



**STUDI KARAKTERISTIK MESIN *VALVELESS PULSE JET*
DENGAN VARIASI SALURAN INLET DAN *OUTLET NYA*
TERHADAP *THRUST* DAN KEBISINGAN**

SKRIPSI

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin**

oleh

Ahmad Sokhib

5212412029

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama Lengkap : Ahmad Sokhib
NIM : 5212412029
Program Studi : Teknik Mesin SI
Judul Skripsi/TA : STUDI KARAKTERISTIK MESIN *VALVELESS PULSE JET* DENGAN VARIASI SALURAN INLET DAN OUTLETNYA TERHADAP *THRUST* DAN KEBISINGAN

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Teknik Mesin SI Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

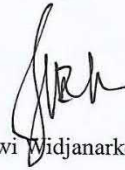
Semarang, 28 Juni 2019

Pembimbing 1,



Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.
NIP.197811052005011001

Pembimbing 2,



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T.
NIP. 196901061994031003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul ” Studi Karakteristik Mesin *Valveless Pulse Jet* Dengan Variasi Saluran *Inlet* dan *Outlet* nya Terhadap *Thrust* dan Kebisingan” telah dipertahankan didepan panitia sidang Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 Bulan Juli Tahun 2019.

Oleh :

Nama : AHMAD SOKHIB
NIM : 5212412029
Program Studi : Teknik Mesin S1

Panitia :

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



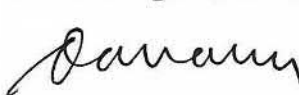
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Penguji Utama



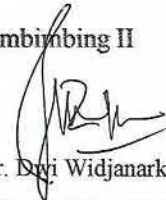
Dr. Ir. Rahmat Doni W, ST, MT, IPP.
NIP. 197509272006041002

Pembimbing I



Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.
NIP. 197811052005011001

Pembimbing II



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., M.T.
NIP. 196901061994031003

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 15 Juli 2019

Yang membuat pernyataan



Ahmad Sokhib

NIM. 5212412029

MOTTO

MOTTO :

- Jadilah dirimu sendiri.
- Tidak penting seberapa lambat anda bergerak selama anda tidak berhenti.
- Orang miskin jadi sukses ada !, orang jelek jadi sukses juga ada !, bahkan orang berkebutuhan khusus jadi sukses pun ada !, yang tidak ada dan tak pernah ada itu adalah orang malas jadi sukses.
- Kabeh kabeh kersane Allah, sugih singgah kersane Allah, sing penting ayo padha ihtiyar, mumpung jagate iseh digelar (kyai Syaikhun).
- Hidup adalah perjuangan, perjuangan adalah pengorbanan, pengorbanan adalah keikhlasan, keikhlasan adalah ruh penggerak kehidupan, ruh penggerak kehidupan adalah indahny menggarap PR surga (Kyai Masyrokhan).

SARI atau RINGKASAN

Ahmad Sokhib.2019. Studi Karakteristik Mesin *Valveless Pulse Jet* Dengan Variasi Saluran *Inlet* dan *Outlet* Nya Terhadap *Thrust* dan Kebisingan. Danang Dwi Saputro, S.T., M.T dan Dr. Dwi Widjanarko, S.pd., S.T., M.T. Skripsi. Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Mesin jet adalah jenis mesin ringan tapi tenaganya besar, Mesin jet tergolong mahal karna kerumitannya, banyak komponennya, dan bahanya yang mahal sehingga hanya bisa dibuat segelintir perusahaan saja. Padahal 100 tahun lalu ada seorang ilmuwan yang menemukan mesin jet yang sederhana dan tidak ada komponennya yang bergerak yaitu mesin bernama *Pulse jet*.

Tujuan untuk mengetahui *thrust* dan kebisingan terbesar mesin *valveless pulse jet* dengan volume ruang bakar $668,66 \text{ cm}^3$ inlet ukuran standart 2,54 cm dengan panjang 35,56 cm serta variasi *outlet* ukuran standart 2,54 cm, 5,08 cm dan 1,52 cm dengan pebandingan udara dan gas 1:1 sampai 1:6. Dasar teori antara lain: efek *kadenacy*, akustik dan elemen *resonansi*, gelombang dan arus dan siklus *lenoir*. Bahan yang digunakan plat dan pipa *stanless stell* ketebalan 0.8 cm, mula-mula bahan bakar gas dan udara diinjeksikan dalam ruang bakar lewat inletnya, kemudian kelistrikan dihidupkan dan busi memercikan api terjadilah proses kerja mesin yang menghasilkan *thrust*, *thrust* pada mesin jet terjadi karna adanya perubahan momentum gas yang mengalir melalui mesin tersebut.

Mesin standart menghasilkan *thrust* dan kebisingan tertinggi 0,491 N dan 60 dB, variasi I 0,588 N dan 63 dB, serta variasi II 0,442 N dan 60 dB. Mesin variasi I paling sempurna pembakarannya dan suhu mesin paling rendah.

Keywords: mesin *valveless pulse jet*, variasi *outlet*, *thrust*, dan kebisingan.

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ Studi Karakteristik Mesin *Valveless Pulse Jet* Dengan Variasi Saluran *Inlet* dan *Outlet* nya Terhadap *Thrust* dan Kebisingan”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang.

Keberhasilan dan kesuksesan Skripsi ini tidak terlepas berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Alm Abah kyai Masrukhan selaku pendiri Ponpes Durrotu Aswaja Gunungpati Semarang yang dulu selalu memberi wejangan kehidupan selama dipondok, Mas kyai Agus Romadhon SAg. Selaku pengasuh Ponpes Durrotu Aswaja Gunungpati Semarang yang selalu mengarahkan dan memotifasi.
2. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Bapak Rusiyanto S.Pd, M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Bapak Samsudin Anis S.T, M.T, Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Bapak Danang Dwi Saputro, S.T., M.T. dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing II yang bijaksana tanpa lelah memberi bimbingan serta perhatiannya dan padat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT. IPP. Selaku dosen penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pernyataan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas skripsi ini.
5. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan banyak ilmunya kepada penulis selama ini.
6. Orang tuaku Subandi dan Rasmi serta saudara-saudara penulis yang selalu memberi dukungan moril serta mendoakanku, membimbing, dorongan semangat, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.

7. Teman-teman TM 2012, Sahabat PMII Unnes, sahabat Ponpes Durrotu Aswaja, dan keluarga Merdeka Futsal yang selalu memberi semangat dan motifasi.

13. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis maupun segenap pembaca tentang mesin *Valveless Pulse Jet*. Penulis mengharap kritik dan saran yang sifatnya membangun dalam penulisan skripsi ini.

Semarang, 15 Juli 2019

Penulis

Ahmad Sokhib

NIM. 5212412029

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO.....	v
RINGKASAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Rumusan Masalah.....	6
1.5. Tujuan Penelitian.....	7
1.6. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1. Kajian Pustaka Penelitian Mesin <i>Pulse Jet</i>	9
2.1.1. Penelitian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	9
2.2. Landasan Teori Penelitian Mesin <i>Pulse Jet</i>	16
2.2.1. Teori Kerja Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	16
2.2.2. Dasar Teori Kerja Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	18
a) Efek <i>Kadenacy</i>	19
b) Akustik.....	20
c) Elemen Resonansi.....	22
d) Gelombang dan Arus.....	25

e) <i>Siklus Lenoir</i>	27
2.2.3. Perhitungan Dalam Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	28
a) <i>Thrust</i> Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	28
b) Intensitas Kebisingan (<i>Noise</i>) Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	29
2.2.4. Kerangka Pikir Penelitian.....	36
2.3. Hipotesis Penelitian.....	37

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	39
3.2 Desain dan Model Penelitian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	39
3.3.1 Model Penelitian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	39
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	40
3.3.1 Rangkain sistem Penyalaan Mesin <i>Pulse Jet</i>	41
3.3.2 Rangkaian Bahan Bakar Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	43
3.3.3 Rangkaian Suplay Udara Kompresor.....	46
3.3.4 Rangkaian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	48
3.3.5 Alat Ukur Pengujian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	49
a. Alat ukur berat otomatis (<i>Digitalmeter</i>).....	49
b. <i>Sound Pressure Level</i> (SPL).....	50
3.4 Parameter Penelitian Kerja Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	50
3.2.1. Alur Penelitian.....	51
3.2.2. Metode Penelitian.....	54
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	55
3.5.1. Langkah-langkah Pengukuran.....	55
3.5.2. Pengujian <i>Thrust</i>	58
3.5.3. Pengujian Intensitas Kebisingan (<i>noise</i>).....	60
3.6 Kalibrasi Alat.....	61
3.7 Analisis Data.....	62

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	63
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Thrust</i> dan Kebisingan Mesin Standart.....	64
4.1.2 Hasil Pengujian <i>Thrust</i> dan Kebisingan Mesin Variasi I Pembesaran	

<i>Outletnya</i>	66
4.1.3 Hasil Pengujian <i>Thrust</i> dan Kebisingan Mesin Variasi II Pengecilan	
<i>Outletnya</i>	68
4.1.4 Perbandingan Semua Hasil Pengujian Pada Jenis Variasi Mesin	
<i>Valveless Pulsejet</i>	71
 BAB V PENUTUP	
5.1 Simpulan.....	74
5.2 Saran.....	75
 DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perbandingan tertinggi hasil pengujian mesin dengan perbandingan campuran BB dan udara.....	57
Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Intensitas Kebisingan dan <i>Thrust</i>	60
Tabel 4.1 Perbandingan hasil pengujian mesin dengan perbandingan campuran bahan- bakar gas LPG dan udara.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Marconnet Valveless Engine</i>	10
Gambar 2.2 <i>German V-1 “Buzz Bomb” Pulse Jet Powered Cruise Missile</i>	12
Gambar 2.3 <i>Valveless Pulse Jet Engine</i>	12
Gambar 2.4 Mesin <i>Chinese Valveless Pulse Jet</i>	13
Gambar 2.5 Mesin <i>Lockwood Prototype</i>	14
Gambar 2.6 Mesin <i>Escopette Valveless Pulse Jet</i>	15
Gambar 2.7 Mesin <i>Focus Wave Energy (FWE) Pulse Jet Engine</i>	16
Gambar 2.8 Prinsip mesin <i>valveless pulsejet</i>	16
Gambar 2.9 Kurva Sinus Ganda Tekanan Suara dan Kecepatan Partikel.....	21
Gambar 2.10 Kurva Sinus Tunggal.....	22
Gambar 2.11 Prinsip gelombang resonator pada <i>Valveless Pulse Jet</i>	24
Gambar 2.12 Siklus <i>Lenoir</i> diagram P-V.....	27
Gambar 2.13 Siklus <i>Lenoir</i> diagram T-S.....	28
Gambar 2.14 Ikatan Atom Senyawa <i>Butana</i> dan <i>Propana</i>	31
Gambar 2.15 <i>Nozzle Converging-Diverging</i>	31
Gambar 2.16 Model <i>Stationary Combustion Wave</i>	34
Gambar 2.17 <i>Hugoniot Curve</i>	35
Gambar 3.1 Dimensional <i>Chinese CS</i> dengan Variasi <i>Diffuser, Inlet</i> dan <i>Geometri Ruang Bakarnya</i>	40
Gambar 3.2 <i>Switch on</i>	41
Gambar 3.3 Busi.....	42
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Spark Plug</i> Modifikasi IC 555.....	42
Gambar 3.5 <i>Adaptor Charger</i>	43
Gambar 3.6 Skema Sistem Penyalaan.....	43
Gambar 3.7 Tabung Gas LPG.....	44
Gambar 3.8 Regulator Gas LPG.....	44
Gambar 3.9 Alat Pengukur Aliran <i>Output</i> Gas LPG (Flow meter).....	45
Gambar 3.10 Selang Gas LPG.....	45
Gambar 3.11 Kompresor.....	46
Gambar 3.12 Selang Kompesor.....	47

