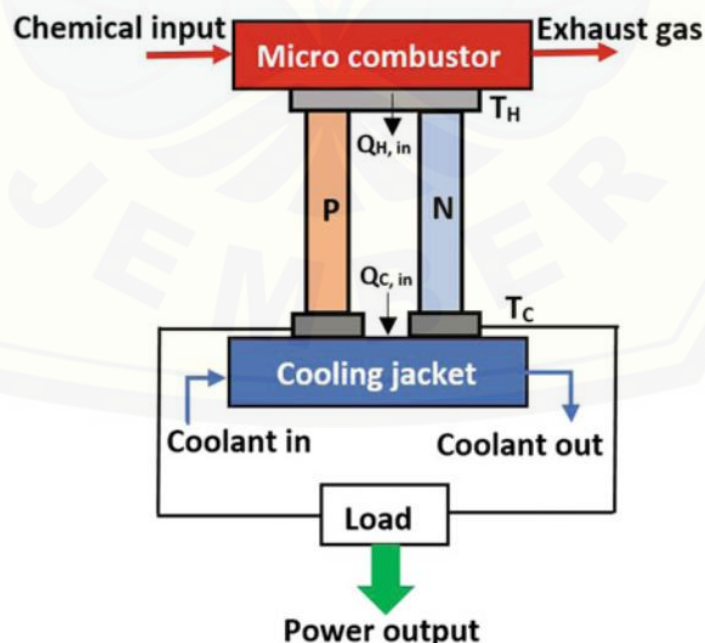
b. Micro-Thermophotovoltaic Power Generator.

Micro-Thermophotovoltaic Power Generator adalah tipe pembangkit listrik skala mikro yang bekerja dengan memanfaatkan pancaran radiasi dari *emitter* yang selanjutnya akan dikoversi menjadi energi listrik dengan menggunakan sel *photovoltaic*. Sel *photovoltaic* berfungsi sebagai penerima pancaran radiasi foton dari pancaran emisi termal pada *emitter*, material sel *photovoltaic* biasanya terbuat dari bahan gallium antimonide (GaSb) dan mampu bekerja pada rentang suhu 900°C hingga 1300°C (Prabowo, 2017).

2.6 Prinsip Kerja *Thermoelectric Generator*

2.6.1 *Thermoelectric Effect*

Efek termoelektrik adalah proses perubahan energi panas (perubahan temperatur) menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur (Nurdinawati, 2017). Efek termoelektrik memiliki dua jenis yang dapat dibedakan berdasarkan prinsip kerjanya.



Gambar 2.5 *Thermoelectric Generator* (Sumber: Aravind, 2018)

a. Seebeck Effect

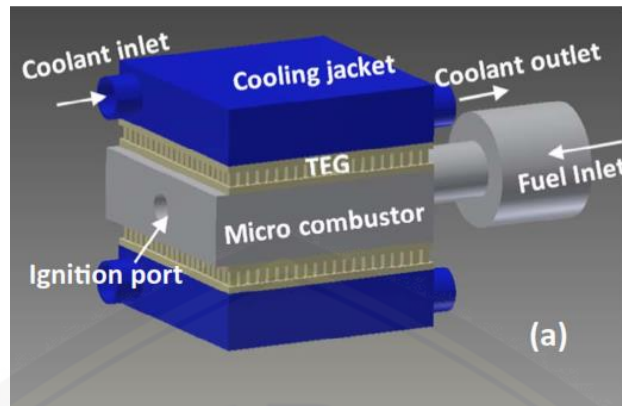
Lee (2018) menyatakan dalam tulisannya bahwa *Seebeck Effect* ditemukan oleh ilmuwan bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821. Efek *seebeck* adalah perbedaan temperatur pada material metal konduktor yang menyebabkan difusi elektron dari sisi yang suhunya panas menuju sisi yang suhunya dingin, pergerakan dari elektron-elektron tersebut yang dapat menciptakan tegangan listrik. Sementara itu arus yang dihasilkan diperoleh dari tegangan listrik yang dihubungkan dengan load circuit. Dengan kata lain, efek ini memberikan *output* berupa arus dan tegangan listrik pada *elemen thermoelectric* dengan input berupa perbedaan temperatur kedua sisi *elemen thermoelectric*.

b. Peltier Effect

Pelter effect ditemukan pada tahun 1834 oleh Jean Charles Peltier. Efek ini memberikan perbedaan temperatur pada kedua sisi *elemen thermoelectric* yang dihasilkan karena adanya muatan energi listrik. Dengan kata lain, efek ini memberikan *output* berupa perbedaan suhu pada *elemen thermoelectric* dengan menggunakan *input* berupa muatan energi listrik.

2.7 Penelitian Sebelumnya

Aravind dkk. (2018) telah melakukan beberapa penelitian terkait pembangkitan energi listrik berbasis *thermoelectric micro power generator* (MPG) menggunakan *combustor* berbahan bakar LPG dengan tiga tingkat *sudden expansion / backward facing step* sebagai sumber panasnya. material yang digunakan sebagai bahan *combustor* yakni aluminium. Terdapat beberapa parameter dalam penelitian ini yakni *variasi mixture inlet velocity*, rasio ekuivalen dan *coolant flow rate* yang bertujuan untuk memaksimalkan energi *output* TEG. Terdapat dua buah *thermoelectric module* yang terinstal pada kedua sisi *combustor* dengan menggunakan heat exchanger berupa *waterblock*. Pada penelitian tersebut, tingkat efisiensi konversi energi tertinggi sebesar 3,3% diperoleh dengan rasio ekuivalen $\phi = 0,95$ *mixture velocity* = 7,5 cm/s dan *coolant flow rate* = 1,5 L/menit.



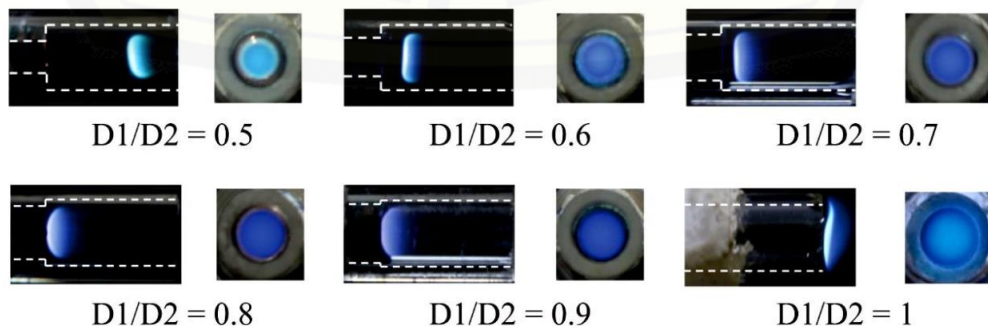
Gambar 2.6 Instalasi TEG (Sumber: Aravind dkk., 2019)

Rohadi (2016) telah melakukan penelitian terkait pengaruh panjang saluran *sudden expansion* terhadap karakteristik pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan variasi panjang saluran 10 mm, 15 mm, dan 20 mm dan diperoleh hasil yakni kecerahan nyala api semakin meningkat seiring dengan bertambahnya panjang saluran *sudden expansion*. Semakin cerah warna nyala api maka semakin tinggi temperatur yang dihasilkan. Sementara itu Prabowo (2017) melakukan penelitian terkait karakteristik distribusi temperatur pada *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* yang memiliki variasi pada besar diameter *outlet* sebagai saluran *sudden expansion* dan diperoleh hasil bahwa semakin kecil diameter *outlet* (5 mm) maka semakin besar temperatur yang dihasilkan dengan nilai rata-rata 147,2°C pada dinding *outlet* dan 742,6°C pada ruang bakar *combustor*, dikarenakan penelitian menggunakan variasi diameter *outlet* maka temperatur yang dihasilkan dipengaruhi oleh adanya nilai *surface to volume ratio*.

Zulkarnain (2017) telah melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* berbahan bakar LPG yang dikhususkan pada pengaruh variasi besar diameter *inlet*. Ukuran diameter *outlet* sebesar 3,5 mm dan rasio diameter *inlet* yang divariasikan yakni sebesar 50%, 75%, dan 100% dengan ukuran diameter senilai 1,8 mm, 2,6 mm, dan 3,5 mm. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa *flammability limit* terluas terdapat pada rasio diameter 75% (2,6 mm) dimana api dapat menyala dalam rentang rasio ekuivalen $\phi = 1,04 - 1,35$ (pembakaran kaya bahan bakar) dan nilai

kecepatan reaktan $v = 17,51 \text{ cm/s} - 25,43 \text{ cm/s}$. visualisasi nyala api terbaik diperoleh pada rasio diameter 75% (2,6 mm) hal ini dikarenakan posisi nyala api yang terletak mendekati *sudden expansion*. Temperatur nyala api tertinggi yang dihasilkan *combustor* diperoleh dengan rasio diameter 100% (3,5 mm) sebesar 1009°C , sementara pada rasio diameter 75% (2,6 mm) sebesar 895°C dan temperatur terendah pada rasio diameter 50% (1,8 mm). Temperatur yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah reaktan yang masuk kedalam *combustor*.

Sanata dkk. (2019) telah melakukan penelitian terkait pengaruh *backward facing step / sudden expansion* terhadap stabilitas pembakaran pada area kontak silinder *meso-scale combustor*. Oksidator dan bahan bakar yang digunakan adalah udara dan butana (C_4H_{10}). Material yang digunakan pada *inlet meso-scale combustor* berbahan dasar tembaga, sedangkan material pada *outlet combustor* menggunakan *quartz glass*. Penggunaan *quartz glass* bertujuan untuk memudahkan pengamatan terkait visualisasi nyala api dan posisi nyala api. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa variasi diameter *inlet* pada *meso-scale combustor* mempengaruhi karakteristik nyala api yakni terdapat perbedaan posisi nyala api akibat rasio diameter *combustor* yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Pada fenomena tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* maka posisi nyala api yang dihasilkan semakin jauh dari *sudden expansion*, hal ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan reaktan pada saluran *inlet combustor* dan pembesaran ukuran sirkulasi aliran atau aliran *vortex*. Selain itu hasil dari penelitian tersebut mengatakan bahwa semakin kecil ukuran diameter *sudden expansion* maka *flame stability limit* semakin luas.



Gambar 2.7 Visualisasi api dengan variasi rasio combustor (Sumber: Sanata *et al.*, 2019)

2.8 Hipotesis

Berdasarkan dari beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini dapat ditarik hipotesa bahwa variasi diameter *inlet meso-scale combustor* dapat mempengaruhi *output* energi listrik yang dihasilkan dengan semakin meningkatnya ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* maka daya listrik yang dihasilkan akan semakin tinggi.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metodolgi penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menganalisa perbandingan daya listrik yang dihasilkan pada *thermoelectric generator* menggunakan *meso-scale combustor* sebagai sumber energi panasnya.

3.2 Waktu dan Tempat

Lokasi penelitian dilaksanakan di laboratorium konversi energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Januari 2020 sampai dengan selesai.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilai / besarnya ditentukan oleh peneliti dan memiliki pengaruh terhadap hasil penelitian yang diamati. Adapun variabel bebas di dalam penelitian ini berupa ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* (D_{in}) : 3,3 mm dan 4,2 mm.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya / besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas dan diperoleh setelah melakukan penelitian. Terdapat beberapa variabel terikat pada penelitian ini yakni:

- a. Temperatur dinding *meso-scale combustor*.
- b. Temperatur *cooling jacket / water block*.
- c. Voltase *output*.
- d. Arus listrik *output*.

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang nilainya / besarnya dipertahankan guna memperoleh hasil perbandingan dari penelitian yang sesuai. Terdapat beberapa variabel kontrol pada penelitian ini yakni:

- Diameter *outlet combustor* (D_{out}) : 4,7 mm.
- Kecepatan Reaktan ($V_{reaktan}$).
- Debit fluida alat penukar kalor.
- Pembebanan dengan *resistor* 100 ohm.
- Durasi pengujian berlangsung selama 16 menit.

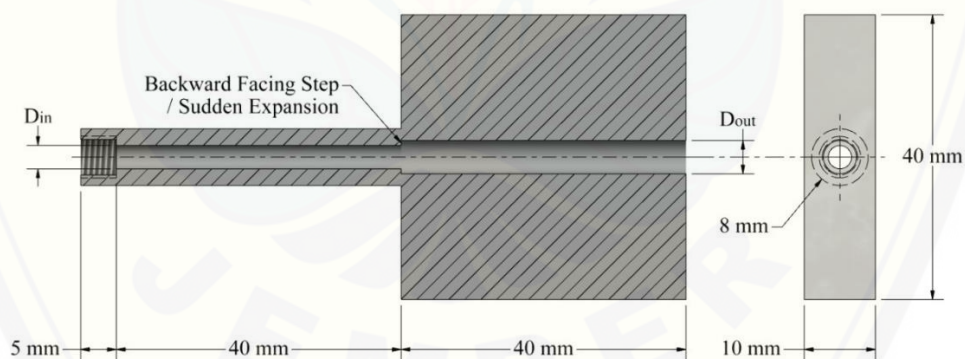
3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat dan Bahan *Combustor*

a. Alat

1. *Meso-scale combustor*

Combustor yang digunakan pada penelitian ini memiliki dua bagian yakni *inlet* dan *outlet* dengan *sudden expansion* menggunakan ukuran yang dimuat pada tabel 3.1 dan material yang digunakan adalah aluminium.



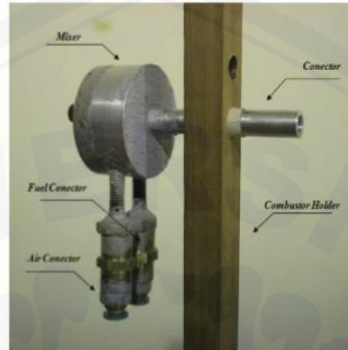
Gambar 3.1 Dimensi *Meso-scale Combustor*

Tabel 3.1 Ukuran dimensi *combustor*

D_{in} (mm)	D_{out} (mm)	Rasio <i>Combustor</i> D_{in}/D_{out}	Panjang <i>inlet</i> (mm)	Panjang <i>outlet</i> (mm)
3,3	4,7	0,7	40	40
4,2	4,7	0,9	40	40

2. *Combustor holder* dan *mixer*

Combustor holder berfungsi sebagai penyangga *meso-scale combustor* dengan posisi horizontal dan *mixer* berfungsi sebagai ruang untuk mencampur bahan bakar dan udara.



Gambar 3.2 *Combustor holder* dan *mixer*

3. *Flowmeter*

Flowmeter merupakan alat yang digunakan untuk mengatur jumlah debit udara dan bahan bakar sebelum masuk kedalam *mixer*. Pada penelitian ini menggunakan dua buah *flowmeter* dengan fungsi sebagai pengatur debit bahan bakar dan pengatur debit udara.



Gambar 3.3 *Flowmeter* bahan bakar dan udara

4. Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai penyedia udara yang digunakan pada campuran bahan bakar dan kemudian dialirkan menuju *flowmeter*.



Gambar 3.4 Kompresor udara

5. Selang

Selang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan bahan bakar dan udara menuju *flowmeter*.



Gambar 3.5 Selang

6. Regulator Butana

Regulator gas berfungsi sebagai pengatur debit bahan bakar berupa butana yang keluar menuju *flowmeter*.



Gambar 3.6 Regulator Butana

7. Thermocouple

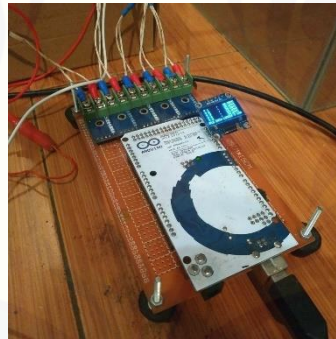
Thermocouple menggunakan tipe-K yang berfungsi untuk mengetahui temperatur yang dihasilkan pada proses pengambilan data.



Gambar 3.7 *Thermocouple* tipe-K

8. *Data logger*

Data logger berfungsi sebagai penerjemah data yang dihasilkan *thermocouple* oleh adanya perbedaan suhu pada *thermocouple* yang menyebabkan terjadinya *junction*.



Gambar 3.8 *Data logger*

9. *Laptop*

Laptop digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran temperatur pada *thermocouple*, *data logger* dan *converter*. Selain itu *laptop* digunakan untuk melakukan analisa data dan penyajian data.



Gambar 3.9 *Laptop*

b. Bahan

1. Gas butana

Bahan bakar yang digunakan pada *meso-scale combustor* yakni gas butana (*Liquified butane fuel*).



Gambar 3.10 Tabung gas butana

3.4.2 Alat dan bahan Rangkaian *Thermoelectric Generator*

a. Alat

1. TEG SP1848-27145SA

Elemen *thermoelectric* yang digunakan pada penelitian ini bertipe TEG SP1848 27145SA dengan spesifikasi yang dimuat pada tabel 3.2.



Gambar 3.11 TEG SP1848-2714SA

Tabel 3.2 Spesifikasi TEG SP1848-2714SA

Keterangan	
<i>Model</i>	SP1848-27145SA
<i>Material</i>	<i>Ceramic (Bismuth Telluride)</i>
<i>Color</i>	<i>White</i>

<i>Open Circuit Voltage (V)</i>	4.8 V
<i>Current (mA)</i>	225 – 669
<i>Operating Temperatur (°C)</i>	0 – 150
<i>Maximum Temperatur (°C)</i>	150
<i>Wire Length (mm)</i>	350
<i>Length (mm)</i>	40
<i>Width (mm)</i>	40
<i>Height (mm)</i>	3,6
<i>Weight (g)</i>	30

2. *Powermeter data logger*

Power meter data logger digunakan untuk mengukur *output* yang dihasilkan dari elemen *thermoelectric*.



