

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral

**PENGGUNAAN KONDUKTIF TERMA POLIURETANA SEBAGAI BAHAN  
TERMA ANTARAMUKA YANG MUNGKIN**

Oleh

**WONG YOKE PEI**

Penyelia: Dr Sutapa Roy Ramanan

Desertasi ini diserahkan untuk memenuhi sebahagian syarat keperluan bagi  
ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan dengan Kepujian  
(Kejuruteraan Bahan)

Universiti Sains Malaysia

Mac 2005

## PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada pihak Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, Universiti Sains Malaysia, di atas segala ilmu dan didikan yang diberikan untuk membantu saya menyempurnakan projek tahun akhir ini.

Saya juga ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan jutaan terima kasih kepada penyelia projek saya, Dr Sutapa Roy Ramanan, atas panduan, bantuan, galakan dan tunjuk ajar yang telah diberikan kepada saya disepanjang projek ini.

Di samping itu, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada saudara Sim Lim Chong yang selalu bersedia untuk membantu dan berkongsi pengalaman beliau dengan saya.

Juga, ribuan terima kasih ingin saya ucapkan kepada ibu bapa saya atas sokongan mereka yang tidak benar terputus di sepanjang hayat saya.

Tidak ketinggalan juga ucapan terima kasih kepada juruteknik-juruteknik pusat pengajian atas kesudian mereka memberikan tunjuk ajar dan pengalaman yang berharga.

## Abstrak

Kemungkinan menggunakan poliuretana sebagai matriks bahan terma antaramuka (BTA) telah dikaji. Kesan jenis pengisi yang berlainan dan pembebanan pengisi berbeza pada ciri-ciri BTA juga telah dikaji. Alumina, aluminium nitrat dan silikon karbida digunakan sebagai tetulang dalam matriks poliuretana. Sifat terma dan mekanikal juga dinilai. Keputusan menunjukkan kekonduksian terma BTA semakin meningkat dengan peningkatan kandungan pengisi iaitu sampel dengan 30 peratus isipadu pengisi memiliki kekonduksian terma yang lebih tinggi berbanding dengan sampel 25, 20, 10, 5 dan 0 peratus isipadu disebabkan oleh peningkatan jaringan konduktif antara pengisi. Analisis Permeteran Graviti Haba (TGA), Ujian Kitaran Terma dan Ujian Kekerasan selepas ujian kitaran terma telah membuktikan kestabilan terma BTA telah diperbaik dengan penambahan pengisi. Analisis Mekanikal Haba (TMA) menunjukkan CTE sesuatu bahan menurun dengan peningkatan kandungan pengisi. Daripada mikrograf Mikroskop Pengimbasan Elektron (SEM), diperhatikan bahawa, taburan pengisi dalam matriks adalah seragam dan perekatan dan kebolehbasahan matriks-pengisi adalah baik. Analisis Mekanikal Dinamik (DMA) pula menunjukkan modulus tersimpan sampel meningkat dengan peningkatan kandungan pengisi tetapi ia adalah stabil dalam suhu perkhidmatan. Sudut fasa Tan D sampel pula menurun dengan peningkatan pengisi. Oleh itu, konduktif terma poliuretana adalah sesuai digunakan sebagai BTA.

# USING OF THERMALLY CONDUCTIVE POLYURETHANE AS A POSSIBLE THERMAL INTERFACE MATERIALS (TIM)

## ABSTRACT

The possibility of using polyurethane as the matrix of a thermal interface material (TIM) was investigated. The effect of different kinds of filler and various filler loading on the characteristic of the TIMs also investigated. In this study, alumina, aluminium nitrate and silicon carbide were used as reinforcements in polyurethane matrix. The thermal and mechanical properties were evaluated. The results show that further increase of the filler content increases the thermal conductivity of the TIMs where the sample with 30 volume percent of filler poses higher thermal conductivity than those of 25, 20, 10, 5 and 0 volume percent. As expected, the thermal conductivity is governed by the number of conductive networks between the fillers. Here, the thermal stability of TIMs improved with the addition of filler. Thermogravimetry Analyzer (TGA), Thermal Cycle Testing and the Hardness Test after thermal cycle testing had proved this. The Thermo mechanical analyzer (TMA) showed that CTE of the material decreases by increasing filler contents. From the micrograph of the SEM (Scanning Electron Microscope), found that the filler are distributed uniformly inside the matrix and the adhesion and wettability of the filler with the matrix (Polyurethane) are good. Meanwhile, Dynamic Mechanical Analysis (DMA) show that the storage modulus of the samples was increase with increases of filler content but it is stabile in the service temperature. The phase angle Tan D of the samples decrease with increases of filler content. Therefore, thermally conductive polyurethane can used as the TIM material.

## SENARAI KANDUNGAN

	<b>Muka Surat</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>SENARAI KANDUNGAN</b>	v
<b>SENARAI JADUAL</b>	x
<b>SENARAI RAJAH</b>	xii
<b>SENARAI KEPENDEKAN</b>	xv
<b>Bab 1 : PENGENALAN</b>	1
1.1 Pengenalan Kepada Bahan Terma Antaramuka (BTA)	1
1.2 Objektif Projek Penyelidikan	5
<b>Bab 2 : KAJIAN PERSURATAN</b>	7
2.1 Pengenalan Kepada Bahan Mentah	7
2.1.1 Poliuretana	7
2.1.1.1 Pengenalan	7
2.1.1.2 Sifat Mekanik	10
2.1.1.3 Kelebihan Poliuretana	10
2.1.1.4 Had-had Poliuretana	13
2.1.1.5 Aplikasi Poliuretana	15
2.1.2 Silikon Karbida (SiC)	16
2.1.2.1 Struktur Hablur Silikon Karbida	17
2.1.2.1 Ciri-ciri	20

2.1.2.3 Sifat Elektronik Silikon Karbida.	21
2.1.2.4 Aplikasi	23
2.1.3 Alumina ( $Al_2O_3$ )	23
2.1.3.1 Ciri-ciri Alumina	24
2.1.3.2 Aplikasi	25
2.1.3.3 Data Risiko Terhadap Kesehatan	26
2.1.4 Aluminium Nitrat (AlN)	27
2.1.4.1 Ciri-ciri	27
2.1.4.2 Aplikasi	28
2.1.4.3 Data Risiko Terhadap Kesehatan	28
2.1.5 Mengapa Bahan-bahan Ini Dipilih?	30
2.2 Pengenalan Kepada Bahan Terma Antaramuka (BTA).	30
2.2.1 Apa Itu Bahan Terma Antaramuka (BTA)?	31
2.2.2 Kenapa BTA Diperlukan?	32
2.2.3 Jenis BTA	38
2.2.3.1 Gris Terma	39
2.2.3.2 Lapikan Elastomerik	40
2.2.3.3 Intan	41
2.2.3.4 Bahan Tukar Fasa	42
2.2.3.5 Pita Terma	43
2.2.3.6 Gel	43
2.2.3.7 Perekat Konduktif Terma	44
2.2.3.8 Pateri	44
2.2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Rintangan Terma BTA.	45
2.2.4.1 Sentuha Terus	45

