

**SKRIPSI**

**ANALISIS STRUKTUR POLIKRISTAL GRAFIT  
DENGAN METODE DIFRAKSI ELEKTRON  
MENGUNAKAN TABUNG DIFRAKSI TELTRON 2555**

**Yuli Marhendra Kristianing**

**M.0299011**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana Sains pada  
Jurusan Fisika**



**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Sebelas Maret**

**Surakarta**

**2007**

**SKRIPSI**

**ANALISIS STRUKTUR POLIKRISTAL GRAFIT**  
**DENGAN METODE DIFRAKSI ELEKTRON**  
**MENGGUNAKAN TABUNG DIFRAKSI TELTRON 2555**

**Yuli Marhendra Kristianing**  
**M.0299011**

Dinyatakan lulus ujian skripsi oleh tim penguji  
Pada hari sabtu tanggal 28 April 2007

**Tim Penguji**

<b>Drs. Suharyana, M.Sc, Ph.D</b>	<b>(Ketua)</b>	.....
<b>Dra. Riyatun, M.Si</b>	<b>(Sekretaris)</b>	.....
<b>Drs. Usman Santosa, M.S</b>	<b>(Penguji I)</b>	.....
<b>Khairuddin, M.Phil</b>	<b>(Penguji II)</b>	.....

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
memperoleh gelar sarjana sains

**Dekan**

**Ketua Jurusan Fisika**

**Prof. Drs. Sutarno, M.Sc, Ph.D**  
**NIP. 131 649 948**

**Drs. Harjana, M.Si, Ph.D**  
**NIP. 131 570 309**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

### **ANALISIS STRUKTUR POLIKRISTAL GRAFIT DENGAN METODE DIFRAKSI ELEKTRON MENGUNAKAN TABUNG DIFRAKSI TELTRON 2555**

**Oleh :**

**Yuli Marhendra Kristianing**

**M 0299011**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi ini adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terima kasih.

Surakarta, 28 April 2007

Yuli Marhendra Kristianing

## MOTTO

*" Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatupun. Dan Dia memberi kamu pendengaran, penglihatan, dan hati, agar kamu bersyukur"*

*" Apa yang di sisimu akan lenyap, dan apa yang ada di sisi Allah adalah kekal. Dan sesungguhnya Kami akan memberikan balasan kepada orang-orang yang sabar dengan pahala yang lebih baik dari apa yang telah mereka kerjakan"*

*(Ayatun Muhkamatun, An Nahl : 78, 96)*

*"Tidak semua yang kita inginkan bisa kita dapatkan dan tidak semua yang kita benci bisa kita tolak"*

*Hidup adalah belajar menerima hal-hal semacam itu*

*(Al-Kindi)*

*"Ketika kamu lahir, kamu menangis dan orang-orang disekelilingmu tersenyum, Maka jalanilah hidupmu dengan benar sehingga nanti pada saat kamu meninggal kamu tersenyum dan orang-orang disekelilingmu menangis".*

*(noname)*

## **PERSEMBAHAN**

*Kerja keras dalam karya tulis ini aku persembahkan untuk :*

*Allah S.W.T. RosulNya dan Islam, sebagai amalan seorang hamba kepada RabbNya,*

*semoga barokah dunia dan akhirat.*

*Bapak dan Ibu sebagai tanda hormat dan baktiku yang membanggakan.*

*Suamiku tersayang, Mas Budi sebagai tanda "sayang dan terima kasihku"*

*Mas Wahyu dan adik- adikku (Bayu,Dodi,Irwan,Ade,Diana) sebagai tanda sayangku*

*Almamater tercinta sebagai tanda terima kasihku*

## KATA PENGANTAR

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Alhamdulillah* *allobilaamiin*, puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas kehendak-Nyalah karya kecil ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Rasullallah SAW, beserta para keluarga, sahabat, serta orang-orang yang senantiasa *istiqomah* dalam Islam.

Skripsi dengan judul “Analisis Struktur Polikristal Grafit Dengan Metode Difraksi Elektron Menggunakan Tabung Difraksi Teltron 2555” ini diajukan sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam jurusan Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa dukungan dan bantuan dari semua pihak, skripsi ini tidak terselesaikan dengan baik. Untuk itu, dengan kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih dengan tulus kepada :

1. Prof. Drs. Sutarno, M.Sc, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta
2. Drs. Hardjana, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta
3. Drs. Suharyana, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi.
4. Dra. Riyatun, M.Si. selaku pembimbing akademik dan pembimbing kedua, atas segala kesabaran dan ketelatenannya memberikan arahan, masukan serta perhatiannya selama ini, hingga tugas akhir saya selesai.

5. Bapak dan ibu dosen pengajar di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan ilmunya dengan penuh keikhlasan.
6. Seluruh staf perpustakaan baik jurusan, fakultas maupun universitas yang telah membantu penulis dalam mendapatkan pustaka.
7. Seluruh staf laboratorium pusat FMIPA jurusan Fisika yang telah membantu dalam penelitian ini.
8. Bapak dan ibuku tercinta yang telah mencurahkan kasih sayangnya dan mengorbankan segalanya untukku.
9. Suamiku, Budi Saryanto yang telah memberikan segala perhatian, kasih sayang serta bantuannya yang membuatku bangkit dari ketidak berdayaanku selama ini.
10. Emak dan Engkongku tersayang, yang selalu menyayangiku
11. Mas Wahyu, Dik Joko, Dik Dodik, Dik Irwan, Dik Ade, Dik Diana, yang membuatku selalu bersemangat untuk menyelesaikan kuliahku.
12. Bapak dan Ibu Sarjono, Sari dan keluarga di prambanan yang telah menyayangi dan menerimaku dengan segala keberadaanku.
13. Teman-teman fisika khususnya angkatan '99 Arva, Wiwin, Ika, Yuyun, Ndari, Warti, Arie, Tutik, Nita, Emma, Ning, Meista , Agung, Nanang, Utang, Kaun, Cecep, Alim, Pi'ie, Ikhsan, Gupri, Danu, Banu, Alam, Joko, Agus, Basuri, Bagus, Yudhie, Ronee, Djarot, Budhi, Dono, atas partisipasi dan dukungannya.

14. Teman-temanku di kost didini 3 (Ari, Retno, Ghani, Wiwik, Indah, Eka, Inda) yang telah menjadi saudara-saudaraku.
15. Via, Mas Agus, Dik Dilla, Mbak Nina, Mas Kenthoet, Fressy, Mbak Wikie, Anjar, terimakasih atas semua bantuannya selama ini
16. Penerbit Erlangga Wonosobo (Pak Naryo, Mas Joko, Mas Budi, Mas Wahyu, Mas Bagus, Mas Arif), terimakasih banyak atas pinjaman buku-buku “PE”nya
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan-kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu, penulis sangat berterima kasih dan mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari pembaca.

Semoga apa yang Penulis hasilkan dapat memberikan kemanfaatan dan kebaikan untuk berbagai pihak yang berkaitan.

Amin.

Surakarta, 28 April 2007

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
<b>I.1. Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>I.2. Rumusan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3. Tujuan .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4. Manfaat .....</b>	<b>4</b>
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>II.1. Struktur Kristal Zat Padat.....</b>	<b>5</b>
<b>II.1.1. Ikatan Kristal .....</b>	<b>8</b>
<b>II.1.1.1. Ikatan ionik.....</b>	<b>8</b>
<b>II.1.1.2. Ikatan kovalen.....</b>	<b>8</b>
<b>II.1.1.3. Ikatan logam.....</b>	<b>9</b>
<b>II.1.1.4. Ikatan Van der Waals.....</b>	<b>9</b>
<b>II.1.1.5. Ikatan hidrogen.....</b>	<b>10</b>
<b>II.1.1.6. Ikatan campuran.....</b>	<b>10</b>

II.1.2. Kisi Kristal dan Sel Satuan .....	12
II.1.3. Struktur Kristal Kubus .....	14
II.1.4. Struktur Kristal Karbon .....	23
II.1.5. Indeks Miller Kristal Karbon .....	27
II.2. Sifat Gelombang dari Partikel .....	34
II.2.1. Hipotesis de Broglie .....	34
II.2.2. Elektron .....	37
II.2.3. Difraksi Elektron .....	38
II.3. Difraksi Elektron pada Karbon Grafit .....	39
II.4. Tabung Difraksi Elektron Teltron 2555 .....	41
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
III.1. Peralatan dan Bahan .....	43
III.2. Metode penelitian .....	44
a. Pengukuran diameter cincin difraksi (D) .....	46
b. Penentuan diameter cincin difraksi sebenarnya (D') ..	47
c. Pembuatan grafik diameter cincin ( $D'$ ) terhadap	
tegangan anoda ( $V_A^{-1/2}$ ) .....	48
d. Penentuan jarak antar bidang atom karbon grafit .....	50
e. Penentuan struktur polikristal karbon grafit .....	50
f. Penentuan Indeks miller ( $hkl$ ) .....	51
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1. Hasil Penelitian .....	52
IV.2. Pembahasan .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1. Kesimpulan .....	64
V.2. Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR SIMBOL

$\Delta$	Beda lintasan
$D$	Diameter cincin hasil pengukuran
$D'$	Diameter cincin sebenarnya
$E_o$	Energi diam
$E_e$	Energi elektron
$K$	Energi kinetik
$E_c$	Energi kohesi
$h,k,l$	Indeks untuk menyatakan arah kristal (Indeks Miller)
$r$	Jari-jari tabung difraksi electron
$n$	Kecepatan
$n_{foton}$	Kecepatan foton
$h$	Konstanta Planck besarnya $6,626 \times 10^{-34} Js$
$c$	Laju cahaya dalam ruang hampa besarnya $2,98 \times 10^8 ms^{-1}$
$e$	Muatan elektron
$l$	Panjang gelombang
$l_{foton}$	Panjang gelombang foton
$a, c$	Parameter kisi kristal pada struktur heksagonal
$\Delta E_K$	Perubahan energi kinetik
$\Delta E_p$	Perubahan energi potensial
$V$	Potensial listrik
$\Delta x$	Selisih lintasan berkas dari dua celah yang berdekatan
$a, b, g$	Sudut antara vektor $\bar{b}$ dan $\bar{c}$ , $\bar{b}$ dan $\bar{a}$ , $\bar{a}$ dan $\bar{c}$
$q$	Sudut difraksi
$x, y, z$	Sumbu koordinat
$V_A$	Tegangan anoda
$V_k$	Tegangan katoda

$[U V W]$	Arah indeks yang mengacu pada tiga sumbu
$[u v t w]$	Arah sumbu yang mengacu pada empat sumbu
$d_{hkl}$	Jarak antar bidang dengan indeks Miller $[hkl]$
$C, A, B, F$	Simbol kisi dalam sistem tiga dimensi
$A, C, D$	Tetapan indeks miller
$\lambda$	Panjang gelombang
$\phi$	Phi
$(hkl)$	Arah bidang dengan indeks Miller $hkl$
$(hkl)$	Arah bidang dengan indeks Miller $hkl$
$\langle n_1, n_2, n_3 \rangle$	Arah kristal yang ekivalen
$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$	Vektor kisi
$[n_1, n_2, n_3]$	Arah kristal
$\{hkl\}$	Arah bidang yang ekivalen
$\text{\AA}$	Amstrong
$a$	Rusuk atau sisi kubus
$a, b, c$	Panjang vektor kisi
$C$	Karbon grafit
$d$	Jarak antar bidang
$d_{hkl}$	Jarak antar dua bidang yang mempunyai indeks Miller sama
$hkl$	Indeks untuk menyatakan arah kristal (Indeks Miller)
$k$	Slope
$L$	Jarak antar target karbon dengan layer
$m$	Massa
$N$	Jumlah kisi
$n_1, n_2, n_3$	Bilangan bulat sembarang
$P$	Momentum
$r$	Jari-jari lingkaran
$V$	Volt
$V_A$	Tegangan anoda

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Pola cincin difraksi pada material polikristal.....	7
Gambar 2.2 Kristal dengan ikatan campuran kovalen-Van der Waals	11
(a) Kristal Telurium.....	11
(b) Kristal Grafit.....	11
Gambar 2.3 Pembagian empat belas kisi bravais struktur kristal .....	13
Gambar 2.4 Struktur kubus sederhana .....	15
Gambar 2.5 Struktur kubus pusat badan (KPB).....	16
(a) Kedudukan atom tiap unit sel .....	16
(b) Sel satuan struktur KPB.....	16
(c) Bentuk bola atom struktur KPB.....	16
Gambar 2.6 Struktur kubus pusat muka (KPM) .....	17
(a) Kedudukan atom tiap unit sel .....	17
(b) Sel satuan struktur KPM.....	17
(c) Bentuk bola atom struktur KPM.....	17
Gambar 2.7 Struktur NaCl .....	18
(a) Kedudukan atom tiap unit sel .....	18
(b) Sel satuan struktur NaCl.....	18
(c) Bentuk bola struktur NaCl.....	18
Gambar 2.8 Struktur CsCl.....	19
(a) Kedudukan atom tiap unit sel .....	19
(b) Bentuk bola atom struktur CsCl .....	19
Gambar 2.9 Struktur Intan .....	20
Gambar 2.10 Struktur ZnS .....	21
Gambar 2.11 Struktur Hexagonal Close Packed.....	22
Gambar 2.12 Grafit .....	24
Gambar 2.13 Struktur intan.....	25
Gambar 2.14 Bidang ( <i>hkl</i> ) yang mungkin untuk kubus sederhana.....	28
Gambar 2.15 Bidang ( <i>hkl</i> ) yang mungkin untuk kubus pusat badan....	28
Gambar 2.16 Bidang ( <i>hkl</i> ) yang mungkin untuk kubus pusat muka.....	29