Gambar 3.13 Kran.....	47
Gambar 3.14 <i>Flow Meter Udara</i>	48
Gambar 3.15 Rancangan Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i> Beserta Dudukan Mesinya.....	49
Gambar 3.16 <i>Digitalmeter</i>	49
Gambar 3.17 <i>Sound Pressure Level (SPL)</i>	50
Gambar 3.18 Rancangan Skema Sistem Kerja Alat Ukur.....	51
Gambar 3.19 Skema Alur Penelitian.....	53
Gambar 3.20 Diagram Perbandingan Antara Frekuensi Variasi	58
Gambar 3.21 Skema Pengujian Thrust Mesin <i>Valveless Pulse Jet</i>	59
Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian thrust dan kebisingan pada mesin standart.....	64
Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian thrust dan kebisingan pada mesin variasi I pembesaran <i>outlet</i> nya.....	66
Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian thrust dan kebisingan pada mesin variasi II pengecilan <i>outlet</i> nya.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

1. Dokumentasi Pengambilan data lapangan.....	77
---	----

77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dimasa sekarang, seiring berkembangnya zaman yang serba cepat dan praktis, kegiatan manusia disegala sektor dituntut cepat tak terkecuali disektor industri dan transportasi salah satunya transportasi udara, mesin *jet* sudah menjadi mesin penopang utama mobilitas transportasi dan industri dunia, mesin *jet* tergolong mesin propulsi yang menghasilkan *thrust*, *thrust* pada mesin *jet* terjadi karena adanya perubahan momentum gas yang mengalir melalui mesin tersebut. Mula-mula udara dari luar masuk kedalam ruang bakar dan bercampur dengan bahan bakar kemudian dibakar. Gas hasil pembakaran kemudian keluar melalui nozel dengan kecepatan yang relatif tinggi, makin tinggi perbedaan *momentum* antar gas masuk dan keluar mesin, makin besar pula *thrust* yang dihasilkan.

Di dunia ini ada dua golongan mesin *jet*, yaitu mesin yang bernapas dengan udara (*air breathing engine*) dan motor roket. Yang termasuk dalam mesin yang bernapas dengan udara misalnya *ram jet*, *pulse jet* dan *turbo jet*. Dimana mesin *jet* adalah mesin yang bentuknya kecil dan ringan tapi tenaganya besar, alhasil bisa dipakai diruangan yang terbatas sangat cocok dipakai untuk pembangkit listrik *portable* di industry dan sebagai penggerak pesawat terbang karena beratnya yang ringan serta tenaga besar sehingga mesin *jet* sangat cocok untuk penggerak pesawat terbang.

Seperti kita ketahui pesawat terbang adalah kendaraan yang sangat cocok sebagai transportasi jarak jauh, cepat, dan efisien dalam segi waktu untuk membantu mobilitas manusia, pengantar hewan dan barang secara cepat dan jarak jelajah yang jauh antar daerah, antar pulau, antar negara, bahkan sampai antar benua sekalipun.

Mesin *jet* tergolong mesin yang mahal karena kerumitannya, banyak komponennya, *thrust*nya yang tinggi dan bahannya yang mahal sehingga hanya bisa dibuat segelintir perusahaan saja, padahal 100 tahun lalu ada seorang ilmuwan yang menemukan mesin *jet* yang sederhana dan tidak ada komponennya yang bergerak dan bisa dibuat secara mudah dengan bahan yang mudah didapatkan disekitar kita, yaitu mesin bernama *Pulse jet* (Karthick, 2014;56).

Pulse jet engine adalah sejenis mesin *jet* yang konstruksinya sangat sederhana dan pembakarannya berlangsung secara *intermittent* (hidup-mati-hidup-mati), sesaat-sesaat dengan frekuensi tertentu. Mesin ini tidak menggunakan kompresor, turbin dan ada atau tanpa katup (Patel, 2013;1). Dari pancaran gas buang yang *intermittent* ini dapat dihasilkan thrust untuk menggerakkan sesuatu. Ada 2 jenis mesin *pulse jet* yaitu *valved pulse jet* dan *valveless pulse jet*.

Valved pulse jet mempunyai katub-katub yang dipergunakan untuk mengatur aliran gas dan mengarahkan seluruh gas panas menuju pipa pembuangan. Gas panas yang mengembang tidak bisa mengalir kearah pipa isap karena dihalangi oleh katub. Kekurangan dari mesin *jet* ini adalah katub cepat rusak oleh suhu tinggi dan getaran tinggi di dalam ruang bakar dan tidak

bisa dipaksa maksimal pembakarannya, sehingga varian tanpa katub lebih menarik.

Valveless pulse jet sama sekali tidak memiliki katub tersebut. Saat terjadi pembakaran, gas panas akan berekspansi keluar melalui saluran buang dan sebagian juga akan keluar melalui lubang pemasukan udara. Dalam kaitannya dengan *thrust*, hal tersebut tidak menjadi masalah karena hembusan melalui lubang isap juga mengarah ke belakang. Dengan demikian hasilnya tetap mengarah ke depan, salahsatu keuntungan dari mesin varian ini adalah tidak ada komponen yg bergerak dan aus serta bisa dipaksa secara maksimal pembakarannya.

Keuntungan mesin *Pulse jet* dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan pendorong berbagai jenis kendaraan mulai dari pesawat, helikopter, roket, misil jelajah, sepeda balap, kapal *boat* dll. Karena *pulsa jet* sangat sederhana jika dibandingkan dengan turbin gas. Di dunia olahraga khususnya olahraga *aeromodallyng* masih banyak menggunakan pesawat control dengan mesin piston dan listrik sebagai penggerak baling-baling penghasil *thrust* untuk menerbangkan pesawatnya, yang mana harga mesin pesawat mini harganya masih tinggi serta perawatan yang mahal belum lagi kopolen penunjang system pesawat *aeromodallyng* tersebut, sehingga olahraga ini tergolong olahraga mahal.

Dalam kaitannya dengan dunia otomotif kendaraan ringan darat maupun laut, mesin *pulsejet* bisa digunakan untuk menggantikan mesin piston motor karena *thrustnya* yang tinggi dan bentuknya yang sederhana serta

sangat ringan mesinnya, sehingga bisa jadi alternative mesin pengganti mesin piston yang umum dipasaran sekarang ini.

Dalam segi biaya mesin *pulsejet* sangatlah menguntungkan dari mesin piston sederhana dan *turbojet*, harga mesin *pulsejet* sangatlah murah daripada mesin piston sederhana dengan *output* yang sebanding, sedangkan harga mesin *turbojet* lebih mahal dari mesin piston.

Dalam dunia *alutsista* pertahanan di Indonesia dibawah kepemimpinan Presiden Jokowi sekarang sedang gencar-gencarnya mengembangkan alat-alat pertahanan. Salah satunya peluru kendali, dan misil jelajah berpandu. Dalam pengembangan peluru kendali untuk sasaran di udara, diperlukan suatu sasaran yang bisa terbang sebagai sarana untuk pengetesan ketelitian kendali yang dikenal sebagai *target drone*. Dalam pemakaian sasaran atau *target drone* masih menggunakan pesawat *control* yang umum dijual dipasaran yang harganya masih tergolong mahal dan hanya bisa digunakan sekali pakai, sehingga biaya yang harus dikeluarkan sangat banyak dalam sekali pengujian peluru kendali.

Pada misil jelajah berpandu dibutuhkan mesin *jet* yang ringan dengan *thrust* yang besar agar bisa menjelajah jangkauan yang jauh serta harga yang murah karena untuk sekali pakai, sehingga varian mesin *pulse jet* sangat tepat karena biaya yang murah serta bisa dipaksa pembakarannya sampai batas akhir mesin tersebut alhasil *thrust* pembakarannya besar dan menghasilkan jangkauan jelajah yang jauh.

Dalam mesin *valveless pulse jet* salah satu masalah yang terjadi adalah pada saluran *inletnya* dikarenakan saluran ini sangatlah penting

yangmana merupakan jalan masuk serta pencampuran bahan bakar dan udara oksigen, jika saluran *inlet* terlalu besar dan panjang dari saluran *outletnya* maka bahan bakar dan udara tidak tercampur secara homogen dan saat pembakaran terjadi maka gas akan banyak keluar lewat saluran *inlet* dikarenakan saluranya terlalu besar yg seharusnya gas pembakaran keluar lewat saluran *outlet* agar bisa membantu proses pembakaran kembali.

Masalah yang kedua pada *outletnya* sangat berpengaruh dalam desain perancangan mesin ini karena berakibat langsung pada pembakaran, kebisingan akibat dari hasil pembakaran dan *thrust* hasil dari kerja mesin, sehingga variasi saluran ini sangatlah penting untuk menghasilkan *thrust* yang terbaik.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan di atas maka dapat diidentifikasi masalah yang ada dengan cara sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi terbaik *outlet* mesin *jet* sehingga bisa menghasilkan *thrust* yang besar dengan suara kebisingan serendah mungkin.
2. Volume mesin juga berpengaruh erat pada pembakaran, *thrust*, kebisingan dan juga konsumsi bahan bakar.
3. Bagaimana variasi terbaik saluran *inlet* dan *outletnya* sehingga membuat kesetabilan pembakaran pada mesin *valveless pulse jet* sebagai objek penelitian.
4. Karena mesin ini tanpa pendinginan jadi dinding mesin bersuhu tinggi bisa mencapai 700 °C.

