

KAJIAN SECARA TEORI DAN UJIKAJI
TERHADAP PEMAMPAT RAM GELANGSAR BERPUTAR

ABDUL RAHIM MAT SARIP

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Sarjana Kejuruteraan (Mekanikal)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2005

*Ayahanda, Bonda Serta Keluarga Tersayang
Doamu Menjadi Penawarku
Darjat Seseorang Terletak Pada Usaha Bukan Pangkat atau Pencapaian*

Mat Sarip Sarmidi & Suriati Masri

*Abd Rahman, Siti Nor,
Mohd Harris, Siti Hajar, Ummi Nafingah,
Siti Fatimah, Nor Haryatina, Zakaria, Yahya*

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan ikhlas kepada penyelia tesis PROF. DR. MAT NAWI BIN WAN HASSAN dan PROF. DR. MD NOR BIN MUSA di atas bimbingan dan dorongan yang diberi sepanjang penyelidikan ini.

Penghargaan ini turut diberikan kepada *Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI)* yang telah memberikan sumber kewangan dalam bentuk biasiswa di bawah dana *National Sains Foundation (NSF)* dan kepada projek di bawah program *Intensification of Research in Priority Areas (IRPA)* iaitu *Development of Fuel Cell Powered Thermal Comfort Refrigeration System*.

Penghargaan ini juga ditujukan kepada semua pensyarah (Mekanikal UTM), rakan penyelidik (*Yusof, Faizal, Suffian, Hamdi Gouda, Imran, Arie, Arafat, Ardi, Zair, Ilham, Fairuz, Fadzil dan Hamdi*), juruteknik makmal E06 (*Syukri, Zarimi, Halim, Mokhtar, Samsuri, Hanafi, Jailani dan Rosli*), pihak luar (*Allahyarham Haji Salleh-PrimaTech, Louis Looi- Dewetron dan Pason Phua-Kistler*) dan juga pada yang terlibat secara langsung atau tidak dalam menjayakan penyelidikan saya ini.

TERIMA KASIH.

ABSTRAK

Pemampat ram gelangsar berputar (*rotary sliding vane compressor*) menjadi pilihan utama dalam pelbagai aplikasi sejak 1990-an kerana bersaiz kompak dan berkeupayaan yang sama berbanding dengan pemampat jenis lain. Oleh yang demikian ciri-ciri mekanik perlu dikaji bagi membina asas rekabentuknya. Penyelidikan ini telah mengkaji ciri-ciri mekanikal dua buah pemampat ram gelangsar berputar yang berbeza bentuk silinder dan aplikasinya iaitu pemampat ram gelangsar berputar silinder bulat-lapan ram bagi aplikasi pemampat udara dan pemampat ram gelangsar berputar silinder oval – lima ram condong bagi aplikasi penyaman udara kereta. Kajian secara teori terdiri daripada model matematik pemampat iaitu geometri, kinematik ram, dinamik ram, termodinamik, kuasa dan prestasinya. Aturcara simulasi telah dibangunkan menggunakan bahasa pengaturcaraan FORTRAN. Penentusahan keputusan simulasi pemampat pertama telah dilakukan menggunakan keputusan simulasi dan ujikaji penyelidik lain. Manakala bagi penentusahan simulasi pemampat kedua pula dilakukan menggunakan keputusan ujikaji hasil dari kerja-kerja ujikaji yang telah dijalankan. Sebuah rig ujikaji bagi kerja-kerja ujikaji telah dibangunkan menurut piawaian ANSI/ASHRAE Standard 23-1993, ANSI/ASHRAE Standard 41.9-2000 dan ISO Standard 917:1989(E). Keputusan-keputusan yang dibentangkan bagi kedua-dua pemampat tersebut adalah dalam bentuk perbandingan antara keputusan simulasi dan keputusan ujikaji iaitu seperti kecekapan isipadu, kadar penyejukan, kuasa yang diperlukan, dan pekali prestasi sistem.

ABSTRACT

Rotary sliding vane compressor has been a main choice in various applications since 1990's due to its compact size compared to other compressors with the same capacity. Thus, the mechanical aspects of the compressor need to be studied as the basis for its design. In this thesis, research has been done on mechanical aspect of two rotary sliding vane compressors with a different cylinder shape types and applications which are spherical cylinder rotary sliding vane compressor for air compression and oval cylinder rotary sliding vane compressor with five vanes for automotive air-conditioning system applications. Theoretical studies include the compressor's mechanical mathematical model for geometry, vane kinematics, vane dynamics, thermodynamic, power and performance. Computer codes for the theoretical simulation have been developed using FORTRAN language. Verification for the first compressor was made using other researcher simulation and testing results. For the second compressor, simulation verification is obtained through experimental results from experimental work that has been done in this research. A test rig for the experimental work is developed using ANSI/ASHRAE Standard 23-1993, ANSI/ASHRAE Standard 41.9-2000 and ISO Standard 917:1989(E). Results that have been presented for both compressors are in the form of comparisons between simulation results and experimental results like volumetric efficiency, cooling capacity, power required and system performance coefficient.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGESAHAN STATUS TESIS	i
	PENGESAHAN PENYELIA	ii
	SIJIL PEPERIKSAAN SPS	iii
	JUDUL	iv
	PENGAKUAN TESIS	v
	DEDIKASI	vi
	PENGHARGAAN	vii
	ABSTRAK	viii
	ABSTRACT	ix
	KANDUNGAN	x
	SENARAI JADUAL	xiv
	SENARAI RAJAH	xv
	SENARAI SIMBOL	xix
	SENARAI LAMPIRAN	xxiv
1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.1.1 Pemampat Ram Gelangsar Berputar	2
	1.2 Pemilihan dan Spesifikasi Pemampat Kajian	4
	1.3 Objektif	5
	1.4 Skop Penyelidikan	5

