

KAJIAN KAKISAN FILIFORM PADA
CAKERA PADAT

oleh

SURAIYA BINTI ABDUL HALIM

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi
keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains

Mei 2004

(0.73%). Manakala menerusi kaedah TEM, didapati struktur produk kakisan kemungkinan besar terdiri daripada aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) atau alpha aluminium oksida ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$).

STUDY OF FILIFORM CORROSION ON COMPACT DISC

ABSTRACT

Filiform corrosion occurs on compact disc from type of CD-DA and CD-ROM that used aluminium as a reflective medium. Hence, the objective of this study is to analyse and obtain the most optimum simulation method for filiform corrosion to grow on compact disc. This study involves analysis on corroded compact disc, characterisation of compact disc, simulation study of filiform corrosion and analysis on a corrosion product. Analysis of corroded compact disc involves study on morphology and composition of corrosion product by using optical microscope (image analyser) and electron diffraction X-ray (EDX). The characterisation of compact disc covers an analysis on data, protective and metal layers that utilise infrared spectrometry (FTIR) and EDX. Simulation of filiform corrosion is carried out by exposing the compact disc surface to chloride ion (in forms of solution and vapour), acetate, sulfate, hydroxide and nitrate ions. Subsequently, corrosion product of the samples are analysed for morphology, composition and structure using image analyser, scanning electron microscope (SEM)-EDX and transmission electron microscope (TEM). Results obtained shows that chloride ion is responsible to cause filiform corrosion on compact disc. It is found that compact disc from types of CD-DA and CD-ROM are built-up from polycarbonate, acrylic substrate and aluminium. This study also shows that the most optimum simulation method is based on *DIN65472* by exposing the compact disc surface to hydrochloric acid vapour with concentration 32.0% for 35 minutes and kept at 82.0% to 85.0% relative humidity. Via EDX analysis, it is found that the chloride ion distribution is higher at the filament head (1.05%) as

compared to the filament tail (0.73%). Using TEM, the result shows that the corrosion product is most possibly made of aluminium hydroxide ($\text{Al}(\text{OH})_3$) or alpha aluminium oxide ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$).

KANDUNGAN

Penghargaan	ii
Abstrak	iii
Abstract	v
Kandungan	vii
Senarai Jadual	xii
Senarai Rajah	xiv
BAB 1: PENGENALAN	1
1.1 Cakera Padat	1
1.2 Anatomi Cakera Padat	1
1.3 Jenis-jenis Media Cakera Padat	4
1.4 Kemorosotan Cakera Padat	6
1.4.1 Jenis-jenis Kerosakan Cakera Padat	8
1.4.1.1 Kerosakan Lapisan Polikarbonat	8
1.4.1.2 Kerosakan Bahagian Label	9
1.4.1.3 Cakera Padat Melengkung (<i>Warping</i>)	11
1.4.1.4 Penggangsaan (<i>Bronzing</i>) Cakera Padat	11
1.4.1.5 Kakisan Cakera Padat	11
1.5 Kakisan Filiform	13
1.5.1 Ciri-ciri Pertumbuhan Filamen Kakisan Filiform	14
1.5.2 Punca dan Faktor Utama Kakisan Filiform	16

1.5.3	Mekanisme Kakisan Filiform	19
1.6	Kakisan Filiform Pada Aluminium	20
1.6.1	Mekanisme Kakisan Filiform Pada Aluminium	22
1.7	Objektif Kajian	26
BAB 2: BAHAN DAN KAEDAH EKSPERIMEN		28
2.1	Bahan	28
2.1.1	Cakera Padat	28
2.1.2	Bahan Kimia	30
2.2	Peralatan	31
2.2.1	Spektrometer Infra-Merah Fourier Transform (<i>FTIR Spectrometer</i>)	31
2.2.2	Mikroskop Optik (Image Analyser)	31
2.2.3	Mikroskop Elektron Imbasan (SEM)	32
2.2.4	Penyerakan Tenaga Sinar-X (EDX)	32
2.2.5	Mikroskop Elektron Transmisi (TEM)	32
2.2.6	Desikator	33
2.3	Kaedah Eksperimen	34
2.3.1	Kajian Kakisan Pada Sampel Sedia Terkakis	34
2.3.1.1	Analisis Morfologi Kakisan	34
2.3.1.2	Analisis Komposisi Produk Kakisan	34
2.3.2	Pencirian Cakera Padat	35
2.3.2.1	Analisis Lapisan Plastik Cakera Padat dengan Kaedah Spektrometer Infra-Merah Fourier Transform (FTIR)	35

2.3.2.2	Analisis Lapisan Pelindung Cakera Padat dengan Kaedah Spektrometer Infra-Merah Fourier Transform (FTIR)	36
2.3.2.3	Analisis Komposisi Lapisan Logam Reflektif Cakera Padat dengan Kaedah Penyerakan Tenaga Sinar-X (EDX)	37
2.3.3	Kajian Simulasi Kakisan Filiform	37
2.3.3.1	Penyediaan Panel	37
2.3.3.2	Kaedah Penitisan Larutan Natrium Klorida	38
2.3.3.3	Kaedah Penitisan dan Pengeringan Larutan Natrium Klorida	39
2.3.3.4	Kaedah Penitisan Larutan Asid Hidroklorik	39
2.3.3.5	Kaedah Pendedahan Asid Asetik	40
2.3.3.6	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Asid Sulfurik	40
2.3.3.7	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Larutan Natrium Hidroksida	41
2.3.3.8	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Asid Nitrik	42
2.3.3.9	Kaedah Rendaman	42
2.3.3.10	Kaedah Pendedahan Pada Wap Asid Hidroklorik	43
2.3.3.11	Ujian Kesan Masa Pendedahan Pada Asid Hidroklorik	44
2.3.3.12	Ujian Kesan Kelembapan Bandingan	44
2.3.3.13	Ujian Kesan Kepekatan Asid Hidroklorik	45
2.3.4	Analisis Produk Kakisan Filiform	45
2.3.4.1	Analisis Morfologi Kakisan Filiform	45
2.3.4.2	Analisis Komposisi Kakisan Filiform	46
2.3.4.3	Analisis Struktur Produk Kakisan Filiform	47

3.0	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	48
3.1	Kajian Kakisan Pada Sampel Sedia Terkakis	48
3.1.1	Analisis Morfologi Kakisan	48
3.1.2	Analisis Komposisi Produk Kakisan	51
3.2	Pencirian Cakera Padat	53
3.2.1	Analisis Lapisan Data Cakera Padat dengan Kaedah Spektrometer Infra-Merah Fourier Transform (FTIR)	53
3.2.2	Analisis Lapisan Pelindung Cakera Padat dengan Kaedah Spektrometer Infra-Merah Fourier Transform (FTIR)	55
3.2.3	Analisis Komposisi Lapisan Logam Reflektif Cakera Padat dengan Kaedah Penyerakan Tenaga Sinar-X (EDX)	56
3.3	Kajian Simulasi Kakisan Filiform	58
3.3.1	Kaedah Penitisan Larutan Natrium Klorida	59
3.3.2	Kaedah Penitisan dan Pengeringan Larutan Natrium Klorida	62
3.3.3	Kaedah Penitisan Asid Hidroklorik	64
3.3.4	Kaedah Pendedahan Asid Asetik	67
3.3.5	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Asid Sulfurik	68
3.3.6	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Larutan Natrium Hidroksida	69
3.3.7	Kaedah Pengaktifan Asid Asetik dan Pendedahan Pada Persekitaran Larutan Asid Nitrik	69
3.3.8	Kaedah Rendaman	70
3.3.9	Kaedah Pendedahan Pada Wap Asid Hidroklorik	72
3.3.10	Ujian Kesan Masa Pendedahan Pada Wap Asid Hidroklorik	76
3.3.11	Ujian Kesan Kelembapan Bandingan	92

3.3.12	Ujian Kesan Kepekatan Asid Hidroklorik	99
3.4	Analisis Produk Kakisan Filiform	106
3.4.1	Analisis Morfologi Kakisan Filiform	107
3.4.2	Analisis Komposisi Produk Kakisan Filiform	109
3.4.3	Analisis Struktur Produk Kakisan Filiform	114
3.5	Perbandingan Di Antara Sampel Cakera Padat Sedia Terkakis dan Sampel Eksperimen	116
4.0	KESIMPULAN	118
	RUJUKAN	121
	LAMPIRAN	