Gambar 3.12 *Powermeter data logger*

3. Pompa air

Pompa air yang digunakan berfungsi sebagai penggerak aliran cairan pendingin pada alat penukar panas tipe *closed loop water block* dengan spesifikasi yang tertera pada tabel 3.3.



Gambar 3.13 Pompa air

Tabel 3.3 Spesifikasi pompa air pendingin

Keterangan	
<i>Type</i>	<i>Brushless DC Pump</i>
<i>Model</i>	QR30E
<i>Hmax</i>	3 m
<i>Qmax</i>	240 Liter/Hour
<i>Input</i>	DC 12V 4,2W
<i>Max Liquid Temperature</i>	60 °C

4. Radiator

Radiator berfungsi sebagai alat penukar panas aliran fluida pendingin elemen *thermoelectric* bertipe *compact heat exchanger* dengan pendingin udara.



Gambar 3.14 Radiator

5. *Water Block / Cooling Jacket*

Water block berfungsi sebagai alat penukar panas yang menggunakan prinsip perpindahan panas konveksi pada dinding *water block* dengan fluida pendingin dan perpindahan panas konduksi pada dinding *waterblock* dengan permukaan elemen *thermoelectric*.



Gambar 3.15 *Water block / cooling jacket*

6. Selang

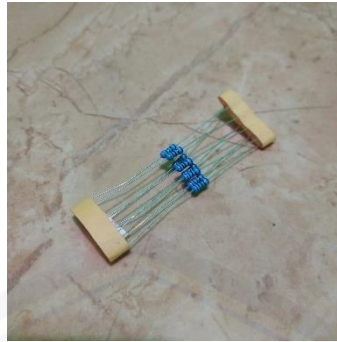
Selang berfungsi sebagai saluran untuk fluida pendingin yang dialirkan pada sistem alat penukar panas dan kemudian dihubungkan pada pompa, *water block*, dan radiator.



Gambar 3.16 Selang silikon

7. *Resistor*

Resistor pada penelitian ini digunakan pada sistem *micro power generator* sebagai *dummy load* atau pemberi beban agar alat ukur berupa *power meter* mampu membaca tegangan dan arus listrik secara akurat.



Gambar 3.17 Resistor

b. Bahan

1. *Thermal Paste*

Thermal Paste adalah pasta konduktif yang berfungsi untuk memaksimalkan penyalurkan panas dari permukaan elemen *thermoelectric* ke dinding *water block*

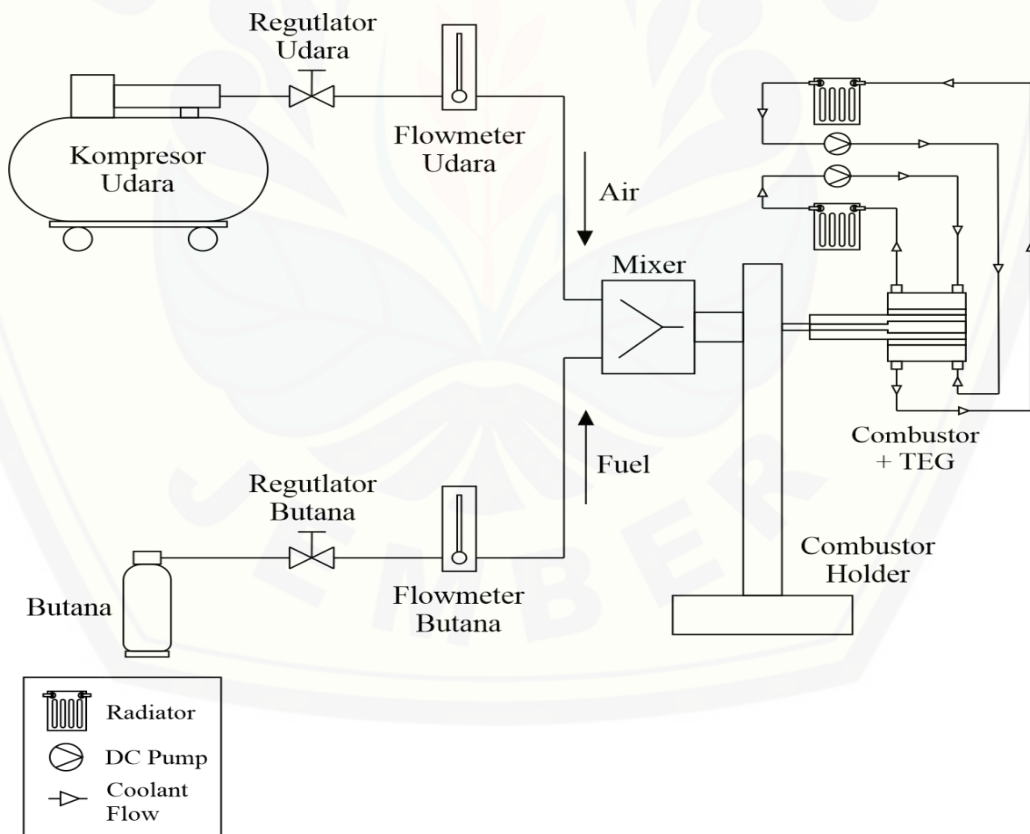
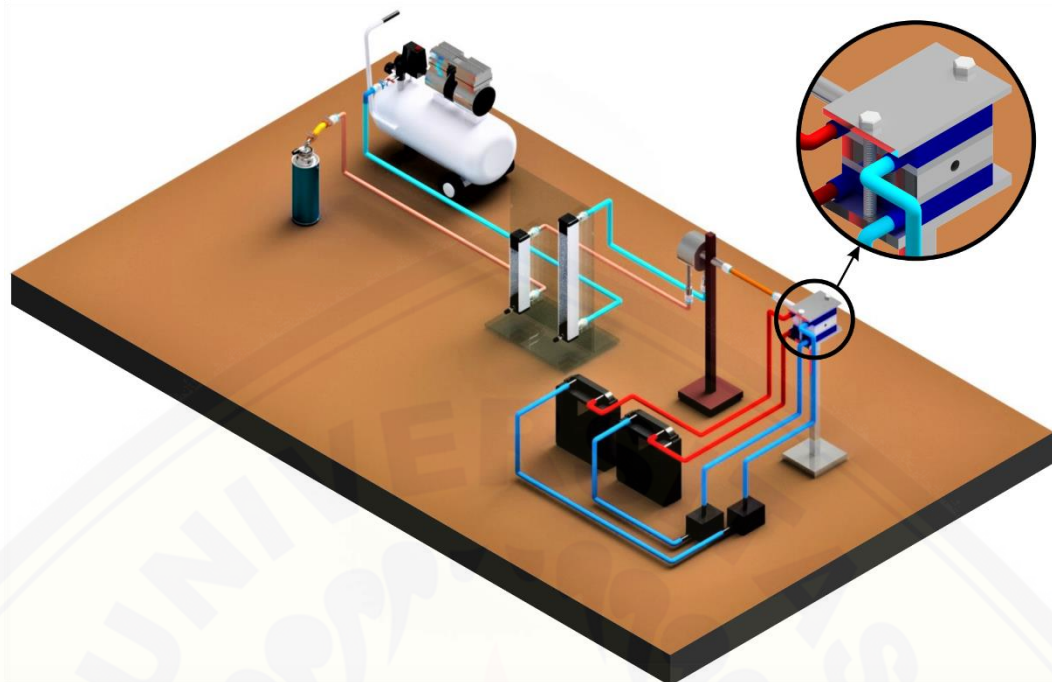
Gambar 3.18 *Thermal paste*

2. Fluida Pendingin

Air digunakan sebagai fluida pendingin untuk rangkaian alat penukar panas pada instalasi *thermoelectric generator* dengan sistem *closed loop*.

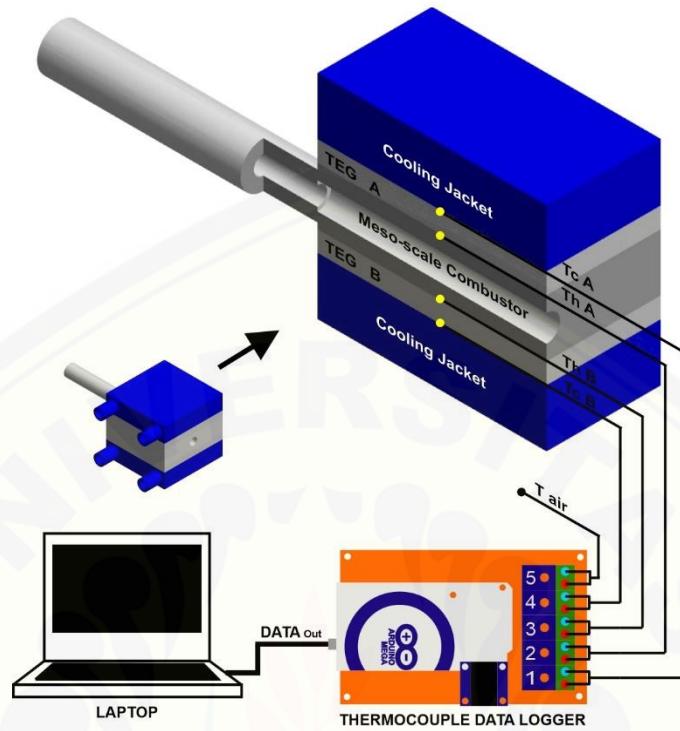
3.5 Skema Alat Uji

3.5.1 Skema Instalasi *Micro Power Generator*



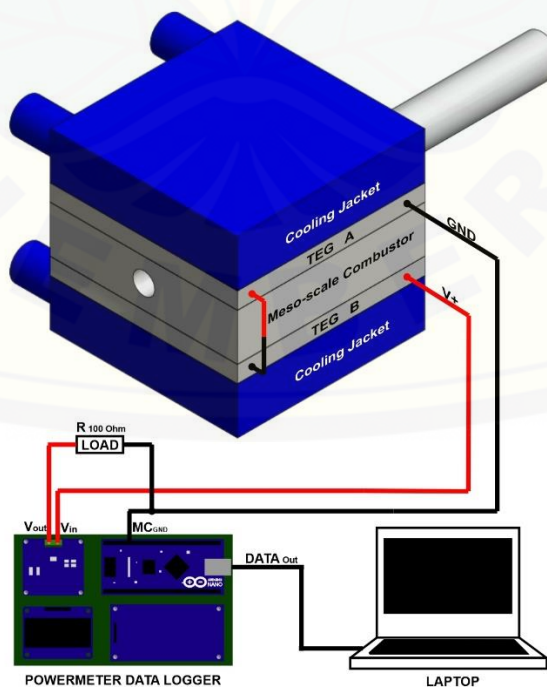
Gambar 3.19 Skema Instalasi *Micro Power Generator*

3.5.2 Skema Titik Pengukuran Suhu TEG



Gambar 3.20 Skema Titik Pengukuran Suhu TEG

3.5.3 Skema Pengukuran *Output* Energi Listrik



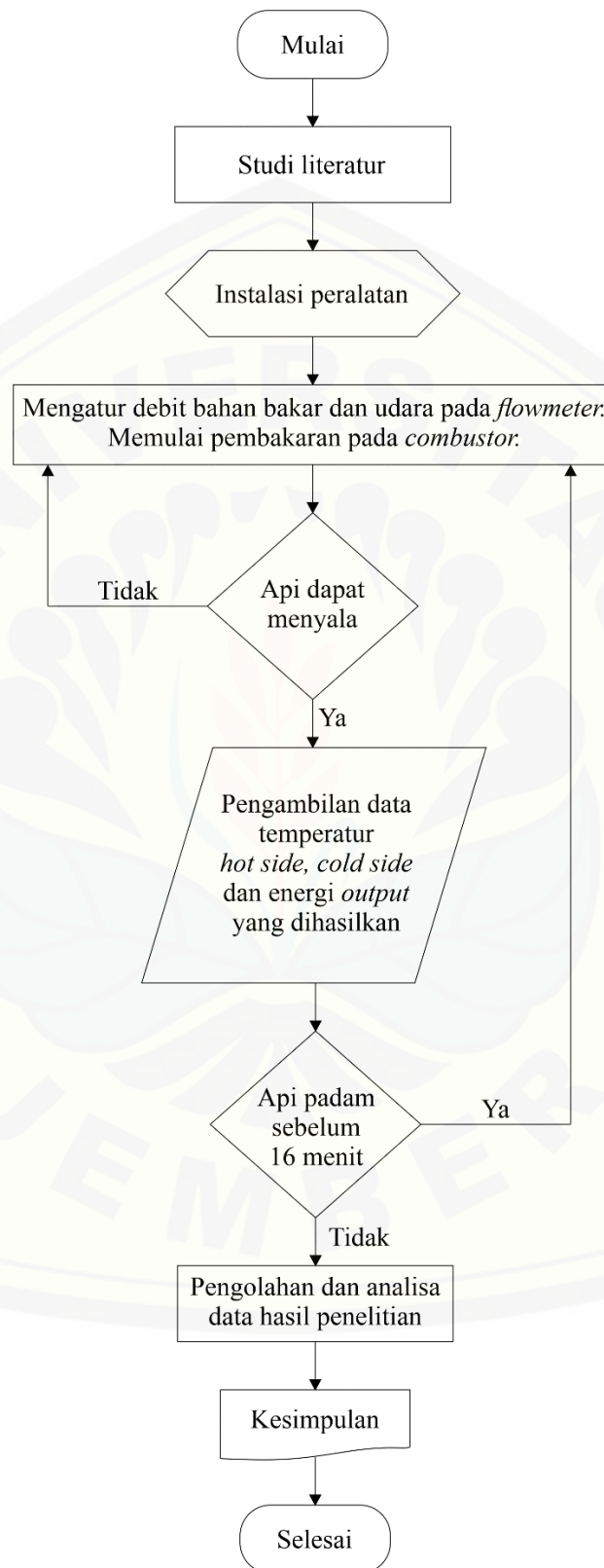
Gambar 3.21 Skema Pengukuran Energi Listrik

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan memiliki tahapan sebagai berikut :

1. Menyiapkan dan mengkalibrasi alat-alat yang digunakan pada penelitian penelitian.
2. Melakukan proses instalasi rangkaian *meso-scale combustor* sesuai dengan skema pada gambar 3.19. Pastikan seluruh komponen terpasang dengan sempurna dan tidak terjadi kebocoran.
3. Melakukan instalasi rangkaian *thermoelectric generator* sesuai dengan skema pada gambar 3.20.
4. Memasang semua alat ukur yang diperlukan meliputi *thermocouple*, *voltmeter* dan *ampremeter*.
5. Melakukan pengaturan pada *flowmeter* udara dengan membuka regulator udara lalu membuka katup *flowmeter* secara perlahan hingga indikator *flowmeter* menunjuk pada skala yang ditentukan.
6. Melakukan pengaturan pada *flowmeter* bahan bakar dengan membuka katup aliran bahan bakar lalu membuka katup *flowmeter* secara perlahan hingga indikator *flowmeter* mengalami perubahan.
7. Lakukan penyalaan api pada *combustor*. Ketika api sudah menyala maka lakukanlah pengaturan debit bahan bakar dan udara. Bila belum diperoleh debit yang sesuai maka lakukanlah pengaturan dengan menjaga skala debit bahan bakar agar tetap konstan kemudian lakukan penyesuaian debit pada aliran udara dari kompresor.
8. Melakukan pengamatan dan pengambilan data pada *voltmeter*, *amperemeter* dan *thermocouple data logger*. Hal yang perlu diamati yakni perbedaan temperatur antara *hot side* dan *cold side*, arus listrik dan voltase pada masing-masing variasi *combustor*. Jika api kembali padam sebelum durasi yang ditentukan maka ulangi tahapan pada nomor 7.
9. Jika data yang diperlukan sudah cukup, maka lakukanlah proses pengolahan dan analisa data hasil penelitian
10. Laporan hasil penelitian.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.22 Diagram alir penelitian

3.8 Penyajian Data Penelitian

Penyajian data pada penelitian yang dilakukan menggunakan *software* Microsoft Excel 2016 yakni dimulai dengan mencatat debit bahan bakar, udara dan kecepatan reaktan pada setiap beda ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* yang dimuat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Rencana Penyajian data debit bahan bakar dan rasio ekuivalen

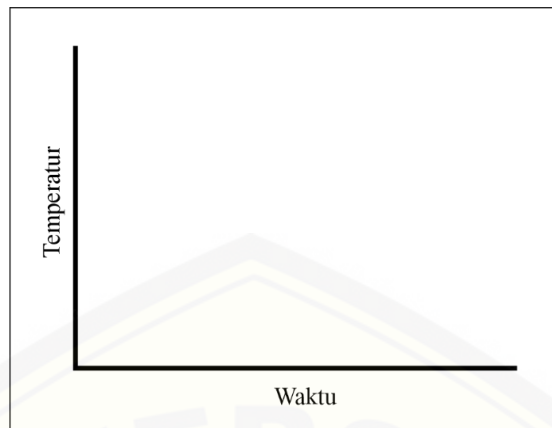
No	D_{in} (mm)	ϕ	Q_f	Q_f aktual	Q_a flowmeter	Q_a aktual	$V_{reaktan}$
			flowmeter (ml/min)	(ml/min)	(ml/min)	(ml/min)	(cm/s)
1	3,3	1					
2	4,2	1					

Pengambilan data lanjutan pada penelitian yang dilakukan yakni mencatat temperatur pada *hot side* dan *cold side* serta energi *output* yang dihasilkan pada masing-masing variasi ukuran diameter *inlet* dengan menggunakan Arduino Powermeter dan Thermocouple *data logger* yang dipadu dengan *software* Microsoft Excel 2016 dan PLX-DAQ.