2	KAJIAN LITERATUR	10
	2.1 Pengenalan	10
	2.2 Kebocoran Dalaman	14
	2.3 Dinamik dan Geseran Ram	16
	2.4 Pelinciran	20
	2.5 Pemindahan Haba	23
	2.6 Getaran	25
	2.7 Model Matematik dan Simulasi Komputer	25
	2.8 Kajian Ujikaji dan Prestasi	30
	2.9 Rekabentuk	33
	2.10 Pengoptimuman	36
3	MODEL MATEMATIK PEMAMPAT	38
	3.1 Pengenalan	38
	3.2 Geometri dan Isipadu Sel Pemampat	39
	3.3 Termodinamik Pemampat	41
	3.3.1 Hubungan Termodinamik Pemampat	42
	3.3.1.1 Kaedah Pertama (Isentropik/Politropik)	42
	3.3.1.2 Kaedah Kedua (Hukum Pertama Termodinamik)	43
	3.3.1.3 Kaedah Ketiga (Hukum Kedua Termodinamik)	46
	3.3.2 Kebocoran Dalaman Pemampat	50
	3.3.3 Pemindahan Haba	53
	3.4 Kinematik dan Dinamik Ram	55
	3.5 Kuasa dan Kecekapan Pemampat	59
	3.5.1 Kuasa Pemampat	60
	3.5.1.1 Agihan Kuasa Pemampat	61
	3.5.2 Kecekapan Pemampat	67
	3.5.2.1 Kecekapan Isipadu	67
	3.5.2.2 Kecekapan Mampatan	73

	3.5.2.3 Kecekapan Mekanikal	73
	3.5.2.4 Kecekapan Pacuan	73
4	SIMULASI KOMPUTER	74
	4.1 Pengenalan	74
	4.2 Struktur Kod Aturcara	74
	4.3 Simulasi Komputer Pemampat Ram	
	Gelangsar Silinder Bulat	75
	4.3.1 Parameter Masukan	76
	4.3.2 Analisis geometri	77
	4.3.3 Analisis Termodinamik	78
	4.3.4 Analisis Kinematik dan Dinamik Ram	78
	4.3.5 Analisis Kuasa dan Kecekapan Pemampat	79
	4.4 Simulasi Komputer Pemampat Ram	
	Gelangsar Silinder Oval	79
	4.4.1 Parameter Masukan	80
	4.4.2 Analisis geometri	87
	4.4.3 Analisis Termodinamik	87
	4.4.4 Analisis Kinematik dan Dinamik Ram	88
	4.4.5 Analisis Kuasa dan Kecekapan Pemampat	88
5	KERJA-KERJA UJIKAJI	89
	5.1 Pengenalan	89
	5.2 Pelantar Ujikaji	91
	5.2.1 Graf p-h Pelantar Ujikaji	95
	5.2.2 Pengukuran dan pengalatan	97
	5.2.3 Sistem Pengumpulan Data (DAQ) dan Perisian Komputer	101
	5.3 Ujikaji	102
	5.3.1 Set Keadaan Ujikaji	103
	5.3.2 Prosedur Ujikaji	106

	5.3.3 Analisis Ujikaji	105
6	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	107
	6.1 Pengenalan	107
	6.2 Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat	107
	6.3 Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval	115
	6.3.1 Keputusan dan Perbincangan Kes 1 ($N = 1000$ ppm)	115
	6.3.2 Keputusan dan Perbincangan Kes 2 ($N = 1500$ ppm)	120
	6.3.3 Keputusan dan Perbincangan Kes 3 ($N = 1000$ ppm hingga 2000 ppm)	126
	6.3.4 Kesimpulan Perbincangan Silinder Oval	127
7	KESIMPULAN DAN CADANGAN	131
	7.1 Kesimpulan	131
	7.1.1 Pemampat ram gelangsar Silinder Bulat	131
	7.1.2 Pemampat ram gelangsar Silinder Oval	133
	7.2 Sumbangan Kajian Kepada Umum	134
	7.3 Cadangan	135
	7.3.1 Model Matematik dan Simulasi Komputer	135
	7.3.2 Kerja-kkerja ujikaji	137
	RUJUKAN	138
	Lampiran A ~ D	142~238

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Spesifikasi Pemampat Ram Gelangsar Silinder Bulat	8
1.2	Spesifikasi Pemampat Ram Gelangsar Silinder Oval	9
2.1	Literatur Pemampat Ram Gelangsar Silinder Bulat	12
2.2	Literatur Pemampat Ram Gelangsar Silinder Oval	13
4.1	Kes Keadaan Simulasi Silinder Bulat	76
4.2	Parameter Masukan Silinder Bulat	77
4.3	Kes Keadaan Simulasi Silinder oval	80
4.4	Parameter Masukan Silinder Oval	82
4.5	Parameter Masukan Keadaan Operasi Kes 1	84
4.6	Parameter Masukan Keadaan Operasi Kes 2	85
4.7	Parameter Masukan Keadaan Operasi Kes 3	86
5.1	Komponen Utama Pelantar Ujikaji	100
5.2	Set Keadaan Ujikaji	103

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat	6
1.2	Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval	7
1.3	Carta Alir Metodologi Penyelidikan	7
3.1	Graf $v_c - \theta$	40
3.2	Graf $p_c - v_c$	41
3.3	Graf $p_c - \theta$	41
3.4	Carta Alir Hubungan Termodinamik Kaedah Ketiga	48
3.5	Subrutin Carta Alir Rajah 3.4	49
3.6	Jenis Kebocoran Dalaman Pemampat	51
3.7	Kebocoran Isipadu Kelegaan	51
3.8	Daya-daya Pada Ram (mod iii)	56
3.9	Mod-mod Dinamik Ram	58
3.10	Graf p-h (Bahan pendingin)	60
3.11	Agihan Kuasa Pemampat	62
3.12	Graf p-v (Unggul)	63
3.13	Graf p-v (Tertunjuk)	64
3.14	Perkaitan K_2 ke atas Kapasiti Pemampat	71
3.15	Isipadu Kelegaan Pemampat	72
4.1	Carta Alir Simulasi Komputer Pemampat Ram Berputar	75
4.2	Lokasi Keadaan Operasi Pada Graf p-h	83
4.3	Lokasi Keadaan Operasi Pada Skematik Sistem Pendingin	83
4.4	Data Masukan Keadaan Operasi Kes 1	84