SENARAI JADUAL

Jadual 3.1	:	Analisis komposisi produk kakisan.	52
Jadual 3.2	:	Jalur Penyerapan Infra-Merah.	54
Jadual 3.3	:	Analisis komposisi lapisan logam reflektif sampel cakera padat terkakis.	57
Jadual 3.4	:	Analisis komposisi lapisan logam reflektif sampel cakera padat baru.	57
Jadual 3.5	:	Pemerhatian pada cakera padat baru dengan kaedah penitisan larutan natrium klorida selepas 14 hari.	59
Jadual 3.6	:	Pemerhatian pada cakera padat baru dengan kaedah penitisan dan penegeringan larutan natrium klorida selepas 14 hari.	63
Jadual 3.7	:	Pemerhatian pada cakera padat dengan kaedah penitisan asid hidroklorik selepas 14 hari.	65
Jadual 3.8	:	Kesan pendedahan asid asetik pada cakera padat selepas 30 hari.	67
Jadual 3.9	:	Kesan pengaktifan asid asetik pada cakera padat yang didedahkan pada persekitaran asid sulfurik selepas 30 hari.	68
Jadual 3.10	:	Pemerhatian pada cakera padat dengan kaedah rendaman asid hidroklorik selepas 14 hari.	70
Jadual 3.11	:	Kesan pendedahan cakera padat selama 60 minit pada wap 32.0 % larutan asid hidroklorik.	73
Jadual 3.12	:	Kesan masa pendedahan ke atas pertumbuhan kakisan filiform pada cakera padat.	78
Jadual 3.13	:	Pemerhatian ke atas ciri kakisan filiform akibat kesan masa pendedahan wap asid hidroklorik selepas masa pendedahan.	80
Jadual 3.14	:	Kesan kelembapan bandingan pada cakera padat yang didedahkan pada asid hidroklorik selama 35 minit dengan kepekatan asid hidroklorik 32.0 %.	93

Jadual 3.15	:	Kesan kepekatan asid hidroklorik pada cakera padat yang didedahkan selama 35 minit dan disimpan dalam kelembapan bandingan 85.0 % selepas 3 jam.	100
Jadual 3.16	:	Analisis komposisi pada bahagian hadapan filamen.	110
Jadual 3.17	:	Analisis komposisi bahagian tengah belakang filamen.	112
Jadual 3.18	:	Analisis komposisi bahagian belakang filamen.	113

SENARAI RAJAH

Rajah 1.1	:	Keratan rentas cakera padat.	2
Rajah 1.2	:	Siri liang dan dataran dalam cakera padat.	3
Rajah 1.3	:	Cara pemain cakera membaca data daripada cakera padat.	4
Rajah 1.4	:	Kesan kerosakan pada lapisan polikarbonat cakera padat.	9
Rajah 1.5	:	Kesan kerosakan pada bahagian label cakera padat.	10
Rajah 1.6	:	Kakisan filiform pada cakera padat dengan pembesaran 200 kali, (a) kakisan filiform, (b) dataran dan (c) liang.	13
Rajah 1.7	:	Struktur filamen kakisan filiform.	15
Rajah 1.8	:	Pandangan skematik permulaan kakisan filiform.	25
Rajah 1.9	:	Pembentukan sel berbeza pengudaraan.	25
Rajah 1.10	:	Tindakbalas pembentukan kakisan filiform pada lapisan aluminium.	26
Rajah 2.1	:	Cakera padat.	29
Rajah 2.2	:	Pembahagian cakera padat kepada empat bahagian membentuk panel kecil untuk memudahkan kajian.	29
Rajah 2.3	:	Sampel cakera padat yang mengalami kakisan, (a) kakisan.	30
Rajah 2.4	:	Desikator kaca.	33
Rajah 2.5	:	Penyediaan panel untuk kajian simulasi kakisan filiform.	38
Rajah 2.6	:	Penyimpanan sampel di dalam persekitaran asid sulfurik.	41
Rajah 2.7	:	Pendedahan panel cakera padat pada wap larutan asid hidroklorik.	43
Rajah 2.8	:	<i>Template</i> untuk mengira taburan koloni filamen.	46
Rajah 3.1	:	Kakisan pada sampel cakera padat sedia terkakis dengan pembesaran 25 kali.	49

Rajah 3.2	:	Siri filamen kakisan menunjukkan bahagian-bahagian filamen dengan pembesaran 50 kali, (a) bahagian hadapan, (b) bahagian tengah dan (c) bahagian belakang.	50
Rajah 3.3	:	Kakistan filiform bermula dari kesan calaran di atas cakera padat dengan pembesaran 50 kali.	51
Rajah 3.4	:	Kakistan biasa pada cakera padat dititiskan dengan 1.0 M larutan natrium klorida selepas 14 hari dengan pembesaran 500 kali.	60
Rajah 3.5	:	Hablur garam natrium klorida terbentuk pada cakera padat yang dititiskan dengan 1.0 M larutan natrium klorida dengan pembesaran 200 kali.	62
Rajah 3.6	:	Kesan penitisan asid hidroklorik (a) 1.0 %, (b) 0.25%, (c) 0.1%, dan (d) 0.01 % pada lapisan aluminium cakera padat selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	66
Rajah 3.7	:	Kesan rendaman pada lapisan aluminium dalam 1.0 % larutan asid hidroklorik selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	71
Rajah 3.8	:	Kesan pendedahan cakera padat pada wap asid hidroklorik selama 60 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	76
Rajah 3.9	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 45 saat selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	81
Rajah 3.10	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 10 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	82
Rajah 3.11	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 15 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	82
Rajah 3.12	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 20 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	83
Rajah 3.13	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 25 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	85

Rajah 3.14	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 30 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 100 kali.	85
Rajah 3.15	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 35 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	86
Rajah 3.16	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 40 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 100 kali.	86
Rajah 3.17	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 45 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 100 kali.	87
Rajah 3.18	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 50 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	88
Rajah 3.19	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 55 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	88
Rajah 3.20	:	Kesan masa pendedahan pada wap asid hidroklorik pada cakera padat selama 60 minit selepas 3 hari dengan pembesaran 50 kali.	89
Rajah 3.21	:	Kesan masa pendedahan cakera padat pada wap asid hidroklorik berdasarkan purata panjang filamen.	91
Rajah 3.22	:	Kesan masa pendedahan pada cakera padat pada wap asid hidroklorik berdasarkan bilangan koloni.	91
Rajah 3.23	:	Kesan masa pendedahan cakera padat pada wap asid hidroklorik berkepekatan 32.0 % pada kelembapan bandingan 84.0 %, mengikut jam.	92
Rajah 3.24	:	Kakistan filiform pada kelembapan bandingan 49.0% dengan pembesaran 50 kali.	94
Rajah 3.25	:	Kakistan filiform pada kelembapan bandingan 60.0% dengan pembesaran 50 kali.	94
Rajah 3.26	:	Kakistan filiform pada kelembapan bandingan 82.0% dengan pembesaran 50 kali.	95

Rajah 3.27	:	Kakisan filiform pada kelembapan bandingan 85.0% dengan pembesaran 50 kali.	95
Rajah 3.28	:	Kakisan filiform pada kelembapan bandingan 92.0% dengan pembesaran 50 kali.	96
Rajah 3.29	:	Kakisan filiform pada kawasan 'X' pada keadaan bilik dengan pembesaran 50 kali.	96
Rajah 3.30	:	Kesan kelembapan bandingan bagi cakera padat yang didedahkan pada wap asid hidroklorik berkepekatan 32.0 % pada masa pendedahan 35 minit mengikut bilangan koloni.	97
Rajah 3.31	:	Kesan kelembapan bandingan bagi cakera padat yang didedahkan pada wap asid hidroklorik berkepekatan 32.0 % pada masa pendedahan 35 minit mengikut jam.	98
Rajah 3.32	:	Pertumbuhan kakisan filiform disekitar kawasan 'X' pada kepekatan asid hidroklorik 28.0% dengan pembesaran 50 kali.	101
Rajah 3.33	:	Pertumbuhan kakisan filiform pada kepekatan asid hidroklorik 30.0% dengan pembesaran 50 kali.	102
Rajah 3.34	:	Pertumbuhan kakisan filiform pada kepekatan asid hidroklorik 32.0% dengan pembesaran 50 kali.	102
Rajah 3.35	:	Pertumbuhan kakisan filiform pada kepekatan asid hidroklorik 34.0% dengan pembesaran 50 kali.	103
Rajah 3.36	:	Pertumbuhan kakisan filiform pada kepekatan asid hidroklorik 36.0% dengan pembesaran 50 kali.	103
Rajah 3.37	:	Kesan kepekatan asid hidroklorik bagi cakera padat yang didedahkan selama 35 minit selepas tamat pendedahan berdasarkan purata panjang filamen.	104
Rajah 3.38	:	Kesan kepekatan asid hidroklorik bagi cakera padat yang didedahkan selama 35 minit selepas tamat pendedahan berdasarkan bilangan koloni.	104
Rajah 3.39	:	Kesan kepekatan asid hidroklorik bagi cakera padat yang didedahkan pada masa pendedahan 35 minit dan disimpan pada kelembapan bandingan 85.0 % mengikut jam.	106