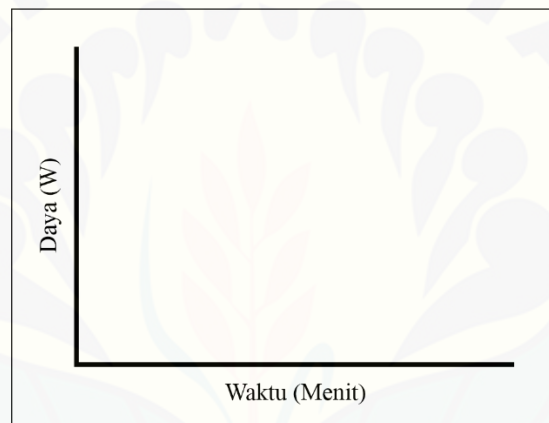
Tabel 3.4 Rencana pengambilan data temperatur dan energi *output*

Menit	$D_{in} = ()$		$\phi = 1$			
	$V_{reak} = (cm/s)$		$V_{reak} = (cm/s)$		$V_{reak} = (cm/s)$	
	$T_i = (^\circ C)$		$T_i = (^\circ C)$		$T_i = (^\circ C)$	
	$\bar{x} \Delta T_{TEG}$ ($^\circ C$)	Daya (mW)	$\bar{x} \Delta T_{TEG}$ ($^\circ C$)	Daya (mW)	$\bar{x} \Delta T_{TEG}$ ($^\circ C$)	Daya (mW)
0						
16						

Melakukan perbandingan data hasil analisa dari masing-masing variasi ukuran diameter *inlet meso-scale combustor* dengan menggunakan grafik garis.



Gambar 3.23 Grafik temperatur terhadap waktu



Gambar 3.24 Grafik daya terhadap waktu

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian *output* energi listrik pada sistem *micro power generator* yang dipengaruhi variasi diameter *inlet meso-scale combustor* adalah sebagai berikut:

1. *Micro power generator* dengan variasi diameter *inlet meso-scale combustor* (D_{in}) menghasilkan daya listrik yang berbeda.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa : *Output* energi listrik tertinggi dihasilkan *micro power generator* dengan diameter *inlet combustor* terbesar 4,2 mm yakni sebesar 20,35 mW dengan perolehan temperatur ruang bakar $\bar{x} T_i = 1012,75$ °C, rata-rata temperatur sisi panas TEG $\bar{x} T_h = 81,19$ °C, dan rata-rata beda temperatur sisi panas dan dingin TEG $\bar{x} \Delta T_{TEG} = 61,88$ °C. Sementara *output* energi listrik yang dihasilkan *micro power generator* dengan diameter *inlet combustor* 3,3 mm sebesar 18,13 mW dan dicapai dengan perolehan $\bar{x} T_i = 970,92$ °C, $\bar{x} T_h = 75,41$ °C dan $\bar{x} \Delta T_{TEG} = 54,38$ °C.
3. Diameter *inlet meso-scale combustor* sangat mempengaruhi *output* energi listrik yang dihasilkan. Bila diameter *inlet combustor* semakin kecil maka aliran *vortex* / aliran resirkulasi yang terbentuk didalam ruang bakar semakin besar dan dapat menurunkan stabilitas pembakaran, hal ini berakibat menurunnya temperatur nyala api yang mana sangat diperlukan sebagai sumber panas pada sistem *micro power generator*. Selain itu, kecepatan reaktan ($V_{reaktan}$) berpengaruh terhadap *output* energi listrik yang dihasilkan karena dapat mempengaruhi temperatur nyala api, dengan meningkatnya kecepatan reaktan maka semakin besar jumlah bahan bakar dan udara yang mengalami proses pembakaran.
4. Nilai *heat loss* yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter *inlet combustor*. Pada diameter *inlet combustor* yang lebih besar menghasilkan persentase nilai *sink heat loss* dan *uncovered sides heat loss* yang lebih tinggi.

Sementara itu, nilai *exhaust heat loss* yang lebih tinggi dihasilkan pada diameter *inlet combustor* yang lebih kecil. Hal tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan karakteristik dan kestabilan nyala api pada setiap variasi diameter *inlet combustor* yang mana memiliki peran penting terhadap parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui nilai *heat loss* yang diperoleh.

5.2 Saran

Adapun saran yang diharapkan dapat berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan jenis *thermoelectric generator* (TEG) yang lebih baik, dikarenakan tingkat konversi energi setiap jenis TEG berbeda.
2. Melakukan modifikasi pada material yang bertujuan guna meningkatkan laju perpindahan panas dari ruang bakar menuju dinding *combustor*. Penambahan jumlah TEG dengan memodifikasi bentuk dari *meso-scale combustor* yang bertujuan untuk mengoptimalkan sisa luas dinding *combustor* yang tidak dimanfaatkan pada penelitian ini.
3. Perlu dilakukan uji efisiensi sistem *micro power generator* dan penelitian dengan metode simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aravind, B., & Kumar, S. 2019. *Development of Small-Scale Thermoelectric Power Generators Using Different Micro-combustor Configurations for Standalone Power Applications*. 117–135.
- Aravind, B., Raghuram, G. K. S., Kishore, V. R., & Kumar, S. 2018. Compact design of planar stepped micro combustor for portable thermoelectric power generation. *Energy Conversion and Management*, 156(September 2017), 224–234.
- Buchori, L. 2004. *Modul Perpindahan Kalor*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Bastanta, J. 2012. *Mengenal Alat Proses “Shell and Tube Heat Exchanger*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Callister, William D., and David G. Rethwisch. *Materials Science and Engineering: an Introduction*. Hoboken, NJ: John Wiley, 2009.
- Cengel, Y., & Boles, M. 2002. *Heat Transfer A practical Approach*. McGraw – Hill 2nd edition.
- Chou, S.K., Yang, W.M., Chua, K.J., Li, J. and Zhang, K.L., 2011. Development of micro power generators—a review. *Applied Energy*, 88(1), pp.1-16.
- Ganesan, V. 2012. *Combustion Engine : Fourth Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Education.
- Haryadi dan Mahmudi, A. 2012. *Buku Bahan Ajar Perpindahan Panas*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Ju, Y., & Maruta, K. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(6), 669–715.
- Lee, S. 2018. *Introduction to Thermoelectrics*, Changwon: School of Material Science and Engineering Changwon National University
- Maruta, K. 2011. Micro and mesoscale combustion. *Proceedings of the Combustion Institute*, 33(1), 125–150.
- McAllister, S., Chen, J. Y., dan Fernandes-Pello, A. C. 2011. *Fundamentals of Combustion Processes*. New York: Springer Science and Business Media.

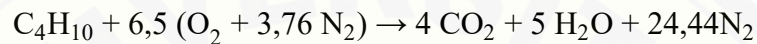
- Moran, M. J., dan Saphiro, N. 2004. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. Jakarta: Erlangga.
- Nolan, D. P. 2011. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles : for oil, gas, chemical and related facilities*. Burlington, MA: Elsevier Inc.
- Nurdinawati. 2017. Studi Thermoelektrik Generator SP1848 27145 SA *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna Vol. 6 No.1 Oktober 2017*. 6(1), 33–41.
- Pohanish, R. 2017. *Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens*. Kidlington, Oxford, United Kingdom: William Andrew is an imprint of Elsevier.
- Prabowo, E. R. 2017. Karakteristik Distribusi Temperatur pada *Meso Combustor* dengan *Sudden expansion*. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Putra, N. 2012. *Alat Penukar Kalor*. Jakarta: Penerbit Departmen Teknik Mesin Universitas Indonesia
- Qiu, K., & Hayden, A. C. S. 2012. Development of a novel cascading TPV and TE power generation system. *Applied Energy*, 91(1), 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.041>
- Rohadi, A. I. 2016. Pengaruh Panjang Saluran *Sudden expansion* Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada *Meso-scale Combustor*. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Sanata, A., Nyoman Gede Wardana, I., Yuliati, L., & Sasongko, M. N. 2019. Effect of backward facing step on combustion stability in a constant contact area cylindrical meso-scale combustor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(8–97), 51–59.
- Sari, S. 2015. Pengaruh Diameter *Combustor* Terhadap Karakteristik Pembakaran pada *Meso-scale Combustor* dengan *Backward Facing Step*. *Skripsi*. Malang: Program Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Smith, D. K. 2011. *Chemistry Data Book*. York: University of York.
- Wang, J., Cao, P., Li, X., Song, X., Zhao, C., & Zhu, L. 2019. Experimental study on the influence of Peltier effect on the output performance of thermoelectric generator and deviation of maximum power point. *Energy Conversion and Management*, 200(June), 112074.

- Yadav, S., Yamasani, P., & Kumar, S. 2015. Experimental studies on a micro power generator using thermo-electric modules mounted on a micro-combustor. *Energy Conversion and Management*, 99, 1–7.
- Yang, W.M., S.K. Chow, C. Shu, Z.W. Li, dan H. Xue. 2002. Combustion in micro-cylindrical combustor with and without a backward facing step. *Applied Thermal Engineering*. 22:1777-1787.
- Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Xue, H., & Li, Z. W. 2004. Development of a prototype micro-thermophotovoltaic power generator. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 37(7), 1017–1020.
- Yudiarsono, Anindhita, Agus Sugiyono, La Ode M.A. Wahid, dan Adiarso. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2018: Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, BPPT.
- Zulkarnain, R. N. 2017. Karakteristik Pembakaran pada *Sudden Expansion Meso Combustor* dengan Variasi Diameter Inlet. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

LAMPIRAN

1. AFR stoikiometri

AFR stoikiometri adalah perbandingan debit udara dan debit bahan bakar yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yakni persamaan reaksi pembakaran pada kondisi stoikiometri. Reaksi pembakaran bahan bakar butana dengan oksidator udara dapat ditulis sebagai berikut :



Persamaan reaksi pembakaran gas butana dengan oksidator berupa udara pada kondisi stoikiometrik memerlukan 6,5 mol udara dan menghasilkan zat berupa 4 mol CO₂, 5 mol H₂O dan 23,33 N₂. Kemudian, AFR stoikiometri dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan jumlah mol yang dihasilkan pada persamaan reaksi pembakaran stoikiometri diatas dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

a. Diketahui :

➤ Massa atom relatif (Mr) :

- C = 12 gr/mol
- H = 1 gr/mol
- N = 14 gr/mol

➤ Massa jenis (Ma) :

- Udara = 0,0012091 gr/cm³
- Butana = 0,002417 gr/cm³

b. Ditanya :

➤ AFR stoikiometri :

c. Penyelesaian :

➤ Massa molekul

- Butana = n x Mr
 = 1 Mr C₄H₁₀
 = 1 ((12 x 4) + (1 x 10))

$$= 58 \text{ gram}$$

- Udara = $n \times Mr$

$$= 6,5 (Mr O_2 + 3,76 Mr N_2)$$

$$= 6,5 (32 + 3,76 (28))$$

$$= 892,32 \text{ gram}$$

➤ AFR stoikiometri

- $AFR_{\text{stoik}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$

$$= \frac{892,32}{58}$$

$$= 15.38$$

2. AFR aktual

AFR aktual dapat diperoleh dengan menghitung perbandingan debit udara dan debit bahan bakar. Salah satu debit aktual dari bahan bakar dan udara yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan untuk mencari nilai dari AFR aktual

a. Diketahui :

➤ Debit bahan bakar dan udara (Mr) :

- $Q_f = 10,28 \text{ ml/min}$
- $Q_a = 316,45 \text{ ml/min}$

➤ Massa jenis (Ma) :

- Udara = $0,001209 \text{ gr/cm}^3$
- Butana = $0,002417 \text{ gr/cm}^3$

➤ Perbedaan fasa yang diakibatkan adanya debit udara dan bahan bakar (ml/min) menyebabkan perlunya perubahan debit menjadi massa alir (\dot{m}):

- $\dot{m}_f = \rho_{\text{Butana}} \times Q_f = 0,002417 \times 10,28 = 0,02484676 \text{ gr/min}$
- $\dot{m}_a = \rho_a \times Q_{a \text{ min}} = 0,001208 \times 316,45 = 0,3822716 \text{ gr/min}$

b. Ditanya :

➤ AFR aktual

c. Penyelesaian :

➤ AFR stoikiometri

- $AFR_{\text{aktual}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$

- $AFR_{\text{aktual}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$
 $= \frac{0,3822716}{0,02484676}$
 $= 15,38$

3. Rasio ekuivalen (ϕ)

Perhitungan rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara AFR stoikiometri dengan AFR aktual, dengan hasil perhitungan sebelumnya maka dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut.

a. Diketahui :

➤ Air Fuel Ratio (AFR) :

- $AFR_{\text{stoikiometri}} = 15,38$
- $AFR_{\text{aktual}} = 15,38$

b. Ditanya :

➤ Rasio ekuivalen (ϕ)

c. Penyelesaian :

➤ Rasio ekuivalen (ϕ)

- $\phi = \frac{AFR_{\text{stoikiometri}}}{AFR_{\text{aktual}}}$
 $= \frac{15,38}{15,38}$

$$= 1$$

4. Kecepatan Reaktan (V_{reak})

Perhitungan kecepatan reaktan digunakan sebagai acuan pada perbandingan energi yang dihasilkan tiap masing-masing variasi ukuran diameter inlet combustor. Kecepatan reaktan yang dihitung pada saat aliran reaktan berada di ruang bakar. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan yang dilakukan untuk mencari kecepatan aliran reaktan pada ruang bakar meso-scale combustor.

a. Diketahui :

➤ Debit bahan bakar, udara dan diameter ruang bakar :

- Q_a = 316,45 ml/min
- Q_f = 10,28 ml/min
- D_{out} = 4,7 mm

b. Ditanya :

➤ V_{reak} (cm/s)

c. Penyelesaian :

➤ V_{reak} (cm/s)

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad V_{reak} &= \frac{\left(\frac{Q_a + Q_f}{60}\right)}{\left(\frac{\pi \times r^2}{100}\right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{316,45 + 10,28}{60}\right)}{\left(\frac{\pi \times 2,35^2}{100}\right)} \\
 &= 31,40 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

5. Surface to volume ratio (SVR)

Perhitungan surface to volume ratio digunakan untuk mengetahui rasio permukaan ruang bakar terhadap volume ruang bakar.

$$SVR = \frac{\text{luas permukaan total ruang bakar}}{\text{volume total} - \text{volume ruang bakar}}$$

$$SVR = \frac{2(p \times l) + 2(p \times t) + 2(l \times t)}{(p \times l \times t) - (\pi \times r^2 \times p)}$$

Dikarenakan panjang dan lebar dari meso-scale yang digunakan sama yakni ($p = l$) maka persamaan dapat disederhanakan seperti berikut :

$$SVR = \frac{2(p^2) + 4(p \times t)}{(p^2 \times t) - (\pi \times r^2 \times p)}$$

$$SVR = \frac{2p(p + 2t)}{p(pt - \pi r^2)}$$

$$SVR = \frac{2(p + 2t)}{pt - \pi r^2}$$

$$SVR = \frac{120}{382.650} = 0,313$$

6. Persamaan pada Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang disajikan pada tabel dan grafik yang terdapat di Bab 4 menggunakan persamaan sederhana yang dihitung dengan menggunakan software Microsoft Excel sebagai berikut.

a. Rata-rata Benda Temperatur Dinding TEG:

➤ $\bar{x} \Delta T_{TEG}$ (°C):

$$\bullet \bar{x} \Delta T_{TEG} = \frac{(Th A - Tc A) + (Th B - Tc B)}{2}$$

b. Rata-rata Temperatur Dinding TEG menit 0 - 16 :

➤ $\bar{x} Tc$ (°C):

$$\bullet \bar{x} Tc = \frac{Tc0 + Tc1 + Tc2 + Tc3 + \dots + Tc16}{17}$$

➤ $\bar{x} Th$ (°C):

$$\bullet \bar{x} Th = \frac{Th0 + Th1 + Th2 + Th3 + \dots + Th16}{17}$$

c. Rata-rata Temperatur Ruang Bakar :

➤ $\bar{x} T_i$ (°C):

- $\bar{x} T_i = \frac{T_i \text{ Vreak A} + T_i \text{ Vreak B} + T_i \text{ Vreak C}}{3}$

7. Heat loss

Perhitungan heat loss digunakan untuk mengetahui nilai dari kalor yang terbuang pada sebuah alat, sistem atau ruang. Pada penelitian ini perhitungan meliputi heat loss meliputi, total thermal input (Q_{in}), sink heat loss (Q_{sink}), uncovered sides heat loss (Q_{loss}), exhaust heat loss (Q_{exh}). Menurut Aravind dkk., (2018) persamaan yang digunakan sebagai berikut.

$$Q_{in} = \bar{m} \cdot CV$$

$$Q_{sink} = \left[S I T_c + \frac{k_m A_m}{L_m} (T_h - T_c) + \frac{I^2 R_i}{2} \right] \times N$$

$$Q_{loss} = A_s h_c (T_f - T_\infty)$$

$$Q_{exhaust} = Q_{input} - (Q_{sink} + Q_{loss})$$

Dimana,

- \bar{m} : Laju aliran massa reaktan (kg/s)
- CV : Nilai kalor (kJ/kg)
- Q_f : Debit bahan bakar (m^3/s)
- ρ_f : Densitas bahan bakar (kg/m^3)
- ΔV : Tegangan yang diperoleh (V)
- ΔT : Beda temperatur yang diperoleh (K)
- S : Koefisien seebeck (V/K)
- I : Arus listrik (A)
- T_c : Temperatur sisi dingin (K)
- T_h : Temperatur sisi panas (K)

- T_f : Temperatur dinding combustor (K)
- T_∞ : Temperatur udara bebas (K)
- V_∞ : Kecepatan aliran udara bebas (m/s)
- V_{reak} : Kecepatan aliran reaktan (m/s)
- K_m : Konduktivitas thermal TEG ($W/m^2 K$)
- A_m : Luas permukaan TEG (m^2)
- L_m : Lebar TEG (m)
- L_c : Lebar outlet combustor (m)
- R_i : Resistansi internal (Ω)
- N : Jumlah TEG
- A_s : Luas selimut total combustor (m^2)
- h_c : Wall heat transfer coefficient ($W/m^2 K$)

a. Diketahui :