5. Penggunaan bahan bakarnya terbatas pada bahan bakar cair dan gas saja.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini perlu diambil batasan masalah untuk perubahan desain mesin *valveless pulse jet* yang berkaitan dengan hal-hal sebagai berikut:.

1. Pada penelitian ini menggunakan bahan bakar gas elpiji yang ringan, nilai kalornya tinggi dan hasil pembakarannya bersih.
2. Pada pembuatan mesinnya menggunakan bahan plat besi *stainless steall* yang tahan panas tinggi dan ringan dari plat besi baja.
3. Pada pembuatan geometri ruang bakarnya dengan panjang 7,62 cm dan lebar 7,62 cm.
4. Pada pembuatan mesin memvariasi saluran *inlet* dengan satu lubang saluran dengan diameter 2,54 cm.
5. Pada pembuatan saluran *outletnya* dengan diameter 2,54 cm, panjang 35,56 cm, dan variasi pertama pembesaran ujungnya sebesar diameter 5,08 cm dan variasi kedua sebesar diameter 1,52 cm.
6. Pada pengujian mesin dibatasi pada pencampuran bahan bakar gas dan udara yang paling ideal yaitu pada perbandingan 1:1 sampai 1:6.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka rumusan masalah utama yang akan dikaji pada penelitian tahap ini adalah :

1. Dengan pembuatan mesin *valveless pulse jet* dengan standart *inlet* ukuran 2,54 cm dan *outlet* ukuran standart 2,54 cm kita akan mengetahui berapa *thrust* dan kebisingan standart mesin.
2. Dengan perubahan mesin *valveless pulse jet* dengan variasi pertama dengan *inletnya* berdiameter 2,54 cm dan variasi pembesaran ukuran ujung *outletnya* berdiameter 5,08 cm kita akan mengetahui berapa *thrust* dan kebisinganya.
3. Dengan perubahan mesin *valveless pulse jet* dengan variasi kedua dengan *inletnya* berdiameter 2,54 cm dan variasi pengecilan ukuran ujung *outletnya* berdiameter 1,52 cm kita akan mengetahui berapa *thrust* dan kebisinganya.
4. Dalam pengujian pada tiga jenis variasi mesin akan didapatkan berapa *thrust* dan kebisingan tertinggi dan pada salah satu variasi mesin apa.

1.5 Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian ini dalam kaitannya dengan perubahan desain mesin *valveless pulse jet* adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya *thrust* dan kebisingan mesin *valveless pulse jet* dengan *inlet* ukuran standart 2,54 cm dan *outlet* ukuran standart 2,54 cm dengan panjang 35,56 cm.
2. Mengetahui besarnya *thrust* dan kebisingan mesin *valveless pulse jet* dengan *inletnya* berdiameter 2,54 cm dan variasi pembesaran ukuran ujung *outletnya* berdiameter 5,08 cm.
3. Mengetahui besarnya *thrust* dan kebisingan mesin *valveless pulse jet* dengan *inletnya* berdiameter 2,54 cm dan variasi pengecilan ukuran ujung *outletnya* berdiameter 1,52 cm.

4. Mengetahui besarnya *thrust* tertinggi dari perbandingan hasil semua pengujian pada jenis variasi mesin *valveless pulsejet*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari diadakanya penelitian ini antara lain adalah :

1. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan menambah wawasan bagi pembacanya tentang jenis mesin *jet* tipe *valveless*, penelitian ini dapat dijadikan model pembelajaran yang mempelajari tentang mesin *jet* khususnya mesin *valveless pulsejet*. penelitian ini dapat dijadikan sebagai *database* sehingga diharapkan ada penelitian dan pengembangan selanjutnya terkait dengan mesin *pulsejet*.

2. Bagi Kepentingan Keteknikan

Penerapan penelitian ini dapat dipergunakan untuk tugas-tugas yang berakhir dengan rusaknya mesin dan pengganti mesin *drone* jenis piston, listrik dan *turbojet* yg lebih mahal, misalnya sebagai misil jelajah berpandu (*guided cruise missile*) dan pesawat dengan sasaran latihan tembak (*target drone*).

Dengan keterbatasan dana, penelitian ini belum sampai pada penggunaan praktis mesin *pulse jet* yang lebih jauh, sehingga penelitian tahap ini akan difokuskan pada perubahan desain geometri volume ruang bakar dan *outletnya*, efek yang dihasilkan dari kerja mesin *pulsejet* berupa suara kebisingan terhadap *thrustnya*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Penelitian Mesin *Pulse Jet*

2.1.1. Penelitian Mesin *Pulse Jet*

Ditinjau perkembangannya, banyak manusia dibumi memimpikan dirinya bisa terbang dilangit seperti burung, dan banyak dari mereka telah berupaya mewujudkannya tapi banyak pula yang gagal, salah satu ilmuwan besar yang membuat temuan revolusioner Sir Isaac Newton dengan hukum ketiganya yaitu "untuk setiap aksi pasti sama dengan reaksinya" (*Rolls-Royce plc .1996;2*) telah mengubah khayalan menjadi kenyataan sehingga pengembangan konsep pertama kali " mesin *pulsed jet*" dimulai untuk dipublikasikan pada tahun 1882 oleh Nikolai Egorovich Zhukovsky, serta merupakan referensi pertama untuk "*Vapour Pulse Jet*".

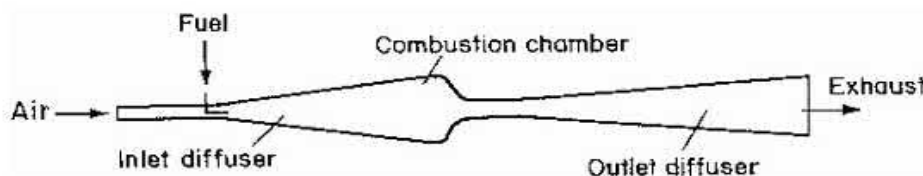
Subjek tulisan tersebut dikembangkan dalam dua edisi yaitu tahun 1885 dan 1908. Metode ini umumnya digunakan untuk determinasi dari gerak bodi dan fluida yang terkandung didalamnya, beliau meneliti "*Helmholtz's problem*" dan mengujinya dengan masalah baru dari gerak fluida dalam tabung tertutup. Beliau mempelajari di akhir masalahnya dengan pengujian dari teori pipa *Poiseulle*, dan solusi itu diverifikasi dengan pengujian perlakuan khusus untuk kinerja dari gerak *fluida* dari Zamyatina oleh (Patel, 2013;1).

Penyelidikan terhadap *pulse combustion engine* pada awalnya dipelopori oleh *Advanced Research Project Agency* (DARPA) untuk

mengeksplorasi skalabilitas dari mesin tersebut, terutama *propulsi Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Parameter desain dari *pulse jet* ini tidak secara keseluruhan diteliti dan berbagai persamaan belum dikembangkan sebagai skala untuk desain *jet* untuk dapat dijadikan pedoman penelitian selanjutnya dari (Callay, 2006;1).

Pada tahun 1906, *Engineer* berkebangsaan Rusia bernama Vladimir V. Karavodin bereksperimen dengan *pulse jet* dalam dasar penelitian untuk menemukan efek dari variasi panjang tabung dan diameter dalam siklus kerja *pulse jet*, stabilitas dan hasil produk. Tabung *jet* yang digunakan harus lurus dan diameternya konstan. Beliau kemudian mematenkan untuk “*air breathing pulse-jet engine*”. Di tahun 1907 beliau kembali meneliti kerja mesin yang berbasis pada invensinya dari Gwynn, 2005 oleh (Patel, 2013;1).

Peneliti Prancis Marconnet di tahun 1908 meneliti pada system *control volume* udara masuk dengan ekspansi yang terjadi pada *output* nosel tanpa menggunakan katup atau piston melainkan menggunakan efek *kadenacy* berbentuk kerucut sebagai penghasil *jet*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini (Kailasanathan,2007:2).



Gambar 2.1 *Marconnet Valveless Engine*(Kailasanathan,2007:2).

Mesin *pulse jet* pertama kali dibuat dan di aplikasikan di pesawat terbang pada tahun 1891. Sejarah mencatat pengoprasian di beberapa aplikasi, termasuk kendaraan militer tak berawak, pengembangan rudal

awal, dan penelitian lepas landas dan pendaratan vertikal (VTOL), penemuan *Pulse jet German V-1 Missile* diproduksi. Rudal ini adalah kendaraan bertenaga *pulse jet* yang diproduksi dalam jumlah terbesar dengan sekitar 30.000 unit yang diproduksi. Rudal V-1 menggunakan mesin *pulse jet valved* dan selama pengujian kegagalan signifikan V-1 terbang tak lebih dari 20 menit dari Goeble 2003. Di zaman modern banyak pengembangan mesin *pulse jet* berasal dari model pesawat hobi, karena harganya murah. Mesin *Pulse jet* telah menarik bagi produsen komersial selama beberapa periode sejarah. *Pulse jet* telah digunakan secara komersial dan untuk militer sebagai alat penggerak untuk pesawat tak berawak (Anderson, 2008;7).

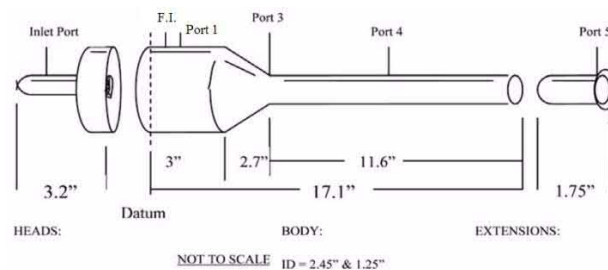
Kemudian temuan yang dilakukan oleh peneliti manufaktur Jerman Paul Schmidt, lalu dikembangkan Argus, di tahun 1939. *Pulse jet* tersebut menggunakan seri “*one-way valves*” dalam saluran masuk bagian akhir dari tabung saluran masuk dengan volume udara yang dicampur dengan bahan bakar dengan dikabutkan sebelum pembakaran dimana tujuannya diutamakan untuk *ignisi*. Dari zaloga dan reynst, berpendapat *jet* menggunakan power V-1 “*Buzz Bomb*” pada Gambar V-1 menandai keberhasilan pertama mesin *pulse* sebagai penggerak dengan kebisingan 50 Hz dan menghasilkan thrust 800 lbs dorong pada ketinggian 300 ft pada kecepatan jelajah 400 mph dan memiliki massa 4750 lbs (Callay, 2006 dan Patel, 2013;1).