4.5	Data Masukan Keadaan Simulasi Kes 2	85
4.6	Data Masukan Keadaan Simulasi Kes 2	86
5.1	Skematik Pelantar Ujikaji	90
5.2	Gambar Pelantar Ujikaji #1	92
5.3	Gambar Pelantar Ujikaji #2	92
5.4	Gambar Pelantar Ujikaji #3	93
5.5	Gambar Pelantar Ujikaji #4	93
5.6	Gambar Pelantar Ujikaji #5	94
5.7	Gambar Pelantar Ujikaji #6	94
5.8	Graf p-h Sistem Pendinginan	95
5.9	Pemasangan Pro브 Pengganding Suhu dan Tolok Tekanan	99
5.10	Sistem Pengumpulan Data (DAQ)	101
6.1	Perbandingan Taburan Tekanan Sel antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	112
6.2	Perbandingan Taburan Tekanan Sel Proses Mampatan antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	112
6.3	Perbandingan Taburan Isipadu Sel antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	112
6.4	Perbandingan Kuasa Geseran antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	113
6.5	Perbandingan Kuasa Aci antara Simulasi Rahim dan Ujikaji Chang	113
6.6	Perbandingan Kuasa Aci antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	113
6.7	Perbandingan Kuasa Aci antara Simulasi Chang dan Ujikaji Chang	114
6.8	Perbandingan Kecekapan Mekanikal antara Simulasi Rahim dan Simulasi Chang	114
6.9	Perbandingan Kadar Alir Bahan Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	118
6.10	Perbandingan Kapasiti Penyejukan antara Keputusan	

	Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	118
6.11	Perbandingan Kuasa Aci antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	118
6.12	Perbandingan COP antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	119
6.13	Perbandingan Kecekapan Isipadu antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	119
6.14	Perbandingan Kadar Alir antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	119
6.15	Perbandingan Kapasiti Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	120
6.16	Perbandingan COP antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	120
6.17	Perbandingan Kadar Alir Bahan Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	123
6.18	Perbandingan Kapasiti Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	123
6.19	Perbandingan Kuasa Aci antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	124
6.20	Perbandingan COP antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Suhu Penyejat	124
6.21	Perbandingan Kecekapan Isipadu antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	124
6.22	Perbandingan Kadar Alir antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	125
6.23	Perbandingan Kapasiti Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	125
6.24	Perbandingan COP antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Nisbah Tekanan	125
6.25	Perbandingan Kadar Alir Bahan Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	128

6.26	Perbandingan Kapasiti Penyejukan antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	128
6.27	Perbandingan Kuasa Aci antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	129
6.28	Perbandingan COP antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	129
6.29	Perbandingan Kecekapan Isipadu antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	129
6.30	Perbandingan Parameter Yang Dikaji antara Keputusan Simulasi dan Ujikaji Terhadap Kelajuan Putaran	130

SENARAI SIMBOL

A	m^2	Luas laluan sedutan
a	mm	Geometri oval paksi -y
A_{eff}	m^2	Luas efektif laluan sedutan
A_{sf}	m^2	Luas permukaan tindakan
b,B	mm	Geometri oval paksi -x
c	m/s	Halaju bunyi
c_L	kJ/kgK	Pemalar gas pelinciran tekanan malar
COP	-	Pekali prestasi sistem pendinginan
c_p	kJ/kgK	Pemalar gas tekanan malar
c_v	kJ/kgK	Pemalar gas isipadu malar
E_u	-	Nombor Euler
f	-	Pekali Darcy
f	mm	Jarak sentuhan hujung ram
f_1	N	Daya geseran daya tindakan 1, Rajah 3.8
f_2	N	Daya geseran daya tindakan 2, Rajah 3.8
F_b	N	Daya tekanan belakang ram
F_{CF}	N	Daya empar
F_{CO}	N	Daya Coriolis
F_{ma}	N	Daya inertia / relatif
f_N	N	Geseran hujung ram
f_{Nr}	N	Leraian daya f_N arah radial
f_{Nt}	N	Leraian daya f_N arah tangential
FOD	-	Hantaran udara bebas
FOPT	-	Kapasiti per unit kuasa sedutan

F_p	N	Daya tekanan
F_r	N	Daya arah radial
F_t	N	Daya arah tangential
g	m/s^2	graviti
h	kJ/kg	Entalpi
H_s	mm	Kedalaman slot
H_v	mm	Tinggi ram
I	ampere	Arus Elektrik
k, c_d	-	Pekali bentuk
K_2	-	Pekali kawalan kapasiti
k_f	-	Pekali permukaan
L	mm	Lejang atau lebar kebuk
M	-	Nombor Mach
m	kg	Jisim gas
M	Nm	Momen
M_v	kg	Jisim ram
n	-	Indeks politropik
N	PPM	Halaju putaran
N_f	-	Peratus pecahan kuasa geseran
N_{kebuk}	-	Bilangan Kebuk
N_v	-	Bilangan ram
p	bar	Tekanan
R	kJ/kgK	Pemalar gas
R'_θ	mm	Jejari ram silinder bulat dari pusat rotor
R_1	N	Daya tindakan sisi ram
R_{134a}	-	Bahan pendingin (<i>CF₃-CH₂F, 1,1,1,2 Tetrafluoroethane</i>)
R_2	N	Daya tindakan sisi ram
R_b	mm	Geometri silinder oval
R_c	mm	Jejari pusat graviti ram silinder oval
R_e	-	Nombor Reynold
R_N	N	Daya tindakan hujung ram