2.2.4.2 Keseragaman Ketebalan	45
2.2.4.3 Liang	46
2.2.4.4 Tekanan Sentuhan	46
2.3 Ujian Yang Dijalankan	47
2.3.1 Analisis Permeteran Graviti Haba (TGA)	47
2.3.2 Analisi Mekanikal Dinamik (DMA)	48
2.3.3 Analisis Mekanikal Haba (TMA)	48
2.3.4 Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan Termodulat (MDSC)	49
2.3.5 Mikroskop Pengimbasan Elektron (SEM)	51
2.3.6 Ujian Kitaran Terma	51
2.3.7 Ujian Kekerasan	52
<b>BAB 3 : TATACARA EKSPERIMEN</b>	54
3.1 Bahan Mentah	54
3.1.1 Poliuretana Sebagai Matriks/Substrak Kepada BTA	54
3.1.2 Jenis Pengis Yang Digunakan Dalam BTA.	57
3.2 Peralatan Yang Digunakan	62
3.3 Kaedah	63
3.3.1 Penyediaan Sampel	63
3.3.1.1 Penyediaan Poliuretana Dengan Mencampurkan Resin Dan Pengeras.	64
3.3.1.2 Penambahan Poliuretana Ke Dalam Pengisi.	64
3.3.1.3 Pengawetan Matriks-Pengisi.	65
3.3.2 Prosedur Eksperimen Dan Pengukuran	67
3.3.2.1 Analisis Permeteran Graviti Haba (TGA)	67

3.3.2.2 Analisis Mekanikal Dinamik (DMA)	67
3.3.2.3 Analisis Mekanikal Haba (TMA)	68
3.3.2.4 Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan Termodulat (MDSC)	68
3.3.2.5 Mikroskop Pengimbasan Elektron (SEM)	69
3.3.2.6 Ujian Kitaran Terma	69
3.3.2.7 Ujian Kekerasan	70
<b>BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>72</b>
4.1 Analisis Permeteran Graviti Haba (TGA)	72
4.1.1 Perbincangan Kestabilan Terma Untuk Poliuretena Tulen.	72
4.1.2 Perbincangan Kestabilan Terma Untuk 30 Peratus Isipadu Pembebanan Pengisi Dalam BTA.	75
4.2 Analisis Mekanikal Dinamik (DMA)	77
4.2.1 Modulus Tersimpan, E'	80
4.2.2 Sudut Fasa, Tan D	85
4.3 Analisis Mekanikal Haba (TMA)	89
4.3.1 TMA	89
4.3.2 Coefficient Thermal Expansion (CTE)	91
4.4 Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan Termodulat (MDSC)	96
4.5 Mikroskop Pengimbasan Elektron (SEM)	100
4.5.1 Taburan Pengisi Dalam Matriks	100
4.5.2 Perekatan Antaramuka Matriks-Pengisi.	103
4.6 Ujian Kitaran Terma	106
4.7 Ujian Kekerasan	108
4.8 Ringkasan Analisis Eksperimen	111



4.9 Penilaian Kerja 114

**BAB 5 : KESIMPULAN DN CADANGAN 116**

**RUJUKAN**

**LAMPIRAN A MIKROGRAF SEM**

**LAMPIRAN B CONTOH PENGIRAAN KEKONDUKSIAN**

**TERMA.**

## SENARAI JADUAL

Jadual	Tajuk	Muka Surat
<b>BAB 2</b>		
2.1	Perbandingan antara poliuretena dengan getah, logam dan plastik.	9
2.2	Produk poliuretena yang digunakan dalam pelbagai cabang industri.	15
2.3	Sifat terma dan mekanik untuk SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan AlN.	29
<b>BAB 3</b>		
3.1	Maklumat-maklumat teknikal untuk resin dan pengeras.	55
3.2	Warna jenis-jenis sampel yang telah disediakan.	56
3.3	Sifat-sifat poliuretena.	57
3.4	Sifat-sifat alumina, aluminium nitrat dan silikon karbida.	59
3.5 (a)	Data untuk pengisi Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	61
3.5 (b)	Data untuk pengisi SiC.	61
3.5 (c)	Data untuk pengisi AlN.	62
<b>BAB 4</b>		
4.1	Niali Tan D untuk BTA terisi SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan AlN pada pembebanan pengisi yang berlainan.	87
4.2	Nilai Tan D dan T <sub>g</sub> untuk semua sampel 30 vol % pengisi.	88
4.3	Perubahan maksimum pada dimensi sampel BTA di bawah julat suhu 25 °C ke 150 °C.	90
4.4(a)	Data berangka CTE untuk BTA terisi SiC.	95

4.4(b)	Data berangka CTE untuk BTA terisi $Al_2O_3$ .	95
4.4(c)	Data berangka CTE untuk BTA terisi AlN.	95
4.5	Kekonduksian terma untuk BTA dengan pelbagai pengisi dan kepekatan.	97
4.6	Data berangka untuk ujian kitaran terma pada BTA baru.	107
4.7	Data berangka ujian kekerasan kepada ketiga-tiga jenis sampel BTA.	110

## SENARAI RAJAH

<b>Rajah</b>	<b>Tajuk</b>	<b>Muka Surat</b>
<b>BAB 2</b>		
2.1	Formula struktur untuk poliuretana	7
2.2	Ikatan tetragonal atom karbon dengan empat jiran silikon yang terdekat.	18
2.3	Turutan tindanan lapisan gandaan kepada tiga politaip SiC yang paling biasa.	19
2.4	Ciri-ciri SiC menjadikannya diminati dalam peranti kuasa tinggi.	20
2.5	Satu rekabentuk pengurusan terma bagi teknologi pembungkusan serpihan flip.	31
2.6	Kekonduksian melalui titik sentuhan dan udara antara permukaan keras.	33
2.7	Kekonduksian melalui jurang terisi bahan terma antaramuka.	34
<b>BAB 3</b>		
3.1	Carta aliran untuk keseluruhan proses dari penyediaan sampel ke pencirian BTA.	66
<b>BAB 4</b>		
4.1	Lengkung TGA untuk poliuretana tulen.	74
4.2	Keputusan TGA untuk poliuretana tulen, 30 peratus	75

	ispadu komposit berpengisi SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan AlN.	
4.3	Gambarajah Argand yang menunjukkan hubungan antara E', E'', E* dan Tan D.	80
4.4 (a)	Graf modulus tersimpan, E' untuk sampel SiC pada pembebanan pengisi yang berbeza.	82
4.4 (b)	Graf modulus tersimpan, E' untuk sampel Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pada pembebanan pengisi yang berbeza	83
4.4 (c)	Graf modulus tersimpan, E' untuk sampel AlN pada pembebanan pengisi yang berbeza	83
4.5 (a)	Perbandingan modulus tersimpan untuk sampel 30 vol % pengisi.	84
4.5 (b)	Modulus tersimpan lawan suhu untuk bahan yang sama (rajah 4.5 (a)) dalam skala logaritma.	85
4.6	Graf Tan D lawan suhu untuk pelbagai pembebanan pengisi.	86
4.7	Graf Tan D lawan suhu untuk 30 vol % SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan AlN.	88
4.8	Keputusan TMA untuk sampel yang mempunyai 30 vol % pengisi (SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan dan AlN).	90
4.9 (a)	CTE untuk BTA yang diperkukuhkan oleh kepekatan SiC yang berlainan.	92
4.9 (b)	CTE untuk BTA yang diperkukuhkan oleh kepekatan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> yang berlainan.	93
4.9 (c)	CTE untuk BTA yang diperkukuhkan oleh kepekatan AlN yang berlainan	93