Gambar 2.17	Struktur HCP .....	30
	(a) Kedudukan atom tiap unit sel .....	30
	(b) Bentuk bola atom.....	30
	(c) Sel primitif dengan sudut $120^\circ$ .....	30
	(d) Indeks Miller .....	30
Gambar 2.18	Derivasi Hukum Bragg .....	32
Gambar 2.19	Difraksi kisi.....	40
Gambar 2.20	(a) Skema difraksi elektron .....	41
	(b) Pola cincin difraksi elektron.....	41
Gambar 2.21	Skema tabung difraksi elektron Tel. 2555 .....	41
Gambar 3.1	Langkah-langkah penelitian.....	44
Gambar 3.2	Rangkaian alat difraksi elektron.....	45
Gambar 3.3	Pengukuran diameter Cincin I dan cincin II .....	46
Gambar 3.4	Grafik $D'$ (diameter cincin) terhadap $V_A^{-1/2}$ (variasi tegangan anoda) .....	50
Gambar 4.1	Pola difaksi pada karbon grafit .....	52
Gambar 4.2	Grafik diameter cincin I terhadap tegangan anoda .....	55
Gambar 4.3	Grafik diameter cincin II terhadap tegangan anoda .....	55
Gambar 4.4	Struktur heksagonal atom karbon.....	57
Gambar 4.5	Bidang kristal dengan indeks kisi bidang $[10\bar{1}2]$ .....	62
Gambar 4.6	Bidang kristal dengan indeks kisi bidang $[11\bar{2}2]$ .....	62
Gambar A.1	Skema pengesetan alat .....	68
Gambar A.2	Skema jaringan kabel pada tabung difraksi elektron .....	68
Gambar A.3	Skema jaringan kabel pada tabung difraksi elektron .....	69
Gambar B.1	Hamburan elektron dalam tabung difraksi.....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembagian tujuh sistem kubus dan empat belas kisi bravais serta kondisi interferensi tidak nol .....	14
Tabel 2.2	Karakteristik kisi kubus.....	15
Tabel 3.1	Tabel pengambilan data diameter cincin.....	46
Tabel 4.1	Data diameter cincin hasil pengukuran dan diameter cincin sebenarnya.....	53
Tabel B.1	Diameter hasil pengukuran (D) cincin difraksi elektron pada karbon .....	73
Tabel B.2	Diameter hasil pengukuran (D) cincin difraksi elektron pada karbon .....	75
Tabel B.3	Diameter rata-rata hasil pengukuran cincin difraksi (cm).....	77
Tabel B.4	Perhitungan diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada karbon (cm).....	78
Tabel B.5	Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada karbon (cm ).....	79
Tabel B.6	Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada karbon (m ) .....	80
Tabel E.1	Nilai dari $\frac{4}{3}(h^2 + hk + l^2)$ untuk karbon .....	87
Tabel E.2	Nilai dari $l^2/(c/a)^2$ untuk grafit $(c/a)^2 = 7,429$ .....	87
Tabel E.3	nilai $d$ dari nilai $h$ , $k$ , dan $l$ .....	87

## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran A Rangkaian alat difraksi elektron.....	68
Lampiran B Penentuan diameter cincin difraksi elektron sebenarnya	71
Lampiran C Data slope grafik diameter cincin I dan cincin II.....	81
Lampiran D Penentuan Jarak antar bidang atom karbon grafit.....	82
Lampiran E Penentuan struktur polikristal Karbon grafit.....	84
Lampiran F Penentuan Indeks Miller polikristal Karbon grafit.....	85
Lampiran G Penentuan Nilai Ralat.....	88



## **INTISARI**

# **ANALISIS STRUKTUR POLIKRISTAL GRAFIT DENGAN METODE DIFRAKSI ELEKTRON MENGUNAKAN TABUNG DIFRAKSI TELTRON 2555**

**Oleh**

**Yuli Marhendra Kristianing**

**M.0299011**

Telah dilaksanakan pengukuran diameter cincin hasil difraksi elektron dengan target karbon grafit pada tabung difraksi elektron Teltron 2555 di Sub-Lab Fisika Laboratorium Pusat FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. Difraksi elektron merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal material. Dalam penelitian ini dilakukan difraksi elektron pada kristal grafit untuk mengetahui jenis, struktur serta indeks miller kristal grafit tersebut. Pengukuran diameter cincin hasil difraksi dilakukan pada tegangan 3-5 KV. Tabung difraksi elektron berbentuk bola dengan jari-jari 6,6 cm dan jarak material ke layar 13 cm.

Diperoleh jarak antar atom karbon grafit pada lapisan yang sama sebesar  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  dengan indeks miller [102] dan jarak antar atom karbon grafit dalam lapisan yang berlainan sebesar  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$  dengan indeks miller [112]. Struktur kristal grafit tersebut berbentuk heksagonal.

Kata kunci : difraksi elektron, kristal karbon grafit, struktur heksagonal

## **ABSTRACT**

### **STRUCTURE ANALYSIS OF POLYCRYSTAL GRAPHITE USING AN ELECTRON DIFFRACTION METHOD BY EMPLOYING THE ELECTRON DIFFRACTION TUBE TELTRON 2555**

**Yuli Marhendra Kristianing**

**M.0299011**

The measurement of ring diameter as a result of electron diffraction with carbon as atom target on an electron diffraction tube teltron 2555 at the laboratory of physics, main laboratory of FMIPA Sebelas Maret University Surakarta has been done. The electron diffraction method is one of the methods used to find out the structure of crystal. On this research electron diffraction on graphite executed to find out the structure, type, and the miller index. Measurement ring diameter as a result of diffraction executed on voltage between 3-5 KV. Electron diffraction tube of shape of ball at radius at 6,6 cm is used and the distance between material and screen is 13 cm.

The plane distance of the carbon atom of graphite at the same layer is  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  corresponds to the plane with miller index [102] and plane distance of the carbon atom of graphite at the different layer is  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$  corresponds to the plane with miller index [112]. The shape of graphite crystal structure is hexagonal.

**Keyword :** electron diffraction, carbon graphite crystal, hexagonal structure

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Studi tentang struktur material menjadi hal yang sangat penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi karena sebagian besar material di alam merupakan material polikristal. Struktur kristal dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk menentukan karakteristik suatu material seperti kekuatan, kekerasan, kelistrikan, sifat termal. Hal ini melibatkan atom dan cara-cara atom tersebut berikatan dengan atom disekitarnya dalam suatu kristal (Nyoman, 1989). Oleh karena sifat keteraturan letak-letak atomnya maka untuk mempelajari struktur kristal suatu material dapat dilakukan dengan percobaan difraksi pada kristal tersebut.

Oleh karena ukuran jarak antar atom berorde angstrom, maka sinar-X sering dipakai sebagai gelombang yang terdifraksi karena panjang gelombangnya sesuai. Difraksi partikel, seperti difraksi neutron dan difraksi elektron dapat juga dipakai sebagai penyidik karena menurut de Broglie pada gerak partikel terdapat panjang gelombang yang menyertainya, besarnya berbanding terbalik dengan momentumnya. Oleh karena itu panjang gelombang partikel dapat diatur dengan mengatur besar momentumnya.

Difraksi elektron mempunyai keunggulan dibandingkan dengan difraksi neutron dan difraksi sinar-X. Pola yang dihasilkan oleh difraksi elektron lebih mudah dideteksi dibandingkan dengan pola yang dihasilkan oleh difraksi sinar-X

dan difraksi neutron. Elektron karena bermuatan negatif, mudah diserap oleh bahan sehingga tidak bisa menembus terlalu dalam pada kristal sehingga baik digunakan untuk penelitian struktur permukaan. Difraksi neutron harus dilakukan di reaktor nuklir atau generator neutron yang membutuhkan biaya yang mahal. Selain pengukuran energi neutron yang tepat, monokromatisasi neutron juga merupakan hal yang rumit. Difraksi sinar-X merupakan teknik yang sering digunakan karena sinar-X daya tembusnya pada bahan sangat dalam sehingga proses kerjanya cepat. Sumber penghasil elektron, sistem pemercepat serta detektor bagi elektron terdifraksi lebih sederhana daripada sinar-X dan difraksi neutron.

Difraksi elektron banyak digunakan untuk menentukan sifat material khususnya untuk material yang berukuran sangat kecil atau submikron seperti pigmen (zat warna), katalisator, obat-obatan dan beberapa mineral.

Dalam fisika klasik, hukum-hukum yang mengatur kekhasan gelombang dan partikel sama sekali berbeda. Gerak peluru memenuhi hukum-hukum yang berlaku bagi partikel, seperti mekanika Newton, sedangkan gelombang mengalami interferensi dan difraksi yang tidak dapat dijelaskan dengan mekanika Newton yang berlaku bagi partikel. Energi yang diambil sebuah partikel terpusat dalam bidang batas partikel, sebaliknya energi gelombang tersebar di seluruh ruang pada muka-muka gelombangnya yang terus mengembang. Berlawanan dengan perbedaan yang tegas yang berlaku dalam fisika klasik ini, teori kuantum mensyaratkan bahwa dalam lingkup mikroskopik, partikel kerap kali memenuhi pula hukum-hukum yang berlaku bagi gelombang (Krane, 1992).

Fisika klasik memandang elektron, proton dan neutron sebagai partikel, sedangkan radiasi elektromagnet, sinar-X dan sinar gamma dipandang sebagai gelombang. Di sini akan ditunjukkan bahwa sifat gelombang dan partikel merupakan suatu sifat yang berkaitan satu sama lain yang hanya bergantung pada jenis eksperimen yang diamati. Untuk suatu keadaan tertentu partikel dapat berperilaku seperti gelombang dan dalam keadaan tertentu lainnya gelombang dapat berperilaku seperti partikel, sehingga terdapat sifat dualisme dari partikel dan gelombang.

Dalam beberapa keadaan, elektron dapat dianggap sebagai partikel karena ukurannya yang kecil. Meskipun begitu, jika loncatan elektron dengan energi kinetik berpuluh-puluh atau beratus-ratus elektron volt hingga menumbuk permukaan kristal materi, maka pada keadaan seperti itu elektron terlihat terdifraksi seperti gelombang.

Ahli fisika Perancis Louis de Broglie pada tahun 1924 menyatakan bahwa partikel-partikel seperti elektron, proton dan neutron mempunyai sifat dualisme partikel gelombang. Suatu partikel yang bergerak dengan momentum  $p$  dikendalikan oleh suatu gelombang yang panjang gelombangnya  $\lambda$  dan memenuhi hubungan  $\lambda = \frac{h}{p}$  (Muljono, 2003).

Dalam rumusan de Broglie untuk energi kinetik sebesar 25 eV akan memberikan panjang gelombang elektron sebesar 0,25 nm, yang seorde dengan panjang gelombang sinar-X. Panjang gelombang ini cocok untuk menyidik material mikro karena parameter kisi seorde dengannya. Akan tetapi elektron berikatan sangat kuat dengan atom dalam materi padat yang sederhana karena

mereka bermuatan. Sinar-X dapat menembus hingga beberapa mm pada material difraksi, tetapi pada elektron berenergi rendah jarak tempuhnya hanya beberapa nm. Oleh karena itu difraksi elektron sangat banyak digunakan untuk analisis permukaan kristal.

Dalam tulisan ini akan dilaporkan metode difraksi elektron untuk menganalisis struktur polikristal grafit.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Bagaimanakah metode difraksi elektron digunakan untuk menentukan struktur polikristal grafit.

## **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan struktur polikristal grafit menggunakan metode difraksi elektron.

## **I.4. Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

- a) Bagi penulis, penelitian ini bermanfaat sebagai wadah untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh kuliah dan untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang kristalografi.
- b) Bagi masyarakat umum hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi tentang pemakaian metode difraksi elektron untuk mempelajari kristalografi dan fisika material.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **II.1. Struktur Kristal Zat Padat**

Berdasarkan strukturnya zat padat dibedakan menjadi dua, yaitu zat padat dengan struktur amorf dan zat padat dengan struktur kristal. Zat padat dikatakan memiliki struktur amorf apabila susunan atom-atomnya tidak teratur atau mempunyai periodisitas keteraturan yang pendek dan zat padat dikatakan memiliki struktur kristal apabila susunan atom-atomnya teratur atau mempunyai periodisitas keteraturan yang panjang.

Dalam proses pembentukan yang berlangsung cepat, atom-atom tidak mempunyai cukup waktu untuk menata diri dengan teratur sehingga terbentuk susunan atom yang mempunyai keteraturan yang berjangkauan pendek dan keadaan inilah yang mencerminkan keadaan amorf. Zat padat dengan struktur amorf memiliki susunan atom yang bercampur aduk secara acak dalam setiap bagian. Difraksi elektron pada zat padat yang berstruktur amorf akan menghasilkan pola cincin cahaya yang kabur. Diameter cincin tersebut bergantung pada jarak rata-rata kisi tetangga terdekat dalam material. Contoh zat padat dengan struktur amorf adalah kaca, kayu, plastik

Kristal dapat dibentuk dari larutan, lelehan, uap atau gabungan ketiganya. Apabila proses pembentukannya lambat, atom-atom penyusunnya dapat menata diri selama proses tersebut sehingga terbentuk keteraturan susunan atom dalam jangkauan yang jauh. Inilah yang mencirikan keadaan kristal.

