

SISTEM BREK ELEKTROMAGNETIK BOLEH KAWAL MENGGUNAKAN
ARUS PUSAR

MOHAMAD ZAIRI BIN BAHAROM

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
SARJANA SAINS

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2013

PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

21 Mei 2013

MOHAMAD ZAIRI BIN BAHAROM
P 54863

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI JADUAL		ix
SENARAI RAJAH		x
SENARAI SIMBOL		xiv
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Kepentingan Kajian dan Penyataan Masalah	2
1.3	Hipotesis Kajian	5
1.4	Objektif Kajian	6
1.5	Skop Kajian	6
1.6	Struktur Tesis	7
BAB II	KAJIAN PERPUSTAKAAN	
2.1	Pengenalan	8
2.2	Teori Asas Elektromagnet	8
2.3	Aplikasi Arus Pular	11
2.4	Sistem Brek Kenderaan	12
	2.4.1 Brek mekanikal	13
	2.4.2 Sistem brek arus pular	14
2.5	Kekurangan Kehausan Pad Brek	21
2.6	Basikal Senaman	21
2.7	Kesimpulan	23

BAB III METODOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	24
3.2	Rig Ujikaji Tindakbalas	26
	3.2.1 Cakera brek	28
	3.2.2 Sistem Pemerolehan Data (PULSE)	29
	3.2.3 Motor arus terus	30
	3.2.4 Elektromagnet	31
	3.2.5 Bekalan voltan arus terus untuk motor arus terus	32
	3.2.6 Bekalan kuasa arus terus untuk elektromagnet	33
	3.2.7 Meter pelbagai digit	34
	3.2.8 Takometer optik	35
3.3	Kaedah Kajian Ujikaji Tindakbalas	35
	3.3.1 Parameter-parameter berubah bagi ujikaji tindakbalas	38
3.4	Rig Ujikaji Pengesahan	41
	3.4.1 Pengukuran terikan (tolok terikan)	42
	3.4.2 Casis USB lubang alur dan peranti masukan analog	47
	3.4.3 Aksesori terminal-skru	48
	3.4.4 Blok modul DasyLab	49
3.5	Kaedah Ujikaji Pengesahan	51
	3.5.1 Ujian keelurusan untuk penskalaan	52
	3.5.2 Prosedur ujikaji pengesahan	54
3.6	Kesimpulan	56

BAB IV KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	57
4.2	Keputusan Ujikaji Tindakbalas	57
	4.2.1 Kesan bekalan arus dan jenis bahan cakera	58
	4.2.2 Kesan bilangan lilitan gegelung elektromagnet	61
	4.2.3 Kesan jarak sela udara	65
	4.2.4 Perbandingan Al6061 dan Al7075	72
	4.2.5 Kesan ketebalan cakera	75
	4.2.6 Ujian ANOVA tersarang penuh dan ujian ANOVA dua hala	77
4.3	Keputusan Ujikaji Pengesahan	83
	4.3.1 Data dituras	83
	4.3.2 Data punca-min-kuasa dua	86
	4.3.3 Data puncak ke puncak	89
	4.3.3 Antaramuka grafik pengguna	92

4.4	Kesimpulan	93
BAB V	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan	94
5.2	Cadangan	95
RUJUKAN		97
LAMPIRAN		
A1	Senarai Penerbitan	102
B1	Spesifikasi Motor Arus Terus	103
B2	Spesifikasi Elektromagnet	104
C1	Langkah Konfigurasi MAX	106
C2	Langkah Konfigurasi DasyLab	109

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
3.1	Spesifikasi motor arus terus	31
3.2	Ciri-ciri elektromagnet	32
3.3	Nilai-nilai masukan bekalan arus, i bagi 250 lilitan	38
3.4	Nilai-nilai masukan bekalan arus, i bagi 50 lilitan	39
3.5	Jarak sela udara (mm)	40
3.6	Kealiran elektrik untuk pelbagai bahan cakera pada suhu bilik 20° C	40
3.7	Ketebalan cakera aloi aluminium, Al 6061	41
3.8	Spesifikasi tolok terikan	46
3.9	Spesifikasi peranti input analog	47
4.1	Keberkesanan 50 lilitan pada gegelung elektromagnetik bagi cakera kuprum dan sela udara 1mm	64
4.2	Keberkesanan 250 lilitan pada gegelung elektromagnetik bagi cakera kuprum dan sela udara 1mm	65
4.3	Keberkesanan jarak sela udara, a terhadap prestasi sistem brek arus pusat (cakera kuprum)	67
4.4	Jumlah peratusan penurunan kelajuan pada berlainan halaju awal	69
4.5	Pelbagai saiz ketebalan aloi aluminium, Al 6061	76
4.6	Data ujian ANOVA tersarang penuh	79
4.7	Data ANOVA bagi ujian ANOVA tersarang penuh	79
4.8	Jadual ANOVA bagi ujian ANOVA dua hala	81