4.10	Graf kekonduksian terma lawan pembebanan pengisi untuk ketiga-tiga jenis pengisi.	97
4.11 (a)	SEM mikrograf untuk 30 peratus isipadu alumina. (500X)	101
4.11 (b)	SEM mikrograf untuk 30 peratus isipadu aluminium nitrat. (500X)	102
4.11 (c)	SEM mikrograf untuk 30 peratus isipadu silicon karbida. (500X)	102
4.12 (a)	SEM untuk 30 peratus isipadu $Al_2O_3$ .(2.52k)	104
4.12 (b)	SEM untuk 30 peratus isipadu $AlN$ .(2.52k)	104
4.12 (c)	SEM untuk 30 peratus isipadu $SiC$ .(2.50k)	105
4.13	Kehilangan berat sampel BTA baru dalam ujian kitaran terma.	107
4.14	Kesan kitaran terma pada kekerasan BTA yang mengandungi 25 vol % pengisi.	109

## SENARAI KEPENDEKAN

Bahan Terma Antaramuka	BTA
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Aluminium Nitrat	AlN
Silikon Karbida	SiC
Analisis Permeteran Graviti Haba	TGA
Analisi Mekanikal Dinamik	DMA
Analisis Mekanikal Haba	TMA
Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan Termodulat	MDSC
Mikroskop Pengimbasan Elektron	SEM
Peratus Isipadu	Vol %
Peratus Berat	Wt %
Koefisien Pengembangan Terma	CTE
Suhu Peralihan Kaca	T <sub>g</sub>

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan kepada Bahan Terma Antaramuka (BTA)**

Permintaan industri kepada pembungkusan racik-pelbagai yang berkuasa tinggi adalah semakin meningkat untuk memenuhi sistem padatan pelbagai fungsi. Pembungkusan racik-pelbagai ialah salah satu kekunci penting yang membolehkan teknologi dalam penghasilan bungkusan berprestasi tinggi. Atas permintaan industri ini, pembungkusan racik-pelbagai yang sesuai kepada peranti berprestasi tinggi telah dibangunkan. Racik-pelbagai ini mampu membawa isyarat berkelajuan tinggi dan juga membebaskan kuasa tinggi. Apabila saiz racik menjadi semakin kecil dan juga kuantiti racik dalam satu bungkusan tunggal semakin banyak, jumlah haba yang dibebaskan oleh racik adalah cukup tinggi untuk menyebabkan masalah terlampau panas yang mana akan memusnahkan peranti-peranti.

Oleh itu, rekabentuk bungkusan tahap terma ialah salah satu tugas yang mencabar dalam pembangunan pembungkusan racik-pelbagai yang berkuasa tinggi. Cabaran rekabentuk pembungkusan tahap terma termasuklah pembaik-pulihan struktur pembungkusan untuk meminimalkan rintangan terma dalaman dengan penggunaan teknik pembungkusan tahap sejuk dan pemilihan bahan terma antaramuka (BTA) yang stabil dan mampu melepaskan haba dengan berkesan. Kriteria pemilihan untuk jenis BTA yang sesuai untuk aplikasi spesifik adalah bergantung kepada banyak faktor.



Sesetengah faktor yang perlu dipertimbangkan semasa pemilihan suatu BTA adalah seperti galangan terma, voltan pemencilan, suhu perkhidmatan, rintangan elektrik, kebolehbasahan matriks terhadap pengisi / perekatan matriks-pengisi, kekonduksian thermal BTA, kos dan sebagainya.

Seperti yang kita ketahui, apabila penenggelam haba dan peranti-peranti elektronik ataupun racik adalah dilekat bersama, peratusan sentuhan fizikal antara dua permukaan ini adalah kurang daripada satu peratus kerana hanya permukaan yang berbukit sahaja yang dibawa bersentuh. Oleh itu, hanya sebahagian kecil haba boleh dialirkan dari peranti-peranti elektronik ke penenggelam haba manakala haba yang selain itu akan terperangkap dalam koecek udara dan jurang antara dua permukaan pepejal tersebut. Ini adalah kerana udara merupakan satu konduktor haba yang lemah. Untuk mengatasi masalah ini, pereka akan meletakkan satu lapisan BTA di antara dua permukaan pepejal tersebut dengan tujuan untuk meningkatkan sentuhan fizikal permukaan itu dan seterusnya meningkatkan kekonduksian haba struktur tersebut.

Terdapat pelbagai jenis BTA dalam pasaran seperti gris terma, lapisan elastomer, intan, bahan bertukar fasa, pita terma, gel dan sebagainya. Kebaikan dan juga keburukan BTA ini akan dibincangkan secara terperinci dalam bab seterusnya.

BTA digunakan untuk meminimalkan rintangan terma sentuhan antara racik dan penenggelam haba dan akibatnya ia boleh memaksimumkan pelepasan haba dari racik. Rintangan terma antaramuka ialah satu pengukuran tentang betapa hebatnya haba dipindahkan menyeberangi antaramuka kepada dua permukaan tegar itu. Rintangan antaramuka (per unit luas) boleh didefinisikan seperti (Gwinn et al, (2003)):

$$R_{\text{int}} = \frac{T_{\text{chip}} - T_{\text{hs}}}{Q''} \quad (1.1)$$

dimana  $T_{\text{chip}}$  ialah suhu permukaan pembungkusan elektronik,  $T_{\text{hs}}$  ialah suhu plat dasar penenggelam haba,  $Q''$  ialah kuasa per unit luas komponen pemancaran haba. Unit untuk  $R_{\text{int}}$  biasanya diberi dalam  $\text{K cm}^2/\text{W}$  (atau  $\text{K in.}^2/\text{W}$ ). Seperti yang boleh dilihat daripada persamaan  $R_{\text{int}}$  diatas, nilai rintangan antaramuka yang paling rendah dicapai apabila suhu penenggelam haba menghampiri suhu racik. Dengan meletakkan BTA antara racik dan penenggelam haba, haba yang dijanakan oleh racik / peranti-peranti elektronik akan dikonduksikan menyeberangi BTA ke dalam penenggelam haba dan kemudiannya dibebaskan ke persekitaran.

Selain daripada rintangan terma, kekonduksian terma juga merupakan satu sifat penting yang patut dipunyai oleh BTA. Kekonduksian terma ialah kebolehan sesuatu bahan untuk mengkonduksikan haba dari satu tempat ke tempat lain. Oleh itu, BTA harus mempunyai kekonduksian terma yang tinggi supaya haba yang dijana oleh racik boleh dikonduksikan dan dilepaskan ke persekitaran melalui penenggelam haba. Mari kita mengandaikan BTA merupakan suatu bahan yang berketebalan  $D$ , dan mempunyai luas permukaan  $S$ . Suhu permukaan  $S_1$  ialah  $T_1$ , manakala pada permukaan  $S_2$  suhu yang diukur ialah  $T_2$  ( $S_1 = S_2$ ). Kuantiti haba diungkapkan dalam watt (W) yang melintasi lapisan bahan antaramuka dan ia dikirakan oleh persamaan berikut:

$$Q = \frac{\lambda S(T_1 - T_2)}{D} \quad (1.2)$$

dimana  $\lambda$  mewakili kekonduksian terma BTA itu.