- CV : 45800 kJ/kg
- Q_f : 10,28 ml/min = $1,713 \times 10^{-7} m^3/s$
- ρ_f : 2,417 kg/m³
- ΔV : 1,29 V
- I : $I = 0,0135 A$
- T_∞ : Diasumsikan $T_\infty = 30^\circ C = 303,15 K$
- V_∞ : Diasumsikan $V_\infty = 5 m/s$
- T_c : $T_c = 311,4 K$
- T_h : $T_h = 363,4 K$
- ΔT : 52,0 K
- K_m : $K_m = 0,8 W/m^2 \cdot K$
- L_m : 0,04 m
- L_c : 0,04 m
- N : 2 Buah
- V_{reak} : 0,314 m/s
- A_s : $A_s = 2\pi r_{in} l_{in} + 4(PT)$

$$\begin{aligned}
 &= (2\pi \cdot 0,004 \cdot 0,045) + 4(0,04 \cdot 0,01) \\
 &= 1,13 \times 10^{-3} + 1,6 \times 10^{-3} \\
 &= 2,73 \times 10^{-3} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- \bar{m} : $\bar{m} = \rho_f \times Q_f$
 $= 2,417 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,713 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$
 $= 4,140 \times 10^{-7} \text{ kg/s}$
- S : $S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$
 $= \frac{1,29}{52}$
 $= 0,0248 \text{ V/K}$
- A_m : $A_m = 2PL + 4LT$
 $= 2(0,04 \times 0,04) + 4(0,04 \times 0,0036)$
 $= 0,0037 \text{ m}^2$
- R_i : $R_i = \Delta V/I$
 $= 1,29/0,0135$
 $= 95,556 \Omega$
- h_c : $h_c = 0,664 \times \frac{k}{L_m} \text{Re}_{L_m}^{0,5} \text{Pr}^{0,333}$
 $\text{Re} = \text{Reynolds number}$
 $= \frac{(V \cdot L)}{\mu}$

Nilai dari μ , k , dan Pr diperoleh berdasarkan dengan merata-ratakan temperatur sisi panas (T_h) dan temperatur ruangan (T_∞) jika temperatur ruangan diasumsikan ($T_\infty = 30^\circ\text{C}$) maka rata-rata yang diperoleh yakni ($\frac{T_h + T_\infty}{2} = \frac{90,25 + 30}{2} = 60,125^\circ\text{C}$), kemudian nilai dari μ , k , dan Pr dapat diperoleh dengan melihat tabel nilai properti dari udara pada tekanan 1 atm yang terdapat pada temperatur $60,125^\circ\text{C}$. Maka, diketahui bahwa nilai $k = 0,02588 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, $\mu = 1,872 \times 10^{-5} \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$ dan $\text{Pr} = 0,7282$.

$$\text{Re} = \frac{5 \text{ m/s} \cdot 0,04 \text{ m}}{1,872 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$= 10683,76$$

$$h_c = 0,664 \cdot \frac{0,02588}{0,04} \cdot 10683,76^{0,5} \cdot 0,7282^{0,333}$$

$$= 39,954 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

b. Penyelesaian :

➤ Total thermal input (Q_{in})

- $Q_{in} = \dot{m} \cdot CV$

$$= 4,140 \times 10^{-7} \text{ kg/s} \cdot 45800 \text{ kJ/kg}$$

$$= 0,0205 \text{ kJ/s}$$

$$= 18,96 \text{ W}$$

➤ Sink heat loss (Q_{sink})

- $Q_{sink} = \left[SIT_c + \frac{k_m A_m}{L_m} (T_h - T_c) + \frac{I^2 R_i}{2} \right] \times N$

$$= \left[0,0248 \cdot 0,0135 \cdot 311,4 + \frac{0,8 \cdot 0,0037}{0,04} (363,4 - 311,4) \right. \\ \left. + \frac{0,0135^2 \cdot 95,556}{2} \right] \times 2$$

$$= 7,922 \text{ W}$$

➤ Uncovered sides heat loss (Q_{loss})

- $Q_{loss} = A_s h_c (T_f - T_\infty)$

$$= 2,73 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 41,703 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} (363,4 \text{ K} - 303,15 \text{ K})$$

$$= 6,575 \text{ W}$$

➤ Exhaust heat loss (Q_{exh})

- $Q_{exhaust} = Q_{in} - (Q_{sink} + Q_{loss})$

$$= 18,96 \text{ W} - (7,922 \text{ W} + 6,575 \text{ W})$$

$$= 4,465 \text{ W}$$

8. Tabel Databook

TABLE A-15

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

HEATS OF COMBUSTION

Compound	Formula	Heat of Combustion at 298 K (25°C)/kJ mol ⁻¹			
		H ₂ O(l) + CO ₂ (g)		H ₂ O(g) + CO ₂ (g)	
Hydrogen	H ₂	286	(143.0)	242	(11.0)
Carbon	C	394	(32.8)	394	(32.8)
Carbon Monoxide	CO	283	(10.1)	283	(10.1)
Methane	CH ₄	890	(55.6)	802	(50.1)
Ethane	C ₂ H ₆	1560	(52.0)	1428	(47.6)
Ethene	C ₂ H ₄	1411	(50.4)	1323	(47.3)
Ethyne	C ₂ H ₂	1300	(50.0)	1256	(48.3)
Propane	C ₃ H ₈	2221	(50.5)	2044	(46.5)
Propene	C ₃ H ₆	2059	(49.0)	1927	(45.9)
Butane	C ₄ H ₁₀	2879	(49.6)	2659	(45.8)
Hexane	C ₆ H ₁₄	4164	(48.4)	3856	(44.8)
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	3921	(46.7)	3657	(43.5)
Benzene	C ₆ H ₆	3268	(41.9)	3136	(40.2)
Octane	C ₈ H ₁₈	5472	(48.0)	5076	(44.5)
2-Methyl-3-ethylpentane	C ₈ H ₁₈	5472	(48.0)	5076	(44.5)
1,4-Dimethylbenzene	C ₈ H ₁₀	4554	(43.0)	4334	(40.9)
Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	8088	(47.6)	7516	(44.2)
Eicosane	C ₂₀ H ₄₂	13320	(47.2)	12395	(44.0)
Ethanol	C ₂ H ₆ O	1367	(29.7)	-	-
Ethanal	C ₂ H ₄ O	1167	(26.5)	-	-
Ethanoic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	875	(14.6)	-	-
Propanone	C ₃ H ₆ O	1791	(30.9)	-	-
Phenol	C ₆ H ₆ O	3054	(32.5)	-	-

The left- and right- columns of values represent gross and nett calorific values respectively; the values in brackets are the corresponding heats of combustion measured in MJ kg⁻¹.

9. Datasheet Alat Ukur

High-Precision Flowmeter (for Sensitive Measurements)
MODEL RK1450 SERIES

This top-grade high-precision area flowmeter is a fruit of KOFLOC's challenge to boost the general perception currently conceived by people of flowmeter of being a "mere yardstick" into a new conception that a flowmeter is a "precision instrument." This flowmeter particularly features its uniquely precision-formed glass tube and ultra-precision ball float.

B

Features

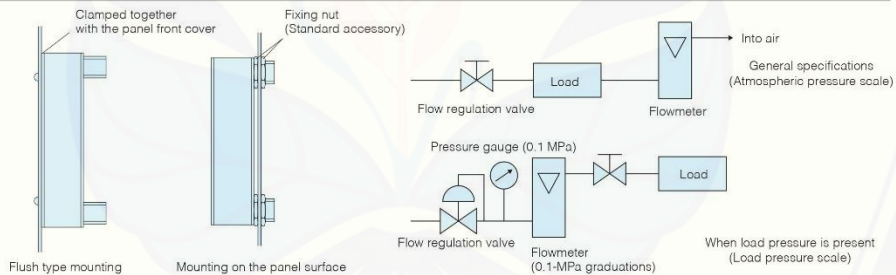
- **Capable of measuring ultra-minute flows**
Can measure a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-3 ML/MIN to flows of 3-30 L/MIN.
- **High precision measurement**
High precision measurement of flows is available up to $\pm 2\%$ of full scale (standard specification) or to $\pm 1\%$ of full scale (optional specification).
- **Wide variations**
A broad range of variations is available in total length, materials of construction, flow rate, pressure, scale, and so forth to meet diverse applications from a variety of fields.
- **Capable of measuring all kinds of gases**
Practically all kinds of gases can be measured, not to mention those standard (Air, N₂, O₂, H₂, He, Ar and CO₂).
- **Measurement of water flows also possible**
Measurement of full-scale water flows not exceeding 1 L/MIN is also possible. (Dimensions may vary depending upon the specified maximum flow rate.)

Applications

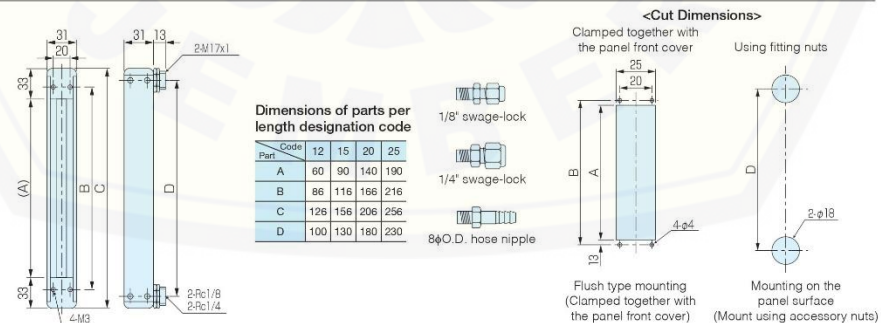
- For integration into your equipment panel
- For flow inspections at laboratory
- For semiconductor manufacturing equipment
- For biotechnology industries



Example of Use with Model RK1450



Dimensions



Flowmeter with Precision Needle Valve (for Accurate Flow Control)

MODEL RK1250 SERIES

The Model RK1250 Series Flowmeter is a completely renewed model of existing KOFLOC RK1200, designed as a flowmeter that can be integrated into the customer's equipment. A combination of a grade high precision float type flowmeter with a needle valve capable of very accurate flow control provides a flowmeter ideal for measurement and control of trace flows.

B

Features

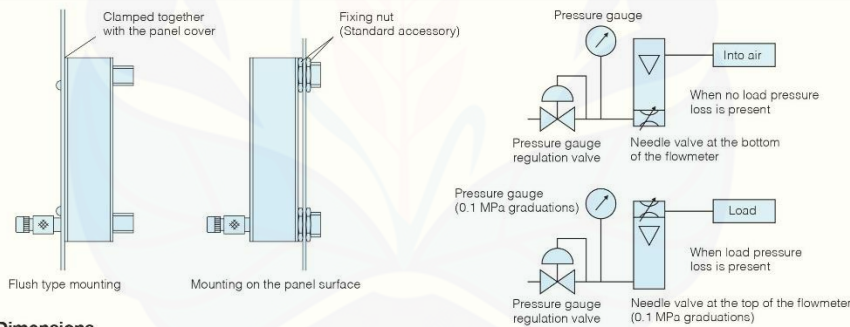
- **Capable of controlling ultra-minute flows**
Can respond to a wide range of flows from ultra-minute flows of 0.5-3 ML/MIN to flows of 3-30 L/MIN.
- **The incorporated precision needle valve allows a delicate control of flows.**
The effective revolving speed of the needle valve can be maximized by specifying a maximum flow and normal supply pressure.
- **Wide variations**
Four total lengths of the flowmeter are available: 126, 156, 206, and 256 mm, for your selection according to your needs.
- **Two types of valve arrangement**
The needle valve can be laid out either at the top or at the bottom of the meter. Choose the type that best suits your needs.
- **Measurement and control of water flows also possible**
Measurement and control of water flows not exceeding 1 L/MIN are also possible.



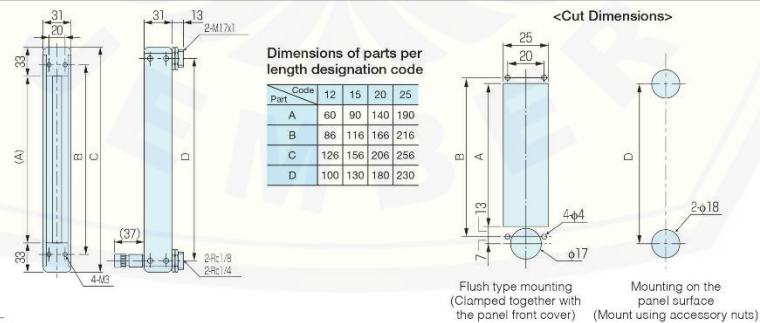
Applications

- For integration into your equipment panel
- For gas devices to be used on the semiconductor manufacturing site
- For biotechnology industries
- For vacuum line control

Example of Use with Model RK1250



Dimensions





Standard Specifications

	Gases	Liquids
Fluids	Air, N ₂ , O ₂ , H ₂ , He, Ar, and CO ₂ (Calibration by actual gas) For other gases, consultation is necessary regarding whether conversion conditions or calibration by actual gas is to be used. * Optional: Scale indicating two types of fluids	Standard fluid: Water For other liquids, consultation is necessary regarding whether conversion conditions or calibration by actual liquid is to be used.
Flow range	0.5-5 ML/MIN to 3-30 L/MIN (See the Capacity Table below.) * Optional: 0.5-3 ML/MIN	0.5-5 ML/MIN to 0.1-1 L/MIN (See the Capacity Table below.) * Optional: 0.5-3 ML/MIN
Accuracy	FS±2% (Measurement point) * Optional: FS±1% (Measurement point)	FS±2% (Measurement point)
Proof pressure	1.0 MPa for 100 ML/MIN or less 0.7 MPa for 5 L/MIN or less 0.5 MPa for 10 L/MIN or more	1.0 MPa for 5 ML/MIN or less 0.7 MPa for 150 ML/MIN or less 0.5 MPa for 200 ML/MIN or more
Available scale	10:1 * Optional: 20:1	
Materials	SS	BS
Body block	SUS316	Brass
Tapered tube	Pyrex [®] , glass	
Packing	FKM	NBR
Float	Pyrex, SUS316, glass	
Protective cover	Acrylic resin	
Temperature resistance	MAX60°C	
Connection end	Rc1/4 (Standard); Rc1/8 (Optional)	

Capacity Table

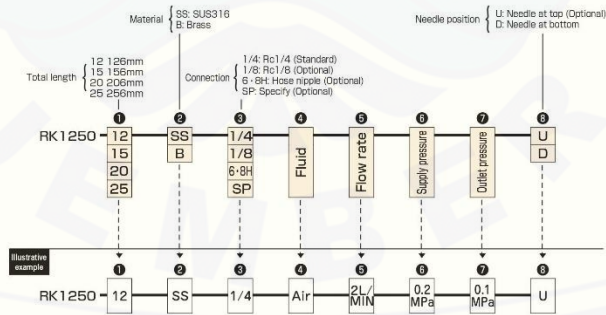
Air (Flow rate at atmospheric pressure)

Total length	Max. flow rate																	
	5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1	2	3	5	10	15	20	30
	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN	L/MIN
126mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

H₂O

Total length	Max. flow rate										
	5	10	20	30	50	100	150	200	300	500	1
	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	ML/MIN	L/MIN
126mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
156mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
206mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
256mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Ordering



* Refer to "Ordering" and "Illustrative example" when placing an order or requesting a quotation. Fill in the blanks in the "Order/Quotation Request Card" at the end of the catalog, and send the card by fax.