Untuk kristal ideal periodisitas keturunannya tidak berhingga ke segala arah. Zat padat dengan struktur kristal dibedakan menjadi 2 yaitu zat padat dengan struktur kristal tunggal dan zat padat dengan struktur polikristal. Karena struktur kristal lebih teratur maka kristal lebih mudah dipelajari (Omar, 1993).

Zat padat dengan struktur kristal tunggal terdiri atas atom-atom yang tersusun teratur dalam kisi-kisinya. Kristal tunggal paling banyak terdiri atas 3 struktur. Beberapa jenis dari struktur kisi kristal tunggal adalah kubus sederhana, kubus pusat badan, dan kubus pusat muka (Clarke, 1993). Pada umumnya, kristal tunggal yang berbeda struktur kristalnya dibedakan berdasarkan sifat geometrinya. Salah satu kristal tunggal adalah kristal karbon intan (Sukardjo, 1997).

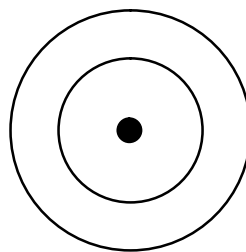
Hamburan elektron yang menembus kristal tunggal akan menghasilkan pola bintang. Dari bintang hasil difraksi tersebut dapat ditentukan jenis struktur kristal dan parameter kisinya. Selain itu, orientasi kristal tunggal juga dapat ditentukan. Jika orientasi kristal tunggal diputar, pola bintang difraksi akan mengelilingi pusat bintang dalam pola yang dapat diperkirakan.

Pada umumnya zat padat terdapat dalam bentuk kristal tunggal. Namun ada beberapa zat seperti karbon dan belerang terdapat dalam lebih dari satu modifikasi zat atau mengalami perubahan bentuk jika dipanaskan atau diberi tekanan. Eksistensi suatu zat dalam lebih dari satu modifikasi dikenal sebagai polimorfisme. Bentuk-bentuk polimorfik suatu zat biasanya merupakan sistem-sistem kristal yang berbeda. Misalnya karbon terdapat dalam intan (tetragonal) dan grafit (heksagonal) (Moechtar, 1990).



Zat padat dengan struktur polikristal terdiri dari beberapa kristal kecil. Contoh zat padat dengan struktur polikristal adalah material yang termasuk golongan logam seperti pipa tembaga, lempengan nikel dan garpu aluminium. Beberapa kristal tunggal yang berukuran kecil secara umum tidak memiliki orientasi yang sama dengan kristal tetangganya. Satuan kristal tunggal dalam polikristal akan memiliki distribusi yang acak dan memungkinkan semua jenis orientasi kristal.

Difraksi pada polikristal secara umum berbeda dengan kristal tunggal. Elektron yang diarahkan hingga menembus polikristal akan menghasilkan pola difraksi yang sama dengan pola difraksi yang dihasilkan oleh kristal tunggal dalam berbagai jenis orientasi kristal. Pola difraksi akan tampak seperti superposisi dari pola bintang kristal tunggal yakni rangkaian cincin yang terpusat, seperti tampak pada gambar 2.1. Cincin ini dibentuk dari beberapa bintang yang bersama-sama menutup pada semua jenis rotasi mengelilingi pusat bintang hamburan. Dari cincin-cincin difraksi tersebut dapat ditentukan jenis struktur kristal dan parameter kisinya. Perputaran polikristal akan menghasilkan pola cincin yang sama (Darmawan, 1987)



Gambar 2.1. Pola cincin difraksi pada material polikristal

### **II.1.1. Ikatan Kristal**

Zat padat terdiri dari atom-atom yang letaknya berdekatan dan gaya yang saling mengikatnya merupakan penyebab dari sifat yang berbeda-beda pada berbagai jenis zat padat. Ikatan dihasilkan dari usaha atom untuk mencapai kondisi ideal, yaitu mendapatkan kulit luar yang penuh (Gribbin, 2005). Berdasarkan cara atom berikatan satu sama lain dalam membentuk kristal, maka jenis-jenis ikatannya dapat diuraikan sebagai berikut:

#### **II.1.1.1. Ikatan Ionik**

Ikatan ionik adalah ikatan antara ion positif dengan ion negatif yang ditandai dengan adanya pemberian dan penerimaan elektron kulit terluarnya. Ikatan ionik berasal dari gaya tarik-menarik elektrostatis antara ion positif dan ion negatif. Terbentuknya ion-ion tersebut disebabkan oleh adanya transfer elektron antar atom-atom yang membentuk ikatan. Ikatan ini termasuk kategori ikatan kuat atau primer. Kristal dengan ikatan ini bersifat keras, titik lebur tinggi, dan dapat larut dalam cairan polar seperti air. Beberapa contoh kristal ionik antara lain : NaCl, CsCl, dan KBr (Bibit, 2004).

#### **II.1.1.2. Ikatan Kovalen**

Ikatan kovalen adalah ikatan yang terjadi karena pemakaian bersama beberapa pasangan elektron oleh atom-atom dengan valensi sama yang saling berikatan. Ikatan ini termasuk ikatan kuat atau primer. Kristal dengan ikatan kovalen memiliki sifat sangat keras, titik lebur tinggi, larut dalam sangat sedikit cairan, transparan terhadap cahaya tampak. Contoh ikatan kovalen terdapat pada karbon intan (C) (Bibit, 2004).

Hal yang khas dari ikatan kovalen adalah sifat terarahnya yang sangat kuat seperti karbon, germanium dan silikon yang berstruktur intan. Ikatan pada 2 atom karbon dalam kristal inti membentuk struktur tetrahedral, artinya setiap atom karbon dikelilingi oleh 4 buah atom karbon tetangga terdekat (Companion, 1991).

#### **II.1.1.3. Ikatan Logam**

Ikatan logam adalah ikatan yang dibentuk oleh gaya tarik-menarik elektrostatik antara ion-ion positif yang menempati lokasi tertentu pada titik-titik kisi kristal dengan awan elektron yang mengitarinya. Ikatan ini termasuk kategori ikatan kuat atau primer. Kristal dengan ikatan logam bersifat berkilauan, tak tembus cahaya, dapat ditempa, dapat menghantarkan kalor dan listrik dengan baik. Contohnya adalah natrium (Na) dengan energi kohesi ( $E_c$ ) sebesar 1,1 eV/atom (Bibit, 2004).

#### **II.1.1.4. Ikatan Van der Waals**

Ikatan van der Waals adalah ikatan antar molekul yang dibentuk oleh gaya ikat Van der Waals, yaitu gaya tarik-menarik elektrostatik akibat distribusi muatan listrik yang tidak simetris dalam molekul-molekul. Kristal dengan ikatan ini akan memiliki sifat lunak, titik lebur dan titik didih rendah, dapat larut dalam cairan kovalen. Contohnya adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) (Bibit, 2004).

Dari semua jenis ikatan yang ada, ikatan Van der Waals merupakan ikatan yang paling lemah (Companion, 1991).

#### **II.1.1.5. Ikatan Hidrogen**

Ikatan hidrogen adalah ikatan antar molekul yang terjadi akibat gaya tarik elektrostatik kuat (lebih kuat dari gaya Van der Waals) antara sebuah atom hidrogen yang terikat pada suatu molekul dengan atom N, O, atau F pada molekul lainnya. Kristal dengan ikatan ini akan bersifat lebih kuat daripada ikatan Van der Waals, titik didih dan titik lebur lebih tinggi daripada ikatan Van der Waals. Contohnya adalah es ( $\text{H}_2\text{O}$  padat) (Bibit, 2004).

Kristal dengan ikatan hidrogen saling berpegangan oleh proton yang dibagi antar atom elektron negatif. Ikatan hidrogen ini terdapat dalam banyak kristal organik, anorganik, struktur es dan air. Ikatannya adalah ikatan lemah, tetapi mereka memegang peranan penting dalam penentuan susunan atom dalam zat yang berikatan hidrogen seperti protein dan polinukleotida (Farrington dan Daniels, 1973).

#### **II.1.1.6. Ikatan Campuran**

##### **a. Ionik-Kovalen**

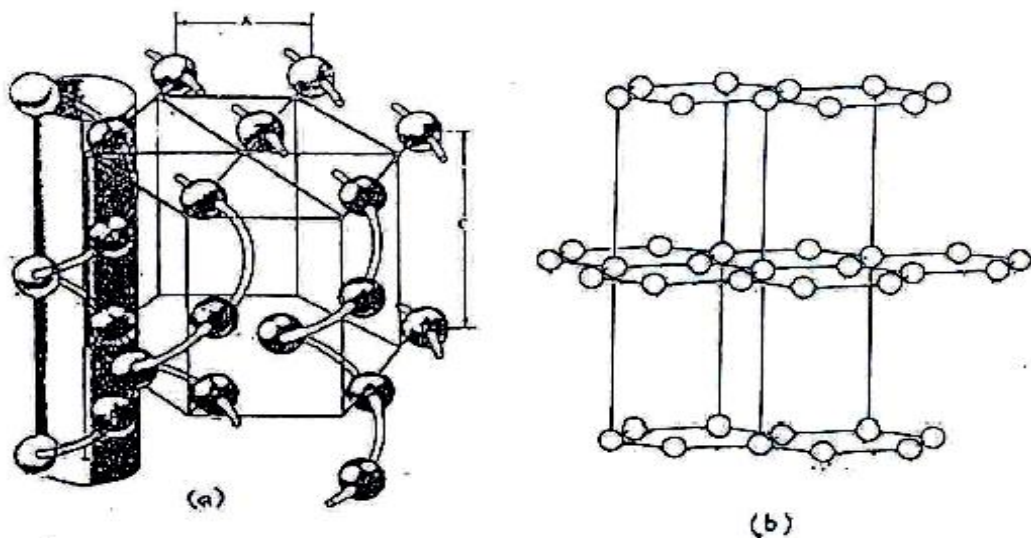
Ikatan ionik yang sempurna dapat terbentuk pada suatu molekul bila atom-atom yang terlibat dapat membentuk ion-ion yang elektropositif dan elektronegatif kuat. Syarat ini terpenuhi oleh molekul ionik alkali-halida, oleh karena atom-atom alkali dan halida memiliki kecenderungan yang kuat untuk melepaskan dan menerima elektron (Companion, 1991).

Bagi atom-atom yang kurang keelektropositifan dan keelektronegatifannya, transfer elektron kation ke anion kurang dari 100%. Sebagai contoh, logam-logam transisi (golongan B) memiliki energi ionisasi yang

lebih besar daripada logam alkali, sehingga perak-halida ( $\text{AgX}$ ) kurang ionik dibandingkan alkali-halida (Companion, 1991).

### b. Kovalen-Van der Waals

Ikatan campuran antara kovalen dan Van der Waals banyak ditemukan pada kristal molekul. Pada gambar 2.2 ditunjukkan kristal telurium ( $\text{Te}$ ) dan grafit ( $\text{C}$ ), yang masing-masing mengandung ikatan kovalen dan ikatan Van der Waals. Seperti terlihat pada gambar 2.2 (a), Ikatan kovalen terjadi antara atom-atom  $\text{Te}$  yang membentuk spiral. Ikatan antar atom disepanjang rantai adalah ikatan kovalen dan ikatan antar rantai merupakan ikatan Van der Waals. Pada kristal grafit, ikatan kovalen terjadi antar atom-atom  $\text{C}$  pada satu lapisan tertentu, serta ikatan Van der Waals terjadi antar lapisan terlihat pada gambar 2.2 (b) (Companion, 1991).



Gambar 2.2. Kristal dengan ikatan campuran kovalen-Van der Waals, (a) Kristal telurium dan (b) Kristal grafit (Companion, 1991)