Semakin tinggi kekonduksian terma sesuatu BTA, semakin banyak haba melaluinya.  $D$  ialah ketebalan bahan antaramuka yang diukur dalam meter, dan akhirnya  $S$  ( $S_1$  dan  $S_2$ ) merupakan luas kawasan yang diukur dalam meter persegi. Kekonduksian terma diungkapkan dalam unit  $W.K/m$ . Daripada kekonduksian terma, rintangan terma sesuatu BTA boleh dikira daripada persamaan berikut:

$$R = \frac{D}{\lambda S} \quad (1.3)$$

dimana  $D$  ialah ketebalan BTA dan  $\lambda$  ialah kekonduksian terma BTA yang sama. Semakin hebat rintangan terma sesuatu bahan, semakin kecil aliran pemindahan haba dalam bahan tersebut.

BTA yang unggul masih belum dijumpai, tetapi masih terdapat beberapa pilihan lain yang boleh digunakan sebagai bahan BTA yang boleh mengurangkan rintangan terma antaramuka dan meningkatkan kekonduksian terma antaramuka.

Pembangunan dalam industri elektronik adalah sangat cepat dan kemudiannya permintaan terhadap prestasi BTA akan menjadi semakin tinggi. Dengan pentibaan racik super komputer, penghampiran transistor akan menurun kepada takat di mana pengurusan terma peranti akan menjadi suatu cabaran yang amat besar. Seperti yang ditunjukkan oleh Patrick Gelsinger dari Intel dalam artikel yang baru-baru ini yang ditulis oleh A. Cataldo dan P. Kalender dalam *Electronic Engineering Times*, kuasa yang diperlukan untuk menjalankan satu transistor mikro pemprosesan satu billion dalam tahun 2010 akan menjadi 600 watts. Secara ntayanya, kita boleh menjangkakan sedikit kemajuan yang besar muncul dalam rekabentuk peranti yang dapat meringankan / mengurangkan permintaan kuasa. Akan tetapi, pengurusan terma peranti tersebut

memerlukan usaha yang amat besar. Penyejukan kriyogenik boleh digunakan sebagai satu penyelesaian yang ketara tetapi ini akan memerlukan proses penyelesaian di luar kemampuan sistem terma antaramuka yang ada sekarang.

## **1.2 Objektif Projek Penyelidikan**

Tajuk projek penyelidikan ini ialah penggunaan konduktif terma poliuretana sebagai satu bahan BTA yang mungkin. Objektif utama projek penyelidikan ini pula ialah menghasilkan satu bahan terma antaramuka yang baru dan kemudiannya beberapa ujian seperti Mikroskop Penskanan Elektron (SEM), Analisis Gravimetri Terma (TGA), Analisis Mekanikal Terma (TMA), Analisis Mekanikal Dinamik (DMA) dan sebagainya digunakan untuk menentukan sifat mekanik dan juga sifat fizikal bahan BTA baru tersebut. Kesesuaian sampel digunakan sebagai BTA adalah ditentukan oleh analisis keputusan ujian-ujian yang telah dijalankan. Untuk mencapai objektif ini, penyelidik harus mempunyai pengetahuan atau maklumat tentang BTA. Pengetahuan ini termasuk latar belakang, sejarah, pembangunan, halaan dan terutamanya sifat dan fungsi bahan BTA.

Dalam projek ini, terdapat empat jenis bahan mentah digunakan untuk menyediakan bahan terma antaramuka (BTA) yang baru. Dalam kes ini, BTA baru yang disediakan merupakan salah satu jenis komposit bermatriks polimer dimana poliuretana bertindak sebagai matriks dalam BTA baru ini. Poliuretana disediakan dengan mencampurkan resin dan pengeras dengan nisbah berat 2 kepada 1. Kemudiannya, poliuretana telah ditetulkan oleh tiga jenis pengisi berlainan masing-masing iaitu aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ), aluminium nitrat (AlN) dan juga silikon

karbida (SiC) dengan komposisi berlainan (0, 5, 10, 20, 25 dan 30 peratus isipadu). Campuran poliuretana dan pengisi dikacau sehingga ia menjadi seragam dan kemudiannya ia dituang ke dalam bentuk bulat yang berdiameter 4.5 cm manakala ketebalan BTA tuangan adalah kira-kira 1 mm. Akan tetapi, sampel untuk ujian kekonduksian terma disediakan dalam dua jenis ketebalan iaitu 0.4 mm dan 3.5 mm masing-masing.

Selepas itu, prestasi BTA iaitu sama ada sifat fizikal ataupun mekanik ditentukan dengan menggunakan beberapa jenis ujian tertentu seperti Mikroskop Penskanan Elektron (SEM), Analisis Gravimetri Terma (TGA), Analisis Mekanikal Terma (TMA), Analisis Mekanikal Dinamik (DMA), Kekonduksian Terma, Ujian Kekerasan dan Ujian Kitaran Terma. Selepas semua ujian telah dijalankan, keputusan ujian-ujian ini akan dianalisis untuk menentukan keseluruhan prestasi bahan terma antaramuka yang baru tersebut.

## BAB 2

### KAJIAN PERSURATAN

#### 2.1 Pengenalan kepada bahan mentah

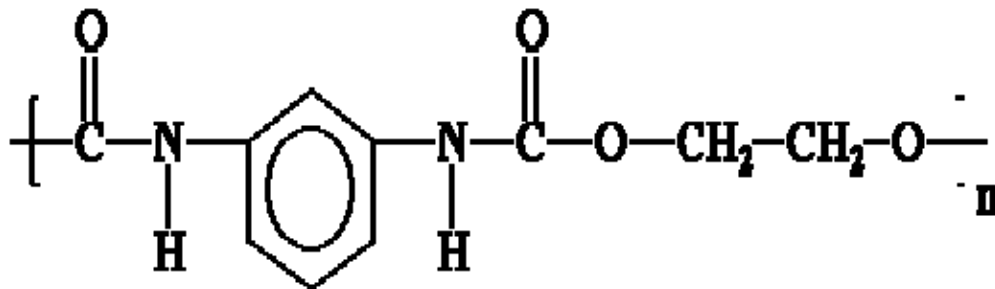
Terdapat empat jenis bahan mentah yang digunakan dalam projek ini, iaitu:

- 2.1.1 Poliuretana
- 2.1.2 Silikon Karbida (SiC)
- 2.1.3 Aluminium Oksida / Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- 2.1.4 Aluminium Nitrate (AlN)

dimana poliuretana bertindak sebagai matriks yang akan dicampurkan dengan salah satu pengisi tersebut (silikon karbida, alumina dan aluminium nitrat) dalam peratus isipadu (vol %) masing-masing.

#### 2.1.1 Poliuretana

##### 2.1.1.1 Pengenalan



Rajah 2.1: Formula struktur untuk poliuretana. (Diadaptasi dari [www.psrc.usm.edu](http://www.psrc.usm.edu)).

Poliuretana atau uretana adalah istilah yang digunakan untuk satu famili elastomer yang direka sebagai getah tiruan semasa Perang Dunia Ke-2. Elastomer poliuretana ialah satu bahan kejuruteraan unik yang mengabungkan kelebihan ketegaran plastik, keliatan dan ketahan-lasakan logam dan seramik dengan kelenturan dan keelastikan getah.

Disebabkan uretana boleh didapati dalam satu julat kekerasan yang sangat luas (dari pemadam pensil yang lembut ke bola bowling yang begitu keras), ia membenarkan enjiner menggantikan getah, plastik dan logam dengan muktamad dalam rintangan lelasan dan sifat-sifat fizikal. Poliuretana boleh mengurangkan kos penyenggaraan dan juga kos produk. Banyak aplikasi yang menggunakan bahan lampau liat ini dapat mengurangkan masa yang digunakan, masa penyenggaraan dan kos produk.