Rajah 3.40	:	Kakisan filiform pada lapisan aluminium cakera padat menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 50 kali.	108
Rajah 3.41	:	Imej SEM filamen filiform dengan pembesaran 32 kali.	109
Rajah 3.42	:	Titik A pada bahagian hadapan filamen dengan pembesaran 235 kali.	110
Rajah 3.43	:	Titik B dan Titik B1 pada bahagian tengah belakang filamen dengan pembesaran 250 kali.	112
Rajah 3.44	:	Titik C pada bahagian belakang filamen dengan pembesaran 250 kali.	113
Rajah 3.45	:	Imej TEM produk kakisan filiform dengan pembesaran 38,000 kali.	114
Rajah 3.46	:	Perbandingan pola diffraksi di antara sampel produk terkakis dengan sampel piawai aluminium.	115

1.1 Cakera Padat

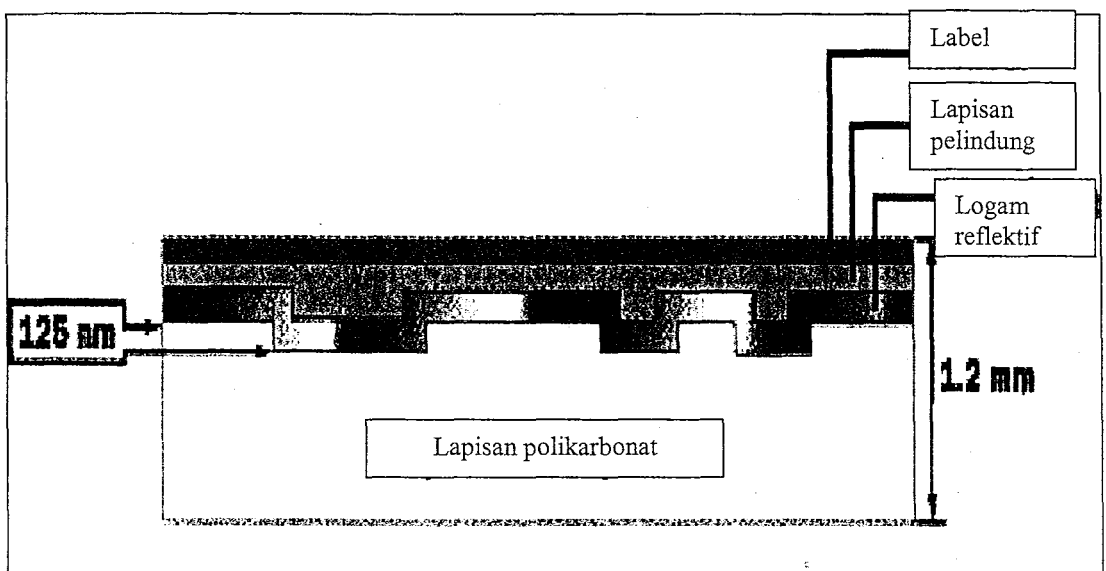
Cakera padat atau lebih dikenali sebagai CD (*Compact Disc*) digunakan dengan meluas sebagai medium muzik, data komputer, teks, gambar, permainan video dan lain-lain penggunaan. Kesemua penggunaan ini disimpan di dalam cakera padat dalam bentuk digital [1]. Sejarah cakera padat bermula dengan pengembangan audio digital dalam bentuk simpanan optik oleh Syarikat Phillips di Belanda pada tahun 1972. Pada 1982, Sony dan Phillips pertama kali telah mengeluarkan cakera padat dan teknologi ini kemudiannya diperkenalkan di Eropah dan Jepun [2]. Dalam tahun 1984, spesifikasi cakera padat audio digital, CD-DA (*Compact Disc Digital Audio*) dimajukan kepada format CD-ROM (*Compact Disc-Read Only Memory*) untuk penggunaan komputer dan ini diikuti dengan lain-lain format.

1.2 Anatomi Cakera Padat

Cakera padat terdiri daripada empat lapisan iaitu lapisan polikarbonat, lapisan logam reflektif, lapisan pelindung akrilik nipis dan lapisan label grafik. Rajah 1.1 menunjukkan keratan rentas cakera padat [3].

Lapisan polikarbonat merangkumi sebahagian besar daripada cakera padat. Lapisan polikarbonat berfungsi untuk melindungi lapisan data daripada rosak. Ia juga berfungsi sebagai kanta untuk menfokus laser pemain cakera kepada lapisan data seterusnya memudahkan pembacaan data. Lapisan data adalah di mana maklumat

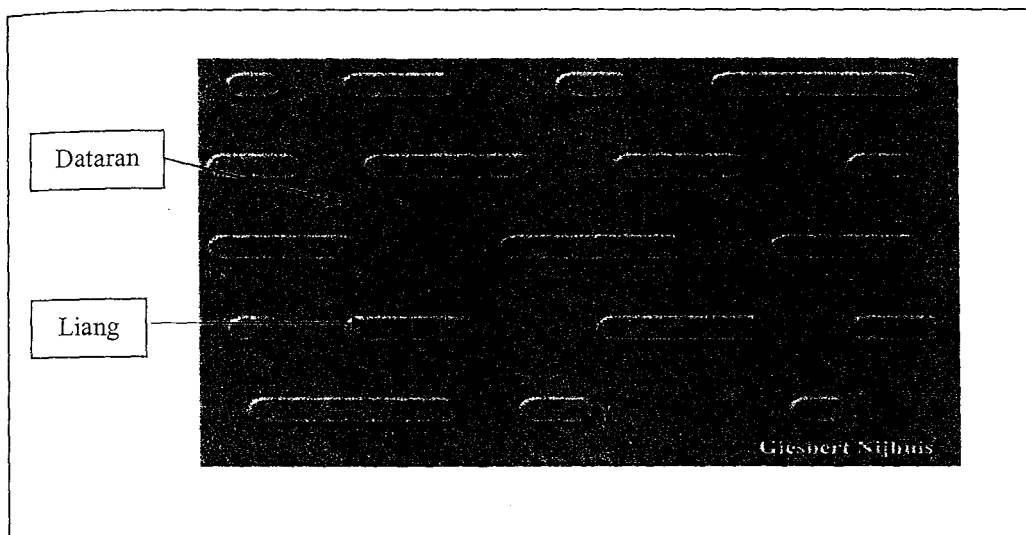
muzik, grafik dan data di dalam fail. Lapisan data diacuan dan ditekan di atas lapisan polikarbonat. Lapisan logam reflektif terletak di atas lapisan data dan bertindak sebagai cermin, memantul pancaran laser pemain cakera kembali kepada pengesan selepas data dibaca. Lapisan ini memberi warna berkilat kepada cakera padat di bahagian lapisan bawah cakera padat. Lapisan pelindung daripada substrat akrilik yang terletak di atas lapisan logam reflektif amat nipis dan kuat bertujuan memberi perlindungan kepada lapisan reflektif, lapisan data dan juga menyediakan permukaan mencetak grafik pada cakera padat. Lapisan label yang terletak di lapisan teratas cakera padat dicetak di atas lapisan pelindung. Pada lapisan ini terdapat tajuk, grafik dan lain-lain maklumat mengenai isi kandungan cakera padat [1].



Rajah 1.1: Keratan rentas cakera padat [1].