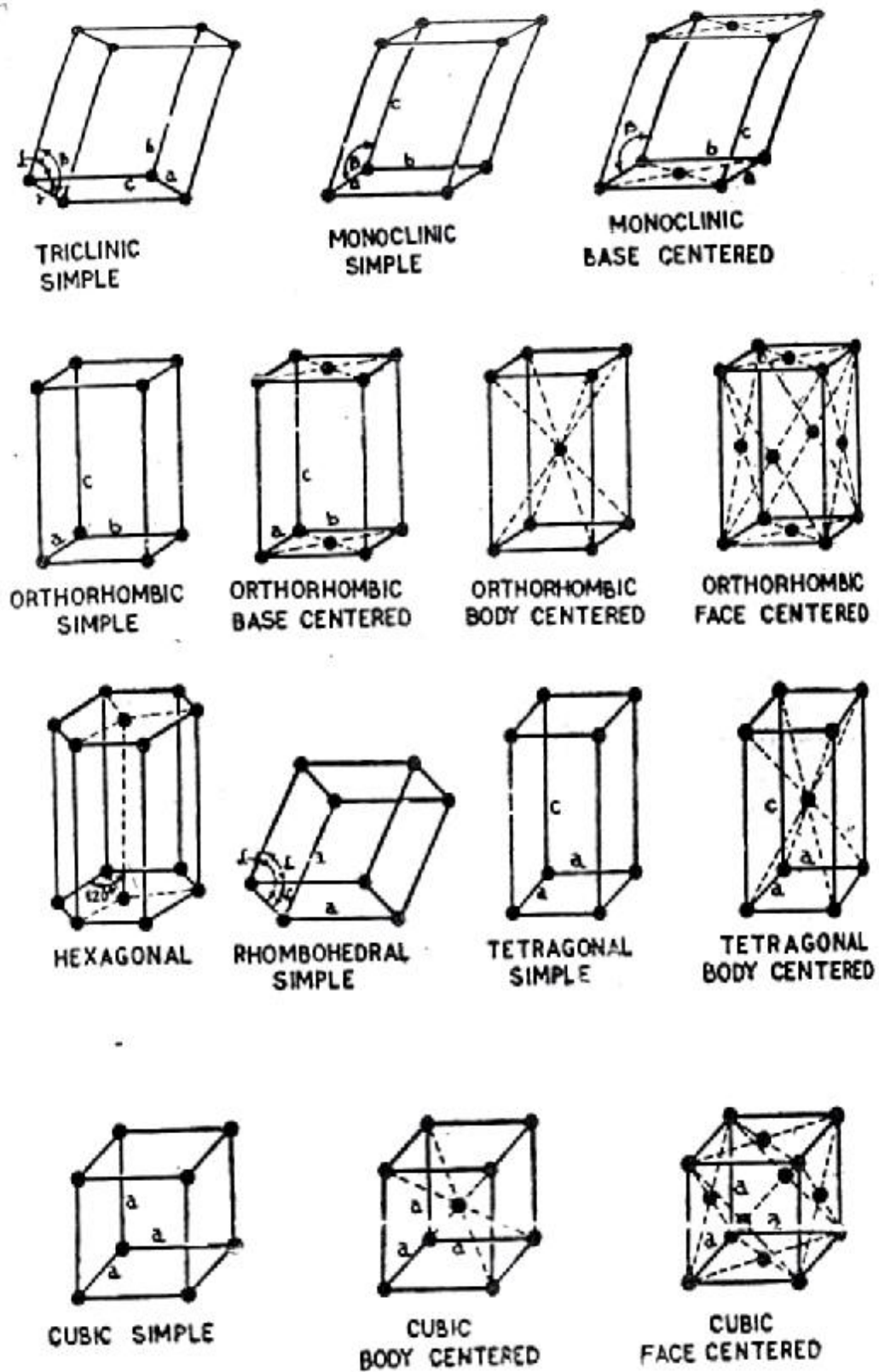
### II.1.2. Kisi Kristal dan Sel Satuan

Suatu kristal dapat digambarkan sebagai pola berdimensi tiga yang strukturnya berulang. Basisnya dapat berupa atom, molekul, atau ion-ion. Biasanya bagian terkecil dari kristal adalah sel satuan (Baiquni, 1996).

Dalam kristalografi, sifat geometris lebih diutamakan daripada sifat fisisnya. Posisi atom-atom tersebut diumpamakan dengan titik-titik atom yang merupakan suatu basis, yaitu kelompok atom yang mempunyai periodisitas keteraturan dan susunan geometris. Titik-titik tersebut membentuk pola geometris yang sifatnya sama dengan sifat geometris kristal. Pada umumnya pola geometris teratur yang berulang disebut kisi kristal (*crystal lattice*) atau disingkat dengan kisi (*lattice*). Jadi pada dasarnya struktur kristal terdiri dari basis dan kisi.

Kisi kristal dibedakan menjadi dua macam, yaitu kisi Bravais dan kisi non Bravais. Pada kisi Bravais, semua titik bersifat ekuivalen sehingga semua atom kristal adalah sejenis. Pada kisi non Bravais, beberapa titik tidak ekuivalen. Kisi non Bravais juga dapat dibentuk dari kombinasi dua atau lebih kisi Bravais dengan arah tetap terhadap satu sama lain (Omar, 1993).

Kisi kristal terbagi dalam sel satuan. Sel satuan ini mempunyai volume terbatas dan masing-masing memiliki ciri yang sama dengan kristal secara keseluruhan, sedangkan jarak yang berulang yang dihasilkan oleh koordinasi atom dalam kristal disebut parameter kisi (Omar, 1993). Berdasarkan bentuk dan simetri sel kisi, kristal dikelompokkan menjadi tujuh sistem kristal dan kisi Bravais dikelompokkan menjadi empat belas dengan karakteristik geometrinya seperti tercantum dalam gambar 2.3. dan tabel 2.1.



Gambar 2.3. Pembagian empat belas kisi bravais struktur kristal (Omar,1993)

Tabel 2.1. Pembagian tujuh sistem kubus dan empat belas kisi bravais serta kondisi interferensi tidak nol (Omar, 1993)

Sistem Kristal	Karakteristik unit sel	Kisi Bravais	Kondisi Interferensi yang konstruktif
Kubus	$a = b = c$	Sederhana ( $P$ ) Pusat badan ( $I$ ) Pusat muka ( $F$ )	Tidak ada batasan $h + k + l = 1$ $h, k, l$ semua genap/ganjil
Tetragonal	$a = b \neq c$ $a = b = c = 90^\circ$	Sederhana ( $P$ ) Pusat alas ( $A, B, C$ )	Tidak ada batasan $h + 1, k + 1, l + 1 = 2n$
Orthogonal	$a \neq b \neq c$ $a = b = c = 90^\circ$	Sederhana ( $P$ ) Pusat badan ( $I$ ) Pusat muka ( $F$ ) Pusat alas ( $A, B, C$ )	Tidak ada batasan $h + k + l = 2n$ $h, k, l$ semua genap/ganjil $h + 1, k + 1, l + 1 = 2n$
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $a = b = 90^\circ \neq c$	Sederhana ( $P$ ) Pusat alas ( $A, B, C$ )	Tidak ada batasan $h + 1, k + 1, l + 1 = 2n$
Triklirik	$a \neq b \neq c$ $a \neq b \neq c \neq 90^\circ$	Sederhana ( $P$ )	Tidak ada batasan
Heksagonal	$a = b \neq c$ $a = b = 90^\circ$ $c = 120^\circ$	Sederhana ( $P$ )	Tidak ada batasan
Rombohedral	$a = b = c$ $a = b = c \neq 90^\circ$	Sederhana ( $R$ )	$\pm h + k + l = 3n$

### II.1.3. Struktur Kristal Kubus

Pada kristal kubus atom-atom penyusunnya memiliki pola geometri yang sama sepanjang ketiga sumbu tegak lurus. Sedangkan kristal nonkubus tidak memiliki pola ulang yang sama dalam ketiga arah koordinatnya atau sudut antara ketiga sumbu kristal tidak sama dengan  $90^\circ$ .

Berdasarkan kisi Bravaisnya kristal kubus ini dibedakan menjadi tiga yaitu kubus sederhana, kubus pusat badan dan kubus pusat muka. Kristal dengan tipe struktur NaCl, CsCl, ZnS dan intan juga termasuk dalam struktur kubus (Atkins, 1997). Dibawah ini penjelasan mengenai struktur kristal kubus.

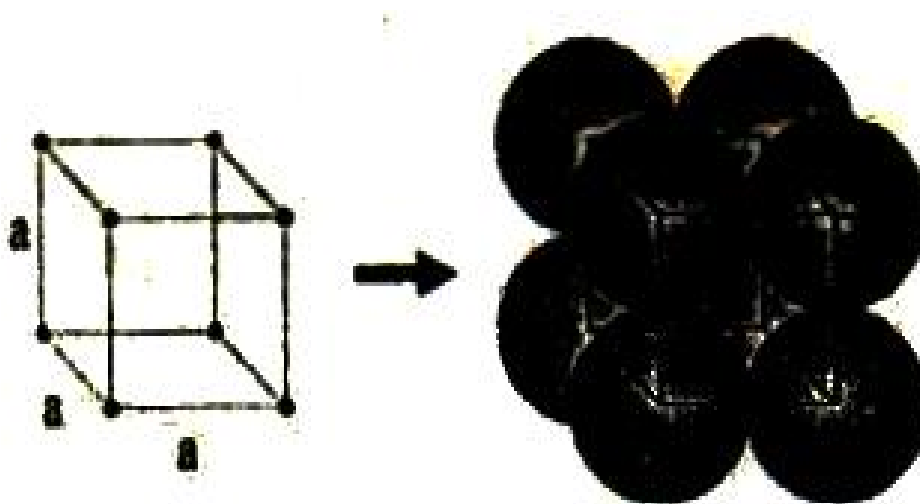


Tabel 2.2. Karakteristik kisi kubus (Narang, 1982)

Nilai	Kubus sederhana $a^3$	BCC $a^3$	FCC $a^3$
Jumlah kisi tiap satuan sel	1	2	4
Jumlah kisi per satuan volume	$\frac{1}{a^3}$	$\frac{2}{a^3}$	$\frac{4}{a^3}$
Jarak tetangga terdekat	$a$	$\sqrt{\frac{3}{2}}a$	$\frac{a}{\sqrt{2}}$
Jumlah tetangga terdekat	6	8	12
Jarak tetangga kedua	$\sqrt{2}a$	$a$	$a$
Jumlah tetangga	12	6	6

#### a. Kubus Sederhana (*Simple Cubic*)

Unit kubus dengan struktur ini hanya memiliki atom pada sudut-sudut kubus. Oleh karena itu atom-atom bersinggungan di sepanjang sisi kubus. Struktur ini kurang rapat dan tiap atom hanya memiliki 6 atom tetangga terdekat (Nyoman, 1989). Biasanya disingkat dengan KS atau SC. Jumlah atom dalam sel satuannya hanya 1 buah. Contoh material yang mengkristal dengan struktur kubus ini adalah Po( $\alpha$ ), Au-Te dan Cu<sub>3</sub>Au (Shackelford, 1996).

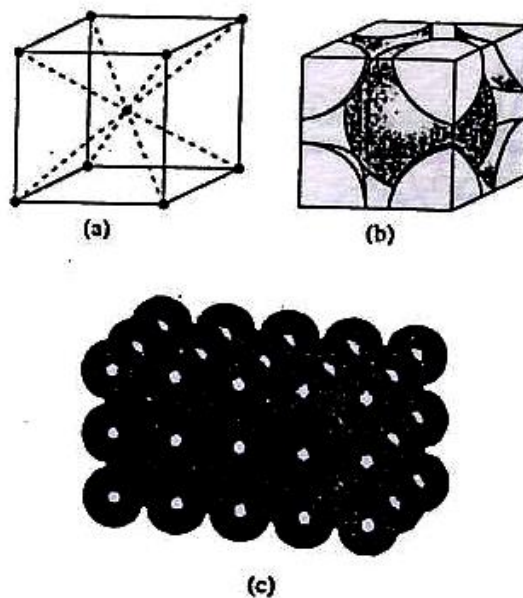


Gambar 2.4. Struktur kubus sederhana (Shackelford, 1996)

### b. Kubus Pusat Badan (*Body Centered Cubic*)

Pada unit sel struktur KPB atau BCC ini, atom terletak pada tiap sudut kubus dan sebuah atom pada pusat kubus. Atom pusat ini bersinggungan dengan kedelapan atom sudut, tetapi antar sesama atom sudut tidak bersentuhan dan masih ada jarak di antaranya. Jadi atom-atom hanya bersinggungan di sepanjang diagonal ruang kubus tersebut (Nyoman, 1989).

Jumlah atom dalam sel satuannya adalah 2. Sel primitif struktur ini berbentuk Rhombohedron dengan rusuk  $\frac{1}{2}a\sqrt{3}$  bila rusuk kubus adalah  $a$ . Sel nonprimitifnya berisi dua buah titik-kisi atau atom. Beberapa logam alkali seperti Li, Na, K, Rb, Cs dan logam Fe ( $\alpha$ ) berstruktur kubus pusat badan (Darmawan, 1987).

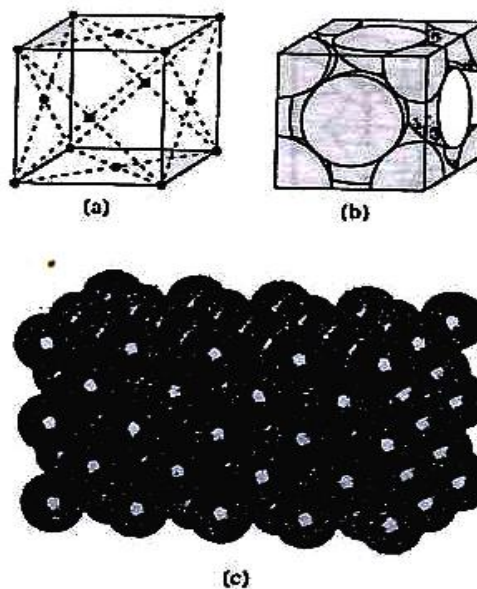


Gambar 2.5. Struktur kubus pusat badan (KPB)  
 (a) Kedudukan atom tiap unit sel (b) Sel satuan struktur KPB  
 (c) Bentuk bola atom struktur KPB (Darmawan, 1987)

### c. Kubus Pusat Muka (*Face Centered Cubic*)

Pada unit kubus struktur KPM atau FCC ini tiap sudut kisi ditempati oleh sebuah atom dan 1 atom lagi pada pusat dari masing-masing bidang muka kristal. Pada struktur ini atom pusat bidang muka bersinggungan dengan keempat atom sudut pada bidang yang bersangkutan. Sedangkan antara atom-atom sudut itu sendiri tidak bersentuhan, dan masih ada jarak di antaranya. Jadi atom-atom hanya bersinggungan di sepanjang diagonal bidang muka kristal. Susunan atom-atom pada struktur FCC ini sangat rapat, maka sering disebut pula sebagai *Cubic Close Packed* (CCP) (Nyoman, 1989).

Jumlah atom dalam sel satuannya adalah 4 buah. Sel primitif struktur ini berbentuk rhombohedron dengan rusuk  $\frac{1}{2}a\sqrt{2}$  bila rusuk kubus adalah  $a$ . Beberapa logam seperti Fe ( $\gamma$ ), Ag, Al, Au, Cu, Co( $\beta$ ), Pb dan Pt mengkristal dengan struktur kubus pusat muka (Darmawan, 1987).