R_{Nr}	N	Leraian daya R_N arah radial
R_{Nt}	N	Leraian daya R_N arah tangential
r_p	-	Nisbah tekanan (P_d/P_s)
R_p	mm	Sesaran ram silinder oval
R_R, R	mm	Jejari ram silinder bulat
R_{RV}	mm	Jejari pusat ram
R_s	mm	Jejari silinder / stator silinder bulat
R_v	mm	Jejari ram
R_θ	mm	Jejari ram silinder oval
T	Nm	Daya kilasan aci
T	°C	Suhu
T_s	mm	Lebar slot
T_v, W_v	mm	Tebal ram
U	J	Kuasa dalaman
u	J/kg	Spesifik kuasa dalaman
U_m	m/s	Halaju purata
V	cm ³	Isipadu
V	Volt	Voltan Elektrik
W	J	Kerja
Z	m	Ketinggian
\dot{R}'_θ	m/s	Halaju ram silinder bulat
\ddot{R}'_θ	m/s ²	Pecutan ram silinder bulat
\dot{m}	kg/s	Kadar alir gas
\dot{R}_p	m/s	halaju ram silinder oval
\ddot{R}_p	m/s ²	pecutan ram silinder oval
\dot{Q}	Watt	Haba
\dot{E}, \dot{W}	Watt	Kuasa

Simbol Greek

α	deg	Geometri silinder oval
β	deg	Geometri silinder oval
β_1	deg	Sudut awal laluan sedutan
β_2	deg	Sudut akhir laluan sedutan
β_3	deg	Sudut awal laluan buangan
β_4	deg	Sudut akhir laluan buangan
δ	mm	Kelegaan
ε	mm	Essentrik silinder dengan rotor silinder bulat
ϕ	deg	sudut sentuhan hujung ram
λ	deg	Geometri silinder oval
θ	deg/rad	Sudut ram hadapan
θ_{condong}	deg	Sudut kecondongan ram
ρ	kg/m ³	Ketumpatan gas
ρ	deg	Geometri silinder oval
σ	deg	Geometri silinder oval
ω	rad/s	Halaju sudut ram
ζ	deg	Geometri silinder oval, nisbah geometri (ε/R_s)
μ	-	Pekali geseran
μ	Pa.s	Pekali dinamik kelikatan
U_∞	m/s	Halaju yang dibenarkan
γ	-	Indeks Seentropi
v	m ³ /kg	Isipadu tentu gas

Subskrip

ad	Adiabatik
b	ram
c ideal	Sel yang ideal tanpa kesan ram

c,sel	Sel / kebuk
comp	Pemampatan
d,2	Proses buangan
d'	Proses buangan seentropi
e ideal	Isipadu tersapu oval yang ideal
evap	Penyejat
f	Geseran
g	gas
i	Masuk
issen,s	Issentropik
kond	Pemeluwap
L	Sudut ram belakang, cecair
Lc	Sel/ kebuk hadapan
leak	Kebocoran
liq	Cecair
max	Maksimum
mek	Mekanikal
min	Minimum
N	Tangential
o	Keluar
r	Jejarian
ref	Bahan pendingin
R1,R2	Daya tindakan sisi ram
s,1	Proses sedutan
sa	Laluan sedutan
sl	Slot
T	Sudut ram hadapan
Tc	Sel / kebuk belakang
th	Kapasiti
TXV	Injap pengembangan termostatik
V	Isipadu

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	MODEL MATEMATIK PEMAMPAT RAM GELANGSAR SILINDER BULAT	142
B	MODEL MATEMATIK PEMAMPAT RAM GELANGSAR SILINDER OVAL	158
C	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN KERJA SIMULASI PEMAMPAT SILINDER BULAT	177
D	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN KERJA SIMULASI DAN UJIKAJI PEMAMPAT SILINDER OVAL	191

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Kajian terhadap sesebuah pemampat yang juga dikenali sebagai mesin pemampatan sesuatu medium gas adalah tidak mudah. Ini kerana terdapat pelbagai jenis pemampat dipasaran yang berbeza dari segi geometri, kinematik, dinamik, dan termodinamikanya. Terdapat dua kategori utama pemampat iaitu pemampat salingan (*woble plate*, *swash plate*, dan *single/ multi piston*) dan bagi pemampat berputar (*rolling piston*, *sliding vane*, *scroll*, *helical* dan *screw*). Banyak kajian khusus yang telah dilakukan terhadap pemampat-pemampat tersebut akan tetapi, ia hanya dalam bentuk kertas kerja yang dibentangkan semasa seminar atau didapati pada jurnal. Ini kerana kebanyakan hasil penyelidikan adalah maklumat sulit dan terhad yang telah ditentukan oleh organisasi atau syarikat pengeluar pemampat. Oleh yang demikian pemampat ram gelangsar berputar dipilih untuk dikaji secara teori dan ujikaji dengan harapan dapat memecahkan kesukaran untuk mendapat sumber rujukan baginya. Kajian umum yang dilakukan ialah seperti analisis termodinamik, kinematik, dinamik, pelinciran, kuasa, dan prestasi. Kajian yang dilakukan adalah secara teori dan ujikaji. Bagi kajian secara teori, model-model matematik dibina dan kemudiannya disimulasi secara komputer. Kepentingan kajian teori ini adalah untuk mengoptimumkan proses rekabentuk dan menjimatkan kos berbanding kaedah cuba jaya. Manakala kajian secara ujikaji dilakukan untuk menilai prestasi sebenarnya walaupun ia menggunakan banyak masa, tenaga dan juga kos.

1.1.1 Pemampat Ram Gelangsar Berputar

Pemampat ram gelangsar berputar adalah tergolong dalam pemampat sesaran positif dan dikategorikan sebagai pemampat berputar. Terdapat dua jenis pemampat ram gelangsar yang popular iaitu pemampat silinder bulat, Rajah 1.1 dan pemampat silinder oval, Rajah 1.2. Semasa operasinya, ram pemampat ini akan keluar dan masuk dari slot yang terletak secara radial atau condong pada pemutar yang berputar pada pusat jejarnya. Ram ini dipaksa keluar oleh daya empur dan daya tekanan yang bertindak pada bawah permukaan ram yang menyebabkan hujung ramnya menghentam permukaan silinder. Disebabkan oleh pusingan pemutarnya, hujung ram akan sentiasa menghentam permukaan silinder secara mengelangsar sepanjang kitar termodinamikanya. Proses pemampatan berlaku apabila isipadu sel berkurang daripada maksimum, disebabkan oleh perubahan kinematik ram terhadap putarannya. Pada masa pemampatan ini gas akan terperangkap di dalam satu sel isipadu yang disempadani oleh dua permukaan ram (depan dan belakang), permukaan pemutar dan silinder. Huraian terperinci akan dibentangkan pada bab kitar termodinamik pemampat.