Gambar 2.2 German V-1 “Buzz Bomb” Pulse Jet Powered Cruise Missile

(westberg, 2000;19)

Pada penelitian mesin *valveless* yang dilakukan di *Carolina State University* telah membahas analisis mesin pada kekuatan knalpot *valveless*, yang dikenal sebagai *jet Schubert*, Gambar 2.3, dengan panjang dan diameter pipa asupan dan knalpot yang bervariasi. *Jet Schubert* dikenal karena kemudahan pembuatannya, namun *thrustnya* rendah dan konsumsi bahan bakar lebih yang tinggi.

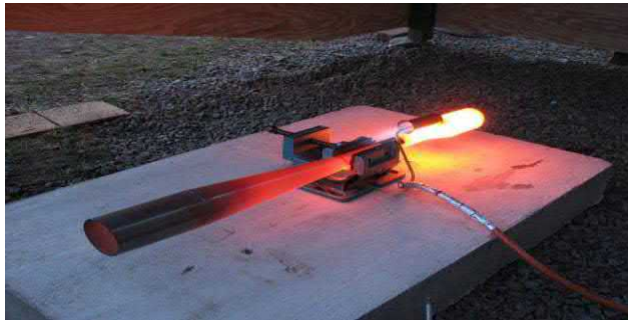


Gambar 2.3 Valveless Pulse Jet Engine (*Carolina State University*)

(Anderson, 2008;19).

Pada tahun 1960 dikembangkan mesin *chinese pulse jet* oleh *manufacturing CS*, dan juga seorang perancang mesin 2 langkah dari shanghai. Dalam pembuatannya ditandai dengan knalpot ekor dan ruang bakar yang meluas Gambar 2.4. *CS* memproduksi dua mesin yang dijual secara komersial, yang mana dirancang agar dapat bergerak pada bahan

bakar gas. Dan pada tahun 1993 dikembangkan oleh penghobi dengan bahan bakar bensin (Anderson, 2008;21).



Gambar 2.4 Mesin *Chinese Valveless Pulse Jet* (Anderson, 2008;21)

Mesin disederhanakan dalam desainnya, dengan knalpot dan *inlet*nya menghadap kebelakang untuk menciptakan dorongan kearah belakang. Tidak ada analisis penelitian yang digunakan dalam desain khusus ini, namun konsumsi bahan bakar antara keduanya telah dicatat oleh penghobi sebesar 3kg/jam dan 6 kg/jam dengan besar dorongan yang terjadi sebesar antara 3 N dan 5 N telah tercapai (Anderson, 2008;22).

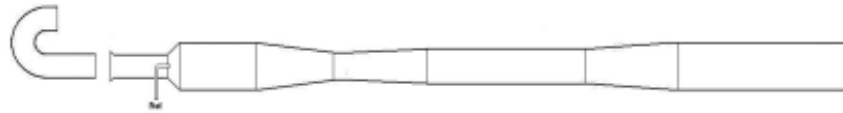
Mesin *Lockwood* telah menjadi mesin *valveless pulse jet* paling sukses yang pernah ada yang tercatat dalam sejarah. Mesin berbentuk U, dengan knalpotnya melingkar sekitar 180 derajat untuk menggerakkan baik *inlet* dan *outlet*nya kearah belakang. Meskipun mesin itu diteliti antara tahun 1960an sebagai penggerak untuk pesawat lepas landas dan pendaratan vertikal (VTOL). Namun perlu dicatat bahwa konsumsi bahan bakar mendekati 5 kg/jam dan hasil dorongan 300 lbs (Gambar 2.5), tapi terbukti hanya 25 % dari yang diklaim, dan performa aerodinamis mesin buruk dibanding jenis *Chinese* dan FEW (Anderson, 2008;22).



Gambar 2.5 Mesin *Lockwood Prototype* (Anderson, 2008;22)

Pada tahun 1950 mesin *Escopette* dikembangkan oleh lembaga penelitian Prancis SNECMA (*Societe Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation*). Mesinnya yang pertama dikembangkan dengan asupan udara menghadap ke belakang, dan dengan bagian yang meluas di knalpot. Saluran *inlet*nya ada dua jenis yang segaris, satu *inlet* untuk mencampur bahan bakar dengan udara, dan yang satu melengkung gunanya untuk mengarahkan hasil pembakaran yang mengalir ke *inlet* mengarah kebelakang 180 derajat.

Interaksi dan waktu gelombang ini sangat penting untuk pengoperasian mesin (Gambar 2.6). Desain mesin yang unik berarti mengisap dua kali untuk setiap siklus ekspansi, dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah udara dingin yang ditarik ke bagian knalpot. Ini meningkatkan massa udara di knalpot dan dengan demikian memungkinkan energi dari Proses pembakaran bisa dikonversi lebih efisien menjadi dorong. Mesin asli menghasilkan 108 N dorong, dengan konsumsi bahan bakar 19,8kg / Jam. Namun mesin sangat panjang di atas 2.60 cm (Anderson, 2008;24).



Gambar 2.6 Mesin *Escopette Valveless Pulse Jet* (Ogorelec, 2005;13)

Pada tahun 2001, Toshihiro meneliti desain dan efisiensi yang sederhana membuat mesin *pulse jet* menarik untuk aplikasi operasi jangka pendek *aeronautika*. Dengan sistem kontrol aktif memperluas jangkauan operasi dan mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan sehingga teknologi lama ini dapat memperoleh minat kembali. Hasil percobaan terowongan angin telah dilakukan menunjukkan dampak arus eksternal pada operasi *pulse jet*. Dorongan mesin dengan katub menurun efek meningkatnya kecepatan terbang.

Tekanan *stagnasi* yang tinggi di depan saluran masuk mengubah aliran udara menjadi arus yang mantap sehingga efek yang didapat oleh kapasitas kompresi pembakaran gas di pipa ekor semakin hilang. Kontrol laju udara masuk yang digunakan untuk mencekik aliran masuk meningkatkan thrust, memperluas jangkauan operasi membuat mesin *ram jet* (pembukaan *inlet*, pembakaran tetap) dan operasi roket (penutupan *inlet*, aliran tetap) mungkin terjadi. Menggunakan *pulse combustion* dengan *inlet flow control* mengurangi konsumsi bahan bakar paling sedikit 20% (Anderson, 2008;20).

Pada tahun 2007, Coombes dan kawan-kawan melakukan pengujian di Universitas Adelaide focus pada *wave energy* mengenai penyimpangan pengujian mesin *valveless pulse jet* yang berpengaruh pada asupan dan panjang knalpot. Pada penelitian tersebut bertujuan untuk

menciptakan mesin yang mampu menghasilkan 3kg thrust, dengan bobot mesin di bawah 2kg dengan hasil pengujian dorongan statis sebesar 2,392 kg dengan panjang total mesin 103,5 cm (Anderson, 2008;20).

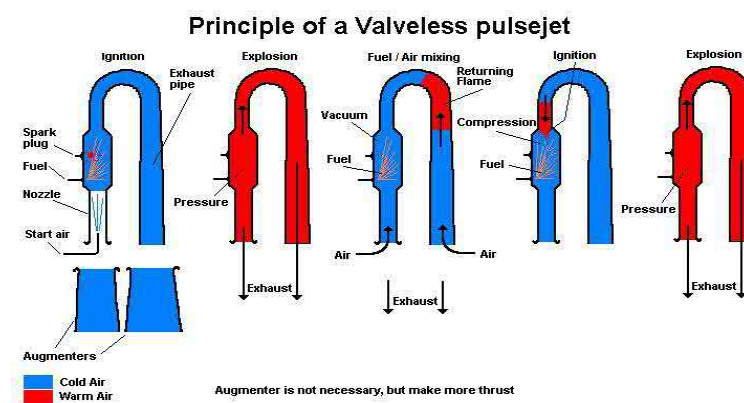


Gambar 2.7. Mesin *Focus Wave Energy (FWE) Pulse Jet Engine* (Ogorelec, 2005;24)

2.2 Landasan Teori Penelitian Mesin *Pulse Jet*

2.2.1. Teori Kerja Mesin *Valveless Pulse Jet*

Mesin *valveless pulse jet* memiliki bagian-bagian utama yaitu: pipa buang, pipa isap, rang bakar, *injector* bahan bakar dan busi. Cara kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Prinsip mesin *valveless pulsejet* (Karthick, 2014;57)

- a) Bahan bakar dialirkan secara kontinyu ke dalam ruang bakar. Penyalaan awal dilakukan dengan busi. Untuk mempermudah *start*, pada awalnya udara bias dari kompresor dihembuskan keruang bakar. Pada saat pembakaran terjadi di dalam ruang bakar terbentuk gas panas bertekanan tinggi (Callay, 2006 dan Patel,2013;3).
- b) Gas ini akan menghembus keluar melalui dua arah. Sebagian besar akan melalui lubang buang dan sebagian lagi melalui lubang isap. Setelah gas mengembang dan mengalir keluar, tekanan di dalam ruang bakar akan turun. Karena efek *inersia*, aliran gas tidak bisa berhenti dengan mendadak sehingga penurunan tekanan akan berlangsung terus walaupun tekanan dalam ruang bakar sudah lebih rendah dari tekanan udara luar.
- c) Proses ini tidak berlangsung lama, aliran akan segera membalik dan udara akan segera masuk menuju ruang bakar melalui 2 saluran tersebut diatas. Udara akan mengalir melalui saluran isap dengan cepat mengisi ruang bakar dan bercampur dengan bahan bakar. Tekanan di dalam ruang bakar akan cepat naik. Kenaikan ini hanya rendah saja, paling tinggi tekanan di dalam ruang bakar hanya mencapai 1,2 kali tekanan atmosfer. Di dalam mesin *turbojet* tekanan di dalam ruang bakar bisa mencapai 30 kali tekanan atmosfer.
- d) Saluran pembuangan dibuat lebih panjang dari saluran isap. Saat terjadi pembalikan aliran gas panas belum seluruhnya keluar dari saluran pembuangan. Sisa gas ini terdorong kembali masuk ke dalam ruang bakar dan menyalakan bahan bakar yang baru saja terisap masuk melalui saluran isap dan siklus akan berulang kembali. Dengan adanya gas panas

yang berperan sebagai sumber penyalaan tersebut, busi tidak diperlukan lagi.

Mesin ini begitu sederhana sehingga sangat menarik untuk tujuan-tujuan tertentu. Kelebihan dari mesin ini adalah konstruksinya sangat sederhana sehingga pembuatannya mudah dan biaya pembuatannya sangat rendah. Selain itu mesin ini juga mempunyai *thrust to weight ratio* yang tinggi.