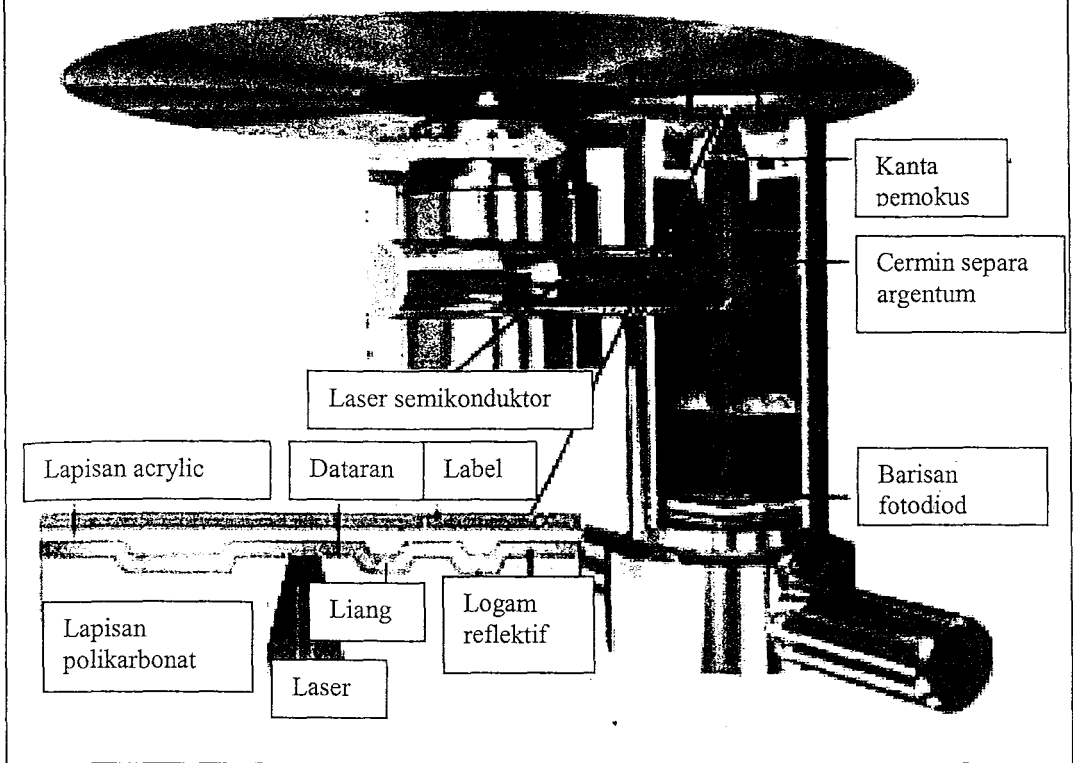
Secara fizikal, cakera padat berdiameter 120.0 mm dan berlubang di bahagian tengahnya dengan diameter 15.0 mm [4]. Ketebalan cakera padat berbeza di antara 1.1 mm dan 1.5 mm [5]. Data disimpan di dalam cakera padat dalam trek yang berbentuk lingkaran dari dalam ke luar dan pemain cakera membaca data yang

liang dan dataran. Dataran adalah kawasan yang tidak mempunyai liang. Mengikut Boden [2], liang berukuran dalam $0.5 \mu\text{m}$ lebar, kedalaman kira-kira $0.15 \mu\text{m}$ dan panjang antara 0.80 hingga $3.00 \mu\text{m}$ dengan jarak di antara trek adalah $1.6 \mu\text{m}$. Rajah 1.2 menunjukkan siri liang dan dataran dalam cakera padat [3].



Rajah 1.2: Siri liang dan dataran dalam cakera padat [3].

Cakera padat dibaca dengan menggunakan laser daripada pemain cakera. Laser pemain cakera berperanan membaca data pada lapisan data cakera padat dan memastikan pemain cakera mengikut trek data cakera padat. Pembacaan data berlaku dengan membenarkan sinar laser pemain cakera melalui bahagian lapisan polikarbonat cakera padat, mengumpul maklumat pada bahagian lapisan data dipantul semula oleh lapisan reflektif yang terletak di atas lapisan data. Rajah 1.3 menunjukkan bagaimana pemain cakera membaca data daripada cakera padat [3]. Selepas itu, sinar laser kembali semula ke pemain cakera melalui lapisan polikarbonat ke luar cakera padat menuju ke pengesan pemain cakera. Pengesan pemain cakera membantu pemain cakera menukar maklumat yang dibawa oleh sinar laser daripada cakera padat kepada bentuk audio dan video.



Rajah 1.3: Cara pemain cakera membaca data daripada cakera padat [3].

1.3 Jenis-jenis Media Cakera Padat

Terdapat lima jenis media cakera padat iaitu *Compact Disc Digital Audio* (CD-DA), *Compact Disc Read-Only-Memory* (CD-ROM), *Digital Versatile Discs* (DVD), *Compact Disc-Recordable* (CD-R) dan *Compact Disc Re-writable* (CD-RW) dimana kesemuanya merupakan jenis cakera optik yang dibaca menggunakan laser [1]. Perbezaan kelima-lima cakera padat di atas berdasarkan kepada cara data ditulis pada lapisan data dan bagaimana data dibaca oleh alat yang digunakan. *Compact Disc Digital Audio* (CD-DA) merupakan cakera padat piawai yang pertama dan ia adalah asas kepada format cakera padat berikutnya. Secara fizikal, CD-DA adalah sama dengan CD-ROM [7]. *Compact Disc Read-Only-Memory* (CD-ROM) adalah cakera pra-rekod di mana data diacuan di atas lapisan polikarbonat oleh pengeluar cakera

memuat kapasiti data yang banyak kira-kira 700 megabite (MB) [4]. Oleh itu, penggunaan CD-ROM meluas dalam multimedia, *software* perpustakaan, dan ensiklopedia [8]. Lazimnya, CD-ROM menggunakan aluminium sebagai logam reflektif yang memberi warna berkilat pada cakera padat. Bagaimanapun, bagi CD-ROM berkualiti tinggi kuprum, emas dan argenterum digunakan sebagai logam reflektif menggantikan aluminium.

Digital Versatile Disc (DVD) terdiri daripada beberapa lapisan plastik untuk mencapai ketebalan 1.2 mm [5]. DVD berupaya menyimpan data sebanyak tujuh kali lebih banyak daripada CD-DA dan CD-ROM kerana data disusun lebih rapat. Pemain DVD menggunakan laser bergelombang pendek dan ini berlainan dengan pemain cakera yang lain. Sinar laser tersebut mampu membaca data yang lebih kecil dan tersusun rapat [1]. Aluminium digunakan sebagai reflektif di bahagian dalam manakala pada bahagian lapisan paling luar, lapisan semi-reflektif yang digunakan adalah emas.

Compact disc-recordable (CD-R) dikenali juga sebagai cakera *write-once, read multiple* (WORM). Dengan CD-R data hanya boleh ditulis sekali sahaja oleh pengguna menggunakan mesin khusus penulis cakera [1]. CD-R berbeza dengan CD-ROM dan CD-DA dengan penambahan pencelup organik amorfus di antara substrat polikarbonat dan lapisan logam reflektif. Pencelup organik ini tidak berbutir, dan beresolusi tinggi seperti kaca. Pada cakera padat yang belum ditulis, pencelup kelihatan lutcahaya. Apabila ditulis dengan laser di sepanjang trek, pencelup bertukar warna menjadi gelap dan tidak membenarkan cahaya melaluinya dan ini

0 manakala di kawasan lutcahaya data dikod sebagai 1. Pada kawasan lutcahaya, laser akan dipantul oleh lapisan reflektif kembali kepada mesin penulis cakera [10]. Lazimnya CD-R menggunakan emas dan argentum sebagai metal reflektif. Oleh itu, cakera lazimnya kelihatan berwarna kehijauan, keemasan atau kebiruan, bergantung kepada jenis pencelup dan metal reflektif yang digunakan [11].

Compact disc Rewritable (CD-RW) merupakan media cakera padat yang membenarkan data direkod berulang kali dimana data boleh dipadam, diubah dan ditulis semula dengan data baru [5]. Struktur CD-RW lebih kompleks daripada CD-R di mana terdapat bahan berubah-fasa (*phase-change compound*) iaitu dua lapisan dwielektrik (*dielectric layers*) dan aloi berubah-fasa (*phase-changing metal alloy*). Bahan tersebut ditempatkan di antara lapisan substrat polikarbonat dan lapisan logam reflektif. Lazimnya, aloi perubahan fasa adalah aloi argentum-indium-antimoni-tellurium yang berubah dalam bentuk kitaran di antara keadaan polihablur dan keadaan amorfus apabila terdedah pada haba [10].

1.4 Kerosotan Cakera Padat

Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi kestabilan dan perolehan media cakera padat. Di antaranya ialah kelembapan, suhu, kecacatan mekanikal, habuk atau kotoran dan cahaya [11]. Kelembapan merupakan faktor yang paling kritikal mempengaruhi kestabilan cakera padat. Kelembapan menyebabkan tindakan hidrolisis pada komponen seperti lapisan pelindung cakera padat dan mengkakis lapisan logam reflektif. Tindakan hidrolisis melibatkan penguraian sebatian organik melalui

dan seterusnya cenderung mengalami pelunturan warna dan rapuh. Pada kelembapan tinggi melebihi kelembapan bandingan 65 % kulit dan bakteria cenderung untuk tumbuh dan ini menghalang pembacaan data daripada cakera padat. Suhu menentukan kadar tindakbalas kimia dan ia bertanggungjawab pada perubahan dimensi terutama sekali pada media multi-lapisan [11].