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
1.1	Statistik pembebasan kuprum daripada sumber haus brek dan sumber lain di eropah	3
1.2	Perangkaan kemalangan jalan raya bagi tahun 2000-2009	5
2.1	Skematik model peredam-spring arus pusar	12
2.2	Daya-daya yang terlibat dalam pembrekan geseran (2 dimensi)	14
2.3	Reka bentuk sistem brek utama (3 dimensi)	14
2.4	Skematik arus pusar teraruh dalam pengalir	15
2.5	Skematik bahan beraliran melalui medan magnet dan mengaruh arus pusar	16
2.6	Medan magnet dengan sela udara besar	18
2.7	Medan magnet dengan sela udara kecil	18
2.8 (a)	Tatarajah untuk sistem brek arus pusar (ECB)	19
2.8 (b)	Keratan rentas teras besi dan cakera	19
2.9	Model basikal senaman	22
3.1	Carta alir keseleruhan projek penyelidikan	26
3.2	Pandangan 3 dimensi untuk reka bentuk rig ujikaji 1	27
3.3	Pandangan atas, depan, sisi dan trimetrik bagi rig ujikaji 1	28
3.4	Tiga jenis cakera brek daripada bahan berbeza iaitu zink, aluminium dan kuprum	29
3.5	Dua jenis cakera brek daripada siri aluminium berbeza iaitu Al6061 dan Al7075	29
3.6	Gambarajah PULSE-jenis 3560D	30
3.7	Motor arus terus	30
3.8	Elektromagnet	32
3.9	Bekalan voltan arus terus	33
3.10	Bekalan kuasa arus terus	34
3.11	Meter pelbagai digit	34
3.12	Takometer optik	35
3.13	Carta alir ujikaji tindakbalas	36
3.14	Pandangan penuh rig ujikaji tindakbalas	37
3.15	Skematik rig ujikaji tindakbalas	37
3.16	Tolok terikan jenis wayar	43

3.17	Tolok terikan dipasang pada pedal basikal	46
3.18	NI-cDAQ 9178 Casis USB lubang alur dan NI-9237 peranti input analog	47
3.19	NI-9949 RJ50 aksesori terminal-skru	48
3.20	Rajah sambungan separuh-jambatan	49
3.21	Rajah blok modul DasyLab	51
3.22	Carta alir ujikaji pengesahan	52
3.23	Beban 10N diatas pedal basikal	53
3.24	Plot kekelurusan untuk penskalaan	54
3.25	Pandangan dekat rig ujikaji pengesahan (kawasan pembrekan elektromagnetik)	55
3.26	Pandangan penuh rig ujikaji pengesahan	55
3.27	Skematik rig ujikaji pengesahan	56
4.1	Graf halaju melawan arus bagi aluminium, kuprum dan zink pada l_g (1mm), d (1mm) dan V (11V)	60
4.2	Graf halaju melawan arus bagi aluminium, kuprum dan zink pada l_g (1mm), d (1mm) dan V (13V)	60
4.3	Graf halaju melawan arus bagi aluminium, kuprum dan zink pada l_g (1mm), d (1mm) dan V (15V)	61
4.4	Graf halaju melawan arus bagi cakera aluminium pada l_g (1mm), d (1mm) pada gegelung elektromagnet dengan 50 lilitan	62
4.5	Graf halaju melawan arus bagi cakera aluminium pada l_g (1mm), d (1mm) pada gegelung elektromagnet dengan 250 lilitan	63
4.6	Graf halaju melawan arus bagi cakera kuprum pada l_g (1mm), d (1mm) pada gegelung elektromagnet dengan 50 lilitan	63
4.7	Graf halaju melawan arus bagi cakera kuprum pada l_g (1mm), d (1mm) pada gegelung elektromagnet dengan 250 lilitan	64
4.8	Graf halaju melawan arus bagi cakera kuprum pada d (1mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan V(11V) pada sela udara berbeza	68
4.9	Graf halaju melawan arus bagi cakera kuprum pada d (1mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan V(13V) pada sela udara berbeza	68