Poliuretana boleh didapati sebagai termoset atau termoplastik. Termoset adalah satu campuran resin dan satu kuratif yang menghasilkan sesetengah sifat kejuruteraan yang berprestasi tinggi yang tidak dapat diperolehi dengan proses lain. Proses pengacuanan adalah sama kepada epoksi, bakelit dan sebagainya, di mana satu resin dan satu kuratif dicampurkan untuk membentuk satu lingkaran kimia bersilang dan sebaik saja tindak balas ini berlaku, campuran itu harus dituangkan ke dalam satu kaviti acuan sebelumnya mengawet. Apabila ia telah diawet ia tidak boleh dileburkan semula atau dikisar semula dan diguna semula. Kebaikan utama proses pengacuanan ini ialah kebolehannya untuk mendapat satu sifat fizikal yang berbagai-bagai dan gabungan sifat yang boleh dioptimumkan untuk suatu aplikasi tertentu. Ini biasanya dikenali sebagai poliuretana tuangan.

Termoplastik poliuretana boleh didapati dalam bentuk pelet, sama seperti bahan plastik lain, ia boleh dilebur semula dan diacukan secara pengacuanan suntikan atau pengestrudan. Saiz bahagian teracuan atau keratan rentas pengestrudan adalah terhad.

Poliuretana mempunyai kebaikan yang melebihi plastik, getah konvensional dan logam yang mana menjadikan mereka satu gentian yang lebih bagus dalam aplikasi yang mana bahan ini biasa digunakan. Jadual 2.1 di bawah menunjukkan perbandingan antara poliuretana dengan getah, logam dan plastik.

Jadual 2.1: Perbandingan antara poliuretana dengan getah, logam dan plastik.  
(Diadaptasi dari Syarikat Produk Poliuretana)

<b>Poliuretana lawan getah</b>	<b>Poliuretana lawan logam</b>	<b>Poliuretana lawan plastik</b>
• Rintangan lelasan tinggi	• Ringan	• Memori elastik
• Rintangan pemotongan dan kayakan yang tinggi	• Pengurangan hingar	• Rintangan hentaman tinggi
• Galas beban lebih baik	• Rintangan lelasan	• Rintangan lelasan
• Bahagian pengacuanan tebal	• Fabrikasi kurang mahal	• Pekali geseran yang pelbagai
• Keboleh-warnaan	• Rintangan kakisan	• Pengurangan hingar
• Rintangan minyak	• Kebingkasian	• Kebingkasian
• Rintangan ozon	• Rintangan hentaman	• Bahagian acuan tebal
• Rintang sinaran	• Senang diacukan	• Kos peralatan lebih rendah



Jadual 2.1, Sambungan.

• Julat kekerasan yang luas	• Tidak konduktif	• Rintangn suhu rendah
• Keboleh-tuangan semulajadi	• Tidak mudah terbakar	• Rintangan aliran sejuk

### 2.1.1.2 Sifat Mekanik.

Tuangan poliuretana mempunyai gabungan sifat-sifat yang telah dibincangkan diatas tadi dalam bahan yang sama, ia adalah berbeza dengan bahan kejuruteraan yang lain. Pengacuanan mempunyai kebolehan untuk mengubahkan nisbah antara resin dan kuratif untuk mengoptimumkan sesetengah sifat-sifat tersebut. Oleh itu, satu sebatian kejuruteraan yang boleh tahan lebih lama berbanding dengan satu bahan yang mempunyai kekerasan yang serupanya dengan satu faktor yang beberapa kali ganda lebih tinggi dapat dihasilkan.

### 2.1.1.3 Kelebihan poliuretana.

i) Rintangan lelasan yang luar biasa.

Bahan yang diperbuat dengan poliuretana akan selalunya lebih tahan haus berbanding dengan bahan lain dengan satu margin 5 ke 50/satu apabila lelasan tegas adalah satu faktornya. Ia boleh dijamin bahawa ia adalah jauh lebih baik daripada getah, plastik dan logam dalam banyak aplikasi.

ii) Rintangan terhadap minyak dan pelarut.

Poliuretana mempunyai rintangan yang hebat terhadap minyak, pelarut, lemak, gris dan minyak petrol.

iii) Muatan beban gelas yang sangat tinggi.

Poliuretana mempunyai satu muatan beban gelas yang lebih tinggi daripada sebarang getah konvensional lain. Disebabkan oleh ciri-ciri tersebut, ia adalah satu bahan unggul untuk pembuatan roda berbeban, penyangkuk yang bertugasan berat, lapisan pembentukan logam, lapisan terkejut, sambungan pengembangan dan cagakan mesin.

iv) Rintangan pemotongan dan kekuatan koyakan yang tinggi.

Poliuretana mempunyai julat kekuatan koyakan antara 500-100 lbs / inci, di mana adalah jauh lebih baik daripada getah. Sebagai keputusannya, poliuretana selalu digunakan sebagai tali pinggan, gandingan, pelindung roda, lapisan pemotongan, gasket dan pelapik pelongsor.

v) Rintangan Cuaca.

Poliuretana mempunyai rintangan kepada oksigen, ozon, cahaya matahari dan keadaan cuaca biasa yang luar biasa. Oleh itu, strukturnya masih berada dalam keadaan yang sama dimana agen-agen persekitarannya (yang telah disebut tadi) tidak mendatangkan sebarang kesan terhadap poliuretana.

vi) Sifat yang boleh meredakan hingar.

Poliuretana yang keras digunakan sebagai gear dalam produk di mana ia mampu merendahkan bunyi. Manakala, poliuretana lembut pula digunakan untuk menggantikan getah untuk memperbaiki perlembapan bunyi / getaran.

vii) Hayat kelenturan

Kebanyakan perumusan menawarkan hayat kelenturan yang luar biasanya tinggi dan boleh dianggapkan lebih tahan lasak berbanding dengan bahan elastomer lain di mana ciri-ciri ini merupakan satu keperluan penting. But habuk, alat pengembus, gegendang, tali pinggang, gandingan dan produk yang serupanya adalah diperbuat daripada poliuretana atas sebab tersebut.

viii) Sifat elektrik yang baik

Poliuretana mempunyai sifat penebatan elektrik yang hebat dan ia digunakan dengan berjaya dalam banyak wayar teracuan dan pemasangan keras kabel.

ix) Rintangan panas dan sejuk

Penggunaan poliuretana secara berterusan pada suhu lebih daripada 225 °F adalah tidak digalakkan. Begitu juga sama dengan penggunaan poliuretana did dalam air panas yang suhunya lebih daripada 175 °F. Pada suhu rendah, poliuretana akan kekal fleksibel sehingga ke -90 °F. Pengliatan secara beransur-ansur akan muncul pada 0 °F, tetapi, ia tidak menjadi nyata sehinggalah suhu yang lebih rendah dicapai.

Selain daripada itu, poliuretana juga memberikan kebaikan lain seperti kebingkasan yang hebat (tinggi atau rendah), ketahanan lasakan yang berlebihan, set mampatan yang rendah, rintangan hentaman yang sangat bagus, kebolehmeseinan yang baik, tiada tandaan, acuan, kulapuk, rintangan terhadap kulat, sifat mekanikal geseran (tinggi atau rendah) dan lain-lain.