Tingginya *thrust to weight ratio* ini sangat menarik untuk penggunaan yang membutuhkan minimalisasi bobot, misalnya untuk penggerak pesawat terbang. Jerman sudah membuktikan alat ini di Perang Dunia II sebagai penggerak bom terbang V1. Tentunya bukan hanya kelebihan saja yang dicermati, kelemahan dan kekurangan dari mesin ini menyebabkan penggunaannya terbatas. Kekurangan yang utama dari mesin *pulse jet* ini adalah tingkat kebisingannya yang tinggi, efisiensi yang rendah dan umur operasional yang pendek sehingga tidak terlalu menarik untuk penggunaan komersial. Selama ini mesin *pulse jet* hanya dipergunakan untuk tujuan militer dan hobi *aeromodeling*.

2.2.2. Dasar Teori Kerja Mesin *Valveless Pulse Jet*

Dalam membangun desain mesin yang sebenarnya, terlebih dahulu diperhatikan beberapa dasar teori antara lain: Efek *kadenacy*, akustik dan elemen *resonansi*, gelombang dan arus dan siklus *lenoir*. Salah satu aspek yang perlu ditekankan adalah teori akustik dan mekanika fluida yang mana mendukung konsep utama dari mesin *pulse jet*. Dimana teori ini akan

membantu dalam memahami gambaran konsep *pulse jet* secara sederhana dari mekanisme yang sangat kompleks dalam mesin ini.

a) Efek *Kadenacy*

Dalam menjelaskan siklus kerjanya yaitu bagaimana *inersia* bergerak terus menerus mendorong gas pembakaran keluar dari mesin dan menyebabkan sepanjang saluran ruang bakar turun dibawah tekanan atmosfer. Lalu hal yang selanjutnya sebaliknya terjadi di bagian lanjutan siklus, yang mana ketika saluran ruang bakar turun, seketika udara luar mendorong untuk mengisi kevakuman yang terjadi. Momentum sangat cepat dikarenakan adanya gabungan gas yang mengalir melalui dua *port* yang menyebabkan udara didalam ruang bakar meningkat tekanannya diatas atmosfer sesaat sebelum pengapian terjadi (Ogorelec, 2005;8).

Pada prosesnya terjadi *inersia*, siklus terus berlanjut yang menyebabkan gas hasil pembakaran serta gas campuran bahan bakar dan udara meregang bertemu diruang bakar. Akibatnya, gas tersebut memiliki sifat elastis seperti karet. Inilah yang disebut efek *kadenacy*. Karakter elastis gas digunakan untuk menyimpan sebagian api sisa pembakaran digunakan untuk siklus pembakaran berikutnya. Energi yang tersimpan memiliki perbedaan tekanan (*partial vacuum*) membuat aspirasi (penggantian gas yang terbakar dengan campuran bahan bakar dan udara murni) mungkin terjadi. Mesin *pulse jet* tidak akan berhasil tanpa adanya hal diatas (Ogorelec, 2005;8).

b) Akustik

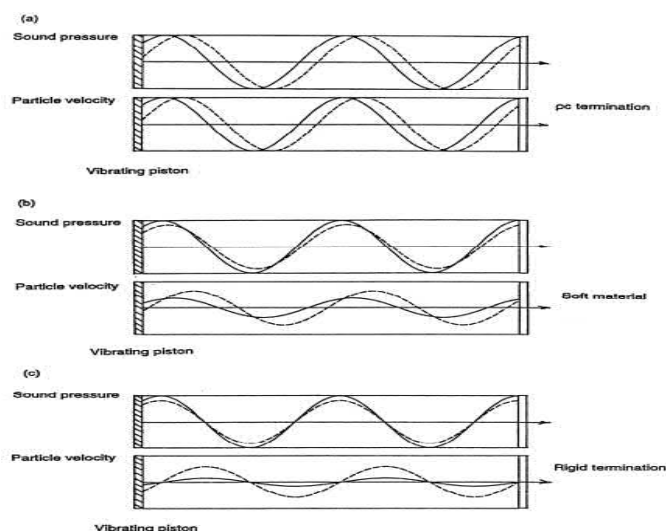
Pada kinerja mesin *pulse jet* terdapat proses *input* yang memiliki hubungan erat dengan akustik. Indikasi yang terjadi adalah adanya *resonansi* akustik balik dengan ayunan tekan dimana timbulnya ledakan di ruang bakar menghasilkan gelombang tekan yang masuk ke tabung mesin dan udara di dalam tabung mesin dilustrasikan seperti ring dengan bunyi lonceng terkena palu. Gelombang bertekanan mengalir ke atas dan bawah tabung (Ogorelec, 2005;8).

Ketika bagian depan gelombang mencapai pada ujung tabung yang menuju ke saluran buang yang luasnya menyempit sehingga terjadi benturan udara dan membentuk “*standing wave*”. Suara yang terdengar seperti gemuruh pada *pulse jet* disebut generator suara. Faktanya bahwa kebisingan yang terjadi tidak dapat dihindari dimana kebisingan yang timbul dapat memekakkan telinga dikarenakan penyebaran getaran suara ke segala arah pada daerah batas antara ruang bakar dengan saluran buang. Secara grafis, gelombang vertikal yang timbul dalam siklus kerja mesin *jet* dapat ditunjukkan oleh kurva sinus ganda (Ogorelec, 2005;8).

Pada kurva sinus ganda untuk tekanan suara dan kecepatan partikel terdapat 3 kondisi batas (*termination*) yang terjadi pada kecepatan partikel yaitu *pc termination*, *soft material* dan *rigid termination* seperti pada Gambar 2.9. Pada Kondisi *pc termination* terjadi pada saat kurva sinus ganda untuk tekanan suara dan kecepatan partikel sama-sama terbentuk secara berimbang dimana satu gelombang vertikal yang bergerak kemudian disusul gelombang vertikal lainnya. Kondisi *soft material* terjadi

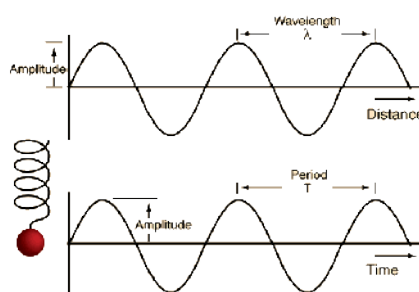
saat gelombang vertikal pada kurva sinus ganda tekanan suara terbentuk saling berhimpitan dengan salah satu amplitudo gelombang vertikalnya lebih rendah dari lainnya sedangkan gelombang vertikal pada kurva sinus ganda kecepatan partikel terbentuk setengah dari gelombang vertikal kurva sinus ganda tekanan suara(Ogorelec, 2005;8).

Kondisi *rigid termination* terjadi saat gelombang vertikal pada kurva sinus ganda tekanan suara bergerak bersamaan akan tetapi salah satunya amplitudo gelombang vertikalnya lebih rendah dari lainnya sedangkan gelombang vertikal pada kecepatan partikel setengah dari gelombang vertikal tekanan suara dan gelombang vertikal yang lain berhimpit dengan garis kesetimbangan. Pada pengoperasian mesin *pulse jet* termasuk dalam kondisi *pc termination* dimana getaran dari piston (*vibrating piston*) merambat ke saluran terbuka yang menghasilkan gelombang vertikal penuh.



Gambar 2.9 Kurva Sinus Ganda Tekanan Suara dan Kecepatan Partikel (Sumber: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/consider-following-graph-showing-two-sine-wave-signals-like-saw-microphones-positioned-fro-q879123>)

Hal yang sama dapat dilihat dari kurva sinus tunggal pada siklus *pulse jet* dimana perubahan tekanan gas dan kecepatan gas dalam mesin *pulse jet* dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.10. Dari kurva sinus tunggal ini menunjukkan bahwa titik tekanan yang tertinggi pada salah satu bagian dari siklus akan menjadi tempat yang terendah bagi titik kecepatan dan begitu pula sebaliknya. Perubahan tekanan dan perubahan kecepatan gas yang terjadi tidak sama antara satu dengan lainnya. Jika seluruh siklus digambarkan sebagai sebuah lingkaran dengan sudut 360 derajat, maka kurva kecepatan akan diperhitungkan dari kurva tekanan sebesar 90 derajat atau seperempat kali lingkaran penuh. *Resonansi* tersebut membentuk pola tekanan dan kecepatan gas di saluran mesin yang menjadikan karakteristik khas dari *pulse jet* dan tidak ditemukan pada mesin *jet* lainnya (Ogorelec, 2005;8).



gambar 2.10 Kurva Sinus Tunggal (Sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/funhar.html>)

Ketika mempertimbangkan desain *pulse jet* ini sebaiknya dapat diingat bahwa mesin-mesin diatur oleh interaksi yang kompleks termodinamika fluida dan akustik.

c) Elemen *Resonansi*

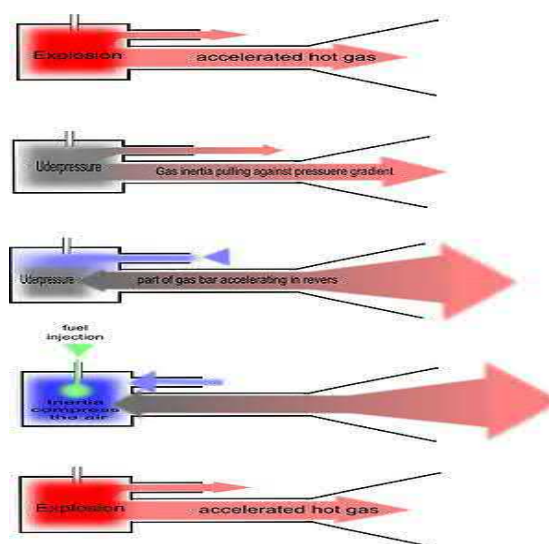
Dari segi akustik, ruang bakar adalah tempat dari pusat tekanan terbesar, yang berarti bahwa gerak gas paling terbatas. Ruang ini menjadi

node kecepatan dan titik pusat tekanan. Ujung-ujung luar dari *port intake* dan *exhaust* merupakan tempat dari *impedansi* terendah. Tempat ini memberikan gerakan gas maksimum dan perubahan kecepatan terbesar. Dengan kata lain menjadi titik pusat kecepatan. Ayunan tekanan yang minimal terjadi pada ujung pipa yang menjadikan node tekanan (titik tekanan yang menimbulkan suara) (Ogorelec, 2005;8).