Perbezaan utama antara pemampat silinder bulat dan oval boleh dilihat dari segi bentuk silindernya. Bagi pemampat silinder bulat, kedudukan pemutar adalah esentrik dengan pusat silinder. Ia juga mempunyai satu bilangan kebuk sahaja. Berbanding pemampat silinder oval, tiada esentrik antara pemutar dan silinder dan mempunyai dua buah kebuk yang simetri. Berdasarkan perbezaan ini, kadar kapasiti isipadu sel maksimum pemampat silinder oval adalah separuh daripada kapasiti pemampat silinder bulat. Oleh yang demikian pemampat silinder oval lebih sesuai untuk pemampat berkapasiti sederhana dan bersaiz kompak. Contohnya aplikasi sistem pendinginan kenderaan yang lokasi letak pemampatnya amat terhad.

Secara umum pemampat ini mempunyai kelebihan berbanding pemampat lain iaitu seperti ia dapat beroperasi dengan baik pada proses pemampatan satu peringkat sehingga tekanan 14 bar dan berkapasiti kurang daripada 3000 l/s. Kelajuan putarannya yang sesuai pula ialah sekitar 1000ppm hingga 4000 ppm (Ucer dan Aksel, 1980). Berbanding dengan pemampat salingan, kecekapan total dan tahap

kebisingan pemampat ini lebih baik dengan nilainya kurang daripada 59dB (Chang, 1983).

Walau bagaimanapun pemampat ini tidak sesuai untuk kapasiti yang besar lebih daripada 3000 l/s dan operasi tekanan yang tinggi iaitu lebih daripada 14 bar. Ia disebabkan ram tidak mampu menahan tekanan yang besar akibat ledingan yang terjadi yang seterusnya akan menyebabkan ram tersekat dalam slot. Akibatnya ram akan patah dan menyebabkan pemutar pecah. Oleh yang demikian nisbah antara diameter pemutar dengan silinder dan parameter yang berfungsi geometri ram harus dalam julat yang sesuai. Selain itu, pemampat ini tidak sesuai untuk sistem bebas minyak. Sebabnya kawasan sempadan ram tidak mampu untuk menyekat kebocoran minyak pelincir kerana terdapat kelegaan pada sisi ram dan kesan hidrodinamik pada hujung ram. Tidak seperti pemampat salingan, sistemnya boleh bebas minyak kerana ombohnya mempunyai cincin yang berlapis. Selain itu kuasa geseran dari pergerakan ram menyumbang 84% daripada keseluruhan kuasa pemampat, dengan hampir 85% daripada 84% kuasa geseran tersebut disumbangkan dari pergeseran hujung ramnya. Pada nilai pekali geseran ram lebih daripada 0.2 (kekasaran permukaan) kuasa geseran boleh mencapai lebih 50% daripada kuasa teori pemampat. Kesannya kecekapan mekanikal pemampat akan menurun.

Pelbagai perkembangan rekabentuk dilakukan terhadap pemampat ram gelangar berputar ini. Antara kajian rekabentuk yang paling mendapat perhatian ialah geometri ram. Kajian baginya sangat penting kerana ia penyumbang terbesar kuasa geseran. Oleh yang demikian rekabentuk geometri yang optimum perlu direka untuk mengurangkan kesan geseran dari kitar termodinamikanya. Kajiannya meliputi bentuk profil hujung ram, kinematik, kelegaan sisi, dan jenis bahannya. Selain itu kajian juga dilakukan terhadap kedudukan ram iaitu diletak secara condong atau jejarian untuk mendapatkan kesan kapasiti pemampatan yang optimum semasa kitar termodinamikanya.

Kajian juga dilakukan untuk meningkatkan kecekapan isipadunya akibat kesan rekabentuk geometri laluan sedutan dan laluan buangan bagi pemampat jenis kedap udara atau separuh kedap udara. Kajian semasa proses buangan dilakukan

dengan merekabentuk laluan buangan dan dinamik injap yang efisien bagi mengurangkan kuasa pemampatan.

Berdasarkan perbincangan yang dibuat dapat dirumuskan bahawa pemampat ram gelangsar berputar mempunyai kelebihan yang tersendiri berbanding pemampat lain. Oleh yang demikian didapati hampir semua syarikat pengeluar pemampat berkapasiti sederhana dan bersaiz kompak mempunyai produk pemampat jenis ini. Antara syarikat pengeluar yang telah membangunkan dan memasarkan pemampat ini ialah syarikat Pnuemofore, Mattei, Hydrovene (pemampat udara dan pam hampagas) dan Nippon-Denso, Sanden dan Calsonic (pemampat pendinginan). Selain itu juga, konsep mekanik mesin ini amat popular untuk pam hidraulik yang aplikasi dan pasarannya adalah amat meluas.