#### **2.1.1.4 Had-had Poliuretana**

Julat suhu yang berguna untuk poliuretana ialah dari kira-kira 30 °C kepada satu had maksimum 70 °C ke 80 °C. Apabila poliuretana digunakan dalam suhu yang lebih tinggi daripada had maksimum ini, proses pengawetan berlaku dan hayat operasi dipendekkan.

Dalam banyak aplikasi dinamik, para pengguna poliuretana dinasihatkan supaya mengekalkan suhu operasi poliuretana dibawah 160 °F (70°C). Dalam aplikasi normal pula, julat suhu operasi untuk poliuretana adalah lebih tinggi iaitu dari -40 °F ke 160 °F (-40 °C ke 70 °C). Pada suhu 160 °F (70 °C), sifat elastomer poliuretana mula menunjukkan satu hala menurun. Ikatan antara poliuretana dan bahan lain seperti logam menjadi lemah dengan ketara atas suhu 160 °F ( 70 °C).

Getah poliuretana tidak harus digunakan dalam aplikasi dinamik pada suhu lebih daripada 200 °F atau bersamaan 93 °C. Apabila diujikan pada suhu 200 °F (93 °C), sifat poliuretana adalah hanya separuh saja yang diukur pada 75 °F (25 °C) Walaubagaimana-pun, hayat habanya bagus dan kesan suhu tinggi sehingga ke 250 °F (120 °C) untuk beberapa minggu keatas sifat fizikalnya adalah hampir dapat diterbalikkan apabila diuji semula pada 75 °F (25 °C).

Pendedahan poliuretana kepada suhu tinggi ke atas 100 °C atau 110 °C secara bersela adalah boleh diterima tetapi perbuatan ini adalah tidak digalakkan.

Poliuretana mempunyai rintangan terhadap air yang terhad. Perendaman berterusan di dalam air di atas 50 °C boleh menyebabkan kepatahan hidrolik dan atas

sebab tersebut satu had maksimum kira-kira 70 °C dibawah keadaan ini harus dipatuhi apabila menggunakan poliuretana. Sekali lagi, semua aspek aplikasi mesti dipertimbangkan dan contohnya apabila haus dan koyakan yang teruk melibatkan poliuretana akan memberikan satu hayat yang lebih panjang pada 60 °C di dalam air jika berbanding dengan elastomer lain untuk mendapatkan kestabilan hidrolis yang lebih baik.

Poliuretana mempunyai histerisis tinggi dan kekonduksian terma yang rendah. Ia tidak membebaskan haba yang disebabkan oleh satu tindakan dinamik dengan cepatnya. Pengelakkan haba dihasilkan dalam satu bahan elastomerik adalah satu pertimbangan yang sangat penting dalam rekabentuk. Dalam praktiknya, ini biasanya dicapai dengan mengawal amplitud pemrosesan.

Pendedahan poliuretana kepada persekitaran yang panas dan lembap dalam jangka panjang harus dielakkan. Seseengah uretana mempunyai rintangan yang lebih tinggi terhadap persekitaran tersebut berbanding dengan yang lain.

Seseengah bahan kimia tertentu seperti asid pekat dan pelarut berpolar akan menyerang poliuretana. Oleh itu, poliuretana tidak harus digunakan secara berterusan dalam keadaan sedemikian.

#### **2.1.1.5 Aplikasi Poliuretana**

Produk poliuretana digunakan secara luasnya dalam cabang industri yang berlainan, seperti:

- Penghentakan logam
- Melindungi staf
- Gelanggang lungsur perluncuran
- Unsur penyokongan
- Mansit / tempeleng
- Lingkaran / cincin pengetatkan

Penggunaan poliuretana membenarkan pengurangan belanjawan dengan banyak berlaku apabila kurang menggunakan bahan hausan (seperti getah). Poliuretana adalah senang diproses, tidak membahayakan, faktor hausan yang melebihi logam dan ini membenarkan penggunaan poliuretana sebagai perlindungan tambun, logam tergelek, alat pengangkut dan sebagainya. Jadual 2.2 berikut menunjukkan produk diperbuat daripada poliuretana dalam pelbagai cabangan industri.

Jadual 2.2: Produk poliuretana yang digunakan dalam pelbagai cabangan industri.

(Diadaptasi dari Syarikat Produk Poliuretana)

<b>Industri</b>	<b>Terikat</b>	<b>Tak Terikat</b>
Pengelolaan mekanikal	Tayar trak tangan, tayar trak palet, tayar trak berpencakar, penggelek penghantar, lapisan tekanan.	Penutup hidrolik, penutup pneumatic, penimbal pneumatik.

Jadual 2.2, Sambungan.

Industri Automotif	Unit ampaian bersel, penahan hentakan penempat bonet, tikar sendeng	Penutup gelas bersel, blok alat penekan, grommet, gelas, sesendal penyerap kejutan, unit ampaian bersel, gandingan boleh lentur.
Alat jentera Tekstil	Bar jatuhan masin penyulaman, penggelek suapan laman/yan, penggelek piuhan laman/yan, pemacu penggelek.	Pemetik tangkai dayung, penimbal tangkai dayung, penggelek buaian, gandingan mesin.
Pembuatan kasut dan pakaian kaki	Penggelek babu, hujung sendeng pisau stiletto, lapikan sendeng pengacuan, lapikan pengapitan, bahan tapak kasut.	Gegendang dasar pengacuan, lapikan tekanan, penggelek pemacua, hujung sendeng pisau stiletto.

### 2.1.2 Silikon Karbida (SiC)

Silikon ialah bahan yang menguasai industri elektronik pada masa kini. Tetapi, Silikon Karbida (SiC) mempunyai sifat yang lebih baik dan lebih sesuai dalam pembuatan peranti kuasa jika berbanding dengan silikon. Satu perubahan teknologi dari silikon ke silikon karbida akan menukarkan kuasa elektronik dengan sepenuhnya. Sebagai contohnya, secara ekonomiknya ia adalah lebih mungkin menggunakan kuasa elektronik kepada satu takat yang lebih tinggi daripada hari ini, seperti dalam kawalan enjin.

Untuk suatu negara seperti Sweden, ia akan mengurangkan kehilangan elektrik berkait kepada kuasa dijana oleh dua loji kuasa nuklear. Tambahan pula, talian kuasa voltan tinggi yang ada pada masa sekarang banyak memusnahkan kecantikan bumi boleh ditanam di bawah tanah. Juga, berat satu lokomotif boleh dikurangkan.

Seramik silikon karbida tersinter biasanya dihasilkan dengan menggunakan serbuk sub micrometer yang telah diekstrakkan dari satu relau Achsen dan dikisar kepada satu partikel bersaiz halus. Boron dan karbon digunakan sebagai pembantu persinteran untuk mencapai pepadatan yang telah diperbaiki semasa persinteran. Proses ini dilakukan pada suatu suhu kira-kira 2500 °C. Mikrostruktur yang terhasil mengandungi kira-kira SiC politaip 6H yang halus dan sama matra / sama dimensi dengan banyaknya. Satu kuantiti kecil karbon bebas dan kira-kira B4C terpenencil mungkin hadir sebagai bekas buatan kepada pembantu persinteran.