Kecacatan mekanikal seperti calaran mikro boleh menghalang sinar laser daripada membaca data dengan cara memutarbalikkan, melompat dan menghentikan cakera padat [1,12]. Selain itu, kecacatan mekanikal juga merangkumi kerosakan, ketidaksempurnaan permukaan dan bendasing yang hadir semasa proses pembuatan cakera dan rakaman atau selepas pengeluaran [13]. Sementara itu, kesan pembengkokan juga boleh menyebabkan rekahan mikro yang berupaya mengalihkan sinar laser [11].

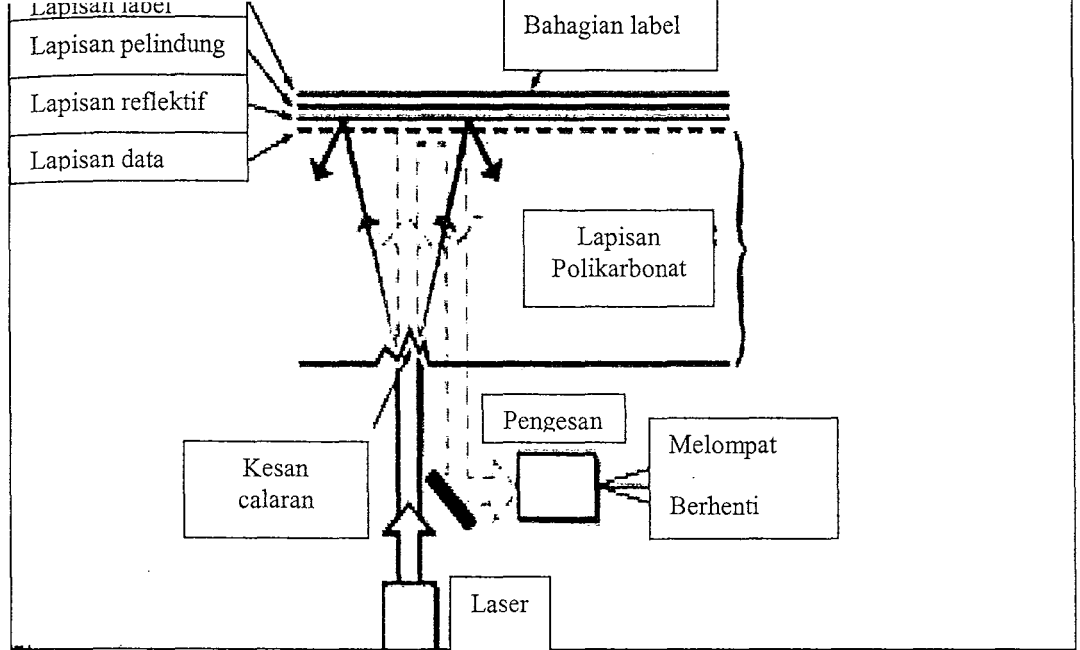
Habuk dan kotoran menghalang sinar laser membaca data dengan sempurna. Ini termasuklah bendasing, cap jari dan asap rokok. Asap rokok bertindak dengan berkumpul pada permukaan cakera dan melindungi maklumat pada cakera padat. Sementara itu, cahaya berperanan mempengaruhi lapisan pencelup yang digunakan pada CD-R dan CD-RW [11]. Pendedahan cakera padat pada suhu tinggi dan di bawah cahaya matahari boleh menyebabkan cakera padat melengkung dan lapisan reflektif mengalami degradasi [1].

Cakera padat adalah bebas daripada kemerosotan kerana kaedah cakera padat dimainkan berdasarkan kepada pemindahan maklumat secara optik dan permukaan cakera padat tidak disentuh secara mekanikal. Bagaimanapun, cakera padat amat cenderung kepada kerosakan apabila pengendalian dan penyimpanannya tidak sempurna. Bahagian lapisan polikarbonat dan label merupakan bahagian cakera padat yang sensitif kepada sebarang kerosakan.

1.4.1.1 Kerosakan Lapisan Polikarbonat

Ketidaktepurnaan permukaan atau calaran pada lapisan polikarbonat boleh mengganggu sinar laser sebelum sampai kepada lapisan data dengan membias sinar laser daripada calaran dan jauh daripada penerima laser [3]. Gangguan ini boleh menghalang pemain cakera daripada membaca data secara betul dan menyebabkan masalah audio [1].

Memandangkan lapisan polikarbonat di bahagian ini tebal, sebarang calaran yang tidak dalam dan tidak menembusi lapisan polikarbonat dan merosakkan lapisan data lazimnya dapat diperbaiki atau disingkirkan. Kerosakan pada bahagian ini dapat diperbaiki dengan menggilap permukaan di bahagian tersebut. Bagaimanapun, kerja pemulihan cakera padat bergantung kepada kedalaman calaran. Rajah 1.4 menunjukkan kesan kerosakan pada lapisan polikarbonat cakera padat.



Rajah 1.4: Kesan kerosakan pada lapisan polikarbonat cakera padat [1].

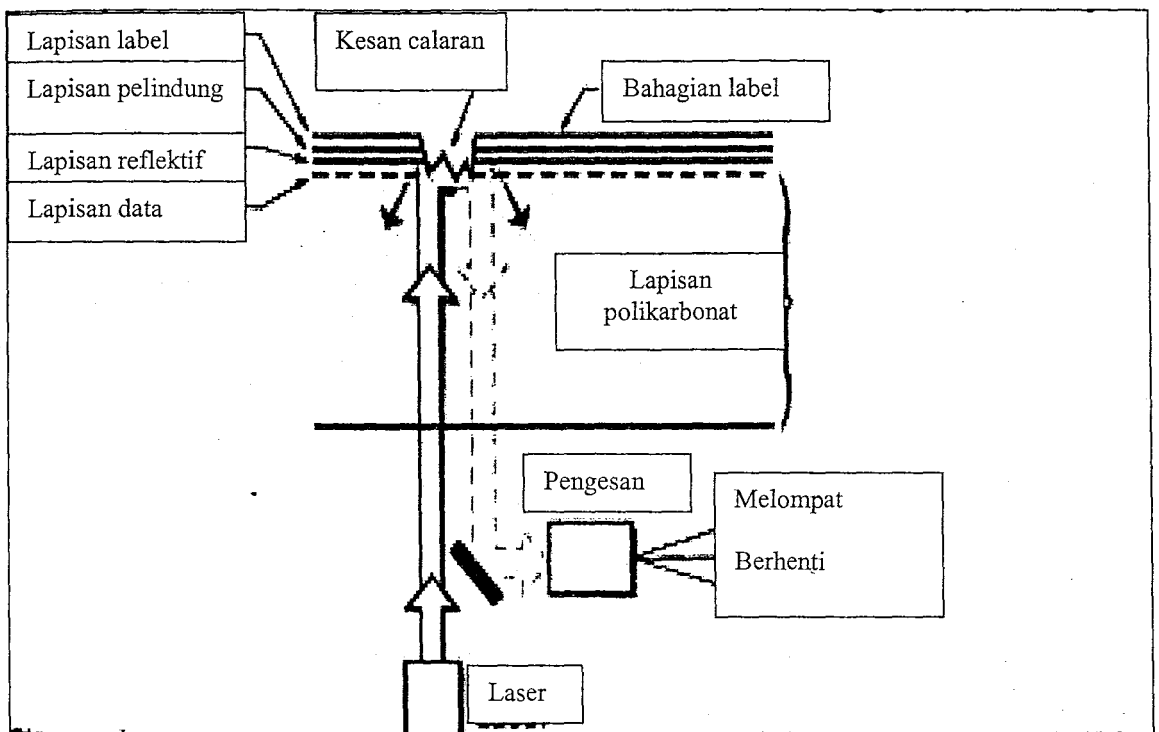
1.4.1.2 Kerosakan Bahagian Label

Kerosakan atau ketidaksempurnaan permukaan cakera padat pada bahagian label boleh memberi kesan negatif kepada cakera padat. Lazimnya, kesan calaran yang dalam pada bahagian label mampu merosakkan cakera padat. Ini kerana, calaran tersebut boleh menembusi tiga lapisan atas yang nipis termasuk lapisan pelindung dan lapisan logam reflektif [1]. Apabila lapisan logam reflektif rosak, sinar laser pemain cakera tidak dapat dipantul kembali ke pengesan dan ini menyebabkan data tidak dapat dibaca dan ditafsir [3].