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

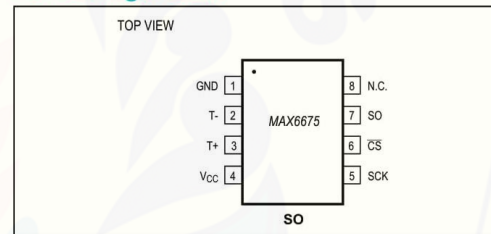
Features

- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

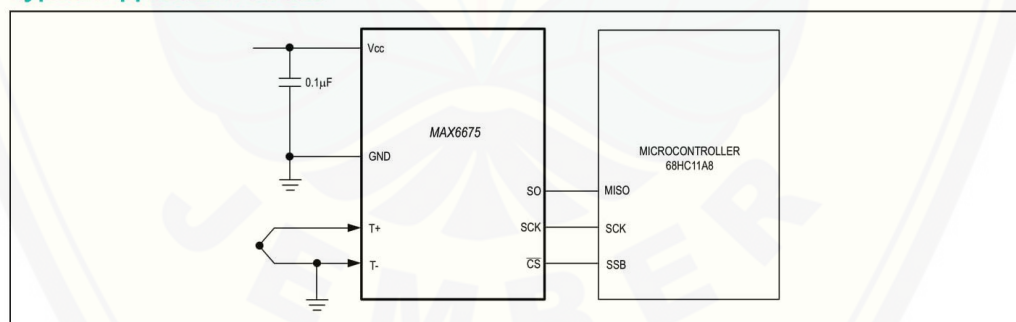
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V_{CC} to GND) -0.3V to +6V
 SO, SCK, \overline{CS} , T-, T+ to GND -0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
 SO Current 50mA
 ESD Protection (Human Body Model) $\pm 2000V$
 Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ C$)
 8-Pin SO (derate 5.88mW/ $^\circ C$ above +70°C) 471mW
 Operating Temperature Range -20°C to +85°C

Storage Temperature Range -65°C to +150°C
 Junction Temperature +150°C
 SO Package
 Vapor Phase (60s) +215°C
 Infrared (15s) +220°C
 Lead Temperature (soldering, 10s) +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +3.0V$ to +5.5V, $T_A = -20^\circ C$ to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-5	+5	LSB	
			$V_{CC} = +5V$	-6	+6		
		$T_{THERMOCOUPLE} = 0^\circ C$ to $+700^\circ C$, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-8	+8		
			$V_{CC} = +5V$	-9	+9		
		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$ to +1000°C, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-17	+17		
			$V_{CC} = +5V$	-19	+19		
Thermocouple Conversion Constant				10.25		$\mu V/LSB$	
Cold-Junction Compensation Error		$T_A = -20^\circ C$ to $+85^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-3.0	+3.0	°C	
			$V_{CC} = +5V$	-3.0	+3.0		
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		k Ω	
Supply Voltage	V_{CC}			3.0	5.5	V	
Supply Current	I_{CC}			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V_{CC} rising		1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis					50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22		s
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V_{IL}				0.3 x V_{CC}		V
Input High Voltage	V_{IH}			0.7 x V_{CC}			V
Input Leakage Current	I_{LEAK}	$V_{IN} = GND$ or V_{CC}			± 5		μA
Input Capacitance	C_{IN}			5			pF



INA219

www.ti.com

SBOS448F – AUGUST 2008 – REVISED SEPTEMBER 2011

Zero-Drift, Bi-Directional CURRENT/POWER MONITOR with I²C™ Interface

Check for Samples: [INA219](#)

FEATURES

- SENSES BUS VOLTAGES FROM 0V TO +26V
- REPORTS CURRENT, VOLTAGE, AND POWER
- 16 PROGRAMMABLE ADDRESSES
- HIGH ACCURACY: 0.5% (Max) OVER TEMPERATURE (INA219B)
- FILTERING OPTIONS
- CALIBRATION REGISTERS
- SOT23-8 AND SO-8 PACKAGES

APPLICATIONS

- SERVERS
- TELECOM EQUIPMENT
- NOTEBOOK COMPUTERS
- POWER MANAGEMENT
- BATTERY CHARGERS
- WELDING EQUIPMENT
- POWER SUPPLIES
- TEST EQUIPMENT

DESCRIPTION

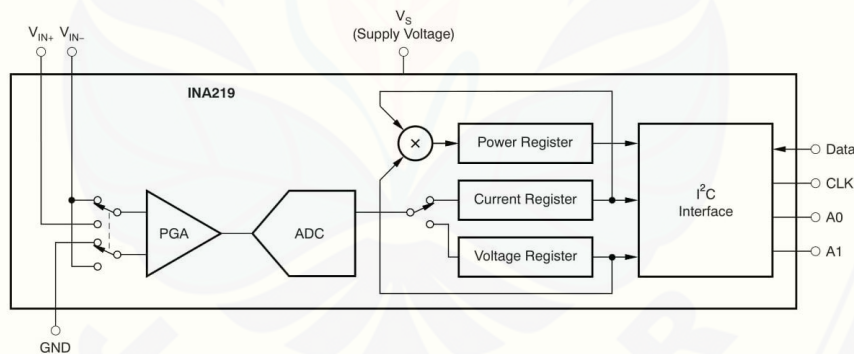
The INA219 is a high-side current shunt and power monitor with an I²C interface. The INA219 monitors both shunt drop and supply voltage, with programmable conversion times and filtering. A programmable calibration value, combined with an internal multiplier, enables direct readouts in amperes. An additional multiplying register calculates power in watts. The I²C interface features 16 programmable addresses.

The INA219 is available in two grades: A and B. The B grade version has higher accuracy and higher precision specifications.

The INA219 senses across shunts on buses that can vary from 0V to 26V. The device uses a single +3V to +5.5V supply, drawing a maximum of 1mA of supply current. The INA219 operates from –40°C to +125°C.

RELATED PRODUCTS

DESCRIPTION	DEVICE
Current/Power Monitor with Watchdog, Peak-Hold, and Fast Comparator Functions	INA209
Zero-Drift, Low-Cost, Analog Current Shunt Monitor Series in Small Package	INA210, INA211, INA212, INA213, INA214



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2008–2011, Texas Instruments Incorporated

INA219



SBOS448F–AUGUST 2008–REVISED SEPTEMBER 2011

www.ti.com



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

Table 1. PACKAGING INFORMATION⁽¹⁾

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE MARKING
INA219A	SO-8	D	I219A
	SOT23-8	DCN	A219
INA219B	SO-8	D	I219B
	SOT23-8	DCN	B219

(1) For the most current package and ordering information see the Package Option Addendum at the end of this document, or visit the [INA219 product folder](http://INA219) at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

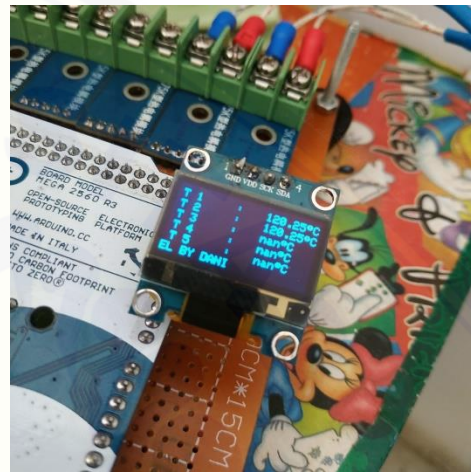
Over operating free-air temperature range (unless otherwise noted).

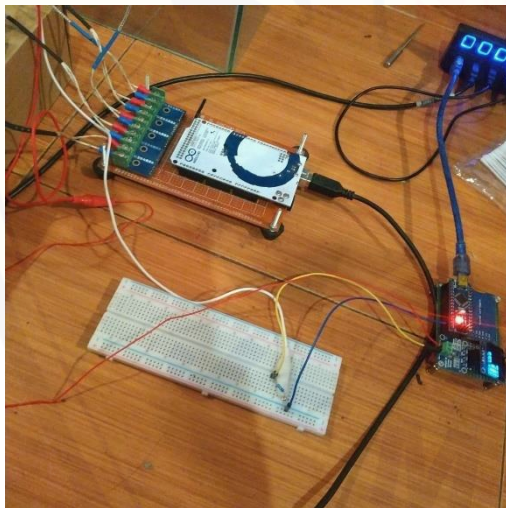
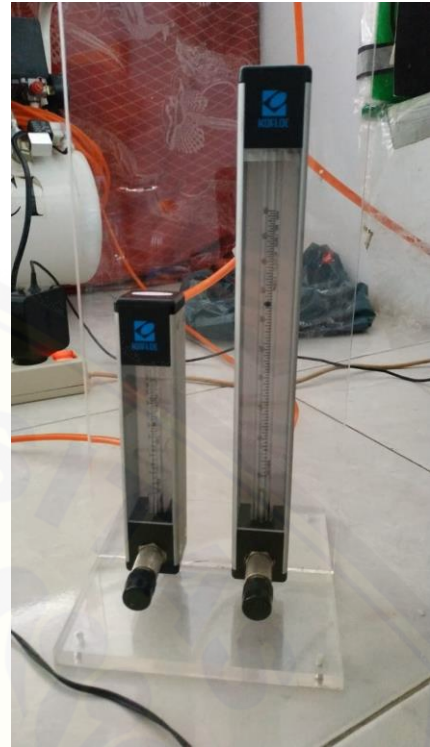
		INA219	UNIT
Supply Voltage, V_S		6	V
Analog Inputs, V_{IN+} , V_{IN-}	Differential ($V_{IN+} - V_{IN-}$) ⁽²⁾	-26 to +26	V
	Common-Mode	-0.3 to +26	V
SDA		GND – 0.3 to +6	V
SCL		GND – 0.3 to $V_S + 0.3$	V
Input Current Into Any Pin		5	mA
Open-Drain Digital Output Current		10	mA
Operating Temperature		-40 to +125	°C
Storage Temperature		-65 to +150	°C
Junction Temperature		+150	°C
ESD Ratings	Human Body Model	4000	V
	Charged-Device Model	750	V
	Machine Model (MM)	200	V

(1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not implied.

(2) V_{IN+} and V_{IN-} may have a differential voltage of -26V to +26V; however, the voltage at these pins must not exceed the range -0.3V to +26V.

10. Dokumentasi Penelitian





11. Tabel Keseluruhan Data Pengukuran

Ti Max (°C)						
Waktu (S)	D _{in} = 3,3			D _{in} = 4,2		
	V _r 31,40	V _r 33,10	V _r 34,79	V _r 31,40	V _r 33,10	V _r 34,79
0	950,75	961,75	805,25	998	950	1019,75
1	954,75	961,75	720	997	888	975
2	956,25	937,5	992,75	995,75	1016,25	998,5
3	956,75	955,5	931	1002,25	994,25	920,25
4	957,5	948,5	843,25	1002	815,75	885,5
5	958,25	936,75	835,25	1001,5	800,5	856,5
Ti Max	958,25	961,75	992,75	1002,25	1016,25	1019,75

D _{in} = 3,3 Vreaktan = 31,40 cm/s											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	ΔT A (°C)	ΔT B (°C)	$\bar{X} \Delta T_{AB}$ (°C)
0	31,5	31,5	30	30,5	31,25	0	0	0	1,5	1	1,25
10	31,5	31,5	30	30,25	30,75	0,03	0,6	0,018	1,5	1,25	1,375
20	32,25	32,75	29,75	30,5	31,5	0,1	1,2	0,12	2,5	2,25	2,375
30	34,5	34,5	30	30,25	31	0,16	1,8	0,288	4,5	4,25	4,375

Digital Repository Universitas Jember

40	36	35,75	30	30,5	31	0,22	2,4	0,528	6	5,25	5,625
50	37,75	38	30	30,75	31,25	0,28	3	0,84	7,75	7,25	7,5
60	39,5	39	30	30,75	31,25	0,33	3,6	1,188	9,5	8,25	8,875
70	41,25	41,25	30,25	30,75	31,5	0,38	4,1	1,558	11	10,5	10,75
80	43	43	30,5	31,5	31,25	0,43	4,6	1,978	12,5	11,5	12
90	44,5	44,75	30,25	31,75	31	0,47	5	2,35	14,25	13	13,625
100	46	46	30,75	31,5	31,25	0,51	5,5	2,805	15,25	14,5	14,875
110	47	47,5	30,5	32	31,25	0,55	5,8	3,19	16,5	15,5	16
120	48,5	48,75	31	32	31,5	0,59	6,3	3,717	17,5	16,75	17,125
130	50,25	50,5	31,25	32,5	30,75	0,63	6,6	4,158	19	18	18,5
140	50,75	51,75	31,25	32,75	31,25	0,66	7	4,62	19,5	19	19,25
150	52,5	53	31,25	33	30,75	0,69	7,3	5,037	21,25	20	20,625
160	53,75	53,75	31,25	33,25	31,75	0,72	7,6	5,472	22,5	20,5	21,5
170	55	56	31,75	33,25	31,5	0,75	7,9	5,925	23,25	22,75	23
180	55,5	56,25	32	33,5	31,25	0,78	8,2	6,396	23,5	22,75	23,125
190	56,5	57,75	32	33,5	30,75	0,8	8,5	6,8	24,5	24,25	24,375
200	57,75	58,5	32,75	33,75	31,5	0,83	8,7	7,221	25	24,75	24,875
210	58,75	59,5	32,25	33,5	30,75	0,85	9	7,65	26,5	26	26,25
220	59,5	60,75	32,5	34	31,25	0,88	9,2	8,096	27	26,75	26,875
230	60,75	61,5	32,25	34,5	30,75	0,9	9,4	8,46	28,5	27	27,75
240	61,75	62,75	32,5	34,5	31,25	0,92	9,6	8,832	29,25	28,25	28,75
250	62,5	63,5	32,75	34,5	30,75	0,93	9,8	9,114	29,75	29	29,375
260	63,25	64,5	33	34,75	31,25	0,95	10	9,5	30,25	29,75	30
270	64,25	65,5	33,25	34,75	31,25	0,97	10,2	9,894	31	30,75	30,875

Digital Repository Universitas Jember

280	65,25	66,5	33,25	35	31,25	0,99	10,4	10,296	32	31,5	31,75
290	66,25	67,25	33	35,25	31	1	10,5	10,5	33,25	32	32,625
300	67,5	68,75	33,25	35,5	31,5	1,02	10,7	10,914	34,25	33,25	33,75
310	68	69,25	34	35,75	31	1,03	10,8	11,124	34	33,5	33,75
320	68,75	70,25	33,5	35,75	30,75	1,05	10,9	11,445	35,25	34,5	34,875
330	69,25	71	33,5	36	31	1,06	11,1	11,766	35,75	35	35,375
340	69,75	71,5	33,5	36,25	31,25	1,07	11,2	11,984	36,25	35,25	35,75
350	70,5	72,75	33,75	36,25	30,75	1,08	11,3	12,204	36,75	36,5	36,625
360	71,25	73,25	33,75	36,25	31,25	1,09	11,4	12,426	37,5	37	37,25
370	72,5	73,75	34,25	36,25	31,25	1,1	11,5	12,65	38,25	37,5	37,875
380	73	74,75	35	36,25	31,25	1,12	11,7	13,104	38	38,5	38,25
390	73,25	75,5	34,5	37	31,25	1,12	11,8	13,216	38,75	38,5	38,625
400	74,25	76,25	34,75	36,75	31,25	1,13	11,8	13,334	39,5	39,5	39,5
410	75,25	76,5	34,75	36,75	31,5	1,14	11,9	13,566	40,5	39,75	40,125
420	75,75	77,25	34,5	37	31,5	1,15	12	13,8	41,25	40,25	40,75
430	76,5	78,25	34,75	37,25	31,5	1,16	12,1	14,036	41,75	41	41,375
440	76,75	78,75	34,5	37,25	31,25	1,16	12,2	14,152	42,25	41,5	41,875
450	77,75	79	35	37,5	30,75	1,17	12,2	14,274	42,75	41,5	42,125
460	77,75	79,75	35	37,25	31,5	1,18	12,3	14,514	42,75	42,5	42,625
470	78,75	80,75	35,25	37,75	31,25	1,18	12,4	14,632	43,5	43	43,25
480	79,25	81,25	35,25	38,25	31,5	1,19	12,4	14,756	44	43	43,5
490	79,75	82	35	38	31	1,19	12,5	14,875	44,75	44	44,375
500	80	82,25	35,25	38,25	31	1,2	12,5	15	44,75	44	44,375
510	81	82,75	35,5	38	31	1,2	12,5	15	45,5	44,75	45,125

Digital Repository Universitas Jember

520	80,75	83,25	35,5	38,5	31,25	1,21	12,7	15,367	45,25	44,75	45
530	81,5	83,25	35,75	38	31	1,22	12,7	15,494	45,75	45,25	45,5
540	82,25	83,75	35,5	38,25	31,25	1,22	12,7	15,494	46,75	45,5	46,125
550	82,75	84,75	35,75	38,5	31,25	1,22	12,7	15,494	47	46,25	46,625
560	83	85,25	35,5	38,5	31,5	1,22	12,8	15,616	47,5	46,75	47,125
570	83,75	85,25	35,75	38,75	31,75	1,23	12,8	15,744	48	46,5	47,25
580	84	86	36,25	39	31,75	1,23	12,9	15,867	47,75	47	47,375
590	84	86	35,75	39	32	1,24	13	16,12	48,25	47	47,625
600	84,75	86,75	36,5	39,75	31,75	1,24	12,9	15,996	48,25	47	47,625
610	85	86,75	36	39,75	32	1,24	13	16,12	49	47	48
620	85,75	87,75	36	40,25	32	1,24	13,1	16,244	49,75	47,5	48,625
630	85,75	88,25	36,25	40,25	31,75	1,25	13,1	16,375	49,5	48	48,75
640	86,25	88,5	36,25	39,75	32,5	1,25	13,1	16,375	50	48,75	49,375
650	86,75	88,75	36,5	39,75	32	1,25	13,1	16,375	50,25	49	49,625
660	87	88,75	36,25	40	32	1,26	13,1	16,506	50,75	48,75	49,75
670	87,5	89,5	36	40	32,25	1,26	13,2	16,632	51,5	49,5	50,5
680	87,75	89,75	36,75	39,75	32,5	1,26	13,2	16,632	51	50	50,5
690	88	90	36,5	40	32,5	1,26	13,2	16,632	51,5	50	50,75
700	89	91	36,75	39,5	32,5	1,26	13,2	16,632	52,25	51,5	51,875
710	89	91	36,25	39,75	32	1,27	13,2	16,764	52,75	51,25	52
720	89	91	36,75	39,75	32,75	1,27	13,2	16,764	52,25	51,25	51,75
730	89	91	36,75	40	32,5	1,27	13,2	16,764	52,25	51	51,625
740	89,25	91,25	36,75	40,25	32	1,27	13,3	16,891	52,5	51	51,75
750	89	91	36,5	40	32,25	1,27	13,3	16,891	52,5	51	51,75