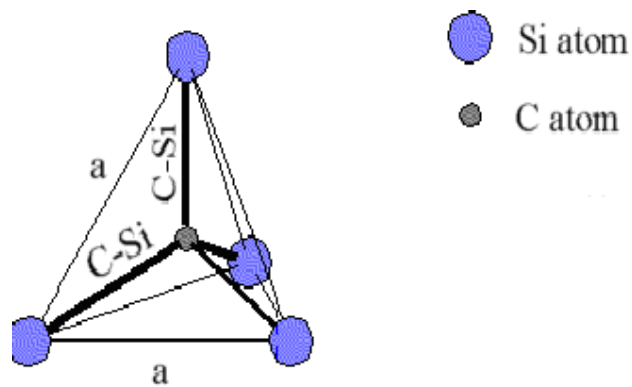
#### **2.1.2.1 Struktur Hablur Silikon Karbida**

Silikon karbida dikenali sebagai satu semikonduktor yang mempunyai sela jalur sangat luas yang muncul dalam banyak politaip yang berlainan. Semua politaip tersebut mempunyai rangka heksagonal dengan satu atom karbon terletak di atas pusat kepada satu segitiga atom Si dan dibawah satu atom Si adalah kepunyaan kepada lapisan yang bersebelahan. Jarak antara dua silikon atau karbon yang bersebelahan,  $a$  adalah kira-kira 3.08 Å untuk semua politaip.

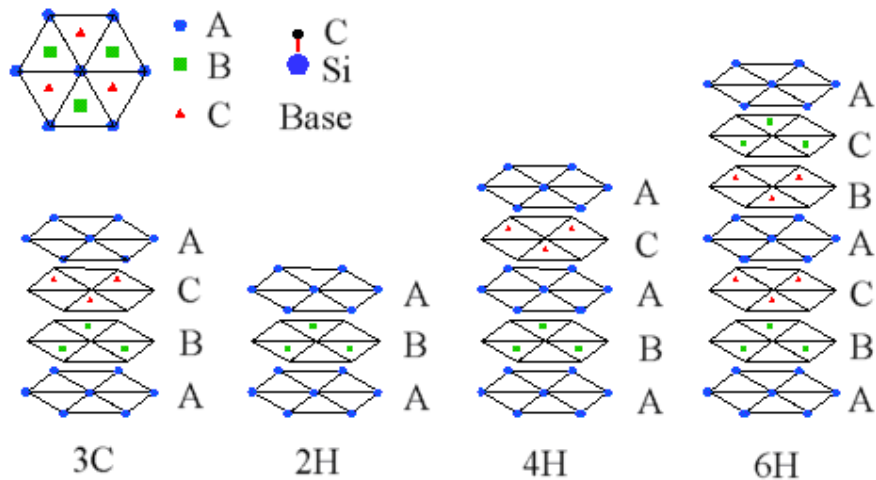
Dalam struktur itu atom karbon adalah ditempatkan pada pusat jisim struktur tetragonal dan dikelilingi oleh empat atom jiran Si supaya jarak antara atom C kepada setiap atom Si (ditanda sebagai C-Si dalam rajah 2.2) adalah sama. Pertimbangan



secara geometrik memberikan bahawa jarak tersebut C-Si ialah  $a(3/8)^{1/2}$  iaitu hampir 2.52 Å. Ketinggian suatu sel, c berbeza antara politaip yang berbeza. Maka, nisbah c/a juga berbeza dari politaip ke politaip, tetapi ia adalah dekat kepada unggul untuk struktur padatan tertutup. Nisbah ini adalah kira-kira 1.641, 3.271 dan 4.908 untuk politaip 2H-, 4H- dan 6H-SiC masing-masing di mana nisbah unggul yang sama banyak untuk politaip ini ialah  $(8/3)^{1/2}$ ,  $2(8/3)^{1/2}$  dan  $3(8/3)^{1/2}$  masing-masing. Perbezaan antara politaip tersebut ialah urutan tindanan antara penggantian lapisan gandaan atom karbon dan silikon.



Rajah 2.2: Ikatan tetragonal atom karbon dengan empat jiran silikon yang terdekat. Jarak antara atom silikon, a dan C-Si adalah kira-kira 3.08 Å dan 1.89 Å masing-masing. (Diadaptasikan dari Material Science Homepage)



Rajah 2.3: Turutan tindanan lapisan gandaan kepada tiga politaip SiC yang paling biasa. (Diadaptasikan dari Material Science Homepage)

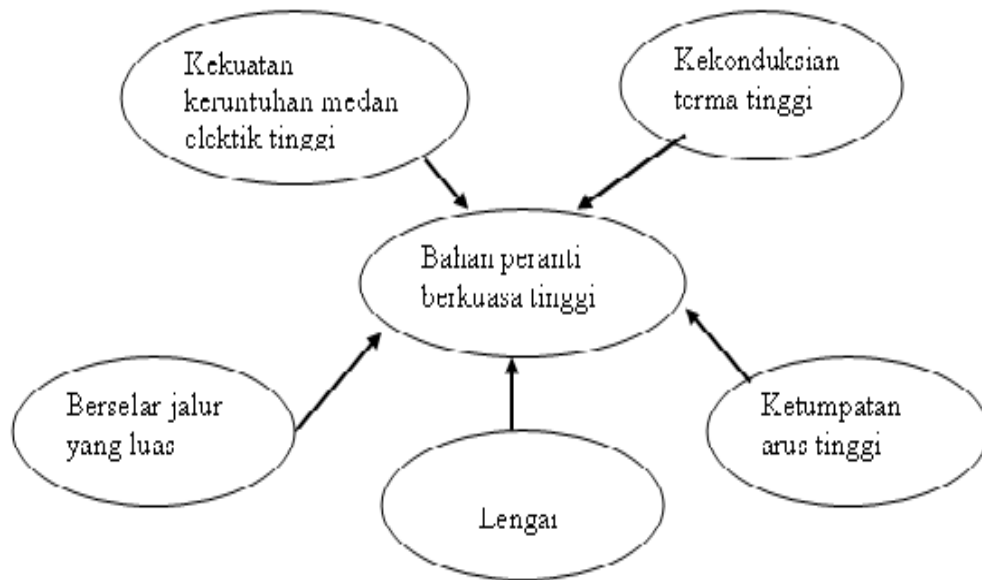
Dalam rajah 2.3, turutan tindanan telah ditunjukkan untuk tiga politaip yang paling biasa, 3C, 6H dan 4H. Jika lapisan gandaan pertama dipanggil kedudukan A, lapisan bersebelahan boleh ditempatkan mengikut suatu struktur padatan tertutup iaitu akan ditempatkan pada kedudukan B atau C. Politaip yang berlainan jenis akan dibina dengan perubahan susunan semata ketiga-tiga kedudukan ini. Sebagai contohnya, politaip 2H-SiC mempunyai turutan ABAB..... Maka, nombor itu menunjukkan berkalaan dan huruf menunjukkan struktur yang terhasil iaitu dalam kes ini ialah heksagonal.

Politaip 3C-SiC merupakan satu-satunya politaip kuib dan ia mempunyai satu turutan tindanan ABCABC..... atau ACBACB.... Satu kecacatan yang biasa ialah yang dipanggil Sempadan Kedudukan Gandaan (Double Positioning Boundary-DPB) yang mana biasanya dijumpai dalam 3C-SiC bertumbuh pada paksi substrak 6H-SiC.

Kecacatan muncul mungkin apabila pulau kepada kedua-dua turutan tindanan ABCABC dan ACBACB bertemu.