Tekanan yang terjadi di luar mesin konstan (atmosfer). Hal ini berbeda dengan tekanan yang terjadi di dalam ruang bakar berfluktuasi secara teratur di atas dan di bawah tekanan atmosfer. Perubahan tekanan tersebut membuat gas dapat dipercepat melalui saluran dalam satu arah atau lainnya, tergantung pada apakah tekanan dalam ruang di atas atau di bawah tekanan atmosfer. Jarak antara simpul dan titik pusat adalah seperempat panjang gelombang. Ini merupakan bagian terkecil dari gelombang vertikal yaitu dimana mesin dapat beresonansi (Ogorelec, 2005;9).

Dalam operasi mesin *valveless pulse jet* terdapat titik pusat tekanan di ruang bakar dan node tekanan pada akhir dari saluran buang. Panjang pipa buang akan menentukan dasar panjang gelombang dari gelombang vertikal yang akan mengatur operasi mesin. Apabila jarak antara ruang bakar dan akhir saluran buang agak lebih pendek maka hal ini akan mengakomodasi seperempat gelombang untuk panjang gelombang yang lebih pendek. Panjang gelombang sekunder harus menjadi harmonik ganjil dari fundamental gelombang *resonator*(Ogorelec, 2005;9).

Mengingat mesin *valveless pulse jet* memiliki saluran terbuka pada kedua ujungnya yaitu pada saluran masuk dan saluran buang sehingga salah satu saluran terbuka tersebut tidak mencapai seperempat gelombang *resonator*. Biasanya memiliki titik inti tekanan di pusat ruang bakar dan node tekanan di akhir saluran buang sebesar setengah panjang gelombang. Pada Gambar 2.11 menunjukkan prinsip kerja masing-masing saluran masuk dan saluran buang pada mesin *valveless pulse jet* dalam hubungannya dengan panjang gelombang resonator (Ogorelec, 2005;9).



Gambar 2.11 Prinsip gelombang resonator pada *Valveless Pulse Jet*
(Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Valveless_pulsejet)

Untuk melihat lebih dekat bahwa gelombang resonator yang terbentuk dalam dua kuartal yaitu diatas dan dibawah garis kesetimbangan dimana hal ini yang berbeda dengan osilator gelombang yang mengembalikannya ke posisi sebelumnya yang disebut sebagai osilator setengah gelombang tunggal. Yang mendasari osilator setengah gelombang tunggal ini adalah karakter resonansi dari seluruh saluran dimana efek tersebut akan hilang oleh reaksi yang terjadi didalam mesin *pulse jet*. Jadi, panjang saluran buang harus merupakan kelipatan ganjil

dari panjang pipa masuk agar mesin untuk bekerja dengan baik (rancangan panjang saluran mesin *pulse jet* dalam penelitian ini mendekati kelipatan ganjil yaitu kelipatan 5 dari panjang pipa masuk) (Ogorelec, 2005;9).

Panjang saluran buang dan pipa masuk pada mesin *pulse jet* berpengaruh besar terhadap kondisi mesin *pulse jet* itu sendiri dimana perubahan suhu akan terjadi di setiap bagian mesin yang mengakibatkan kecepatan suara juga berubah. Kondisi ini berbeda dengan yang terjadi pada mesin pendingin (misalnya pada saat *start up* dan saat terjadi panas). Hal ini yang menjadi sumber dari berbagai kesulitan bagi peneliti dan menjadi alasan mengapa *pulse jet* selalu membutuhkan beberapa pengaturan antara lain dilakukan pada saat mencapai resonansi agar mesin bekerja dengan tepat (Ogorelec, 2005;9).

d) Gelombang dan Arus

Istilah '*Kadenacy*' dan 'akustik' adalah suatu pendekatan untuk mendefinisikan siklus *pulse jet* yang benar. Fenomena akustik klasik terjadi karena adanya perubahan tekanan yang rendah, gas dengan kecepatan rendah dan perpindahan gas yang dekat. Gelombang suara adalah getaran yang terdengar keras, elastis dan terjadi gangguan *reversibel* dalam media penghantarnya(Ogorelec, 2005;9).

Dalam *pulse jet*, kita melihat terjadinya variasi tekanan besar, tinggi gas kecepatan dan perpindahan gas yang besar. Faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah kekuatan elastis yang lebih kuat untuk dapat menjaga gerakan molekul dalam medium secara bersama-sama. Hal ini berarti bahwa media (gas) tidak hanya dibuat untuk bergetar, tetapi

menjadi *ireversibel*. Media gas ini dibuat mengalir sehingga sulit untuk melihat perbedaan antara gelombang dan arus tapi hal ini bisa dilakukan. Gelombang yang timbul bukan merupakan fenomena material tetapi fenomena energi yang mengakibatkan terjadinya gangguan dalam medan gaya (Ogorelec, 2005;9).

Aliran fluida yang terjadi yang memiliki massa dan inersia. Dapat dilihat bahwa gelombang tekan dipisahkan dari aliran dalam desain mesin *valveless pulse jet* ini memiliki fitur *port* dengan arus *ireversibel* (misalnya saluran masuk tidak berfungsi untuk membantu kinerja saluran buang). Dalam *port* tersebut tekanan dalam gelombang akan bergerak dengan arus searah dan tanpa aliran dalam arah yang berlawanan. Dapat dijelaskan bahwa mesin *pulse jet* mengikuti aliran itu sendiri dimana *Kadenacy* seperti siklus kompresi yang didukung oleh proses pembakaran pada ruang bakar dan dibantu oleh panas konveksi. Dalam siklus ini sangat erat hubungannya dengan fenomena akustik sehingga hukum-hukum akustik diberlakukan (Ogorelec, 2005;9).

Hal ini merupakan peristiwa termodinamika dan modifikasi arus masuk dan keluar gas. Maka untuk memahami resonansi akustik harus mengetahui tekanan *regular impuls* dan mengatur gelombang vertikal karena hal tersebut akan mempengaruhi waktu dan distribusi tekanan gas, kecepatan dan intensitas pembakaran. Kecepatan dan intensitas gas yang mengalir ini memiliki pengaruh negatif terhadap resonansi yang harus dihindari dan pengaruh positifnya dapat dimanfaatkan untuk membantu kerja mesin. Dengan rangkaian yang sangat kompleks ini digunakan untuk

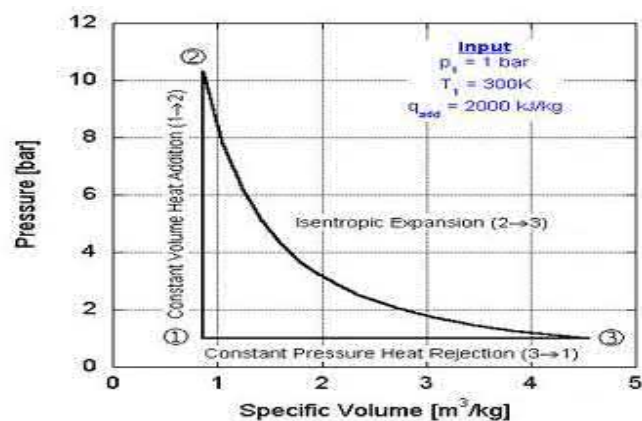
refleksi gelombang, pembalikan, perpaduan dan tabrakan dalam meningkatkan efisiensi mesin dan pembakaran yang lebih baik (Ogorelec, 2004;10).

e) Siklus *Lenoir*

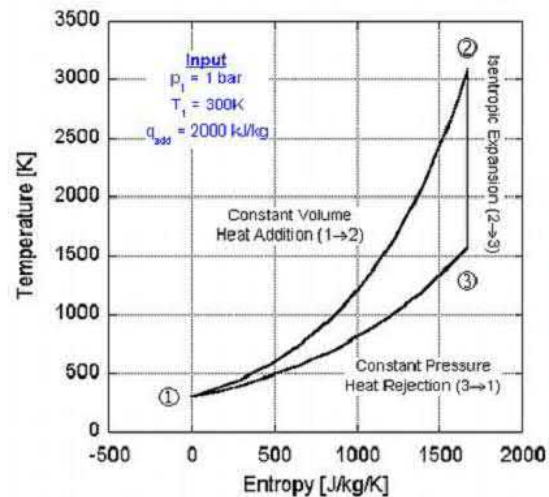
Siklus *Lenoir* adalah siklus termodinamika yang paling ideal yang sering digunakan untuk memodelkan mesin *pulse jet*. Itu didasarkan pada operasi mesin yang dipatenkan oleh Jean Joseph Etienne Lenoir pada tahun 1860. Mesin *jet* ini dipercaya sebagai yang pertama secara komersial menghasilkan mesin pembakaran *internal*. Tidak adanya proses kompresi dalam desain mengarah ke panas yang lebih rendah efisiensi daripada siklus Otto dan Diesel yang lebih luas dikenal (Nikhil,2014;1).

Tekanan - Volume & Suhu Tertentu – *Entropi* pada diagram siklus *Lenoir* dijelaskan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 di bawah ini.

- Proses 1-2 : Panas masuk volume konstan (Isokhorik)
- Proses 2-3 : Panas keluar (Isotropik/Adiabatik)
- Proses 3-1 : panas masuk kembali tekanan tetap (Isobarik)



Gambar 2.12 Siklus *Lenoir* diagram P-V. (Nikhil,2014;2)



Gambar 2.13 Siklus *Lenoir* diagram T-S. (Nikhil,2014;2)

2.2.3. Perhitungan Dalam Mesin *Valveless Pulse Jet*

a. *Thrust* Mesin *Valveless Pulse Jet*

Thrust dapat di hasilkan dari siklus lengkap yang memenuhi langkah kerja yang dirumuskan (*Rolls-Royce plc .1996;209*) sebagai berikut:

$$F = (A \times P) + \frac{Mv_j}{g} - 0 \quad 2.1$$

Dimana: F : *Thrust* (N) g : Kecepatan gravitasi (m/s^2)

P : Tekanan (N/m^2)

A : Luas penampang (m^2)

M : Massa aliran (kg)

v_j : Kecepatan aliran (m/s)

Menurut C.E. Tharratt dapat diuraikan secara singkat bahwa hasil dari rasio volume *duct* terhadap panjang efektif adalah berbanding lurus terhadap *Thrust* statik maksimum:

$$\frac{V}{L} = 0.00316 F \quad 2.2$$

Dimana: V : volume ruang L : panjang *pulse jet* (m)

Karena pengujian *thrust*nya pada bidang datar vertikal pada batang plat, maka rumusnya sebagai berikut:

$$F = W/S \quad (\text{N}) \quad 2.3$$

Didapat dari rumus $W = F.S$ (N) (Winarno dan Karnowo, 2008)

Dimana $F = \textit{thrust}$ (N) $m = \text{masa benda (kg)}$

$W = \text{usaha gaya berat (N)}$ $g = \text{gaya gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$S = \text{jarak (m)}$

Dan mencari gaya berat

$$W = m.g \quad (\text{N}) \quad 2.4$$

b. Intensitas Kebisingan (*Noise*) Mesin *Valveless Pulse Jet*

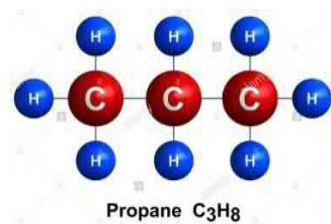
Intensitas kebisingan yang ditimbulkan dari kerja mesin *pulse jet* terjadi karena suhu gas buang yang meningkat dan kecepatan yang meningkat pula. Semakin besar kecepatan aliran fluida gas buang dan udara ambient maka semakin besar pula tingkat kebisingan yang ditimbulkan. Batasan umum untuk tingkat kebisingan tempat kerja yang diterima adalah kurang dari 85 dB. Ketika tingkat kebisingan ini melebihi batas maka harus diambil tindakan (Dewanti,2015;230). Dalam penelitian ini intensitas kebisingan yang ditimbulkan dari kerja mesin *pulse jet* tidak dapat dihindari. Langkah yang harus dilakukan dengan menggunakan pengaman pendengaran dalam melaksanakan pengujian mesin *pulse jet*.