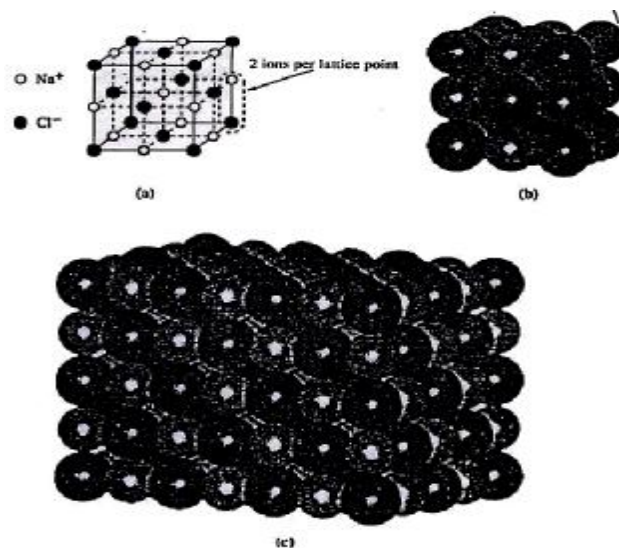


Gambar 2.6. Struktur kubus pusat muka (KPM)  
 (a) Kedudukan atom tiap unit sel (b) Sel satuan struktur KPM  
 (c) Bentuk bola atom struktur KPM (Darmawan, 1987)

#### d. Struktur NaCl

Struktur ini terdiri dari 2 subkisi FCC, 1 subkisi dengan titik asal ion  $\text{Na}^+$  yang terletak pada  $(0, 0, 0)$  dan subkisi yang lain memiliki titik asal ion  $\text{Cl}^-$  dengan kedudukan ditengah-tengah sepanjang sisi kubus, misalnya pada titik  $(\frac{1}{2}, 0, 0)$ . Tiap atom memiliki 6 atom tetangga terdekat, sehingga bilangan koordinasinya adalah 6 (Nyoman, 1989).

Struktur ini pertama kali ditemukan pada struktur garam dapur NaCl. Sel kisi struktur natrium chloride adalah kubus dengan basis yang terdiri dari 2 atom yaitu Na dan Cl serta membentuk gabungan 2 kisi struktur kubus pusat muka (KPM) yang tergeser satu sama lain sejauh  $\frac{1}{2}a$  dalam arah  $(100)$  dari kisi KPM yang pertama. Maka sel satuan yang berbentuk kubus dengan rusuk  $a$  terdiri dari 4 molekul NaCl yaitu 4 ion  $\text{Na}^+$  dan 4 ion  $\text{Cl}^-$ . Oleh karena itu struktur NaCl termasuk dalam kategori struktur kubus. Beberapa senyawa yang mengkristal dengan struktur ini adalah NaCl, LiH, KCl, PbS, (Darmawan, 1987).



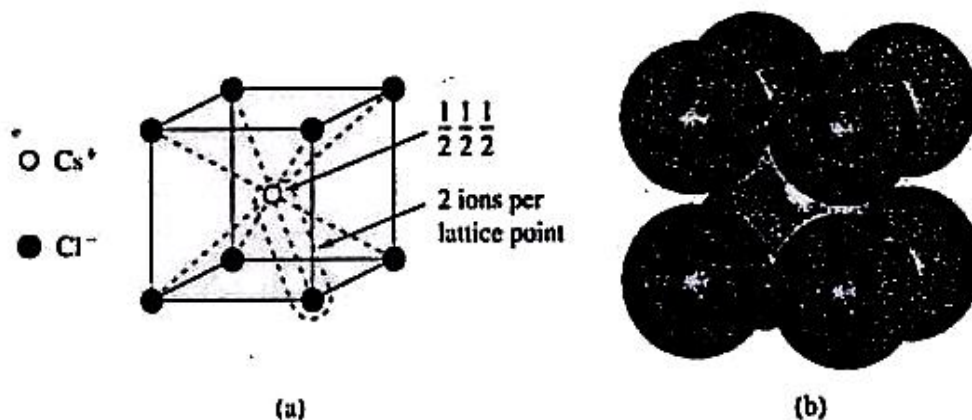
Gambar 2.7. Struktur NaCl

- (a) Kedudukan atom tiap unit sel (b) Sel satuan struktur NaCl  
(c) Bentuk bola struktur NaCl (Darmawan, 1987)

### e. Struktur CsCl

Struktur cesium chlorida merupakan gabungan dari 2 buah kisi kubus sederhana (SC). Atom sudut dari salah satu subkisi merupakan atom pusat dari subkisi yang lain. Tiap atom berada pada pusat kubus dari atom yang lain, oleh karena itu jumlah atom tetangga terdekatnya adalah 8 (Nyoman, 1989).

Struktur cesium chlorida adalah kisi kubus sederhana yang terdiri dari 1 molekul CsCl yaitu ion  $\text{Cs}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ . Struktur ini adalah struktur kubus pusat badan, tetapi atom-atom pada pojok-pojok kubus berbeda dengan atom pada pusat badannya. Jadi kalau Cs menempati posisi  $(0, 0, 0)$  maka Cl menempati posisi  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  sedangkan bila Cs menempati posisi  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  maka Cl menempati posisi  $(0, 0, 0)$ . Beberapa contoh senyawa yang terkristal dengan struktur ini adalah CsCl, TlBr, TlI, CuPd,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , AgMg, CuZn, LiHg, AlNi dan BeCu (Darmawan, 1987).



Gambar 2.8. Struktur CsCl

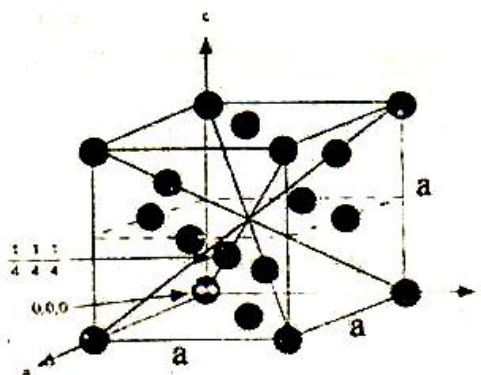
(a) Kedudukan atom tiap unit sel (b) Bentuk bola atom struktur CsCl.  
(Darmawan, 1987)

#### f. Struktur Intan (*Diamond*)

Struktur intan merupakan gabungan dari 2 subkisi FCC. Salah satu subkisi tersusun dari 8 atom sudut dan 6 atom pusat bidang muka unit sel. Setiap atom pada struktur ini memiliki 4 atom tetangga terdekat (Nyoman, 1989).

Struktur intan bisa dipandang sebagai kubus pusat muka (KPM) yang digeser satu sama lainnya sepanjang diagonal ruangnya sejauh  $\frac{1}{4}$  diagonal. Sel kisi struktur intan adalah kubus pusat muka (KPM) dengan basis yang terdiri dari 2 atom masing-masing pada posisi  $(0, 0, 0)$  dan  $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ . Pada struktur ini setiap atomnya dikelilingi oleh atom sejenisnya yang membentuk tetrahedron beraturan sehingga bisa dinyatakan dengan jenis ikatannya yaitu ikatan tetrahedral. Beberapa material seperti karbon (C), germanium (Ge), silikon (Si) dan timah putih (Sn) mengkristal dengan struktur ini (Darmawan, 1987).

Intan mempunyai kisi kubus berpusat muka dengan atom  $(0, 0, 0)$  dan  $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$  yang berhubungan dengan setiap titik kisi. karena ada 2 atom per titik kisi, maka ada 8 atom per sel satuan. Jarak sel satuan untuk intan adalah  $356,7 \text{ pm}$ . Silikon, germanium dan timah abu-abu mempunyai struktur ini dengan jarak sel satuan  $543,1; 565,7; 649,1 \text{ pm}$  (Farrington dan Daniels, 1984).

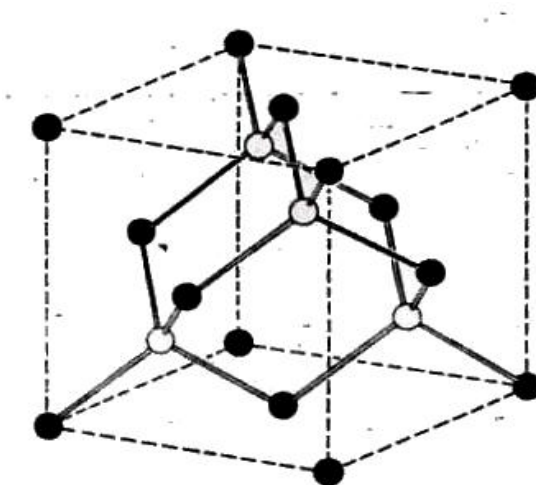


Gambar 2.9. Struktur Intan (Farrington dan Daniels, 1984)

### g. Struktur ZnS (Sfalerit)

Struktur Zinc Sulfida terdiri dari 2 FCC. Pada struktur ini atom-atom Zn menempati salah satu kisi FCC dan atom-atom S menempati kisi FCC yang lain dengan demikian menghasilkan struktur yang sama dengan struktur intan. Koordinat atom-atom Zn adalah  $(0,0,0)$ ;  $(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ ;  $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ ;  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$  dan koordinat atom S adalah  $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ ;  $(\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4})$ ;  $(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4})$ ;  $(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4})$ . Struktur Zinc Sulfida ini mempunyai 4 molekul ZnS per unit sel. Tiap atom memiliki jarak atom yang sama dari jenis yang berlawanan yang tersusun pada sudut-sudut tetrahedron beraturan (Nyoman, 1989).

Pada dasarnya struktur Zinc Sulfida (ZnS) adalah sama dengan struktur intan. Ion-ion  $\text{Zn}^{++}$  terdapat pada 1 kisi kpm, sedangkan kisi kpm yang lain berisi ion  $\text{S}^-$ . Apabila struktur intan disusun oleh atom yang sejenis misalnya Ge-Ge-Ge..., pada struktur ZnS disusun ion yang berlainan jenis secara berselang-seling, misalnya  $\text{Zn}^{++}-\text{S}^- - \text{Zn}^{++}-\text{S}^- \dots$ . Beberapa contoh senyawa yang terkristal dengan struktur ini adalah CuF, CuCl, AgI dan ZnSe (Darmawan, 1987).

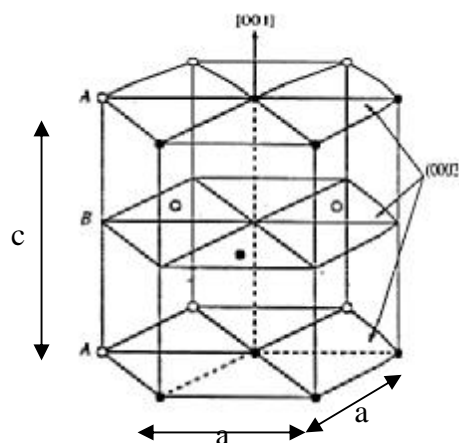


Gambar 2.10. Struktur ZnS (Nyoman, 1989)

### h. Struktur Hexagonal Close Packed (HCP)

Struktur HCP adalah jenis kristal yang sudah umum dijumpai pada beberapa logam seperti magnesium, titanium, seng, berelium dan kobalt. Dalam struktur ini bola-bola atom tersusun dalam 1 bidang dimana bola atom bersinggungan dengan 6 bola atom disekitarnya (lapisan pertama). Lapisan kedua terdiri dari 3 bola atom yang saling bersinggungan, lapisan kedua ini dikemas di atas atau di bawah lapisan pertama. Lapisan ketiga strukturnya sama dengan lapisan pertama dan dikemas di atas atau di bawah lapisan kedua. Masing-masing atom dari salah satu lapisan terletak langsung di bawah dari sela-sela diantara 3 atom dalam lapisan di dekatnya. Ini berarti tiap atom bersinggungan dengan 3 atom pada lapisan di bawahnya, 6 atom dalam bidangnya sendiri, dan 3 atom pada lapisan di sebelah atasnya. Dengan demikian tiap atom bersinggungan dengan 12 atom disekitarnya atau dengan kata lain tiap atom memiliki 12 tetangga terdekat, sehingga dikatakan bilangan koordinasinya 12 (Nyoman, 1989).

Struktur ini adalah struktur heksagonal dengan tambahan titik kisi ditengah bidang atas dan bidang bawah, seperti pada gambar 2.11 (Clarke, 1993).