Digital Repository Universitas Jember

760	88,5	90,5	36,25	40	32,5	1,27	13,3	16,891	52,25	50,5	51,375
770	88,75	90,75	36,5	40	32,25	1,27	13,3	16,891	52,25	50,75	51,5
780	89	91	36,5	40,25	32	1,28	13,3	17,024	52,5	50,75	51,625
790	89,25	91,25	36,5	39,75	32	1,28	13,3	17,024	52,75	51,5	52,125
800	89,25	91,25	36,75	39,75	32,25	1,28	13,4	17,152	52,5	51,5	52
810	89,25	91,25	36,75	40	32,25	1,28	13,3	17,024	52,5	51,25	51,875
820	89	91	36,25	40	32,25	1,28	13,3	17,024	52,75	51	51,875
830	89,25	91,25	36,5	40	32	1,28	13,4	17,152	52,75	51,25	52
840	89,25	91,25	36,25	40,25	32,25	1,28	13,4	17,152	53	51	52
850	89,25	91,25	36	39,5	32,5	1,28	13,4	17,152	53,25	51,75	52,5
860	89,25	91,25	36,25	39,75	32,25	1,28	13,4	17,152	53	51,5	52,25
870	89,25	91,25	36,25	40	33	1,28	13,4	17,152	53	51,25	52,125
880	89,25	91,25	36,25	40,25	32,75	1,28	13,4	17,152	53	51	52
890	89,25	91,25	36,25	40	32,5	1,28	13,4	17,152	53	51,25	52,125
900	89,25	91,25	36,25	40,25	32	1,29	13,4	17,286	53	51	52
910	89,25	91,25	37	40,25	32,5	1,29	13,4	17,286	52,25	51	51,625
920	89,25	91,25	37	39,5	32,5	1,29	13,5	17,415	52,25	51,75	52
930	89,25	91,25	36,5	39,75	32,5	1,29	13,4	17,286	52,75	51,5	52,125
940	89,25	91,25	36,25	40	32,5	1,29	13,5	17,415	53	51,25	52,125
950	89,25	91,25	36,25	39,5	32,75	1,29	13,5	17,415	53	51,75	52,375
960	89,25	91,25	36,5	40	32,5	1,29	13,5	17,415	52,75	51,25	52
\bar{X}	72,9613	74,4536	34,3634	36,8686	31,6289	1,03021	10,7928	12,2652	38,5979	37,5851	38,0915

$D_{in} = 3,3$ $V_{reaktan} = 33,10 \text{ cm/s}$											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	$\Delta T A$ (°C)	$\Delta T B$ (°C)	$\bar{X} \Delta T_{AB}$ (°C)
0	31,5	31,75	30,5	29	31,25	0	0	0	1	2,75	1,875
10	32	32	30,5	29,25	31	0,05	0,7	0,035	1,5	2,75	2,125
20	32,5	32,75	30,25	29,25	31	0,11	1,3	0,143	2,25	3,5	2,875
30	33,25	33	30,5	29,25	31,25	0,17	1,9	0,323	2,75	3,75	3,25
40	34,25	34	30,25	29	31	0,22	2,4	0,528	4	5	4,5
50	36,5	36,25	30,75	29,75	31,5	0,28	3	0,84	5,75	6,5	6,125
60	38,5	38	30,75	30,5	30,5	0,33	3,6	1,188	7,75	7,5	7,625
70	40,25	40,25	30,75	30,25	31	0,38	4,2	1,596	9,5	10	9,75
80	42,25	41,75	31	31,25	31,25	0,43	4,6	1,978	11,25	10,5	10,875
90	43,5	44	31,25	31,25	31	0,48	5,1	2,448	12,25	12,75	12,5
100	45,5	45,25	31	31,5	31,25	0,52	5,5	2,86	14,5	13,75	14,125
110	46,75	47,25	31,75	31,75	31,25	0,56	5,9	3,304	15	15,5	15,25
120	48	48,25	31,75	32,25	31,5	0,6	6,3	3,78	16,25	16	16,125
130	50,25	50	32	32,5	31,25	0,63	6,7	4,221	18,25	17,5	17,875
140	51,75	51,5	32,25	32,5	31	0,67	7,1	4,757	19,5	19	19,25
150	53	52,75	32,5	33,5	31	0,7	7,4	5,18	20,5	19,25	19,875
160	54	54	33	33,25	31,25	0,73	7,7	5,621	21	20,75	20,875

Digital Repository Universitas Jember

170	55,75	55,5	32,75	33	30,25	0,76	8	6,08	23	22,5	22,75
180	56,75	57	32,75	33,75	31,25	0,79	8,3	6,557	24	23,25	23,625
190	58	57,75	33	33,5	31,25	0,82	8,6	7,052	25	24,25	24,625
200	59	59	33,25	34,25	31,25	0,84	8,9	7,476	25,75	24,75	25,25
210	60	60	33,75	34	31	0,87	9,1	7,917	26,25	26	26,125
220	61	61,25	34,25	34,75	30,5	0,89	9,3	8,277	26,75	26,5	26,625
230	62,25	62,5	34	34,5	31,5	0,91	9,6	8,736	28,25	28	28,125
240	63,75	63,25	34,25	34,75	31	0,94	9,8	9,212	29,5	28,5	29
250	64,5	65	34,5	35	31,25	0,96	10	9,6	30	30	30
260	65,75	66,25	33,75	35,25	31,5	0,97	10,2	9,894	32	31	31,5
270	67	67,25	34,25	35	31,25	0,99	10,4	10,296	32,75	32,25	32,5
280	68,5	68,25	34	35,25	31,25	1,01	10,6	10,706	34,5	33	33,75
290	69	69	34,75	35,25	31,25	1,02	10,7	10,914	34,25	33,75	34
300	70,25	70,25	34,25	36	30,75	1,04	10,9	11,336	36	34,25	35,125
310	70,5	71	35	35,75	31,5	1,06	11,1	11,766	35,5	35,25	35,375
320	72	72	35,25	36,25	31	1,07	11,2	11,984	36,75	35,75	36,25
330	72,75	73	35,5	36	30,75	1,08	11,3	12,204	37,25	37	37,125
340	73,5	73,75	35,5	36	31,25	1,1	11,4	12,54	38	37,75	37,875
350	74,25	74,75	34,75	36,25	31,25	1,11	11,6	12,876	39,5	38,5	39
360	75,25	75,25	35,75	36,5	30,5	1,12	11,8	13,216	39,5	38,75	39,125
370	75,75	76	35,75	36,5	31,25	1,13	11,9	13,447	40	39,5	39,75
380	76,75	76	35,75	36,75	31	1,14	12	13,68	41	39,25	40,125
390	77,75	77,25	35,75	37	31	1,15	12	13,8	42	40,25	41,125
400	78,25	77,75	36,25	36,75	31,25	1,16	12,1	14,036	42	41	41,5

Digital Repository Universitas Jember

410	79,25	79,25	36	37	31,25	1,17	12,2	14,274	43,25	42,25	42,75
420	79	80	36	36,75	31	1,18	12,4	14,632	43	43,25	43,125
430	80,25	80,75	36,5	37,5	31,5	1,18	12,4	14,632	43,75	43,25	43,5
440	81,25	81,25	36	37,25	31	1,19	12,5	14,875	45,25	44	44,625
450	81,75	81,75	36,25	37,25	31,5	1,2	12,6	15,12	45,5	44,5	45
460	82,25	82,5	36	37,25	31	1,21	12,6	15,246	46,25	45,25	45,75
470	82,75	82,75	36,5	38	31	1,21	12,7	15,367	46,25	44,75	45,5
480	83,5	83,25	36,75	37,75	31,25	1,22	12,7	15,494	46,75	45,5	46,125
490	83,75	83,75	37	38	30,75	1,22	12,8	15,616	46,75	45,75	46,25
500	84	84,5	36,75	38,25	31,25	1,23	12,8	15,744	47,25	46,25	46,75
510	84,75	85,25	37	38,25	31,25	1,24	12,9	15,996	47,75	47	47,375
520	85,5	85	37,25	38	31,25	1,24	13	16,12	48,25	47	47,625
530	85,5	86	37	38,25	31,25	1,24	13,1	16,244	48,5	47,75	48,125
540	86,25	86,75	37,25	38,5	31,25	1,25	13,1	16,375	49	48,25	48,625
550	86,75	86,75	36,75	38,5	31,25	1,26	13,2	16,632	50	48,25	49,125
560	87	87,5	37,25	38,5	31,25	1,26	13,2	16,632	49,75	49	49,375
570	87,5	87,75	36,5	38,75	31,25	1,27	13,2	16,764	51	49	50
580	87,75	88,5	37	38,5	31	1,27	13,3	16,891	50,75	50	50,375
590	88,5	88,75	37,25	38,75	31,5	1,27	13,3	16,891	51,25	50	50,625
600	88,5	89	37,25	38,5	31,5	1,28	13,4	17,152	51,25	50,5	50,875
610	88,75	89,5	37,5	38,75	31,25	1,28	13,4	17,152	51,25	50,75	51
620	89,5	90	37,25	39	31,25	1,28	13,4	17,152	52,25	51	51,625
630	89,75	90	37,5	39	31,25	1,29	13,5	17,415	52,25	51	51,625
640	90,25	90,75	37	38,75	30,75	1,29	13,5	17,415	53,25	52	52,625

Digital Repository Universitas Jember

650	90,5	91	37,5	39	30,5	1,29	13,5	17,415	53	52	52,5
660	91,25	91,5	37,5	38,75	31,5	1,3	13,5	17,55	53,75	52,75	53,25
670	90,75	91,75	37,5	38,75	31,25	1,3	13,6	17,68	53,25	53	53,125
680	91,5	92	37,5	38,75	31,25	1,3	13,6	17,68	54	53,25	53,625
690	91,75	92,5	38	39,5	31,25	1,3	13,5	17,55	53,75	53	53,375
700	92	92,75	37,5	39,25	31,25	1,3	13,7	17,81	54,5	53,5	54
710	92,5	92,75	37,75	38,75	31	1,3	13,6	17,68	54,75	54	54,375
720	92,75	93	37,75	39,25	30,75	1,3	13,7	17,81	55	53,75	54,375
730	93	93,5	38	39,25	31,5	1,31	13,7	17,947	55	54,25	54,625
740	93,25	93,75	37,75	39,5	31,25	1,31	13,7	17,947	55,5	54,25	54,875
750	93,5	94	38	39,5	31	1,31	13,7	17,947	55,5	54,5	55
760	93,75	94,25	38	39,25	30,75	1,31	13,7	17,947	55,75	55	55,375
770	94	94	37,75	38,75	31	1,31	13,8	18,078	56,25	55,25	55,75
780	94,25	95,25	38	39,75	31,5	1,32	13,8	18,216	56,25	55,5	55,875
790	93,75	95,25	38,25	39	30,75	1,32	13,8	18,216	55,5	56,25	55,875
800	94	94,75	38,5	39,25	31	1,32	13,8	18,216	55,5	55,5	55,5
810	94,25	95,25	38,25	39,75	31,5	1,32	13,8	18,216	56	55,5	55,75
820	94,25	95,25	38,25	39,25	31,25	1,32	13,8	18,216	56	56	56
830	94,25	95,25	38	39,75	31,5	1,32	13,8	18,216	56,25	55,5	55,875
840	94	95	38,25	39,5	31,25	1,32	13,8	18,216	55,75	55,5	55,625
850	94,25	94,25	38,5	39,75	31,25	1,32	13,8	18,216	55,75	54,5	55,125
860	94,25	95	38,75	39,25	31,5	1,32	13,8	18,216	55,5	55,75	55,625
870	94	95	37,75	40	31,75	1,32	13,9	18,348	56,25	55	55,625
880	94,25	94,75	38,25	39,75	31,25	1,32	13,8	18,216	56	55	55,5

890	93,75	95	39	39,75	31,25	1,33	13,9	18,487	54,75	55,25	55
900	94,25	94,75	39	39,75	31,5	1,33	13,9	18,487	55,25	55	55,125
910	94	95	38,75	40	31,5	1,33	13,9	18,487	55,25	55	55,125
920	94,5	95,25	38,75	39,75	31,5	1,33	13,9	18,487	55,75	55,5	55,625
930	94	95,5	39	40	31,5	1,33	13,9	18,487	55	55,5	55,25
940	94,25	94,25	38,75	39,25	31,25	1,33	13,9	18,487	55,5	55	55,25
950	93,5	95,25	39	39,75	31,75	1,33	13,9	18,487	54,5	55,5	55
960	94	95	38,75	39,75	31,75	1,33	13,9	18,487	55,25	55,25	55,25
\bar{X}	76,0232	76,3376	35,7242	36,6005	31,183	1,05794	11,0907	12,9658	40,299	39,7371	40,018

$D_{in} = 3,3$ $V_{reaktan} = 34,79 \text{ cm/s}$											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	$\Delta T A$ (°C)	$\Delta T B$ (°C)	$\bar{X} \Delta T_{AB}$ (°C)
0	31,5	31,25	28	31	30	0	0	0	3,5	0,25	1,875
10	32,5	31	28,75	30,75	30	0,05	0,7	0,035	3,75	0,25	2
20	35	32,5	29	31,25	30	0,12	1,4	0,168	6	1,25	3,625
30	35,25	34,75	29,25	31,25	29,5	0,18	2,1	0,378	6	3,5	4,75
40	34,25	38	28,75	31	30,25	0,24	2,6	0,624	5,5	7	6,25
50	36,5	40,5	29,5	31,25	30	0,3	3,2	0,96	7	9,25	8,125
60	37,25	42,5	29,75	31,75	29,5	0,35	3,7	1,295	7,5	10,75	9,125
70	39,5	44,5	30	32	30,25	0,4	4,3	1,72	9,5	12,5	11
80	41,75	47,25	30,5	31,5	29,5	0,4	4,3	1,72	11,25	15,75	13,5

Digital Repository Universitas Jember

90	43,5	48,5	30,75	32,5	29,75	0,41	4,3	1,763	12,75	16	14,375
100	45,75	50	30,5	32,5	30	0,46	4,9	2,254	15,25	17,5	16,375
110	47,5	51,5	31,25	33	30	0,5	5,4	2,7	16,25	18,5	17,375
120	49,25	52,5	31,75	32,75	30	0,55	5,9	3,245	17,5	19,75	18,625
130	51	53,75	31,25	33,25	30	0,59	6,3	3,717	19,75	20,5	20,125
140	52,5	56	32	33,25	30	0,63	6,7	4,221	20,5	22,75	21,625
150	54,5	57	32	33,25	29,25	0,67	7	4,69	22,5	23,75	23,125
160	56	57,75	32,25	33,75	30	0,7	7,4	5,18	23,75	24	23,875
170	57,5	59	32	33,5	30	0,74	7,8	5,772	25,5	25,5	25,5
180	58,5	59,5	32,5	34	30	0,77	8,1	6,237	26	25,5	25,75
190	59,75	60,75	32	34	29,75	0,8	8,4	6,72	27,75	26,75	27,25
200	61,25	62,25	32,5	34,25	30	0,82	8,7	7,134	28,75	28	28,375
210	62	63,5	32,5	34,25	29,5	0,85	8,9	7,565	29,5	29,25	29,375
220	63,5	64	33	34,75	29,75	0,88	9,2	8,096	30,5	29,25	29,875
230	64,75	64,75	33,25	34,5	30	0,9	9,4	8,46	31,5	30,25	30,875
240	66,25	66	33,5	34,75	30	0,93	9,7	9,021	32,75	31,25	32
250	67	66,5	33,75	35	29,75	0,95	9,9	9,405	33,25	31,5	32,375
260	68,25	67,5	33,25	35	30	0,97	10,2	9,894	35	32,5	33,75
270	69,75	68,5	33,75	35	30	0,99	10,4	10,296	36	33,5	34,75
280	70	71	33,75	35,5	30,5	1,01	10,6	10,706	36,25	35,5	35,875
290	71,5	71,25	34,25	35,25	30	1,03	10,7	11,021	37,25	36	36,625
300	72,25	70,25	34	35	30,25	1,04	11	11,44	38,25	35,25	36,75
310	73,5	72,25	34,5	35,25	30,25	1,06	11,1	11,766	39	37	38
320	74,25	73,5	34,25	35,5	30,5	1,08	11,3	12,204	40	38	39

Digital Repository Universitas Jember

330	75,25	74,5	34,25	36	30	1,09	11,4	12,426	41	38,5	39,75
340	75,5	76	34,25	36	30,25	1,11	11,6	12,876	41,25	40	40,625
350	76,75	78	34,5	35,75	29,75	1,12	11,7	13,104	42,25	42,25	42,25
360	77	79	34,25	36	30,25	1,13	11,8	13,334	42,75	43	42,875
370	78,25	79,75	34,5	36,25	30	1,15	12	13,8	43,75	43,5	43,625
380	79	80,25	34,75	36,25	30,25	1,16	12,1	14,036	44,25	44	44,125
390	79,25	81,25	34,75	36,5	30,25	1,17	12,2	14,274	44,5	44,75	44,625
400	80,25	82,25	35	36,5	30,25	1,18	12,3	14,514	45,25	45,75	45,5
410	81	82,5	35	36,5	30,25	1,19	12,4	14,756	46	46	46
420	81,75	83,25	35	36,5	30,25	1,2	12,5	15	46,75	46,75	46,75
430	81,75	83,5	35	36,5	29,75	1,21	12,6	15,246	46,75	47	46,875
440	82,5	84,25	35,25	36,5	30,25	1,21	12,6	15,246	47,25	47,75	47,5
450	82,75	85	35,25	37	30,25	1,22	12,8	15,616	47,5	48	47,75
460	83,25	85,75	35,5	36,75	30,5	1,23	12,9	15,867	47,75	49	48,375
470	84,25	85,75	35,25	37	30,25	1,24	12,9	15,996	49	48,75	48,875
480	84,75	86,5	35,25	37	29,75	1,24	13	16,12	49,5	49,5	49,5
490	84,75	86,75	35,75	37,25	30,5	1,25	13,1	16,375	49	49,5	49,25
500	85,5	87,75	35,75	36,5	30,5	1,26	13,1	16,506	49,75	51,25	50,5
510	85,75	87,75	35,75	37	30,25	1,26	13,3	16,758	50	50,75	50,375
520	85,75	87,75	35,75	37,25	30,5	1,27	13,3	16,891	50	50,5	50,25
530	86,75	88,75	35,5	36,5	30,5	1,28	13,3	17,024	51,25	52,25	51,75
540	87,25	89	35,75	37,5	30,5	1,28	13,4	17,152	51,5	51,5	51,5
550	87,5	89,25	36	37,25	30	1,28	13,4	17,152	51,5	52	51,75
560	87,5	89,5	36	37,5	30,25	1,29	13,4	17,286	51,5	52	51,75