### 2.1.2.2) Ciri-ciri

Silikon karbida (SiC) memiliki banyak sifat yang disukainya dan ini telah menyebabkannya diminati dalam aplikasi bersuhu tinggi, frekuensi tinggi dan kuasa tinggi. Yang lebih istimewanya, sifat-sifat ini mempunyai sela jalur yang luas, kekonduksian terma yang tinggi (lebih baik daripada kuprum pada suhu bilik), kekuatan pemecahan medan elektrik yang tinggi (hampir 10 kali ganda kepada Si), halaju hanyut tepu yang tinggi (lebih tinggi daripada GaAs), kestabilan terma dan kelengkapan kimia yang tinggi. (rujuk rajah 2.4 di bawah)



Rajah 2.4: Ciri-ciri SiC menjadikannya diminati dalam peranti kuasa tinggi (Diadaptasikan dari Material Science Homepage)

Sifat silikon karbida (SiC) yang mana kekerasan mekanik, kelengai kimia, kekonduksian terma tinggi dan kestabilan elektrik pada suhu lebih daripada 300 °C menjadikannya satu calon yang hebat untuk sistem mikro elektromekanik suhu tinggi (MEMS).

Selain itu, kebaikan baru-baru ini dalam teknologi bertumbuhan SiC telah menjanakan minat dalam penggunaan SiC sebagai satu salutan perlindungan untuk sistem mikro elektromekanik (MEMS) yang berdasarkan silikon, sebagai contohnya produk Si pemikromesinan.

Silikon karbida mampu berfungsi dalam suhu tinggi, kuasa tinggi dan keadaan penyinaran tinggi akan membolehkan penambahan prestasi yang besar kepada pelbagai sistem dan aplikasi yang luas. Spesifik graviti untuk silikon karbida ialah  $3.217 \text{ g/cm}^3$ .

### **2.1.2.3 Sifat elektronik silikon karbida**

Perbezaan antara politaip yang berlainan hanya pada tindanan lapisan gandaan atom Si dan C tetapi ini mempengaruhi semua sifat elektronik dan optik hablur itu.

Sela jalur pada suhu helium politaip yang berlainan berjulat antara 2.39 eV untuk 3C-SiC dan 3.33 eV untuk 2H-SiC. Politaip yang penting 6H-SiC dan 4H-SiC mempunyai sela jalur 3.02 eV dan 3.27 eV masing-masing pada suhu helium. Kesemua politaip adalah sangat keras, sangat lengai dan mempunyai kekonduksian terma yang tinggi.

Sifat-sifat seperti kekuatan pecah medan elektrik, halaju hanyut tertepu dan tenaga pengionan bendasing adalah spesifik kepada politaip yang berlainan. Dalam kes 6H-SiC, kekuatan pecah medan elektrik mempunyai magnitudnya dalam satu tertib yang lebih tinggi daripada SiC dan halaju hanyut tertepu elektron adalah lebih tinggi daripada GaAs. Sifat-sifat ini boleh diringkaskan dalam rajah merit seperti rajah merit Johnsson atau Keys. Dalam satu ulasan rencana oleh Davis, Palmour dan Edmond, satu perbandingan dibuat untuk bahan yang mempunyai selar jalur besar yang berbeza. Dari rajah merit, boleh diperhatikan bahawa SiC hanya dilebihi oleh intan dalam prestasinya. Ia mesti dijelaskan bahawa rajah merit tidak memberitahu cerita sepenuhnya.

Dalam kes intan, fahaman bahan dop adalah lebih dalam berbanding yang berada dalam SiC, yang mana boleh menyebabkan operasi peranti intan pada suhu bilik sangat tidak berkesan. Terdapat masalah lain dengan intan terutamanya yang dikait dengan isu pertumbuhan dan substrat. Selagi tiada substrat yang sesuai untuk pertumbuhan epitaksi intan ia mempunyai peluang yang kecil untuk ditubuh secara komersial sebagai suatu bahan elektronik.

Keadaan ini juga sama dengan III/IV nitrat. Tiada kemajuan dilakukan dalam menghasilkan substrat walaupun aktiviti adalah besar dalam bidang III/IV nitrat. Kumpulan III/IV nitrat mungkin lebih bercabaran berbanding dengan SiC dalam banyak aspek aplikasi seperti bahan peranti kuasa. Substrat yang paling sesuai, contohnya untuk AlN ialah SiC. Perbandingan kekisi antara kedua-dua jenis bahan ini adalah sangat baik.

#### **2.1.2.4 Aplikasi**

- Peranti pensuisan seperti MOSFET
- Kapal terbang
- Automobil
- Kapal angkasa
- Bekalan kuasa
- Komunikasi dan radar
- Penderia
- Peranti elektronik semikonduktor termaju

#### **2.1.3 Aluminium Oksida / Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )**

Aluminium oksida atau juga dikenali sebagai alumina ialah seramik oksida yang paling luas penggunaannya, sama ada dalam bentuk tulen atau sebagai bahan mentah yang akan dicampur dengan oksida lain. Ia muncul secara semula jadi sebagai mineral korundum. Ia dibuatkan secara sintetik dan oleh itu mutunya boleh dikawal. Ia adalah agak murah dan boleh diekstrakkan melalui proses Bayer di mana ia dikuras dalam larutan natrium hidroksida.

Alumina boleh dihasilkan dalam suatu julat ketulenan dengan bahan tambah ditambah untuk meninggikan sifat-sifatnya. Oleh itu, terdapat kelas-kelas alumina yang berlainan dalam pasaran (kelas A1 ke A12). Alumina yang lebih tulen diperlukan dalam bidang elektronik. Ia boleh dibentuk dengan menggunakan pelbagai kaedah pemrosesan seramik yang luas dan boleh dimesinkan atau dibentuk ke bentuk hampir bersih untuk menghasilkan suatu komponen yang pelbagai saiz dan bentuk. Tambahan

pula, ia adalah bersedia dicantumkan kepada logam atau seramik lain melalui teknik perlogaman dan pateri keras.

Alumina mempunyai sifat mekanik dan fizikal yang terutamanya sesuai untuk penebatan elektrik dan terma, untuk alat pemotongan dan pelelas. Ia juga mempunyai sifat anti kakisan yang sangat bagus.

Ia boleh dijumpai dalam darjah ketulenan dan struktur hablur yang berbeza dan mempunyai sifat dan kos yang berlainan (kos sangat tinggi untuk gred yang sangat tinggi). Alumina lutsinar yang digunakan untuk aplikasi optikal juga boleh dijumpai.

#### **2.1.3.1 Ciri-ciri alumina**

Alumina ialah bahan refraktori tinggi yang mana akan lebur pada suhu kira-kira 2050 °C. Ia adalah berwarna putih, tidak berbau, serbuk / pepejal berhablur dengan graviti speksifik 4 g/cm<sup>3</sup>. Ia adalah tak serasi dengan:

- Getah berklorin panas di mana tindak balas hebat yang hebat akan berlaku sebaik sahaja kedua-duanya bersentuhan.
- Triflorida klorin di mana tindak balas hebat dengan nyalaan berlaku dan ini adalah merbahayakan.
- Oksida etilena. Pempolimeran hebat mungkin berlaku.

Selain daripada itu, ciri-ciri lain alumina termasuk:

- Kekuatan dan kekakuan yang bagus
- Kekerasan dan rintangan haus yang bagus
- Rintangan kakisan yang bagus