Gambar 2.11. Struktur Hexagonal Close Packed (Clarke, 1993)



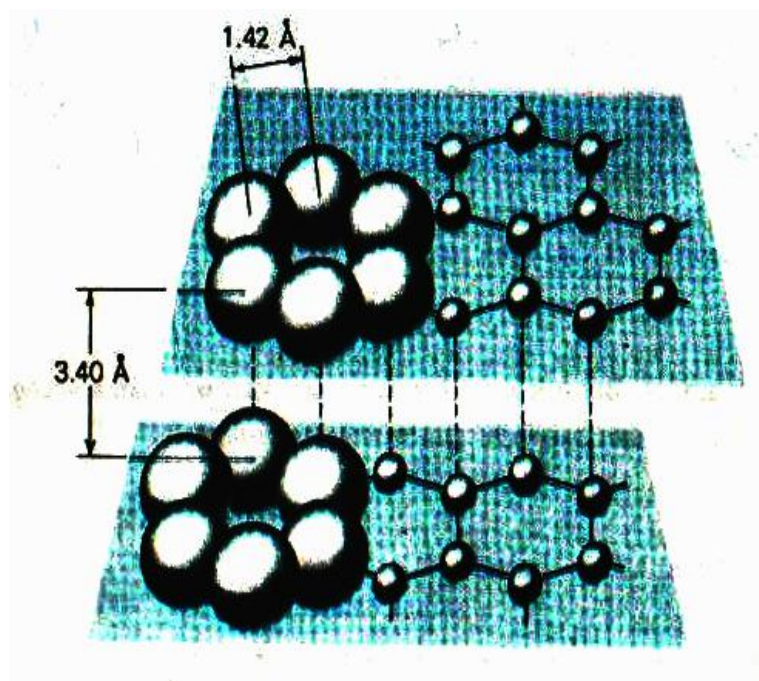
#### II.1.4. Struktur Kristal Karbon

Jumlah atom-atom karbon dalam kulitnya dapat berubah-ubah, atas alasan inilah banyak struktur karbon yang telah ditemukan. Semula ada 6 bentuk padatan elemen karbon yang diketahui, yaitu 2 jenis grafit, 2 jenis intan, chaoit dan karbon VI. Chaoit pada tahun 1968 sedang karbon VI pada tahun 1972. Karbon memiliki titik leleh dan titik didih yang sangat tinggi, hal inilah yang membedakan karbon dari unsur lainnya. Atom karbon sangat kecil dibandingkan atom lainnya. Jari-jari ion dalam kristal karbon ini bahkan lebih kecil lagi, karena atom-atom biasanya berada dalam keadaan-oksidasi positif. Ion-ion ini tidak terdapat sebagai partikel yang berdiri sendiri dalam senyawaan, tetapi tersusun dengan ikatan kovalen.

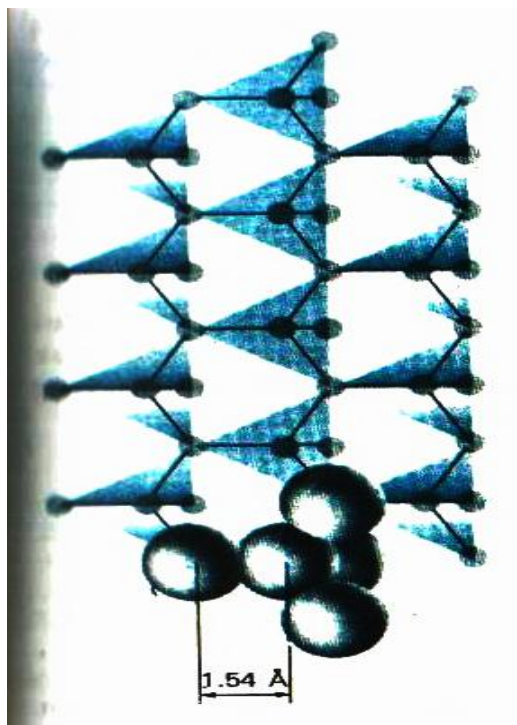
Karbon merupakan unsur padat yang tegar, yang biasanya dianggap sebagai molekul-molekul raksasa yang terdiri dari banyak sekali atom. Dibandingkan golongan IV A yang lain seperti boron dan silikon yang hanya memiliki 1 bentuk kristalin, sedangkan karbon terdapat dalam 2 bentuk kristalin yang jelas sekali. Unsur ini dapat diperoleh dalam 1 atau lebih modifikasi amorf. Bentuk amorf dari karbon adalah arang, kokas, dan bubuk karbon.

Bentuk kristalin dari karbon terkenal karena perbedaan fisiknya. Yang satu, grafit, merupakan zat hitam yang benar-benar terasa berminyak berupa bubuk kering. Yang lainnya, intan, merupakan zat padat tak berwarna, yang bisa diasah menjadi kristal-kristal gemerlapan. Intan merupakan mineral yang paling keras dan paling baik sehingga berharga mahal. Padahal, kedua zat ini hanya terdiri dari atom karbon belaka (Emeleus dan Anderson, 1960).

Dalam hal grafit, atom-atom karbon mengkristal dengan pola yang berlapis-lapis membentuk bidang heksagonal. Atom-atom ini jauh lebih dekat dengan tetangga-tetangga mereka pada lapisan yang sama, daripada dengan atom-atom dalam lapisan yang berdampingan (seperti dijelaskan dalam gambar 2.12). Lapisan itu mudah bergeser relatif terhadap sesamanya. Berlawanan dengan atom-atom karbon dalam struktur intan yang mempunyai ikatan-ikatan kuat dengan tetangga-tetangga dalam tiga dimensi. Masing-masing atom terikat dengan ikatan kovalen yang sama kuat kepada atom-atom di semua sisi. Atom karbon mengkristal dengan simetri tetragonal, masing-masing atom mempunyai 4 tetangga terdekat seperti terlihat dalam gambar 2.13 (Keenan, 1992).



Gambar 2.12. Grafit, atom-atom karbon mengkristal dalam lapisan-lapisan dengan simetri heksagonal (Keenan, 1992)



Gambar 2.13. Struktur intan (Keenan, 1992)

Karbon memiliki energi pengionan dan keelektronegatifan yang lebih tinggi dibandingkan unsur golongan IV A yang lain. Hal ini menunjukkan karbon adalah nonlogam sejati. Karbon adalah penghantar panas dan listrik yang relatif buruk, meskipun bentuk grafit dari karbon menghantarkan listrik lebih baik daripada kebanyakan nonlogam lainnya. Dalam struktur intan, pasangan-pasangan elektron ditahan begitu kuat sehingga daya hantar listriknya kecil. Sedangkan dalam struktur grafit elektron-elektron dalam ikatan antar lapisannya tidak tertahan begitu erat sehingga bebas untuk bergerak dan menghantarkan listrik dengan leluasa. Grafit melekat pada banyak bahan dan merupakan penghantar, seperti kulit atau plastik yang hendak dilapisi logam dengan listrik (elektroplating) (Cotton dkk, 1972).

Grafit baik yang alamiah maupun sintetis, digunakan sebagai bahan hitam dalam pensil, pigmen dalam cat hitam, tinta cetak untuk buku, majalah, surat kabar; kertas karbon, semir sepatu, penguat dan pengeras ban karet, barang karet, dalam pembuatan krus (mangkok untuk bahan kimia), elektrode untuk penggunaan pada suhu tinggi, pelumas kering dan unsur penting untuk konstruksi bermacam peralatan listrik dan nuklir. Intan, terutama yang bernoda dan kecil-kecil digunakan dalam industri untuk membuat bubuk penggosok untuk roda pengasah, ujung mata bor, gigi gergaji, untuk menggerinda perkakas wolfram karbida, kaca dan untuk memotong (mengebor) beton dan batu (Austin, 1992).

Berbagai bentuk Karbon, bersublimasi bila dipanaskan dalam ruang hampa udara sampai suhu tinggi. Pada saat didinginkan, uap ini mengembun dalam bentuk grafit. Inilah proses untuk produksi grafit secara komersial dari arang antrasit dan dari kokas. Pada tekanan yang lebih tinggi dari 100.000 atm dan suhu di atas  $2.700^{\circ}\text{C}$ , grafit dapat diubah menjadi intan yang disebut intan sintetis.

Karbon terdapat dalam kerak bumi, baik dalam keadaan bebas maupun dalam keadaan tergabung dalam senyawa. Senyawa alamiah karbon yang utama adalah zat organik yang terbentuk dalam jaringan tubuh makhluk hidup, baik tumbuhan maupun hewan, dan dalam bahan yang berasal dari benda hidup, seperti arang dan minyak bumi. Diantara senyawa karbon anorganik yang umum, adalah karbondioksida dan batuan karbonat, terutama kalsium karbonat,  $\text{CaCO}_3$  (Keenan, 1992).

### II.1.5. Indeks Miller Kristal Karbon

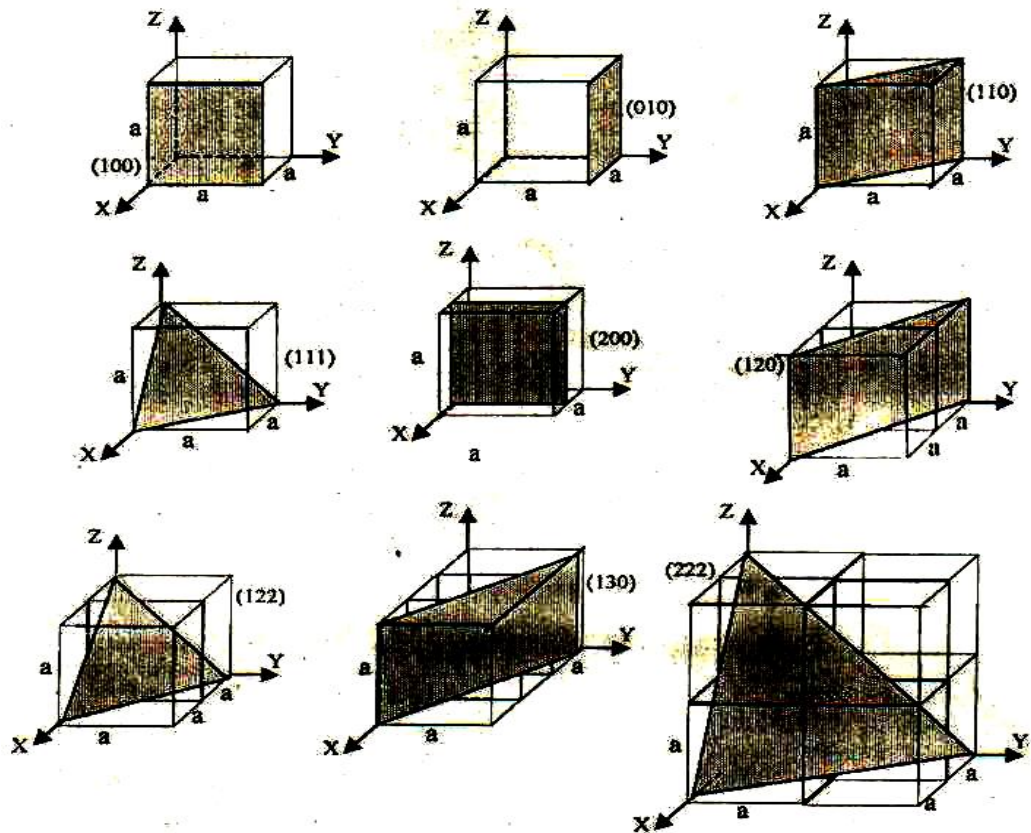
Untuk menerangkan struktur kristal, diperlukan adanya ketentuan arah dan bidang kristal. Keduanya merupakan arah garis tegak lurus yang membentuk bidang pada kristal. Dalam fisika zat padat arah dan bidang kristal ini dinyatakan dengan indeks Miller, meskipun dibedakan dalam penulisannya.

Pada penulisan arah kristal diberi indeks sesuai berkas yang berasal dari titik asal dengan indeks utuh terkecil dan semua arah yang sejajar mempunyai indeks arah sama. Penulisan arah kristal berupa tanda kurung persegi  $[hkl]$ . Jika sel satuan mempunyai beberapa simetri putar, maka akan muncul arah yang tidak sejajar (nonpararel) yang ekuivalen dengan sifat simetrinya. Arah kristal yang ekuivalen tersebut disimbolkan dengan  $\langle n_1 n_2 n_3 \rangle$ . Sebagai contoh pada kristal kubus, simbol  $\langle 100 \rangle$  mengidentifikasi 6 arah yaitu:  $[100]$ ,  $[010]$ ,  $[001]$ ,  $[\bar{1}00]$ ,  $[0\bar{1}0]$ ,  $[00\bar{1}]$ . Tanda garis di atas menunjukkan arah negatifnya (Narang, 1982).