1.2 Pemilihan dan Spesifikasi Pemampat Kajian.

a) Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat

Bagi membina asas pengetahuan dalam mengkaji sesebuah pemampat ram gelangsar berputar, pemampat jenis silinder bulat telah dipilih kerana kajiannya telah dibentangkan secara terperinci oleh Chang (1983) dan Oii (1989). Mereka telah menghuraikan dengan tentang kaedah atau metodologi untuk menganalisisnya. Disamping telah memberikan spesifikasi pemampat yang lengkap serta membincangkan keputusan-keputusan simulasi dan ujikaji bagi penetusahan. Spesifikasi pemampat kajian ini diberi pada Jadual 1.1. Berdasarkan pengalaman kajian pemampat ini, metodologi yang diperolehi akan digunakan untuk kajian pemampat silinder oval.

b) Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval

Persoalan awal mesti wujud kenapa tidak dipilih sahaja pemampat silinder bulat yang berbeza saiz untuk dikaji secara teori dan ujikaji kerana metodologinya sudah lengkap. Sebab utama pemampat silinder

bulat tidak dipilih kerana kesukaran untuk mendapatkan pemampat tersebut bagi aplikasi pendinginan yang berkapasiti sederhana di pasaran dan juga penyelidikan lebih bertumpu bagi pemampat sistem pendinginan kereta. Di pasaran hanya jenis pemampat silinder oval yang digunakan untuk aplikasi pendinginan kapasiti sederhana. Disebabkan pemampat silinder oval ini dikategorikan dalam keluarga pemampat ram gelangсар berputar, maka ia dipilih. Berdasarkan pemilihan pemampat silinder oval ini, kajian dilakukan dengan lebih luas yang meliputi kajian secara teori dan ujikaji. Hasilnya dua metodologi yang mantap dapat dibina iaitu bagi pemampat ram gelangсар berputar silinder bulat dan oval.

1.3 Objektif

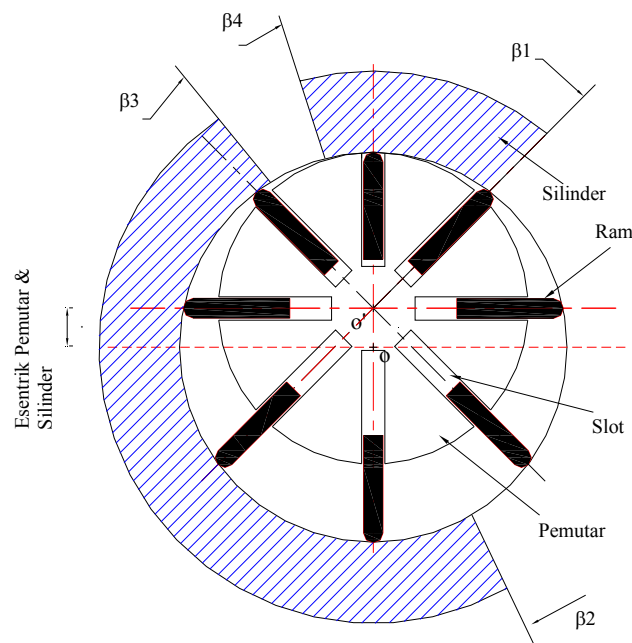
Kajian ini bertujuan untuk menentukan prestasi dua buah pemampat ram gelangсар berputar yang berbeza bentuk, iaitu seperti berikut

- a) Pemampat ram gelangсар berputar silinder bulat lapan ram jejarian, Rajah 1.1 bagi aplikasi pemampat udara.
- b) Pemampat ram gelangсар berputar silinder oval lima ram condong, Rajah 1.2 bagi aplikasi pemampat pendinginan kereta.

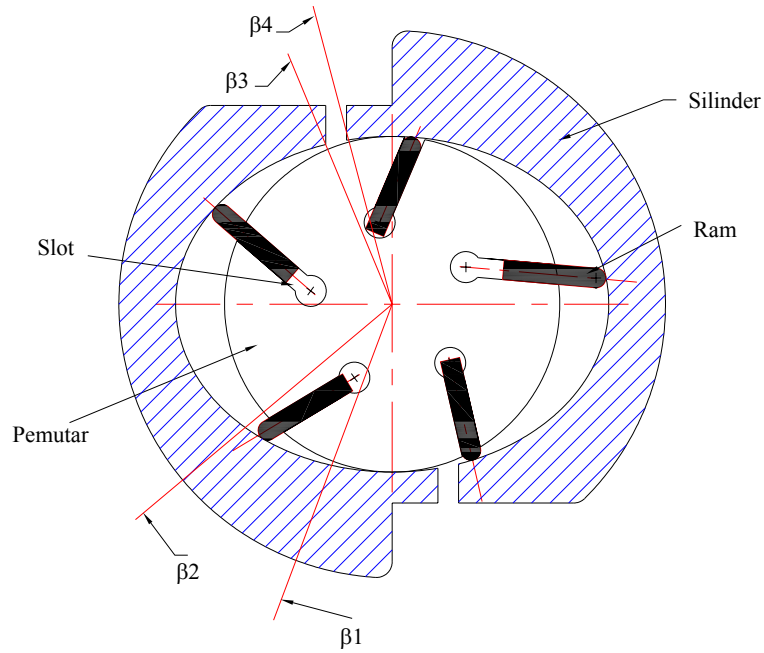
1.4 Skop Penyelidikan

Metodologi penyelidikan adalah seperti yang dipaparkan dalam bentuk carta alir, Rajah 1.3 dan dihuraikan seperti berikut