Digital Repository Universitas Jember

570	88	89,75	36	37,25	30	1,29	13,5	17,415	52	52,5	52,25
580	88,75	90,25	36	37,25	30	1,3	13,5	17,55	52,75	53	52,875
590	88,5	90,5	35,75	37,5	29,75	1,3	13,6	17,68	52,75	53	52,875
600	89	90,75	36	37,25	30,25	1,3	13,7	17,81	53	53,5	53,25
610	89,75	90,75	36	37,5	30,5	1,31	13,7	17,947	53,75	53,25	53,5
620	89,5	91,5	36,25	37,75	30,5	1,31	13,7	17,947	53,25	53,75	53,5
630	90	91,75	35,75	37,5	30	1,32	13,7	18,084	54,25	54,25	54,25
640	90,25	92	36,25	37,75	30,5	1,32	13,8	18,216	54	54,25	54,125
650	90,75	92,25	36,5	37,75	30,25	1,32	13,8	18,216	54,25	54,5	54,375
660	91	91,75	36,25	37,75	29,75	1,32	13,8	18,216	54,75	54	54,375
670	91,25	92,75	36	37,75	30,5	1,32	13,8	18,216	55,25	55	55,125
680	91,5	92,25	36,25	37,5	30,5	1,33	13,9	18,487	55,25	54,75	55
690	91,5	93	36	38	30	1,33	13,9	18,487	55,5	55	55,25
700	91,75	93	36,5	37,5	30	1,33	13,9	18,487	55,25	55,5	55,375
710	92,25	93,25	36,25	37,75	29,5	1,34	14	18,76	56	55,5	55,75
720	92,5	93,5	36,25	38	30,5	1,34	13,9	18,626	56,25	55,5	55,875
730	92,75	93,75	36	37,5	30,5	1,34	14	18,76	56,75	56,25	56,5
740	92,5	93,5	36	38	30,5	1,34	14	18,76	56,5	55,5	56
750	93	93,5	36	37,5	30	1,34	14	18,76	57	56	56,5
760	93	94	36	38	30,25	1,34	14	18,76	57	56	56,5
770	93,25	94	36,25	38,25	30,25	1,34	14	18,76	57	55,75	56,375
780	93,5	94,5	36,5	37,75	30,5	1,35	14	18,9	57	56,75	56,875
790	93,75	94,5	36,5	38	30,5	1,35	14,1	19,035	57,25	56,5	56,875
800	93,25	94,5	36,5	37,75	30,25	1,35	14,1	19,035	56,75	56,75	56,75

810	94	94,75	36	38	30,75	1,35	14,1	19,035	58	56,75	57,375
820	94,25	94,25	36,25	38	30,25	1,35	14,1	19,035	58	56,25	57,125
830	94,25	95	36,5	38,25	30	1,36	14,1	19,176	57,75	56,75	57,25
840	94,5	95	36,75	38	29,75	1,35	14,2	19,17	57,75	57	57,375
850	94,75	95	36,25	37,75	30,5	1,36	14,1	19,176	58,5	57,25	57,875
860	94,25	95,25	37	38,25	30,5	1,36	14,2	19,312	57,25	57	57,125
870	95	95,5	36,5	38	30,25	1,36	14,1	19,176	58,5	57,5	58
880	95	95,75	36,5	38	30,75	1,36	14,1	19,176	58,5	57,75	58,125
890	95,25	95,5	36,5	38,25	30,75	1,36	14,2	19,312	58,75	57,25	58
900	95,25	95,25	36,25	37,75	30,25	1,36	14,2	19,312	59	57,5	58,25
910	95,25	95,5	36,5	38	30,75	1,36	14,2	19,312	58,75	57,5	58,125
920	95,5	95,75	36,25	38,5	30,5	1,36	14,2	19,312	59,25	57,25	58,25
930	95,25	95,75	36,5	38	30,75	1,36	14,2	19,312	58,75	57,75	58,25
940	95,75	96	36,75	37,75	30,25	1,36	14,2	19,312	59	58,25	58,625
950	95,75	95,75	36,25	38,5	30	1,36	14,2	19,312	59,5	57,25	58,375
960	96	95,5	36,5	38,5	30,25	1,36	14,3	19,448	59,5	57	58,25
\bar{X}	76,9974	78,2526	34,4639	36,0335	30,1546	1,07165	11,2144	13,3666	42,5335	42,2191	42,3763

$D_{in} = 4,2$											
Vreaktan = 31,40 cm/s											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	ΔT A (°C)	ΔT B (°C)	$\bar{X} \Delta T$ AB (°C)

Digital Repository Universitas Jember

0	31	31,75	31	31,25	31	0	0	0	0	0,5	0,25
10	32	32,25	30,75	31,25	30,75	0,05	0,7	0,035	1,25	1	1,125
20	33,5	34	31	31,5	31	0,12	1,4	0,168	2,5	2,5	2,5
30	35,5	35,25	30,75	31,25	30,75	0,17	1,9	0,323	4,75	4	4,375
40	34,75	35	31,5	32,25	31	0,23	2,6	0,598	3,25	2,75	3
50	36	36,5	31,25	32	30,75	0,28	3,1	0,868	4,75	4,5	4,625
60	37	36,25	32	32	31	0,34	3,7	1,258	5	4,25	4,625
70	39,25	39	31,75	32	30,75	0,39	4,2	1,638	7,5	7	7,25
80	41,25	40,5	31,5	32,5	30,75	0,43	4,6	1,978	9,75	8	8,875
90	43,75	42,25	31,75	32,25	31	0,48	5,1	2,448	12	10	11
100	45,5	44,75	32,25	32,25	30,75	0,52	5,5	2,86	13,25	12,5	12,875
110	47,25	46,25	32,25	32,75	31	0,56	5,9	3,304	15	13,5	14,25
120	49	48,25	32,5	32,75	30,5	0,6	6,3	3,78	16,5	15,5	16
130	51	49,75	32,25	33,25	30,75	0,63	6,7	4,221	18,75	16,5	17,625
140	52,5	51,5	32,5	33,5	31	0,67	7,1	4,757	20	18	19
150	53,75	53,25	32,25	33,5	31	0,7	7,4	5,18	21,5	19,75	20,625
160	55,5	54,5	33,25	33,5	30,75	0,73	7,7	5,621	22,25	21	21,625
170	56,5	55,75	33,25	34,25	31	0,76	8	6,08	23,25	21,5	22,375
180	58,25	56,75	33,5	34,25	30,75	0,79	8,3	6,557	24,75	22,5	23,625
190	59,5	58,5	33,75	34	31	0,82	8,6	7,052	25,75	24,5	25,125
200	60,75	59,5	33,5	35	31	0,84	8,9	7,476	27,25	24,5	25,875
210	62	60,75	34	35	30,75	0,87	9,1	7,917	28	25,75	26,875
220	63,5	62,25	34,25	35	30,75	0,89	9,4	8,366	29,25	27,25	28,25
230	65	63,5	34,25	35,25	30,5	0,92	9,6	8,832	30,75	28,25	29,5

Digital Repository Universitas Jember

240	65,75	64,5	34	35	31,25	0,94	9,8	9,212	31,75	29,5	30,625
250	66,75	65,5	34,5	34,75	31	0,96	10,1	9,696	32,25	30,75	31,5
260	67,75	66,75	34	35,5	31	0,98	10,2	9,996	33,75	31,25	32,5
270	68,5	67,75	34,75	35,5	31	1	10,4	10,4	33,75	32,25	33
280	70,25	68,5	34,75	35,5	30,5	1,01	10,7	10,807	35,5	33	34,25
290	70,5	69,25	35	36	31	1,03	10,8	11,124	35,5	33,25	34,375
300	71,75	70,25	35	35,5	31	1,05	11	11,55	36,75	34,75	35,75
310	72,5	71,5	35	36	30,75	1,06	11,2	11,872	37,5	35,5	36,5
320	73,75	72	35,25	35,75	31,25	1,08	11,3	12,204	38,5	36,25	37,375
330	74,75	73,25	35,5	35,5	30,5	1,09	11,4	12,426	39,25	37,75	38,5
340	75,5	74,25	35	36,25	30,5	1,1	11,6	12,76	40,5	38	39,25
350	76,25	75	35,25	35,75	31	1,11	11,7	12,987	41	39,25	40,125
360	76,5	75,5	35,75	36	31	1,13	11,8	13,334	40,75	39,5	40,125
370	78	76,75	35,25	36,25	31	1,14	11,9	13,566	42,75	40,5	41,625
380	78,5	77,25	35,75	36,25	31	1,15	12	13,8	42,75	41	41,875
390	79,5	78,25	35,75	36,5	31	1,16	12,1	14,036	43,75	41,75	42,75
400	79,5	78,75	36	37	31	1,17	12,2	14,274	43,5	41,75	42,625
410	80,5	79	35,75	36,75	31	1,18	12,3	14,514	44,75	42,25	43,5
420	81	79,5	36	36,5	31	1,18	12,4	14,632	45	43	44
430	81,5	80,5	36	37	30,5	1,19	12,5	14,875	45,5	43,5	44,5
440	82,5	81	36	36,75	31	1,2	12,6	15,12	46,5	44,25	45,375
450	82,5	81,25	36,5	37	31	1,21	12,6	15,246	46	44,25	45,125
460	83,5	82,25	36,25	37,25	31,25	1,22	12,7	15,494	47,25	45	46,125
470	83,75	83	36,25	37	31,25	1,22	12,8	15,616	47,5	46	46,75

Digital Repository Universitas Jember

480	84,5	83,5	36,5	36,75	31	1,23	12,8	15,744	48	46,75	47,375
490	84,75	83,75	36,25	37,25	31	1,24	12,9	15,996	48,5	46,5	47,5
500	85	84,5	36,25	37	30,75	1,24	13	16,12	48,75	47,5	48,125
510	84	84,5	36,5	37,25	30,75	1,24	13	16,12	47,5	47,25	47,375
520	84,5	85	36,5	37,5	30,75	1,25	13,1	16,375	48	47,5	47,75
530	85	85,25	36,75	37,75	31	1,25	13,2	16,5	48,25	47,5	47,875
540	85,75	86	36,5	37,5	30,5	1,26	13,2	16,632	49,25	48,5	48,875
550	86	86,25	36,75	37,25	30,75	1,26	13,3	16,758	49,25	49	49,125
560	86,25	86,5	36,75	37,5	31,25	1,27	13,3	16,891	49,5	49	49,25
570	86,5	87	36,75	37,5	31	1,27	13,3	16,891	49,75	49,5	49,625
580	87,25	87,5	37	37,75	31,25	1,28	13,4	17,152	50,25	49,75	50
590	87,25	87,75	36,5	37,75	31,25	1,28	13,4	17,152	50,75	50	50,375
600	87,5	88,25	36,5	37,5	31,25	1,28	13,5	17,28	51	50,75	50,875
610	87,5	88,25	37,5	37,75	31,25	1,28	13,4	17,152	50	50,5	50,25
620	88,75	88,75	37	37,75	31,25	1,28	13,5	17,28	51,75	51	51,375
630	88,25	89	37,25	37,75	31	1,29	13,5	17,415	51	51,25	51,125
640	88,5	89,25	37,5	37,75	30,75	1,29	13,6	17,544	51	51,5	51,25
650	89,25	89,5	37	37,75	31	1,29	13,6	17,544	52,25	51,75	52
660	89,25	90,25	36,5	37,75	31	1,3	13,6	17,68	52,75	52,5	52,625
670	89,75	90,5	37,5	37,25	31	1,3	13,6	17,68	52,25	53,25	52,75
680	90,25	90,75	37,25	37,75	31,25	1,3	13,6	17,68	53	53	53
690	90,25	90,5	37,25	37,75	31	1,3	13,7	17,81	53	52,75	52,875
700	90,5	91,25	37,75	38,25	31,25	1,3	13,6	17,68	52,75	53	52,875
710	90,75	91,25	37,5	38	31	1,3	13,7	17,81	53,25	53,25	53,25

Digital Repository Universitas Jember

720	91	91,75	37,5	38,25	31,25	1,3	13,6	17,68	53,5	53,5	53,5
730	91,25	92	37,5	38,25	31,25	1,3	13,7	17,81	53,75	53,75	53,75
740	91,5	92,25	37,5	38	31,25	1,31	13,7	17,947	54	54,25	54,125
750	91,25	92,25	37,5	38,5	31,25	1,31	13,7	17,947	53,75	53,75	53,75
760	91,5	92,5	37,75	38,25	31,25	1,31	13,7	17,947	53,75	54,25	54
770	91,25	92,5	37,25	38,25	31	1,31	13,7	17,947	54	54,25	54,125
780	92	93	37,25	38	31,25	1,31	13,8	18,078	54,75	55	54,875
790	92,5	92,75	37,25	37,75	31	1,32	13,8	18,216	55,25	55	55,125
800	92,75	93,5	37,25	38	31,5	1,32	13,8	18,216	55,5	55,5	55,5
810	92	92,75	37,75	38,25	31	1,32	13,8	18,216	54,25	54,5	54,375
820	92,5	93,75	37,5	38,5	31	1,32	13,8	18,216	55	55,25	55,125
830	92,25	93,75	37,75	38,25	31,5	1,32	13,9	18,348	54,5	55,5	55
840	92,25	93,75	37,75	38	31,25	1,32	13,9	18,348	54,5	55,75	55,125
850	92,5	94,5	37,5	38,5	31,5	1,32	13,8	18,216	55	56	55,5
860	92,75	94,75	37,75	38,5	31,5	1,32	13,9	18,348	55	56,25	55,625
870	93	94,75	37,5	38,5	31	1,32	13,9	18,348	55,5	56,25	55,875
880	93,25	95	37,5	38	30,75	1,32	13,8	18,216	55,75	57	56,375
890	93,75	94,75	37,75	38,5	31,5	1,33	13,9	18,487	56	56,25	56,125
900	93,5	95	37,5	38,5	31,25	1,33	13,9	18,487	56	56,5	56,25
910	94,25	94,25	37,25	38	31,25	1,33	13,9	18,487	57	56,25	56,625
920	93,75	94,25	37,25	38,5	30,5	1,33	14	18,62	56,5	55,75	56,125
930	94	94	37,25	37,75	31,5	1,33	13,9	18,487	56,75	56,25	56,5
940	94	94,25	37	38,5	31	1,33	13,9	18,487	57	55,75	56,375
950	94,25	93,75	37,25	38,25	30,75	1,33	14	18,62	57	55,5	56,25

960	94,25	94,25	38,25	38,5	31,5	1,33	13,9	18,487	56	55,75	55,875
\bar{X}	76,0799	75,9227	35,5567	36,2655	31	1,06103	11,1381	13,051	40,5232	39,6572	40,0902

$D_{in} = 4,2$											
Vreaktan = 33,10 cm/s											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	$\Delta T A$ (°C)	$\Delta T B$ (°C)	$\bar{X} \Delta T AB$ (°C)
0	31	31	30,25	31,5	32,25	0	0	0	0,75	-0,5	0,125
10	33	32	30	31,25	32	0,05	0,7	0,035	3	0,75	1,875
20	35	35	30,25	31	32,25	0,12	1,4	0,168	4,75	4	4,375
30	37,25	37,25	30,75	31	32,25	0,18	2	0,36	6,5	6,25	6,375
40	39,75	39,75	30,5	31,75	32,25	0,24	2,6	0,624	9,25	8	8,625
50	41,25	42	30,5	32	32	0,29	3,2	0,928	10,75	10	10,375
60	43,5	44	30,5	32,5	31,75	0,35	3,8	1,33	13	11,5	12,25
70	44,75	45,5	30,25	32,75	32,5	0,4	4,3	1,72	14,5	12,75	13,625
80	47,5	48	30,5	32,75	32,25	0,45	4,7	2,115	17	15,25	16,125
90	49	49,75	31	33	32	0,49	5,2	2,548	18	16,75	17,375
100	50	51	30,75	33,75	32,5	0,54	5,7	3,078	19,25	17,25	18,25
110	52,5	53	30,75	33,25	31,75	0,58	6,1	3,538	21,75	19,75	20,75
120	53,75	54,75	31,25	34	32,25	0,62	6,5	4,03	22,5	20,75	21,625
130	55,75	56,25	31,25	34,25	32,25	0,66	7	4,62	24,5	22	23,25

Digital Repository Universitas Jember

140	57	57,5	31	34,25	32	0,69	7,3	5,037	26	23,25	24,625
150	58,25	59,25	31,75	34	31,75	0,73	7,7	5,621	26,5	25,25	25,875
160	59,75	60,5	31,75	35	32,25	0,76	8	6,08	28	25,5	26,75
170	61	61,75	31,75	35	32,5	0,79	8,3	6,557	29,25	26,75	28
180	62	62,75	32	35	32,5	0,82	8,6	7,052	30	27,75	28,875
190	63,25	63,5	32	35,25	32	0,85	8,9	7,565	31,25	28,25	29,75
200	64,5	65,25	32,25	35,5	32,5	0,88	9,2	8,096	32,25	29,75	31
210	66	66,5	32,25	35,5	32,25	0,9	9,4	8,46	33,75	31	32,375
220	67	68	32,5	36	32,25	0,92	9,7	8,924	34,5	32	33,25
230	68,25	69,25	32,75	35,5	32,25	0,95	9,9	9,405	35,5	33,75	34,625
240	69,25	69,75	32,5	36,5	32	0,97	10,2	9,894	36,75	33,25	35
250	70	71,25	32,75	36,5	32	0,99	10,4	10,296	37,25	34,75	36
260	70,75	72,25	32,75	36,75	32,25	1,01	10,6	10,706	38	35,5	36,75
270	72,25	73,5	33	36,25	32,5	1,03	10,8	11,124	39,25	37,25	38,25
280	73,5	73,75	32,75	37	32,75	1,05	11	11,55	40,75	36,75	38,75
290	74	75,25	33	37	32	1,06	11,2	11,872	41	38,25	39,625
300	75,25	75,5	33,5	37,25	32	1,08	11,4	12,312	41,75	38,25	40
310	76,25	77	33,25	37	32,75	1,1	11,5	12,65	43	40	41,5
320	76,25	77,5	33,25	37,25	32,5	1,11	11,7	12,987	43	40,25	41,625
330	77,5	78,25	33,5	37,5	32	1,12	11,8	13,216	44	40,75	42,375
340	77,5	79	33,5	37,75	32,5	1,14	11,9	13,566	44	41,25	42,625
350	79	80	33,75	38	32,5	1,15	12,1	13,915	45,25	42	43,625
360	79,75	80,5	33,75	38	32,75	1,16	12,2	14,152	46	42,5	44,25
370	80,5	81,5	34	38,25	32,5	1,18	12,3	14,514	46,5	43,25	44,875