Kerosakan di bahagian label akibat calaran mengakibatkan kemusnahan data dan memberi masalah audio, sinar laser melompat atau putarbelit dan sesetengah kes serius cakera padat tidak dapat dimainkan lagi [1]. Kerosakan di bahagian label tidak dapat diperbaiki kerana lazimnya kesan calaran memberi kesan kepada lapisan logam

reflektif yang mengakibatkan sinar laser pemain cakera tidak dapat dipantul balik kepada pengesan.

Sementara itu, kekedutan yang terbentuk pada grafik, laker dan lapisan reflektif juga merupakan kerosakan bahagian label [12]. Kerosakan ini disebabkan bahagian label cakera padat diheret atau dibengkokkan. Tindakan ini meninggalkan kesan ke atas tiga lapisan atas cakera padat dan seterusnya mengakibatkan sinar laser melompat-lompat dan pada kawasan yang rosak sinar laser akan meninggalkan data [11]. Rajah 1.5 menunjukkan pembiasan sinar laser disebabkan oleh kerosakan bahagian label [1].



Rajah 1.5: Kesan kerosakan pada bahagian label cakera padat [1].

Cakera padat melengkung disebabkan kesan haba dan kelembapan. Akibat daripada keadaan permukaan yang tidak sekata ini cakera padat akan melompat naik-turun semasa memutar, dan ini menyebabkan sinar laser pemain cakera tidak dapat membaca data. Sekiranya keadaan melengkung terlalu ketara, sinar laser tidak berupaya kekal pada trek atau menfokus pada data dengan sempurna dan pada kes yang serius cakera padat yang melengkung boleh mengakibatkan kerosakan pada pemain cakera [1].

1.4.1.4 Pengangsaan (*Bronzing*) Cakera Padat

Pengangsaan terjadi disebabkan penguraian lapisan label yang terdiri daripada laker yang bermula ditepi luaran cakera padat dan perlahan-lahan bergerak ke bahagian tengah cakera. Apabila pengangsaan terjadi warna bahagian label bertukar menjadi kekuningan. Akibat daripada pengangsaan, cakera padat akan mengalami kesalahan digital terutama pada alur data yang terletak pada birai terakhir cakera. Kesalahan digital akan mengeluarkan bunyi 'klik' dan 'pop' apabila cakera padat dimainkan [14].

1.4.1.5 Kakisan Cakera Padat

Kakisan cakera padat dikaitkan dengan kakisan yang berlaku pada lapisan logam reflektif. Kakisan yang berlaku adalah bergantung kepada jenis logam yang digunakan sebagai bahan reflektif. Bahan reflektif daripada aluminium lebih

dan aurum. Oleh itu, didapati CD-DA dan CD-ROM yang menggunakan aluminium sebagai medium reflektif lebih mudah mengalami kakisan daripada lain-lain jenis cakera padat. CD-R berisiko rendah dipengaruhi kakisan kerana bahan reflektif yang digunakan adalah aurum [7].

Kakisan pada cakera padat dipengaruhi oleh jenis laker dan bahan pelekat yang digunakan pada lapisan label. Kedua-dua bahan tersebut digunakan bertujuan untuk melabel dan menghalang kesan calaran pada kedua-dua bahagian permukaan cakera padat. Mod kakisan yang diperhatikan adalah dengan kehilangan kepingan aluminium daripada lapisan logam reflektif. Kerosakan pada lapisan ini mengakibatkan sinar laser tidak dapat dipantul kembali kepada pengesan pemain cakera dan ini bermakna kehilangan data telah berlaku pada kawasan yang mengalami kakisan.

Kerosakan pada permukaan cakera padat akibat calaran dapat mendedahkan lapisan reflektif aluminium pada udara. Aluminium amat cenderung mengalami pengoksidaan apabila terdedah dengan udara. Selepas lapisan aluminium mengalami pengoksidaan, ia kehilangan keupayaan untuk memantul kembali sinar laser untuk membaca data secara tepat. Pengoksidaan berlaku sekiranya laker yang digunakan untuk melindungi lapisan aluminium bersifat porous dan membenarkan udara masuk melaluinya dan mengoksidakan lapisan aluminium [13]. Sifat laker dan bahan pelekat yang berasid juga mengakibatkan kakisan pada cakera padat [12].

Kakisan yang berlaku pada lapisan aluminium didapati berbentuk filamen yang dikenali sebagai kakisan filiform. Menurut Slabaugh *et al.* [15], kakisan filiform

lapisan organik dan sistem tersebut didedahkan pada kelembapan bandingan tinggi. Kakisan filiform bermula atau diaktifkan dengan kehadiran elektrolit seperti ion klorida, dan digalakkan lagi dengan keadaan persekitaran yang panas dan lembap. Kakisan lebih cenderung berlaku sekiranya terdapat kerosakan mekanikal dan rekahan pada permukaan substrat [16]. Cakera padat mengalami kakisan filiform apabila terdapat kecacatan pada permukaan cakera padat terutamanya pada bahagian label dan pelindung lapisan aluminium dengan kehadiran spesis pencemar seperti ion klorida. Rajah 1.6 menunjukkan kakisan filiform yang berlaku pada lapisan aluminium cakera padat.



Rajah 1.6: Kakisan filiform pada cakera padat dengan pembesaran 200 kali, (a) kakisan filiform, (b) dataran dan (c) liang.

1.5 Kakisan Filiform

Pada asalnya kajian kakisan filiform difokus ke atas keluli. Merujuk pada Baustita [16], rujukan awal mengenai kakisan berbentuk filamen dilakukan oleh Ackerman pada tahun 1921. Konsep sebenar kakisan filiform pada permulaannya tidak dikaitkan

dengan kakisan di bawah lapisan tetapi termasuk dengan kakisan yang diperhatikan pada permukaan digilap. Berdasarkan kepada Baustita [16], kakisan filiform pertama kalinya dikaji oleh Sharman pada tahun 1944 dimana beliau mengkaji mengenai kakisan dalam tin tembakau yang disebabkan oleh wap asid asetik yang dibebaskan oleh isi kandungan tin. Di dalam kajian tersebut diperhatikan produk kakisan berfilamen terbentuk di bawah lapisan. Kakisan filiform berlaku dalam persekitaran lembap dan pertumbuhannya bermula daripada kawasan yang tercalar atau rekahan yang terdapat pada permukaan lapisan pelindung dengan kehadiran spesies ion terlarut. Kakisan lazimnya terjadi pada logam keluli, aluminium, ferum, dan magnesium yang diliputi oleh lapisan organik (laker atau cat) [16].

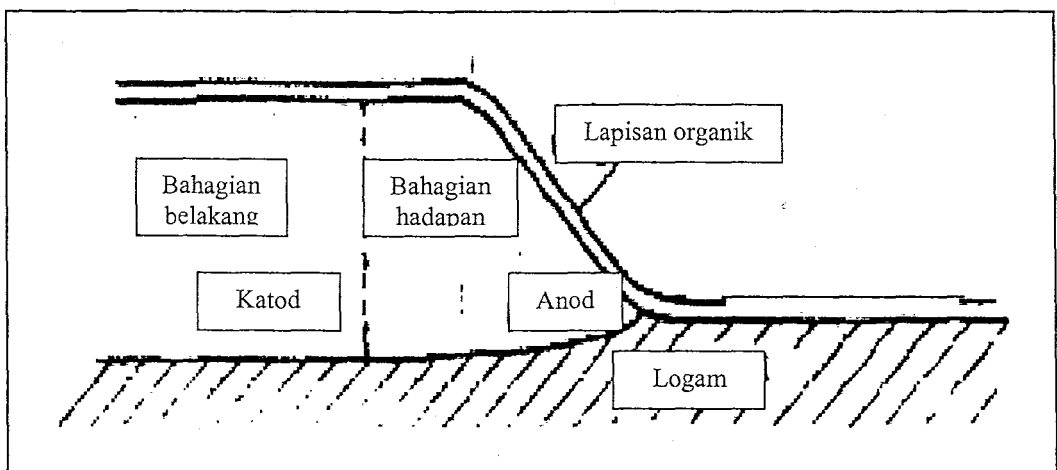
1.5.1 Ciri-ciri Pertumbuhan Filamen Kakisan Filiform

Keadaan filamen agak nipis dan cetek tetapi panjangnya boleh mencapai beberapa milimeter. Merujuk kepada Hanin [17], purata panjang filamen bagi keluli adalah 0.2 mm manakala aluminium, 0.5 hingga 10.0 mm. Bagaimanapun, panjang filamen secara fizikalnya bergantung kepada keadaan lapisan organik, jenis garam yang hadir dan kelembapan.