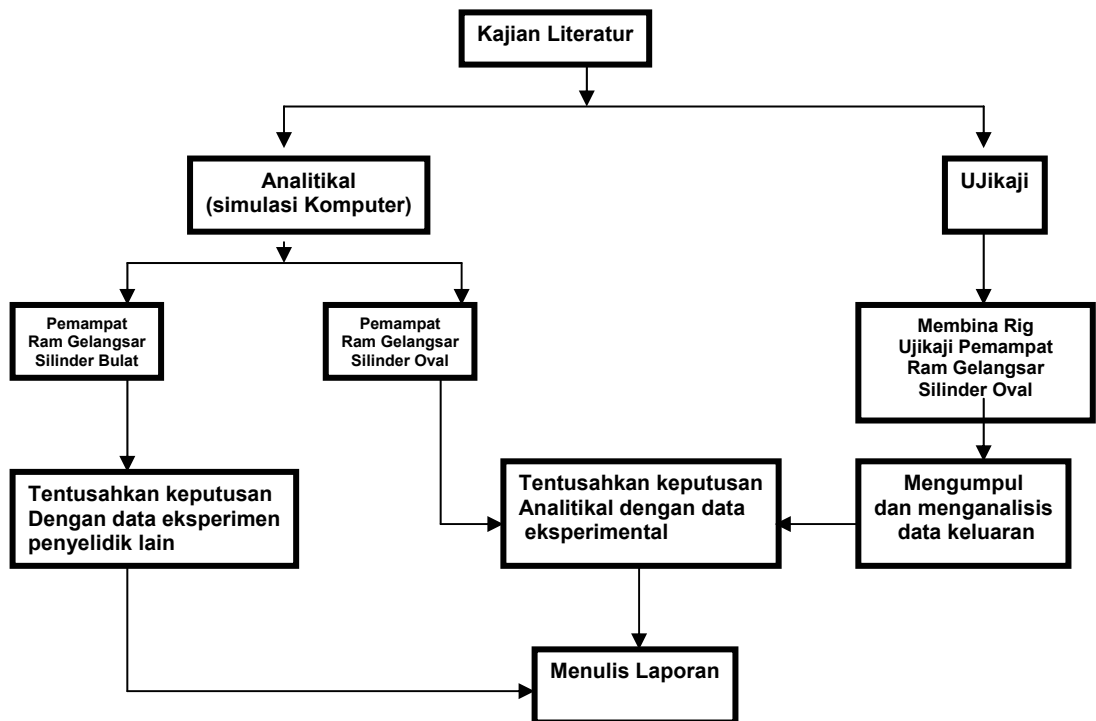
- i) Membuat kajian literatur terhadap pemampat ram gelangsar berputar dalam pelbagai jenis aplikasi.
- ii) Membangunkan model matematik bagi pemampat ram gelangsar berputar silinder bulat dan oval.
- iii) Mensimulasikan secara komputer berdasarkan model matematik yang telah dibangunkan untuk pemampat ram gelangsar berputar silinder bulat dan oval mengikut keadaan ujikaji.
- iv) Membangunkan radas ujikaji untuk sistem pendinginan kereta untuk pemampat ram gelangsar berputar silinder oval mengikut piawaian yang ditetapkan. Seterusnya menjalankan ujikaji dengan mengambil pengukuran tertentu dan kemudian dianalisis untuk mendapatkan keputusan yang dikehendaki berdasarkan keadaan operasi yang ditetapkan.
- v) Menentusahkan keputusan simulasi pemampat ram gelangsar berputar silinder bulat dengan keputusan simulasi dan eksperimen pengkaji lain.
- vi) Menentusahkan sebahagian keputusan simulasi pemampat ram gelangsar berputar silinder oval dengan keputusan eksperimen yang dilakukan.



Rajah 1.1 : Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat



Rajah 1.2: Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval



Rajah 1.3 : Carta Alir Metodologi Penyelidikan

Jadual 1.1 : Spesifikasi Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat

Pembuat	Hydorovane Compressor Company Ltd.	
Jenis	Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Bulat (33 PU)	
Kapasiti	705 cc	
Ram	8 buah (Jejarian)	
Applikasi	Pemampat Udara	
Dimensi Utama Pemampat		
Parameter	Nilai	Unit
Jejari Pemutar, R_R	42.1	mm
Jejari Silinder, R_s	48.73	mm
Lebar Silinder, L	171.425	mm
Tebal Ram, T_V	3.95	mm
Tinggi Ram, H_V	22.665	mm
Lebar Slot, T_S	3.95	mm
Kedalaman Slot, H_S	22.665	mm
Jisim Ram, m_V	0.0637	kg
Sudut Awal Sedutan, β_1	77°	degree
Sudut Akhir Sedutan, β_2	223°	degree
Sudut Awal Buangan, β_3	318°	degree
Sudut Akhir Buangan, β_4	338°	degree

Jadual 1.2 : Spesifikasi Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval

Pembuat	Patco Malaysia Berhad	
Jenis	Pemampat Ram Gelangsar Berputar Silinder Oval (PW 536370)	
Kapasiti	144 cc	
Ram	5 buah (Condong Hadapan 30°)	
Applikasi	Sistem Pendinginan Kereta	
Dimensi Utama Pemampat		
Parameter	Nilai	Unit
Jejari Pemutar, R_R	32.5	mm
Jejari Oval x –axis, R_s	42.0	mm
Jejari Oval y –axis, L	32.5	mm
Tebal Ram, T_V	3.5	mm
Tinggi Ram, H_V	19.5	mm
Lebar Slot, T_S	3.5	mm
Kedalaman Slot, H_S	20.77	mm
Jisim Ram, m_V	7.4549	g
Sudut Awal Sedutan, β_1	20°	degree
Sudut Akhir Sedutan, β_2	53°	degree
Sudut Awal Buangan, β_3	155°	degree
Sudut Akhir Buangan, β_4	170°	degree
Panjang, H_s	17.78	mm
Panjang, R_b	16.0	mm
Sudut Lamda, λ	148°	degree
Sudut alfa, α	17°	degree
Sudut sigma, σ	15°	degree

RUJUKAN

- Abd Rahim Mat Sarip (2004). *Laporan Kemajuan Penyelidikan Q3 (VOT 74522)*. Research Management Centre UTM (RMC). Tidak Diterbit.
- Aradau, D., dan Costiuc, L. (1998). Friction Power in Sliding Vane Type Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference. Purdue*: 907-911.
- ASHRAE (1993). *Methods of Testing for Rating Positive Displacement Refrigerant Compressor and Condensing Units*. Atlanta, ANSI/ASHRAE Standard 23-1993
- ASHRAE (1993). *Calorimeter Test Methods for Mass Flow Measurements of Volatile Refrigerants*. Atlanta ANSI/ASHRAE Standard 41.9-2000
- Basaj, L. (1974). Lubrication of The Non-Flooded Rotary Sliding Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference. Purdue*: 99-101.
- British Standard (1990). *Refrigerant Compressor , Part 1. Methods of Test for Performance*. ISO Standard 917:1989 (E)
- Chang, K.Y. (1983). *A Theoretical and Experimental Study of An Oil-Flooded Rotary Sliding Vane Compressor (Vol. 1 & 2)*. Mechanical Engineering Department, University Of Strathclyde. Ph.D Thesis.
- Connor, R.F. (1986). Use Of Lubricants to Improve Compressor Efficiency. *Proc. International Compressor Engineering Conference. Purdue*: 1003-1012.
- Edwards, T.C., dan McDonald, A.T. (1972). Analysis of Mechanical Friction In Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference. Purdue*: 250-262.
- Fisher, R.D. (1978). Feasibility Study and Hardware Design of A Pivoting-Tip Rotary Vane Compressor and Expender Applied To A Solar-Driven Heat Pump. *Proc. International Compressor Engineering Conference. Purdue*: 233-240.