Digital Repository Universitas Jember

380	80,5	82,25	33,75	38,25	32	1,19	12,5	14,875	46,75	44	45,375
390	81,75	83	34	38,5	32,5	1,2	12,5	15	47,75	44,5	46,125
400	82,5	83,5	34	38	32,5	1,21	12,6	15,246	48,5	45,5	47
410	82,75	84	34	38,5	32,5	1,22	12,7	15,494	48,75	45,5	47,125
420	83,75	84,75	34,25	38,25	32,5	1,22	12,9	15,738	49,5	46,5	48
430	84	85,5	34,25	38,75	32,75	1,24	12,9	15,996	49,75	46,75	48,25
440	84,5	86	34,5	39	32,75	1,24	13	16,12	50	47	48,5
450	85,5	86,5	34,5	38,5	32,75	1,25	13,1	16,375	51	48	49,5
460	86,25	87	34	39	32,5	1,26	13,2	16,632	52,25	48	50,125
470	86,25	88	34,25	39	32,75	1,26	13,2	16,632	52	49	50,5
480	87,25	88	34,75	39,25	32,25	1,27	13,3	16,891	52,5	48,75	50,625
490	87,5	88,5	34,75	39,25	32,5	1,28	13,4	17,152	52,75	49,25	51
500	88,25	88,75	35	39,25	32,75	1,28	13,4	17,152	53,25	49,5	51,375
510	88,5	89,5	34,75	39	33	1,29	13,5	17,415	53,75	50,5	52,125
520	89,25	89,5	34,5	39,5	32,75	1,29	13,5	17,415	54,75	50	52,375
530	89,5	90,5	34,75	39,5	32,5	1,3	13,6	17,68	54,75	51	52,875
540	89,75	91	34,5	39,25	33	1,3	13,6	17,68	55,25	51,75	53,5
550	90,25	91,25	35,25	39	33	1,31	13,7	17,947	55	52,25	53,625
560	90,5	91,25	35,25	39	32,75	1,31	13,7	17,947	55,25	52,25	53,75
570	91	92,25	35	39,5	32,75	1,32	13,7	18,084	56	52,75	54,375
580	91,25	92,5	35	39,75	33	1,32	13,8	18,216	56,25	52,75	54,5
590	91,5	92,75	34,75	39,5	32,75	1,32	13,8	18,216	56,75	53,25	55
600	91,5	93	35,25	39,75	32,5	1,33	13,9	18,487	56,25	53,25	54,75
610	92,25	93,5	35,5	39,75	33	1,33	13,9	18,487	56,75	53,75	55,25

Digital Repository Universitas Jember

620	92,75	93,75	35,25	39,5	32,5	1,33	14	18,62	57,5	54,25	55,875
630	93	94	35,25	39,5	33	1,33	14	18,62	57,75	54,5	56,125
640	92,5	93,75	35,25	39,75	32,75	1,34	14	18,76	57,25	54	55,625
650	93,5	94,75	35,25	40	32,5	1,34	14	18,76	58,25	54,75	56,5
660	93,25	94,75	35,25	40	33,25	1,34	14,1	18,894	58	54,75	56,375
670	93,5	95,25	35,75	40	33	1,34	14	18,76	57,75	55,25	56,5
680	94,25	95,5	35,75	39,75	32,75	1,34	14,1	18,894	58,5	55,75	57,125
690	94,75	95,5	35,5	40	32,75	1,35	14,1	19,035	59,25	55,5	57,375
700	94,75	95,25	35	40	32,75	1,35	14,1	19,035	59,75	55,25	57,5
710	94,75	95,75	35,5	39,5	32,5	1,35	14,1	19,035	59,25	56,25	57,75
720	95	96,25	35,5	39,5	33,25	1,36	14,2	19,312	59,5	56,75	58,125
730	95,75	96,75	35,25	40,25	32,75	1,36	14,2	19,312	60,5	56,5	58,5
740	96	96,75	36	40,25	33	1,36	14,2	19,312	60	56,5	58,25
750	96,25	97	35,5	40,25	33	1,36	14,2	19,312	60,75	56,75	58,75
760	96,25	97,5	35,75	40	32,75	1,36	14,3	19,448	60,5	57,5	59
770	96,5	97,25	35,75	40,25	33	1,36	14,2	19,312	60,75	57	58,875
780	96,75	98	35,75	40	32,75	1,36	14,3	19,448	61	58	59,5
790	97	98	36	40,25	32,25	1,36	14,3	19,448	61	57,75	59,375
800	97	98,25	36,25	40,25	33	1,36	14,3	19,448	60,75	58	59,375
810	97,5	98,5	35,75	40,25	32,75	1,37	14,3	19,591	61,75	58,25	60
820	97	98,5	35,75	40,25	33,25	1,37	14,3	19,591	61,25	58,25	59,75
830	97,25	98,75	36,25	40	33	1,37	14,3	19,591	61	58,75	59,875
840	98	99	35,75	40,25	33	1,37	14,3	19,591	62,25	58,75	60,5
850	97,75	99,25	36,5	40,5	33	1,37	14,3	19,591	61,25	58,75	60

Digital Repository Universitas Jember

860	97,75	99,25	36,25	40,5	33	1,37	14,3	19,591	61,5	58,75	60,125
870	98	99,5	36,25	40	33	1,37	14,4	19,728	61,75	59,5	60,625
880	98,5	99,5	36,5	40,75	33	1,38	14,4	19,872	62	58,75	60,375
890	98,75	99,25	36,25	40,5	33,25	1,38	14,4	19,872	62,5	58,75	60,625
900	99	99,5	36,25	40,5	33	1,38	14,4	19,872	62,75	59	60,875
910	98,5	100,25	36,25	40,25	32,75	1,38	14,4	19,872	62,25	60	61,125
920	98,5	100	36,75	40,5	33	1,38	14,4	19,872	61,75	59,5	60,625
930	99	100	36,25	40,5	33	1,38	14,4	19,872	62,75	59,5	61,125
940	98,75	100,25	36,75	40,5	32,5	1,38	14,4	19,872	62	59,75	60,875
950	99,25	100,5	36,75	40,5	33	1,38	14,4	19,872	62,5	60	61,25
960	99	100,75	36,5	40	33	1,38	14,4	19,872	62,5	60,75	61,625
\bar{X}	80,049	81,0103	34,0258	37,8196	32,5825	1,09907	11,5175	13,9836	46,0232	43,1907	44,607

$D_{in} = 4,2$											
Vreaktan = 34,79 cm/s											
Waktu (S)	Th A (°C)	Th B (°C)	Tc A (°C)	Tc B (°C)	T Air (°C)	Voltase (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	ΔT A (°C)	ΔT B (°C)	$\bar{X} \Delta T_{AB}$ (°C)
0	31,5	31,75	30,25	30,5	32	0	0	0	1,25	1,25	1,25
10	31,75	32	30,25	30,5	32,5	0,05	0,7	0,035	1,5	1,5	1,5
20	33	33,5	30,5	30,75	32	0,12	1,4	0,168	2,5	2,75	2,625
30	34	34	30	30,75	32,5	0,18	2	0,36	4	3,25	3,625
40	37	36,75	30	30,5	32,5	0,24	2,6	0,624	7	6,25	6,625
50	40,25	40,25	30,75	31	32,5	0,28	3	0,84	9,5	9,25	9,375

Digital Repository Universitas Jember

60	42,75	42,25	30,75	31,25	32,5	0,34	3,6	1,224	12	11	11,5
70	44,75	44,5	30,75	31	32	0,39	4,2	1,638	14	13,5	13,75
80	47,25	47	31,25	31,75	32,5	0,45	4,8	2,16	16	15,25	15,625
90	49,75	49,25	31,25	32	32	0,5	5,3	2,65	18,5	17,25	17,875
100	52	51,75	31,5	32,25	32,5	0,54	5,7	3,078	20,5	19,5	20
110	52,75	53,5	31,5	32,75	32	0,59	6,2	3,658	21,25	20,75	21
120	55,25	55	31,75	32,25	32,5	0,63	6,7	4,221	23,5	22,75	23,125
130	57,25	57	32	32,75	32	0,67	7,1	4,757	25,25	24,25	24,75
140	59,25	59	32	33,5	32,25	0,71	7,5	5,325	27,25	25,5	26,375
150	60,75	60,5	32,25	33,75	32,5	0,75	7,9	5,925	28,5	26,75	27,625
160	62,25	62	32,75	34	32,25	0,78	8,2	6,396	29,5	28	28,75
170	64,25	64	32,75	33,5	32,5	0,82	8,6	7,052	31,5	30,5	31
180	65,25	65,75	33	34,5	32,5	0,85	9	7,65	32,25	31,25	31,75
190	67,25	66,5	33	34	32,75	0,88	9,2	8,096	34,25	32,5	33,375
200	68,25	68,25	32,75	34,75	32,5	0,91	9,5	8,645	35,5	33,5	34,5
210	70	70,5	33,75	34,75	32,5	0,93	9,8	9,114	36,25	35,75	36
220	71,25	71,5	33,5	34,5	32,25	0,96	10,1	9,696	37,75	37	37,375
230	72,75	73	33,75	35,5	32,25	0,98	10,3	10,094	39	37,5	38,25
240	73,25	73,75	34	35	32,5	1,01	10,6	10,706	39,25	38,75	39
250	75,25	74,75	34	35,5	32,25	1,03	10,8	11,124	41,25	39,25	40,25
260	75,75	76	34,25	35,75	32,25	1,05	11	11,55	41,5	40,25	40,875
270	77	77,5	34,25	36	32,5	1,07	11,2	11,984	42,75	41,5	42,125
280	78,75	78,25	34,25	36	32,5	1,09	11,4	12,426	44,5	42,25	43,375
290	79,25	79,25	33,75	35,75	32,5	1,11	11,6	12,876	45,5	43,5	44,5

Digital Repository Universitas Jember

300	80,25	80,75	34,25	36,5	32,25	1,12	11,8	13,216	46	44,25	45,125
310	81,5	81,5	34,25	36,75	32,75	1,14	11,9	13,566	47,25	44,75	46
320	82,25	82,25	34,75	36,5	32,25	1,16	12,1	14,036	47,5	45,75	46,625
330	82,75	82,5	34,75	36,25	32,75	1,17	12,2	14,274	48	46,25	47,125
340	83,75	83,75	34,75	36,75	32,25	1,18	12,5	14,75	49	47	48
350	84,75	84,75	34,5	36,25	32,5	1,2	12,5	15	50,25	48,5	49,375
360	85	85	35,25	37	32,5	1,21	12,7	15,367	49,75	48	48,875
370	86	86,25	35,25	37	32,5	1,22	12,7	15,494	50,75	49,25	50
380	86	86,5	35,25	37	32,25	1,23	12,9	15,867	50,75	49,5	50,125
390	87,25	87,25	34,75	37	32,5	1,24	13	16,12	52,5	50,25	51,375
400	88	88	35	36,75	32,5	1,26	13,1	16,506	53	51,25	52,125
410	88,25	88,75	35,25	37,5	32,5	1,27	13,2	16,764	53	51,25	52,125
420	88,75	88,5	35,25	37	32,25	1,28	13,4	17,152	53,5	51,5	52,5
430	89,5	89,5	35,25	37,5	32,5	1,28	13,4	17,152	54,25	52	53,125
440	90	90	35,5	37,5	32,5	1,29	13,6	17,544	54,5	52,5	53,5
450	90	90,5	35	37,25	32,75	1,3	13,6	17,68	55	53,25	54,125
460	91	90,75	36	37,5	32,25	1,31	13,7	17,947	55	53,25	54,125
470	91,25	91,25	35,75	37,75	32,75	1,31	13,7	17,947	55,5	53,5	54,5
480	92,25	92,5	35	37,75	32,5	1,32	13,8	18,216	57,25	54,75	56
490	91,5	92,5	35,5	37,75	32,75	1,32	13,9	18,348	56	54,75	55,375
500	92,5	92,5	36	37,25	32,25	1,33	14	18,62	56,5	55,25	55,875
510	93,5	94	36	38	32,75	1,34	14	18,76	57,5	56	56,75
520	94	94,75	36,25	37,75	32,75	1,34	14,1	18,894	57,75	57	57,375
530	94,75	95,75	36,5	37,5	32,75	1,35	14,1	19,035	58,25	58,25	58,25

Digital Repository Universitas Jember

540	95,5	96,25	36,25	38	32,75	1,35	14,1	19,035	59,25	58,25	58,75
550	96	97	36,25	38,25	32,75	1,36	14,2	19,312	59,75	58,75	59,25
560	96,75	97,5	37	39	32,75	1,36	14,3	19,448	59,75	58,5	59,125
570	97,25	98	36,5	39	32	1,37	14,3	19,591	60,75	59	59,875
580	97,5	98,5	37	39,25	32	1,37	14,3	19,591	60,5	59,25	59,875
590	98,25	99,25	37,25	39,25	32	1,38	14,3	19,734	61	60	60,5
600	98,75	99,25	36,75	39,5	32,5	1,38	14,4	19,872	62	59,75	60,875
610	99,25	99,75	37,25	39,5	32,5	1,38	14,4	19,872	62	60,25	61,125
620	99,75	100,25	37,25	39,5	32,75	1,38	14,4	19,872	62,5	60,75	61,625
630	100,25	100,75	37	39,25	32,75	1,39	14,5	20,155	63,25	61,5	62,375
640	100,5	101,5	37,25	39,25	32,75	1,39	14,5	20,155	63,25	62,25	62,75
650	100,75	101,25	37,75	39,75	32,75	1,39	14,6	20,294	63	61,5	62,25
660	101,25	102	37,75	39,75	32,75	1,4	14,6	20,44	63,5	62,25	62,875
670	101,75	102	38	39,75	33	1,4	14,7	20,58	63,75	62,25	63
680	101,5	102,5	37,5	40	32,5	1,4	14,6	20,44	64	62,5	63,25
690	101,25	102,5	37,75	40	33	1,4	14,7	20,58	63,5	62,5	63
700	101,75	102,75	37,75	40	32,5	1,4	14,7	20,58	64	62,75	63,375
710	102,25	103,25	37,75	40,25	33,25	1,41	14,7	20,727	64,5	63	63,75
720	102,75	103,5	37,75	40,5	32,75	1,41	14,7	20,727	65	63	64
730	102,75	103,5	37,75	40,25	33	1,41	14,7	20,727	65	63,25	64,125
740	103	103	38	40	33	1,41	14,7	20,727	65	63	64
750	103	103,75	38	40,5	32,5	1,41	14,8	20,868	65	63,25	64,125
760	103	103	37,75	40,25	33	1,42	14,8	21,016	65,25	62,75	64
770	102,75	104	37,5	40,5	33	1,42	14,8	21,016	65,25	63,5	64,375

Digital Repository Universitas Jember

780	103,5	104	38	40,5	32,75	1,42	14,9	21,158	65,5	63,5	64,5
790	103,75	103,75	37,75	40	32,5	1,42	14,9	21,158	66	63,75	64,875
800	103,25	104	38,25	40,5	32,75	1,42	14,8	21,016	65	63,5	64,25
810	103	104,25	37,75	40,5	33	1,42	14,8	21,016	65,25	63,75	64,5
820	103,75	104,25	38	40,25	32,75	1,42	14,9	21,158	65,75	64	64,875
830	104	104	38	40,75	32,25	1,42	14,9	21,158	66	63,25	64,625
840	103,5	104,75	38,25	40,5	33	1,42	14,9	21,158	65,25	64,25	64,75
850	104	104,25	38	40,75	32,5	1,43	14,9	21,307	66	63,5	64,75
860	103,5	104,75	38,25	40,25	32,75	1,43	14,9	21,307	65,25	64,5	64,875
870	104,25	104,25	38	40,75	33	1,43	15	21,45	66,25	63,5	64,875
880	104	104,75	37,75	40,25	33	1,43	14,9	21,307	66,25	64,5	65,375
890	104	104,5	38	40,5	32,75	1,43	14,9	21,307	66	64	65
900	104,25	104,75	37,75	40,25	32,75	1,43	15	21,45	66,5	64,5	65,5
910	104,25	104,5	38,25	40,75	33	1,43	15	21,45	66	63,75	64,875
920	104	105	38	40,5	33	1,43	15	21,45	66	64,5	65,25
930	104,25	105	38,25	40	33,25	1,43	15	21,45	66	65	65,5
940	104,25	104,5	38	40	33	1,44	15	21,6	66,25	64,5	65,375
950	104,5	105,25	38,5	40,25	33	1,44	15	21,6	66	65	65,5
960	104,5	105,25	38	40,25	33	1,44	15,1	21,744	66,5	65	65,75
\bar{X}	84,8093	85,1495	35,3814	37,1881	32,5722	1,14021	11,9433	15,0818	49,4278	47,9613	48,6946