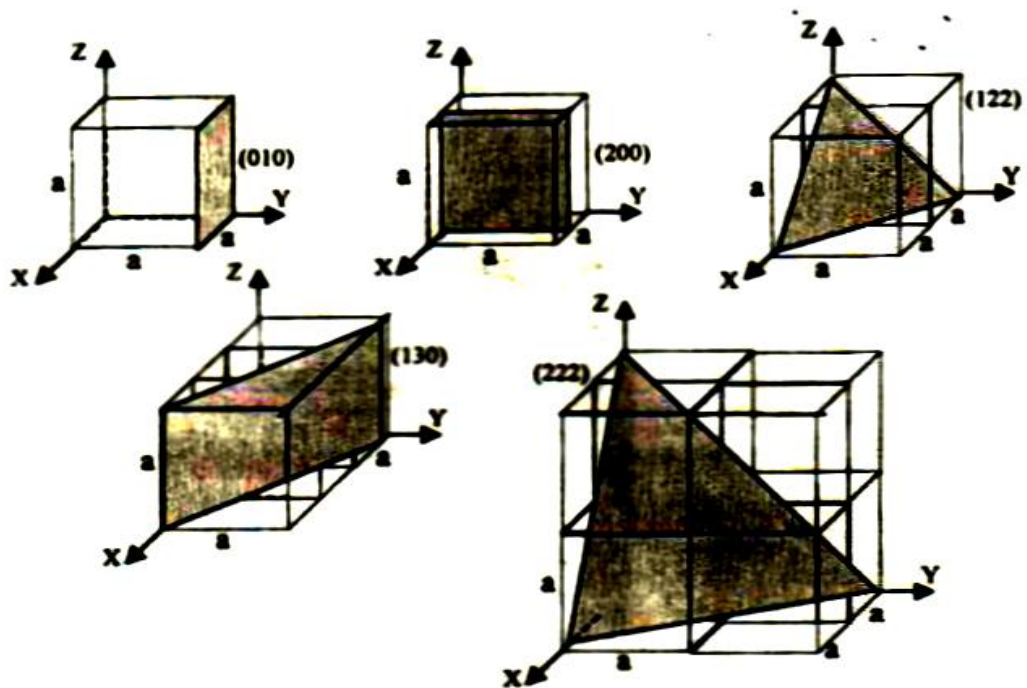
Jarak pisah antara dua bidang sejajar berindeks Miller  $[hkl]$  sama dilambangkan  $d_{hkl}$  dan untuk setiap sistem kristal memiliki rumus tersendiri. Persamaan  $d_{hkl}$  untuk kisi dengan struktur yang sumbu-sumbunya saling tegak lurus adalah :

$$d_{hkl} = \frac{n}{\left( \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right)^{1/2}} \quad (2.1)$$

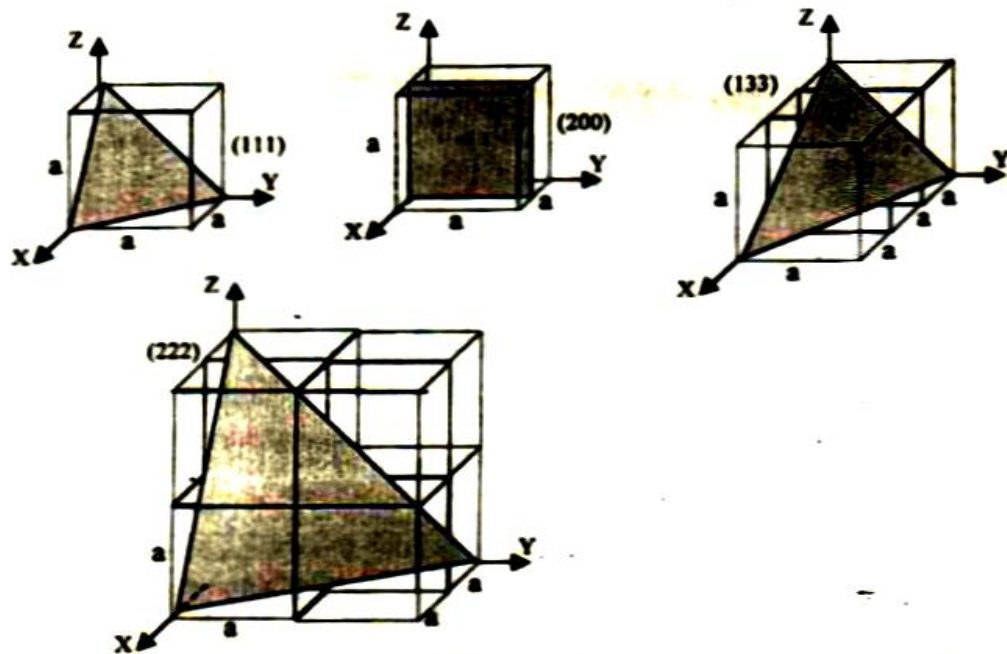
dimana  $d_{hkl}$  adalah jarak pisah antara dua bidang sejajar berindeks Miller sama,  $n$  adalah bilangan bulat;  $a, b, c$  adalah parameter kisi dan  $h, k, l$  adalah indeks Miller (Omar, 1993).



Gambar 2.14. Bidang ( $hkl$ ) yang mungkin untuk kubus sederhana (Narang, 1982)



Gambar 2.15. Bidang ( $hkl$ ) yang mungkin untuk kubus pusat badan (Narang, 1982)



Gambar 2.16. Bidang ( $hkl$ ) yang mungkin untuk kubus pusat muka (Narang, 1982)

Dalam grafit, atom-atom karbon mengkristal dalam lapisan-lapisan yang berbentuk heksagonal atau yang lebih dikenal dengan *Hexagonal Close Packed*). Struktur HCP (*Hexagonal Close Packed*) mempunyai basis 6 atom setiap kisi sel satuannya. Tiga atom membentuk segitiga ditengah-tengahnya  $\left(\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}, \text{ dan } \frac{3}{2} \frac{3}{2} \frac{1}{2}\right)$ . Pada bagian atas dan bawah terdapat 6 atom di setiap

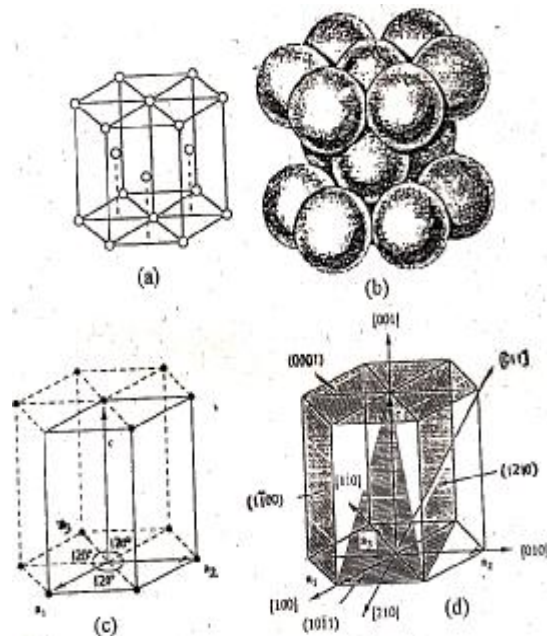
pojoknya yang bernilai  $\frac{1}{6}$  bagian atom, sehingga diperoleh 2 atom

$\left(2 \times 6 \times \frac{1}{6} = 2\right)$ . Terakhir, pada bagian atas dan bawah tersebut ada 1 atom di

setiap pusatnya yang bernilai  $\frac{1}{2}$  bagian atom, dan diperoleh 1 atom

$\left(2 \times 1 \times \frac{1}{2} = 1\right)$  seperti pada gambar 2.17.(a) dan 2.17.(b).





Gambar 2.17. Struktur HCP (a) Kedudukan atom tiap unit sel (b) Bentuk bola atom (c) Sel primitif dengan sudut  $120^\circ$  (d) Indeks Miller (Shackelford, 1996)

Sel satuan heksagonal didiskripsikan oleh tiga vektor  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $c$ . Vektor  $a_1$  dan  $a_2$  terletak pada sudut  $120^\circ$  terhadap satu sama lain dalam satu bidang yang disebut bidang dasar dan vektor  $c$  tegak lurus terhadap bidang tersebut. Susunan secara lengkap kisi diperoleh dengan mengulang translasi dari titik sudut sel satuan dari vektor  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $c$ . Beberapa titik yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.17(c) dengan garis putus-putus. Vektor  $a_3$  adalah vektor yang juga terletak pada bidang dasar dan mempunyai sudut  $120^\circ$  terhadap vektor  $a_1$  dan  $a_2$ . sehingga indeks bidang pada sistem heksagonal yang ditulis  $(hkil)$ , mengacu pada 4 sumbu tersebut, dan dikenal sebagai indeks Miller Bravais. Jika perpotongan bidang pada sumbu  $a_1$  dan  $a_2$  menentukan perpotongan pada sumbu  $a_3$ , maka nilai  $i$  bergantung pada kedua nilai  $h$  dan  $k$ , sesuai persamaan:

$$h + k = -i \quad (2.2)$$



Keuntungan dan alasan penting penggunaan indeks adalah bahwa bidang yang sama memiliki indeks yang sama. Sebagai contoh gambar 2.17.(d) bidang  $(10\bar{1}0)$ ,  $(01\bar{1}0)$ ,  $(\bar{1}100)$ ,  $(\bar{1}010)$ ,  $(0\bar{1}10)$ ,  $(1\bar{1}00)$  pada kisi heksagonal, dalam sistem Miller dapat juga ditulis sebagai  $(100)$ ,  $(010)$ ,  $(\bar{1}00)$ ,  $(0\bar{1}0)$ ,  $(1\bar{1}0)$ . Jika  $[UVW]$  adalah arah indeks yang mengacu pada tiga sumbu dan  $[uvw]$  adalah indeks yang mengacu pada empat sumbu maka akan diperoleh hubungan :

$$U = u - t \quad u = \frac{(2U - V)}{3} \quad (2.3)$$

$$V = v - t \quad v = \frac{(2V - U)}{3}$$

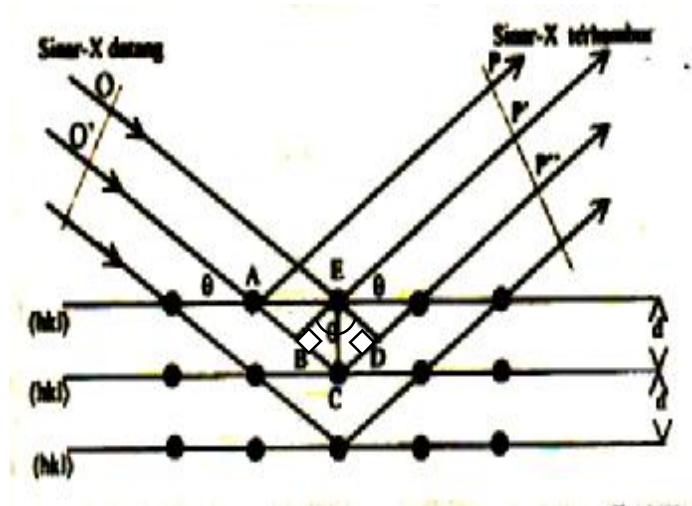
$$W = w \quad t = -(u + v) = -\frac{(U + V)}{3}$$

$$w = W$$

Penentuan secara analitik jarak antar bidang untuk sistem kristal heksagonal dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.4)$$

dimana  $d$  adalah jarak antar bidang atom dalam satuan Å,  $a$  adalah parameter kisi kristal besarnya 2,456 Å,  $c$  adalah parameter kisi kristal besarnya 6,694 Å dan  $h, k, l$  adalah indeks miller kisi kristal (Suryanarayana, 1998).



Gambar 2.18. Derivasi Hukum Bragg

Dari sinar datang  $OE$  dan  $O'A$  membentuk sudut  $q$  pada bidang  $(hkl)$  dan sinar hamburnya juga membentuk sudut  $q$  terhadap bidang  $(hkl)$ . Total lintasan  $O'AP$  dan  $OEP'$  adalah sama, maka sinar-sinar ini dikatakan menghambur dengan fase yang sama pada satu bidang dalam kristal. Demikian pula sinar datang  $O'C$  dan sinar hambur  $CP''$ . Dengan beda lintasannya ( $\Delta$ ) adalah  $BCD = 2BC$ . Dengan  $BC = d \sin q$ , maka:  $\Delta = 2BC = 2d \sin q$ .

Jika lintasannya  $O'CP''$  yang tiba pada  $PP'P''$  sefase dengan  $O'AP$  dan  $DEP'$ , perbedaan lintasannya harus sebanding dengan kelipatan bulat panjang gelombangnya,  $n\lambda$  dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Maka kondisi difraksi sefase oleh bidang kristal paralelnya adalah:

$$n\lambda = 2d \sin q \quad (2.5)$$

Apabila persamaan hukum Bragg (2.5) dimasukkan ke dalam persamaan (2.4) dimana  $\theta$  adalah sudut yang terbentuk antara sinar datang dengan bidang pemantulan, maka diperoleh :

$$\sin^2 q = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + hk + k^2) + \frac{\lambda^2 l^2}{4c^2} \quad (2.6)$$

dimana  $a$  dan  $c$  merupakan parameter kisi kristal dan  $hkl$  adalah indeks Miller puncak hamburan. Persamaan (2.6) dapat disederhanakan menjadi:

$$\sin^2 q = A(h^2 + hk + k^2) + Cl^2 \quad (2.7)$$

dimana  $A$  merupakan suatu tetapan  $\left(\frac{I^2}{3a^2}\right)$  dan  $C$  merupakan tetapan yang dapat

dinyatakan dengan  $\left(\frac{I^2}{4c^2}\right)$ . Dari data pola difraksi yang dihasilkan oleh materi,

terlebih dahulu ditentukan posisi sudut hamburan Bragg ( $2q$ ), kemudian dihitung

$\sin^2 q$  dari setiap puncak hamburan Bragg tersebut. Harga  $(h^2 + hk + k^2)$  untuk sistem kristal ini adalah 1, 3, 7, 9,..., sedangkan untuk  $l$  adalah 1, 2, 3, ....

Selanjutnya harga  $\sin^2 q$  dari setiap puncak hamburan tersebut dibagi dengan

harga  $(h^2 + hk + k^2)$  atau dapat dinyatakan dengan  $\sin^2 q$ ,  $\frac{\sin^2 q}{3}$ ,  $\frac{\sin^2 q}{4}$ . Untuk

menentukan harga  $A$  dipilih harga  $\sin^2 q$  dari puncak hamburan tertentu yang

bersesuaian dengan harga  $\frac{\sin^2 q}{3}$  puncak hamburan lainnya. Persamaan (2.7)

dapat diubah menjadi:

$$\sin^2 q - A(h^2 + hk + k^2) = Cl^2 \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan (2.8) untuk menentukan harga  $C$ , maka harga

$\sin^2 q$  masing-masing puncak tersebut dikurangi dengan  $A$ ,  $3A$ ,  $4A$ ,  $7A$ , ... atau

dapat dinyatakan dengan  $(\sin^2 q - A, \sin^2 q - 3A, \sin^2 q - 4A, \dots)$ . Selanjutnya

dipilih harga  $\sin^2 q - A$  terkecil, misalkan  $D$  dan ditentukan apakah ada harga

$\sin^2 q - A$  dari puncak hamburan lainnya yang memenuhi  $1D$ ,  $4D$ ,  $9D$ , jika belum

maka diambil harga  $\sin^2 q - A$  puncak hamburan berikutnya sebagai harga  $D$ . Harga  $C$  dapat diperoleh dengan mengambil harga  $D$  tersebut. Jika harga  $C$  dan  $A$  sudah diketahui, maka indeks Miller puncak-puncak hamburan Bragg sistem kristal heksagonal ini dapat ditentukan (Suryanarayana, 1998).