Pertumbuhan kakisan filiform tidak berhaluan, tidak berstruktur tetap dan jelas dan tidak mempunyai arah tertentu. Menurut Van Loo, *et. al.*, [18], filamen tidak tumbuh bersilang tetapi menghampiri antara satu sama lain. Bagaimanapun, terdapat satu pengecualian bagi kes yang dilaporkan oleh Hoch *et al.* [19] pada tahun 1971, di mana terdapat kepala filamen tumbuh menyilangi dengan bahagian belakang filamen. Kes ini telah diperhatikan pada permukaan aluminium. Kadar pertumbuhan filamen

dalam lingkungan 0.01 hingga 0.1 mm/hari dan ini bergantung kepada keadaan persekitaran seperti kepekatan garam [20].

Filamen terdiri daripada bahagian kepala dan belakang di mana bahagian kepala bertindak sebagai sel aktif kakisan dan berupaya bergerak di sepanjang permukaan logam manakala pada bahagian filamen terbentuk produk kakisan yang tidak aktif. Bahagian hadapan dan belakang kepala tidak bersimetri. Keupayaan bahagian kepala filamen yang sedang tumbuh menunjukkan dengan jelas bahagian hadapan kepala filamen bertindak sebagai anod manakala bahagian belakangnya adalah katod [16]. Lazimnya pH bahagian hadapan kepala berjulat antara 1 hingga 4 dan ini bergantung jenis substrat logam yang terkakis. Bahagian belakang kepala didapati lebih beralkali daripada bahagian belakang. Slabaugh *et al.* [15] mendapati pada zon ini, keluli yang mengalami kakisan filiform memberi pH 12. Nilai pH pada bahagian ekor filamen berubah dari 3 hingga 5 kepada keadaan yang agak beralkali. Rajah 1.7 menunjukkan struktur filamen kakisan filiform [16].



Rajah 1.7: Struktur filamen kakisan filiform [16].

Lazimnya kakisan filiform bermula daripada retakan, pecahan atau sebarang kecacatan pada lapisan penglitup. Oleh itu, kakisan filiform kerap kali berlaku pada bahagian sambungan di mana sebarang perubahan pada bahagian sambungan mencukupi untuk memberi kesan kecacatan pada permukaan penglitup. Ketajaman sesuatu sudut juga mempengaruhi kejadian kakisan di mana, lebih tajam sesuatu sudut maka lebih nipis keadaan lapisan penglitup maka risiko kakisan berlaku semakin meningkat [16].

Menurut kajian yang dilakukan oleh Hoch *et al.* [19], lapisan penglitup yang keras mudah pecah disebabkan ketegangan oleh produk kakisan yang berkembang. Keadaan ini membenarkan kelembapan di bawah lapisan penglitup dan menyebabkan kakisan filiform berlaku pada permukaan logam. Proses sedemikian lazimnya terjadi pada logam magnesium. Secara amnya, kakisan filiform hanya menyebabkan kerosakan estetik terutamanya dalam industri penglitupan logam yang kelihatan seperti bebenang halus. Seperti yang disebut sebelum ini, kakisan filiform melemahkan tindakan perlindungan lapisan penglitup terutamanya ke atas sistem yang peka terhadap ketahanan mekanikal logam di bawah lapisan. Keadaan ini dapat menghadkan jangka hayat struktur [16].

Kejadian kakisan filiform berlaku disebabkan oleh kesan daripada beberapa gabungan faktor-faktor berikut:

i) Kelembapan bandingan tinggi

Kakisan filiform hanya berlaku sekiranya persekitaran cukup lembap untuk membenarkan enapan garam pada kepala filamen. Bagaimanapun, sekiranya

berlaku tetapi keadaan ini menyebabkan lapisan penglitup akan mengembang [21]. Delpancke *et al.* [22], menyatakan bahawa, kelembapan bandingan antara 65 – 95% amat sesuai untuk kakisan filiform berlaku. Walau bagaimanapun menurut Slabaugh *et al.* [15], kelembapan bandingan optima bagi kakisan filiform adalah antara 80 – 85%.

ii) **Kehadiran kecacatan pada lapisan penglitup**

Kakisan filiform hanya berlaku apabila terdapat liang, kerosakan mekanikal, gelembung udara, ketebalan filem yang tidak mencukupi terutama pada tepian atau titik struktur, kristal garam atau kotoran pada permukaan logam [16]. Kehadiran kecacatan pada permukaan berkait rapat dengan ciri kerapuhan lapisan cat dan prosedur penggunaannya.

iii) **Kehadiran oksigen**

Proses kakisan melibatkan tindakan redoks dan kehadiran oksigen adalah amat penting. Menurut Slabaugh *et al.* [15] kakisan filiform dilaporkan tidak berlaku di dalam persekitaran lengai iaitu di dalam gas nitrogen atau helium.

iv) **Persekitaran yang agresif**

Untuk membenarkan kakisan filiform berlaku permukaan logam mesti dicemari dengan garam terkakis. Secara amnya, kation tidak penting dibandingkan dengan anion. Daripada kajian yang dijalankan [16], didapati kakisan filiform dicetuskan oleh anion seperti klorida, bromida dan sulfat sedangkan asetat didapati boleh menyebabkan kakisan filiform pada keluli. Pada sesetengah substrat didapati, sulfat

klorida. Koehler [23], menyatakan bahawa potensi sesuatu garam untuk mencetuskan kakisan tidak berkaitan dengan sifat higroskopiknya. Kakisan filiform amat berbahaya pada gabungan persekitaran marin dan industri. Selain itu, faktor keasidan juga membantu dalam mencetuskan kakisan [16]. Bagaimanapun, dalam persekitaran yang mengandungi kandungan karbon dioksida 5% ke atas didapati merencatkan kakisan filiform [24].

v) **Ketinggian suhu**

Walaupun kakisan filiform berlaku pada suhu persekitaran biasa namun didapati peningkatan di dalam kadar pertumbuhan apabila suhu persekitaran semakin tinggi suhu [16].

vi) **Keadaan semulajadi substrat**

Didapati bahawa tidak ke semua logam cenderung mengalami kakisan filiform sebagai contoh magnesium lebih cenderung untuk mengalami kakisan berbanding dengan aluminium [16].

vii) **Jenis pra-rawatan yang diberikan kepada logam**

Pemelekatan cat (*paint adherence*) menghalang pengembangan filamen dan ini bergantung kepada bagaimana permukaan logam dirawat sebelum penggunaan cat. Sementara itu, ketelapan lapisan penglitup juga diambil kira bagi memastikan laluan oksigen dan air tidak boleh berlaku [16].

Berdasarkan kepada Leidheiser [20], kakisan filiform bermula dengan osmosis. Proses ini bermula dengan pembentukan kerosakan pada lapisan penglitup di mana ini membenarkan air yang hadir pada kelembapan bandingan tinggi menerusi lapisan ini.

Kehadiran garam terlarut pada permukaan ini membentuk kelompok kecil cecair yang disebabkan oleh tarikan ion elektrolit pada air. Setelah jumlah besar molekul air dikumpulkan dan bertindak sebagai cecair, sebarang penambahan jumlah air yang menembusi permukaan ini akan disimpan dibawah lapisan penglitup akibat daripada tekanan rendah wap larutan elektrolit yang kuat. Substrat logam kemudiannya akan mengalami sedikit kakisan dan ion-ion baru akan bergabung membentuk larutan. Apabila isipadu cecair meningkat dan proses elektrokimia berlaku, keadaan setempat akan memindahkan oksigen ke satu titik pada kawasan bulatan kecil di mana kakisan akan mula berkembang. Manakala kawasan yang kekurangan bekalan oksigen akan menjadi anod dan kawasan sekitarnya adalah katod. Sementara itu, bulatan titisan membentuk bulatan panjang yang memberi satu keadaan yang diperlukan oleh filamen untuk berkembang.

Filamen kakisan tumbuh akibat daripada perkembangan proses elektrokimia yang berlaku pada bahagian kepala. Bahagian kepala terbentuk hasil daripada perbezaan di dalam kepekatan oksigen [25]. Larutan garam pada bahagian kepala boleh mengurangkan keterlarutan oksigen dan ini menyebabkan bahagian belakang akan kekurangan kepekatan garam terlarut. Dalam keadaan ini, substrat logam akan dioksidakan pada bahagian hadapan kepala dan oksigen akan berkurangan di sekitar

dengan larutan akueus mengandungi anion yang mencetuskan kakisan. Kation daripada proses kakisan logam akan bergabung dengan larutan di bahagian kepala. Pemisahan di antara anod dan katod pada bahagian kepala akan mewujudkan perbezaan keupayaan yang memaksa anion berpindah ke hadapan dan kation ke belakang. Apabila jarak daripada anod bertambah, pH larutan akan meningkat kesan daripada proton terlarut. Setelah keadaan yang diinginkan tercapai, hidroksida kation akan membentuk gel. Sementara bahagian kepala menuju ke hadapan, produk kakisan terhidrat akan kehilangan air dan bertukar kepada oksida yang membentuk bahagian belakang filamen [25].