4.10	Graf halaju melawan arus bagi cakera kuprum pada d (1mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan V(15V) pada sela udara berbeza	69
4.11	Graf tork brek melawan arus bagi cakera Al6061 pada d (5mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) pada sela udara, I_g (1mm)	70
4.12	Graf tork brek melawan arus bagi cakera Al6061 pada d (5mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) pada sela udara, I_g (2mm)	71
4.13	Graf tork brek melawan arus bagi cakera Al6061 pada d (5mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) pada sela udara, I_g (3mm)	71
4.14	Graf halaju melawan arus bagi cakera Al6061 dan Al7075 pada d (4mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan I_g (1mm)	73
4.15	Graf halaju melawan arus bagi cakera Al6061 dan Al7075 pada d (4mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan I_g (3mm)	74
4.16	Graf tork brek melawan arus bagi cakera Al6061 pada d (4mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan I_g (1mm)	74
4.17	Graf tork brek melawan arus bagi cakera Al7075 pada d (4mm), gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan I_g (1mm)	75
4.18	Graf halaju (PPM) melawan masa (s) bagi cakera Al6061 pada gegelung elektromagnet (250 lilitan) dan I_g (1mm) bagi ketebalan cakera 4mm dan 5mm	77
4.19	Plot kesan utama untuk PPM bagi ujian ANOVA tersarang penuh	80
4.20	Plot interaksi untuk PPM bagi ujian ANOVA tersarang penuh	80
4.21	Plot kesan utama untuk PPM bagi ujian ANOVA dua hala	81
4.22	Plot interaksi untuk PPM bagi ujian ANOVA dua hala	82
4.23	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data dituras cakera Al6061 pada n (250 lilitan), I_g (1mm) dan ketebalan cakera 5mm bagi arus 1A	84
4.24	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data dituras cakera Al6061 pada n (250 lilitan), I_g (1mm) dan ketebalan cakera 5mm bagi arus 2A	85

4.25	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data dituras cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm) dan ketebalan cakera 5mm bagi arus 3A	85
4.26	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data dituras cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm) dan ketebalan cakera 5mm bagi arus 4A	86
4.27	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data punca-min-kuasa-dua cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm) , d (5mm) bagi arus 1A	87
4.28	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data punca-min-kuasa dua cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 2A	87
4.29	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data punca-min-kuasa dua cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 3A	88
4.30	Graf daya (N) melawan masa (s) bagi data punca-min-kuasa dua cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 4A	88
4.31	Graf terikan melawan masa (s) bagi data punca-ke-puncak cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 1A	90
4.32	Graf terikan melawan masa (s) bagi data punca-ke-puncak cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 2A.	90
4.33	Graf terikan melawan masa (s) bagi data punca-ke-puncak cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 3A	91
4.34	Graf terikan melawan masa (s) bagi data punca-ke-puncak cakera Al6061 pada n (250 lilitan), l_g (1mm), d (5mm) bagi arus 3A	91
4.35	Paparan antaramuka grafik pengguna bagi ujikaji terhadap sistem brek elektromagnetik boleh kawal menggunakan arus pular	92

SENARAI SIMBOL

a	lebar kutub teras besi
b	ketinggian kutub teras besi
B	ketumpatan fluks magnet
C	jarak antara pusat cakera dan kutub
d	ketebalan cakera
E	keamatan medan elektrik
Φ_E	fluks elektrik
f	daya magnetomotif
F	daya elektromagnet (dalam dawai)
i	arus
l_g	jarak sela udara
J_{pusar}	arus pusar
L	jumlah panjang dawai
n	bilangan lilitan
N	daya tindak balas
Q	jumlah caj terkumpul
r	jejari cakera
R	daya geseran
R	engganan magnetik
PPM	putaran per minit
S	luas permukaan kutub
T_b	tork pembrekan
μ	pekali geseran dinamik

μ_0	kebolehtelapan udara
v	relatif kelajuan sumber
V	voltan
σ	keberaliran elektrik
\emptyset	jumlah fluks
ϵ_0	pekali elektrik
∇	pembezaan
ANOVA	analisis varians
DF	darjah kebebasan
SS	jumlah kuasa dua
MS	purata kuasa dua