Dalam terjadinya kebisingan efek dari kerja mesin perlu dipelajari aspek aspek dibawah ini:

1) Teori Pembakaran Mesin *Valveless Pulse Jet*

Dalam suatu sistem dimana terjadi perubahan komposisi kimia dalam prosesnya, maka sistem ini disebut reaksi kimia. Salah satu tipe reaksi kimia adalah bahan bakar dan pembakaran yang melibatkan keseimbangan energi dan massa. Dalam sistem reaksinya, bahan bakar adalah material yang dapat terbakar akibat energi termal. Secara umum bahan bakar terdiri dari hidrogen dan karbon yang sering disebut bahan bakar *hydrocarbon* dan memiliki formula: C_nH_m . *Hydrocarbon* terdapat dalam berbagai fase seperti *coal*, *gasoline* dan *natural gas*. Pada contoh bahan bakar *hydrocarbon* seperti *Gasoline*: *Octana* (C_8H_{18}), *Diesel*: *dodecana* ($C_{18}H_{38}$), *Methyl alcohol* (CH_3OH) dan *natural gas*: *Methana* (CH_4).

Pada proses pembakaran mesin *valveless pulse jet* menggunakan bahan bakar LPG (*liquified petroleum gas*) yang dapat berupa campuran dengan sejumlah kecil *propena*, *butana* dan ditambahkan *etanetiol* sebagai bahan pemberi bau agar dapat digunakan sebagai deteksi jika terjadi kebocoran. *Propana* adalah senyawa *alkana* tiga *carbon* (C_3H_8) dan *butana* adalah senyawa *alkana* empat *carbon* (C_4H_{10}) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tapi dapat dikompresi menjadi cairan yang mudah dipindahkan dalam kontainer yang tidak mahal. Senyawa ini diturunkan dari produk petroleum lain pada pemrosesan minyak bumi atau gas alam.



Gambar 2.14 Ikatan Atom Senyawa Butana dan Propana
(Sumber: <https://www.alamy.com/stock-photo-3d-render-of-molecular-structure-of-propane-isolated-over-white-background-130496015.html>)

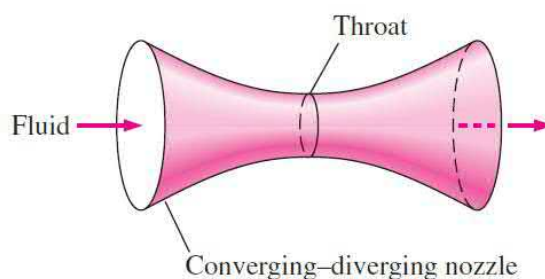
2) Gelombang Kejut (*shock wave*)

Gelombang kejut (*shock wave*) adalah gelombang dari sebuah aliran yang sangat cepat dikarenakan kenaikan tekanan, temperature, dan densitas secara mendadak pada waktu bersamaan. Seperti gelombang pada umumnya *shock wave* juga membawa energi dan dapat menyebar melalui medium padat, cair ataupun gas.

Persamaan aliran *subsonik* dan aliran *supersonik* dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\text{Aliran } \textit{subsonik} \text{ (Ma < 1),} \quad \frac{dA}{dV} < 0 \quad 2.5$$

$$\text{Aliran } \textit{supersonik} \text{ (Ma > 1),} \quad \frac{dA}{dV} > 0 \quad 2.6$$



Gambar 2.15 *Nozzle Converging-Diverging* (Sumber:

<http://koorla.com/#img>)

Dari persamaan di atas menjelaskan tentang suatu hubungan yang penting untuk aliran *isentropik* pada saluran, karena menggambarkan variasi tekanan dengan daerah aliran. Pada aliran subsonik ($Ma < 1$), sehingga $1 - Ma^2$ memberikan nilainya positif, dengan demikian dA dan dP memiliki tanda yang sama. Artinya, tekanan fluida meningkat dengan meningkatnya luas daerah aliran saluran dan menurun seiring dengan menurunnya luas daerah aliran. Jadi, pada kecepatan *subsonik*, terjadi penurunan tekanan pada saluran *konvergen* (*nozzle* subsonik) dan peningkatan tekanan pada saluran *divergen* (*diffuser* subsonik).

Pada aliran supersonik ($Ma > 1$), sehingga memberikan nilai $1 - Ma^2$ adalah negatif, dan dengan demikian dA dan dP harus memiliki tanda yang berlawanan, artinya tekanan fluida meningkat dengan berkurangnya luas daerah aliran saluran dan mengalami penurunan dengan meningkatnya luas daerah aliran. Jadi pada kecepatan supersonik, penurunan tekanan terjadi pada saluran *divergen* (*nozzle* supersonik) dan mengalami peningkatan pada saluran *konvergen* (*diffuser* supersonik).

Pada aliran Subsonic $Ma < 1$:

1. Pada saat luas daerah aliran meningkat / $dA > 0$, kecepatan fluida mengalami penurunan / $dV < 0$ dan tekanan meningkat atau $dP > 0$.
2. Pada saat luas daerah aliran menurun $dA < 0$, kecepatan fluida meningkat atau $dV > 0$ dan tekanan menurun $dP < 0$.

Pada aliran Supersonic $Ma > 1$:

1. Pada saat luas daerah aliran meningkat atau $dA > 0$, kecepatan fluida mengalami peningkatan atau $dV > 0$, dan tekanan menurun $dP < 0$.
2. Pada saat luas daerah aliran menurun $dA < 0$, kecepatan fluida menurun atau $dV < 0$ dan tekanan mengalami peningkatan atau $dP > 0$.

Berdasarkan kecepatan rambat pembakarannya mesin *pulse jet* dikategorikan kedalam pembakaran subsonik atau *deflagrasi* dimana pembakaran pada kondisi *unsteady* dan terjadi secara *intermittent*. Pada penelitian mesin *valveless pulse jet* ini yang menggunakan *nozzle* dari ruang bakar ke saluran buang, terjadi aliran subsonik ($Ma < 1$) dimana $1 - Ma^2$ memberikan nilainya positif dengan nilai tanda yang sama pada dA dan dP dari persamaan 2.7. Pada saat luas daerah aliran menurun $dA < 0$, kecepatan fluida meningkat atau $dV > 0$ dan tekanan menurun $dP < 0$ artinya tekanan fluida menurun seiring dengan menurunnya luas daerah aliran begitu pula sebaliknya. Jadi pada kecepatan subsonik terjadi penurunan tekanan pada saluran *konvergen* (*nozzle* subsonik).

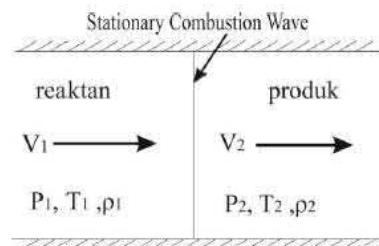
Kecepatan sonik disebut juga kecepatan suara yang merupakan kecepatan perambatan suara pada media tertentu, dimana nilainya berbeda-beda untuk masing-masing media dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \sqrt{kRT} \quad 2.7$$

Perbandingan antara kecepatan sumber bunyi dengan kecepatan suara didefinisikan sebagai bilangan *Mach* (M) yang ditujukan untuk memberikan parameter kecepatan suatu benda (v) terhadap kecepatan suara yang dilaluinya (c), dan dirumuskan sebagai berikut :

$$M = \frac{v}{c} \quad 2.8$$

Untuk menyelidiki karakteristik dari perambatannya, *flame front* diasumsikan sebagai sebuah gelombang *flat* 1 dimensi dengan kondisi *steady* (*time independent*) dimana *reaktan* (*unburned gas*), dan produk (*burned gas*) merupakan gas ideal. Dengan menggunakan asumsi di atas *flame front* dapat dimodelkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Model *Stationary Combustion Wave* (1 dimensi)
(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-a-Stationary-One-Dimensional-Combustion-Wave-ie-Detonation-Wave_fig2_271199012)

Flame front dianggap stasioner, sehingga bisa dikatakan reaktan bergerak menuju *stationary combustion wave* dengan kecepatan V_1 . Dari asumsi dan gambar di atas didapatkan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi. Konservasi Massa:

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \quad 2.9$$

Konservasi Momentum:

$$P_1 + \rho_1 V_1^2 = P_2 + \rho_2 V_2^2 \quad 2.10$$

Konservasi Energi :

$$h_1 + \frac{1}{2}V_1^2 = h_2 + \frac{1}{2}V_2^2 \quad 2.11$$

Kombinasi dari persamaan konservasi massa dan konservasi momentum akan menghasilkan persamaan yang biasa disebut *Rayleigh line relation*.

$$\dot{m}^2 = \frac{P_2 - P_1}{\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1}} \quad 2.12$$

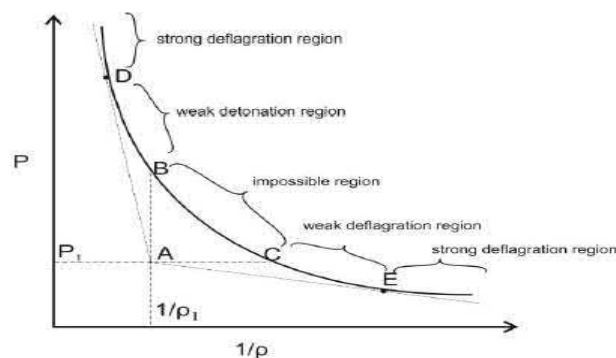
Selain itu persamaan lain yang dapat digunakan mengetahui karakteristik *flame front* adalah persamaan *Rankine-Hugoniot*:

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} \left(\frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} \right) - \frac{1}{2} (P_2 - P_1) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) = q \quad 2.13$$

Persamaan *Rankine-Hugoniot* juga dapat dinyatakan dalam h:

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (P_2 - P_1) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \quad 2.14$$

Persamaan 2.14 dapat diplotkan kedalam kurva P vs $1/\rho$ yang dikenal dengan nama (*Rankine*) *Hugoniot Curve* seperti terlihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. *Hugoniot Curve* (Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Rankine-Hugoniot-Curve-Adopted-from-HySafeorg-2016_fig16_310327631)

Titik A ($1/\rho_1, P_1$) biasa disebut *origin* dari *Hugoniot Plot*. Terdapat dua garis melalui titik A yang bersinggungan dengan *Hugoniot Curve* pada titik yang disebut *Chapman-Jouguet (CJ) Point* (titik D dan E), dimana pada titik ini *Mach number* bernilai 1. Titik D disebut *Upper Chapman-Jouguet (CJ) Point* dan titik E disebut *Lower Chapman-Jouguet (CJ) Point*. Selain itu terdapat garis vertikal dan horizontal melalui titik A yang memotong *Hugoniot Curve* pada titik B dan C yang kemudian kedua titik ini digunakan untuk membagi *Hugoniot Curve* menjadi beberapa *region*.

2.2.4. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semua pembakaran bahan bakar dan oksigen dalam ruangan pasti menghasilkan *thrust*. Penelitian kerja mesin *valveless* pasti menghasilkan *thrust* dan suara kebisingan efek dari kerja mesin, dimana dicari variasi dan pemodelan terbaik untuk menghasilkan *thrust* yang besar dan suara kebisingan yang kecil sehingga dapat mendorong suatu pesawat atau benda.
2. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur dan mengamati besarnya *thrust* dan kebisingan dari mesin *valveless* dengan 3 variasi *exhaust* nya.
3. Hasil penelitian yang dilakukan nantinya akan mendapatkan hasil yaitu besarnya *thrust* dan intensitas kebisingan dari 3 variasi saluran *exhaust* nya.

4. Dalam 3 variasi saluran *exhaust* nya nantinya menghasilkan perbedaan *thrust* dan intensitas kebisingan tiap variasi, dicari variasi terbaik yang menghasilkan *thrust* yang besar dan intensitas kebisingan yang kecil, sehingga dapat diterapkan untuk pendorong pesawat *drone* dan alat lainnya.

2.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesa dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Adanya *thrust* dan suara kebisingan disebabkan karena adanya bahan bakar dan oksigen didalam suatu ruangan yang diberi percikan bunga api maka terjadilah ledakan efek dari terbakarnya bahan bakar dan oksigen, karena ledakan menghasilkan tenaga dan suara menjalar kesegala arah menimbulkan beda tekanan yang lebih besar didalam ruangan dari paada diluar ruangan dan dikarenakan tekanan tinggi dari ledakan dalam suatu ruangan maka menghasilkan tenaga dan suara kebisingan yang bergerak terdorong keluar.
2. Semakin besar ruang bakar maka asupan bahan bakar dan oksigennya banyak sehingga menghasilkan tekanan dorongan dan suara yang semakin besar pula karena efek dari pembakaran bahan bakar dan oksigen.
3. *Exhaust* dibuat kecil maka mengakibatkan tekanan dalam ruang bakar semakin besar dan menghasilkan *thrust* yang besar karena melewati luas penampang yang sempit sehingga *thrust* gas keluar semakin cepat.

4. *Exhaust* dibuat kecil maka mengakibatkan suara kebisingan semakin kecil, ini disebabkan karena karakteristik suara semakin lama semakin meluas jika area luasannya diperkecil maka gelombang suara akan termampatkan dan menambah *thrust*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap pengujian pada tiga variasi mesin *valveless pulse jet*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Mesin standart *thrust* tertinggi sebesar 0,491 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 60 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:4 sampai perbandingan 1:6.
2. Mesin variasi I pembesaran *outlet* terjadi *thrust* tertinggi sebesar 0,588 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 63 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:3 sampai perbandingan 1:6.
3. Mesin variasi II pengecilan *outlet* terjadi *thrust* tertinggi sebesar 0,442 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 60 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:3 sampai perbandingan 1:6.
4. Pengujian *thrust* dan kebisingan pada ketiga variasi mesin *thrust* tertinggi terjadi pada mesin variasi I *thrust* sebesar 0,588 N dan kebisingan 63 dB dilanjut mesin standart *thrust* 0,491 N dan kebisingan 60 dB dan terakhir mesin variasi II *thrust* 0,442 N dan kebisingan 60 dB. Suhu mesin paling tinggi terjadi pada mesin variasi II dilanjut mesin standart dan terakhir mesin variasi I.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis sehingga dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Mesin bisa dijadikan alat peraga pembelajaran dan pengenalan pada mesin *jet* khususnya mesin *valveless pulse jet*.
2. Pembakaran mesin kurang sempurna, nantinya bisa divariasi dengan injektor agar campuran bisa homogen sehingga *thrustnya* bisa besar.
3. Kedepannya bisa dicoba dibuat variasi dengan jenis bahan bakar lain, mulai dari bensin, etanol, minyak tanah, hidrogen, dll.
4. Mesin suhu pembakaran sangat tinggi, kedepan bisa dimodel system peredam panas baik berupa penambahan pendinginan atau pemberian lapisan peredam panas pada mesin.
5. Pengujian mesin *valveless pulse jet* ini dapat menjadi tambahan pengetahuan bagi pengembangan alat uji mesin *pulse jet* yang memiliki tingkat kesulitan dan kerumitan lebih tinggi seperti untuk pembuatan mesin *valve pulse jet*.
6. Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian untuk penelitian karakteristik lain dalam pengembangan jenis maupun tipe dari mesin .

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson Ryan, dan Nicholas Lukacs, dan Mitchell O'Callaghan, dan Karn Schumacher, dan Michael Sipols, dan Terry Walladge. 2008. Design and Build of Pulsejet UAV. *Honours Project 637*. School of Mechanical Engineering University Of Adelaide. Australia.
- Celley, C. Talbot Mc. 2006. Experimental Investigations Of Liquid Fueled Pulsejet Enggines. *Thesis*. Mechanical Engineering. North Carolina State University Releigh, NC.
- Chaurasia, S. Ranjan, dan Rajesh Gupta, dan R.M. Sarviya. 2013. Performance Analysis of a Pulsejet Enggine. *IJERA*. India. Vol 3 hal 605-609.
- Kailasanathan .R. Abhinavan Kumar. 2007. Experimental Investigation on Pulsejet Enggine. *Thesis*. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. North Caroline University. North Caroline.
- Petel D. B, dan Jayesh R. Parekh. 2013. Design and Development of Pulsejet Engine. *IJARESM*. India. ISSN 2394-1766.
- Hussain Hussain Sadig. 2008. Theoretical and Experimental Evalution of Pulse Jet Engine. *Thesis*. University of Khartoum.
- Nakano. T, dan Michael Zeutzius, dan Hideo Miyanishi, dan Toshiaki Setoguchi, dan Kenji Kaneko. 2001. Studies on Pulse Jet Engine by Wind Tunnel Testing. *International Jurnal of Rotating Machinery*. Vol. 7. Departement of Mechanical Engineering. Saga University. Japan.
- Nikhil .B, dan Bhogaraju Nikhil, dan Guglothu Purnivas, dan B. Veera Brahmendra Rao , dan N. Kalyan Chakravarthy, dan N. Leela Prasad. 2014. Design and Performance Analisis of Liquid Fueled Pulsejet Engine. *IJREAT*. India. Vol 2 hal 1-5.
- Karthich. R. Raja, dan Rio Melvin Aro.T, dan Shyam Shankar.M.B, dan Vinoth.M. 2014. Design and Optimization of Valveless Pulsejet Engine. *IJERA*. Chennai. Vol 4 hal 56-59.
- Raharjo. W. Dwi, dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Cetakan pertama. Semarang. UNNES PRESS.
- Rolls-Royce plc .1996.The JET ENGINE*. Edisi V. Derby England. The Technical Publications Department Rolls-Royce plc.

Westberg. F. 2000. Inside The Pulsejet Engine. *Laporan 1.0*. This report is a private study on the pulsejet engine. Swedia.

Ogorelec, B. 2005. Valveless Pulsejet Engines 1.5. *a historical review of valveless pulsejet designs*. Zagreb, Croatia.

Dewanti Rindy Astike, 2015. Analisis Dampak Intensitas Kebisingan Terhadap Gangguan Pendengaran Petugas Laundry. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 8. Vol 229-237. Departemen Kesehatan Lingkungan fakultas kesehatan masyarakat Universitas Airlangga. Surabaya.

Roy. G. D, dan S. M. Frolov, dan A. A. Borisov, dan D. W. Netzer. 2004. Pulse detonation propulsion : challenges, current status, and future perspective. ELSEVIER Ltd. *Progress in Energy and Combustion Science* 30 : 545-672.

Pradeep . C. L, dan Navinesh . B. C. 2018. Valueless Pulse Jet Engine. *IJIRSET*. India. ISSN 2319-8753.

Ismail. Rafis Suizwan, dan Azrol Jailani, dan Muhammad Adli Haron. 2017. Kadenancy Effect, Acoustical Resonance Effect Valveless Pulse Jet Engine. *EGMIC* 3. Malaysia.

<https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/consider-following-graph-showing-two-sine-wave-signals-like-saw-microphones-positioned-fro-q879123>. 17 Juli 2019 (04:15)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/funhar.html>. 17 Juli 2019 (04:30)

https://en.wikipedia.org/wiki/Valveless_pulsejet. 17 Juli 2019 (04:30)

<https://www.alamy.com/stock-photo-3d-render-of-molecular-structure-of-propane-isolated-over-white-background-130496015.html>. 17 Juli 2019 (04:39)

<http://koorla.com/#img>. 17 Juli 2019 (04:39)

https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-a-Stationary-One-Dimensional-Combustion-Wave-ie-Detonation-Wave_fig2_271199012. 17 Juli 2019 (05:39)

https://www.researchgate.net/figure/Rankine-Hugoniot-Curve-Adopted-from-HySafeorg-2016_fig16_310327631, 17 Juli 2019 (05:39)