1.6 Kakisan Filiform Pada Aluminium

Masalah kakisan pada aluminium pertama kalinya dikesan dalam industri penerbangan di mana kapal terbang yang didedah dalam masa tertentu dalam persekitaran yang agresif telah menunjukkan tanda-tanda kakisan pada bahagian kepala dan tepian rivet. Kakisan filiform pada senibina aluminium dikenalpasti antara 1981-1982 [16]. Kes terawal diperhatikan pada bangunan yang terdedah kepada persekitaran marin dan industri. Kes lain diperhatikan juga terjadi pada bangunan yang terdedah pada kelembapan bandingan yang tinggi. Lazimnya, kakisan filiform pada aluminium dikesan pada bahagian tepian, rangka dan garisan potongan dan sambungan. Kakisan filiform pada aluminium berlaku apabila aluminium dilapisi oleh lapisan organik dan didedahkan pada kelembapan bandingan tinggi dengan kehadiran elektrolit terutamanya ion klorida. Kakisan lebih cenderung apabila terdapatnya kecacatan atau kerosakan pada permukaan penglitup.

70% hingga 95% pada julat suhu 20°C hingga 40°C. Pada persekitaran tepu dengan air kakisan filiform tidak akan terbentuk tetapi menghasilkan gelembung pada permukaan logam dan mengangkat lapisan penglitup [22]. Pada julat 85% hingga 95% filiform tumbuh dengan cepat dengan enapan yang tebal dan lebar [15]. Oksigen merupakan komponen penting untuk pertumbuhan kakisan walaupun kakisan filiform berkembang di dalam persekitaran karbon dioksida. Berdasarkan kepada Slabaugh *et al.* [15], keadaan optimum bagi pertumbuhan kakisan filiform pada aluminium ialah pada kelembapan bandingan 85%, dan pada suhu 40°C dengan kehadiran oksigen.

Pada aluminium filamen kakisan filiform kelihatan seperti bebenang nipis dan panjang sehingga beberapa sentimeter dengan lebar antara 0.3 mm hingga 3.0 mm. Kedalaman penembusan dalam aluminium boleh mencapai sehingga 15.0 μm . Kadar pertumbuhan filamen pada purata 0.1 mm/hari [15]. Filamen ini kelihatan lazimnya berwarna putih dengan bahagian kepala berwarna kelabu. Bahagian kepala merupakan bahagian aktif kakisan di mana penyebaran kakisan dan pertumbuhan filamen berlaku di sini. Bahagian belakang filamen berwarna keputihan disebabkan produk kakisan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dan aluminium oksida (Al_2O_3) terutamanya enapan keputihan aluminium trihidroksida [26].

Kakisan filiform cenderung berlaku dengan kehadiran pencemar garam klorida pada permukaan aluminium. Seperti dijelaskan oleh Slabaugh *et al.* [15], kepala filamen mengandungi kuantiti ion klorida yang lebih banyak, sedangkan pada bahagian belakangnya mengandungi sedikit atau tanpa ion klorida. Sebarang klorida yang hadir pada bahagian belakang terdiri daripada aluminium oksiklorida ($\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$). Ion

merentasi substrat aluminium [26]. Aluminium oksiklorida berupaya melemahkan lapisan pelindung dan oleh itu tidak berupaya menghalang serangan aktif bahagian kepala filamen pada aluminium [15].

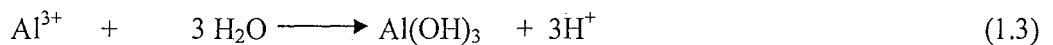
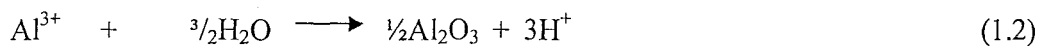
1.6.1 Mekanisme Kakisan Filiform Pada Aluminium

Berdasarkan kepada Funke [21], mekanisme kakisan filiform bagi aluminium adalah mekanisme *anodic undermining*. Koehler [23] menjelaskan bahawa kakisan *anodic undermining* merupakan sejenis kakisan celahan atau rekahan (*crevice*), di mana permukaan lapisan logam di bawah lapisan organik akan dilarutkan dengan melibatkan pemindahan anion.

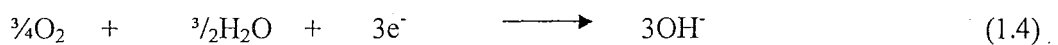
Dalam mekanisme kakisan filiform aluminium, proses ini bermula dengan langkah permulaan dan diikuti dengan langkah penyebaran filamen kakisan [27]. Proses permulaan filiform ditunjukkan pada Rajah 1.8 [27]. Daripada Rajah 1.8 didapati, permulaan serangan berlaku pada bahagian lapisan organik yang rosak atau lemah, bersama-sama dengan kerosakan mekanikal lapisan aluminium oksida yang bertindak sebagai lapisan pelindung. Pada titik lemah ini, iaitu pada sistem aluminium-aluminium oksida-lapisan organik, kehadiran agen pengkakis seperti ion klorida dapat memperbaiki lapisan aluminium oksida. Bagaimanapun, dalam keadaan yang agresif lapisan aluminium oksida tersebut akan terpecah menjadi kecil. Ini mengakibatkan proses keseluruhan penghancuran dan plemahan lapisan oksida disepanjang calaran berlaku. Kemusnahan lapisan oksida pada bahagian ini akan membenarkan elektrolit memasuki ke dalam liang lapisan oksida yang lemah dengan mudah untuk

sampai pada lapisan aluminium. Apabila elektrolit sampai kepada lapisan aluminium kakisan akan bermula dan pembentukan sel berbeza pengudaraan akan terbentuk pada bahagian hadapan seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.9 [27].

Apabila sel kakisan terbentuk, mekanisme penyebaran akan berlaku bermula pada bahagian hadapan. Lapisan aluminium yang tidak lagi dilindungi oleh lapisan oksida akan terlarut bersama dalam bahagian hadapan filamen melalui tindakbalas spontan anodik di mana aluminium menghasilkan ion Al^{3+} . Ion Al^{3+} kemudian akan dioksidakan untuk membentuk aluminium hidroksida dan aluminium oksida, dimana kedua-dua sebatian tersebut merupakan enapan produk kakisan tidak terlarut. Ini ditunjukkan dalam persamaan tindakbalas 1.1 hingga 1.3 [22].



Pada kesan calaran, lapisan organik membentuk satu ruang yang sangat kecil di antara lapisan logam dan ini menghalang ion Al^{3+} dan H^{+} yang terbentuk tidak bebas bergerak. Tindakbalas pengoksidaan yang berlaku pada kawasan ini diseimbangkan dengan tindakbalas penurunan (penurunan oksigen) pada bahagian katodik iaitu pada bahagian belakang filamen seperti di dalam tindakbalas 1.4. Kesan tindakbalas ini menyebabkan penanggalan lapisan organik berlaku dan ini membenarkan kemasukan oksigen dengan lebih mudah daripada bahagian ini.



Apabila dua set tindakbalas berlaku iaitu tindakbalas anodik di bahagian hadapan manakala tindakbalas katodik di bahagian belakang filamen pada lokasi yang berbeza, bahagian hadapan filamen menjadi semakin berasid (persamaan 1.2 dan 1.3) dan di

bahagian belakang menjadi semakin beralkali (persamaan 1.4). Keadaan ini menghasilkan bahagian hadapan filamen berasid manakala bahagian belakang beralkali. Nilai pH pada bahagian hadapan filamen lebih berasid dan keupayaannya adalah rendah. Pada bahagian belakang filamen nilai pH beralkali atau hampir neutral dan aluminium oksida atau hidroksida lebih stabil pada bahagian ini [22]. Pembentukan kakisan filiform pada substrat aluminium menghasilkan gelembung kecil gas hidrogen pada bahagian hadapan filamen. Dengan kepekatan oksigen yang rendah dan keasidan yang tinggi pada bahagian ini, akan memudahkan pembebasan gas hidrogen pada tindakbalas katodik kedua seperti yang ditunjukkan dalam persamaan tindakbalas 1.5.



Berdasarkan kepada Slabaugh *et al.* [15], pembentukan gelembung gas hidrogen adalah kesan daripada bahagian hadapan filamen cenderung untuk bergabung membentuk gelembung yang lebih besar di belakang filamen. Rajah 1.10 memberi ringkasan tindakbalas yang berlaku pada bahagian hadapan filamen pada lapisan aluminium [28].