- Fukuta, M., Yanagisawa, T., Shimizu, T., dan Kato, M. (1994). Vane Behavior In Vane Compressor Under Start-Up Operation. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 305-310.
- Gnutek, Z. dan Kalinowski, E. (1992). Some Aspect of Describing Process in Sliding Vane Rotary Machines. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 1189-1198.
- Gnutek, Z. dan Kalinowski, E. (1996). Heat Exchange In The Working Chamber of A MultiVane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 541-546.
- Hirano, T., dan Sakitani, K. (1982). Finite Element Method Analysis of Leakage Flow In The Narrow Clearance Between The Rotor and Side Plates of Sliding Vane Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 305-312.
- Ishii, N., Bird, K., Yamamoto, S., Matsunaga, H., Sano, K., dan Hayashi, M. (1998). A Fundamental Optimum Design for High Mechanical and Volumetric Efficiency of Compact Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 649-653.
- Kaiser, H., dan Kruse, H. (1984). An Investigation on Reciprocating and Rotary Refrigeration Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 611- 617.
- Kruse, H., (1982). Experimental Investigation on Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 112-117.
- LaFrance, L.J. dan Hamilton, J.F. (1976). Computer Controlled Optimization of A Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 397-400.
- Liansheng, L., Jianhuan, H., Bei, G., dan Pengcheng, S. (1998). Force Analysis of Rotary Vane Compressor for Automotive Air Conditioning System. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 409-422.
- Lindamenn, H., Kaiser, H., Kuever, M. dan Kruse, H. (1982). Optimization of A Special Shaped Rotary Vane Compressor - Comparison of Theoretical and Experimental Result. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 193-200.

- Maruyama, T., Yamauchi, S. dan Kagoroko, N. (1982). Capacity Control of Rotary Type Compressors for Automotive Air- Conditioners. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 284-291.
- Mat Nawi Wan Hassan, Md. Nor Musa, dan Abd Rahim Mat Sarip (2002). Analisis Termodinamik Pemampat 'Rotary Sliding Vane'. *Proc. Malaysian Science And Technology Congress*. Johor.
- Oii, K.T. (1989). *Geometrical Optimization Of Sliding Vane Compressor*. Mechanical Engineering Department, University Of Strathclyde. Ph. D Thesis.
- Paterson, C.R., dan McGahan, W.A. (1972). Thermodynamic and Aerodynamic Analysis Method for Oil Flooded Sliding Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 1-10.
- Pengsheng, S., Bei, G., Liancheng, L., dan Jianhuan, H. (1998). Influence of Vane Slot Back Pressure on The Characteristic of Vane Motion In Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 415-422.
- Picksak, A., dan Kruse, H. (1986). Mathematical Simulation of Lubrication Conditions In Rotary. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 461-476.
- Platts, H. (1976). Hydrodynamic Lubricating of Sliding Vane. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 164-170.
- Reed, W.A., dan Hamilton, J.F. (1980). Internal Leakage Effect in Sliding Vane Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 112-117.
- Sandkötter, W., (1989). Improved Design and Performance of Demag-Wittig Oil Injection Rotary Vane Compressor. *Proc. ImechE*. 69-81.
- Smith, I.K., Harrison, H.R., dan Cox, M. (1990). A Preliminary Evaluation of The Groll Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 131-139.
- Tojo, K., Kan, T., dan Arai, A. (1978). Dynamic Behavior of Sliding Vane in Small Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 29-35.

- Tothero, D.L. dan Keneey, D.F. (1978). A Rotary Vane Compressor for Automotive Air Conditioning Application. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 226-232.
- Tramschek, A.B. dan Mkumbwa, M.H. (1996). Mathematical Modelling of Radial and Non Radial Rotary Sliding Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 477- 484.
- Tramschek, A.B. dan Oii, K.T. (1992). Effect of Port Geometry Dimension and Position on The Performance of A Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 1177-1188.
- Tramschek, A.B., dan Mkumbwa, M.H. (1996). Experimental Studies of Non-Radial Vane Rotary Sliding Vane Air Compressor During Steady State Operation. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 485-492.
- Tramschek, A.B., dan Oii, K.T. (1992). A Technical Note on The Effect of Suction Chamber & Cell Interaction on The Suction Characteristics of Rotary Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 1167-1176.
- Tromblee, J.D. (1984). Performance Analysis of Sliding Vane Rotary Compressor for A Household Refrigerator/Freezer. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 40-45.
- Ucer, A.S. dan Aksel, H.M. (1980). Simulation Studies on The Rotary Type Compressor System. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 118-124.
- Wakabashi, H., Yuuda, J., Aizawa, T., dan Yamamura, M. (1982). Analysis of Performance in A Rotary Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 140-147.
- William, M.R. (1986). The Design of Small Oil Flooded Rotary Air Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 784-799.
- Yee, V., dan Soedel, W. (1980). Component on Blade Excited Rigid Body Vibrations of Rotary Vane Compressors. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 243-248.
- Yuquan, Z., Delu, L., Yongge, Y., Dingguo, D., Ziwen, X., dan Pengsheng, S. (1992). Development of A New Generation of Sliding Vane Compressor. *Proc. International Compressor Engineering Conference*. Purdue: 413-420.