## **II.2. Sifat Gelombang Dari Partikel**

Dalam fisika klasik, elektron, proton dan neutron dipandang sebagai partikel. Untuk menunjukkan sifat gelombang dari partikel-partikel, maka dapat ditunjukkan bahwa partikel yang memiliki bergerak memiliki sifat gelombang. Berkas-berkas sinar dari partikel-partikel tersebut akan menghasilkan pola-pola interferensi. Partikel yang memiliki bergerak memiliki sifat gelombang. (Muljono, 2003).

Louis de Broglie meneliti keberadaan gelombang melalui eksperimen difraksi berkas elektron. Dari hasil penelitiannya inilah diusulkan materi mempunyai sifat gelombang di samping partikel yang dikenal dengan prinsip dualitas. Sifat gelombang dan sifat partikel merupakan suatu sifat yang berkaitan satu sama lain, bergantung pada jenis percobaan yang dilakukan. Untuk suatu keadaan tertentu partikel dapat berperilaku seperti gelombang dan dalam keadaan tertentu lainnya gelombang dapat berperilaku seperti materi (Muljono, 2003).

### **II.2.1. Hipotesis de Broglie**

Pada tahun 1924, Louis de Broglie dari Perancis mengemukakan bahwa partikel dapat berperilaku seperti gelombang sama seperti cahaya yang dianggap

memiliki sifat dualitas partikel dan gelombang. Hipotesa de Broglie adalah bagi semua partikel yang bergerak dengan momentum  $p$  terkait suatu gelombang dengan panjang gelombang  $\lambda$  (William, 1969).

Sebuah foton berfrekuensi  $\nu$  mempunyai momentum

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad (2.9)$$

dimana:  $h$  = konstanta Planck besarnya  $6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$c$  = laju cahaya dalam ruang hampa besarnya  $2,98 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

yang dapat dinyatakan dengan panjang gelombang de Broglie sebagai

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (2.10)$$

de Broglie mengusulkan supaya rumus ini tidak hanya berlaku untuk foton tetapi berlaku umum untuk partikel suatu materi. Momentum suatu partikel bermassa  $m$  (kg) dan kecepatan  $v$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) ialah  $p = mv$ , dan panjang gelombang de Broglie partikel tersebut adalah :

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (2.11)$$

Dari persamaan (2.11) tersebut terlihat bahwa makin besar momentum partikel itu makin pendek panjang gelombangnya (Beiser, 1995).

Persamaan de Broglie dianggap berlaku untuk semua materi. Akan tetapi, untuk benda-benda makroskopik panjang gelombang yang dihasilkan sedemikian kecilnya sehingga tidak mungkin untuk mengamati sifat interferensi dan difraksi gelombang tersebut (Krane, 1992).

Andaikan akan dilakukan pengamatan terhadap gelombang de Broglie dari sebuah kelereng. Cara klasik untuk mengamati perilaku gelombang adalah dengan percobaan 2 celah. Ditempatkan suatu dinding batas tegak, kemudian melubanginya pada 2 tempat sedemikian rupa sehingga memungkinkan sejumlah kelereng bergerak melewati kedua lubang tersebut. Kemudian, semua kelereng digelindingkan melalui kedua lubang tadi, dan diusahakan agar mereka meninggalkan tanda ketika menumbuk layar di belakang dinding. Hakikat gelombang dari kelereng akan tersingkap lewat suatu pola garis interferensi yang dihasilkan oleh tumbukan kelereng tersebut pada layar. Namun tidak ada pola garis interferensi yang teramati, hal ini disebabkan karena kecilnya nilai tetapan Planck. Panjang gelombang de Broglie sebuah kelereng dengan massa sebesar 10 gram dengan kelajuan 10 cm/dt adalah sekitar  $0,66 \times 10^{-30} m$ , yakni sekitar  $10^{20}$  kali lebih kecil daripada sebuah atom tunggal. Jarak antara garis-garis pola interferensinya juga dalam orde tersebut. Jarak antara garis pola interferensi bergantung pada jarak kedua celah ke layar. Jika layar dijauhkan, maka jarak garis pola interferensi tersebut akan bertambah. Tetapi, sekalipun layarnya dijauhkan sejauh 1 tahun cahaya, jarak antara garis pola interferensinya masih lebih kecil daripada ukuran sebuah atom. Tidak ada percobaan yang dapat dilakukan untuk memperlihatkan hakikat gelombang dari benda makro (terukur dalam ukuran lazim laboratorium). Jika percobaan dilakukan dengan partikel ukuran atom atau inti atom, barulah panjang gelombang de Broglie dapat diamati (Krane, 1992).

Sebagai ganti kelereng digunakan partikel berupa seberkas elektron. Berkas elektron yang dihasilkan dengan sembarang momentum yang diinginkan,

yaitu dengan mempercepatkannya melalui suatu beda potensial elektrik yang dipilih. Dihasilkan seberkas elektron yang panjang gelombang de Broglie-nya dapat diubah-ubah dalam suatu selang nilai yang lebar. Hakikat gelombang dari elektron dapat disingkap dengan melewatkan berkas elektron itu pada suatu penghalang dua celah. Tetapi, pembuatan penghalang dua celah yang sesuai dengan elektron merupakan suatu persoalan eksperimen yang sulit. Oleh karena itu, untuk meneliti hakikat gelombang dari elektron perlu melewati beberapa proses. Mula-mula seberkas elektron dipercepat dengan suatu potensial  $V$ , hingga mencapai energi kinetik  $K = eV$  dan momentum  $p = \sqrt{2mK}$ . Mekanika gelombang melukiskan berkas-berkas elektron ini sebagai suatu gelombang dengan panjang gelombang de Broglie sebesar  $\lambda = \frac{h}{p}$ . Panjang gelombang de Broglie seberkas elektron dengan energi kinetik sebesar 5 KeV adalah sekitar 0,017 nm atau  $0,17 \text{ \AA}$ . Atom-atom yang ukurannya dalam orde  $10^{-10} \text{ m}$  merupakan objek difraksi yang sangat baik bagi gelombang yang panjang gelombangnya juga dalam orde  $10^{-10} \text{ m}$  (Krane, 1992).

Dari perbandingan panjang gelombang de Broglie untuk kelereng dan berkas elektron diatas maka dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang de Broglie tidak bermakna untuk partikel makroskopis.

### II.2.2. Elektron

Atom tersusun dari neutron, proton dan elektron. Nomor atom menunjukkan jumlah elektron dalam suatu atom netral atau jumlah proton dalam

inti. Elektron yang berada pada kulit terluar banyak mempengaruhi sifat-sifat bahan, seperti menentukan sifat kimia, sifat ikatan antar atom, karakteristik kekuatan dan sifat mekanis, mengontrol ukuran atom dan mempengaruhi sifat hantar suatu bahan serta menentukan sifat optis (Nyoman, 1989).

Elektron adalah partikel yang bermuatan listrik sebesar satu satuan muatan listrik negatif yaitu sebesar  $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb/elektron. Massanya jauh lebih kecil dari proton dan neutron yaitu sebesar  $5,5 \times 10^{-4}$  satuan massa atom (s.m.a) atau sekitar  $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ . Kebanyakan sifat- fisis dan sifat kimia suatu bahan lebih banyak ditentukan oleh konfigurasi elektron terutama elektron kulit terluarnya sedangkan massa atom hanya mempengaruhi kerapatan dan panas jenis saja (Livingston, 1968).

### II.2.3. Difraksi Elektron

Difraksi elektron terjadi pada elektron berenergi tinggi, yakni ketika elektron memiliki panjang gelombang lebih kecil daripada jarak antar bidang pada kristal. Difraksi elektron dapat digunakan untuk analisa struktur kristal karena elektron berinteraksi sangat kuat dengan atom di dalam kristal (Omar, 1993).

Jika massa elektron  $m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , bermuatan  $e$  dipercepat dengan potensial listrik  $V$ , menghasilkan energi elektron sebesar :

$$K = eV \quad (2.12)$$

Jika energi tersebut jauh lebih kecil daripada energi diam elektron ( $E_0$  elektron =  $5,1 \times 10^5 \text{ eV}$ ), maka analisis non relativistik berlaku. Energi dalam



persamaan (2.12) berbentuk energi gerak atau energi kinetik elektron sehingga

$$\text{berlaku: } \frac{1}{2}mv^2 = eV \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.13) ke persamaan (2.11), maka panjang gelombang de Broglie untuk elektron dapat ditulis sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) juga mensyaratkan jika kecepatan elektron  $v$  lebih kecil dibandingkan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) (Muljono, 2003).

### II.3. Difraksi Elektron pada Karbon Grafit

Dalam rangka menguji hipotesis de Broglie tentang perilaku gelombang pada elektron, eksperimen seperti difraksilah yang paling sesuai digunakan. Berkas elektron berkecepatan tinggi diarahkan untuk menumbuk material kristal. Pola difraksi yang terlihat merupakan bukti sifat alamiah elektron sebagai gelombang.

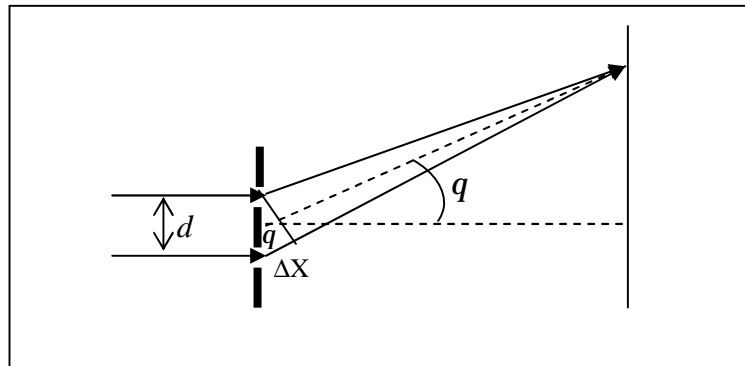
Pada difraksi elektron sering digunakan elektron berenergi tinggi. Elektron akan dipercepat dengan potensial sebesar  $V$  sehingga menghasilkan energi kinetik sebesar  $eV$ . Mekanika gelombang melukiskan berkas elektron-elektron sebagai gelombang dengan panjang gelombangnya sebesar  $\lambda$ . Berkas elektron-elektron tersebut menumbuk sebuah kristal dan kemudian terhambur (Krane, 1992).

Jika setiap atom kristal dapat bertindak sebagai satu penghambur, maka gelombang elektron yang terhambur dapat berinterferensi sehingga diperoleh semacam kisi difraksi kristal bagi berkas elektron-elektron. Sembarang bidang

khayal yang memuat sejumlah atom dalam kristal memiliki pusat hamburan yang tersusun teratur sehingga menghasilkan suatu pola interferensi (Krane, 1992).

Menurut Max Von Laue, kristal dapat berfungsi sebagai kisi dimana  $d$  adalah jarak antar barisan yang sejajar. Beda lintasannya ( $\Delta X$ ) sebanding dengan kelipatan bulat panjang gelombangnya  $n\lambda$ , sehingga secara umum pada kondisi difraksi orde pertama dapat digunakan persamaan:

$$\lambda = d \sin \theta \quad (2.15)$$



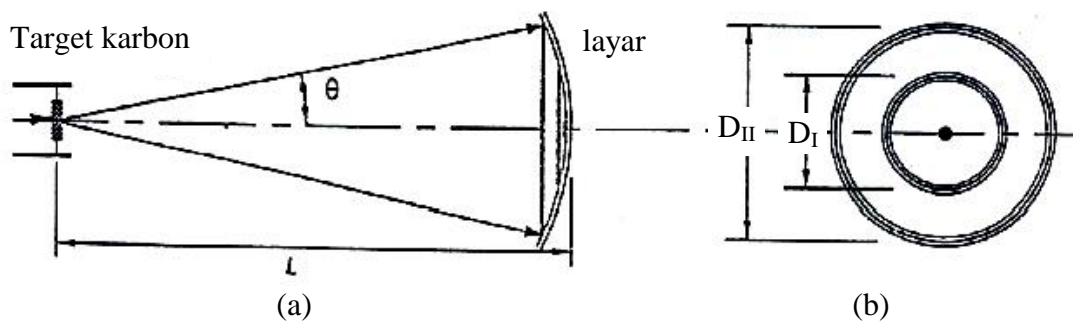
Gambar 2.19. Difraksi kisi

dimana:  $d$  : jarak antar atom.

$\Delta X$  : selisih lintasan berkas dari dua celah yang berdekatan.

$\theta$  : sudut difraksi.

Pola difraksi yang diamati terdiri dari cincin dengan berbagai ukuran diameter yang dihasilkan dari interferensi konstruktif gelombang elektron yang didifraksikan pada Grafit. Difraksi elektron dapat dikerjakan seperti skema gambar 2.20.(a). Jarak antara target grafit dengan layar adalah  $L$  dan sudut hamburan elektron setelah menumbuk kristal karbon adalah sebesar  $\theta$ . Hamburan elektron yang menumbuk kristal karbon akan menghasilkan pola berupa dua cincin yang terlihat jelas mengelilingi titik di pusat seperti pada gambar 2.20.(b) (Teltron, 1992).

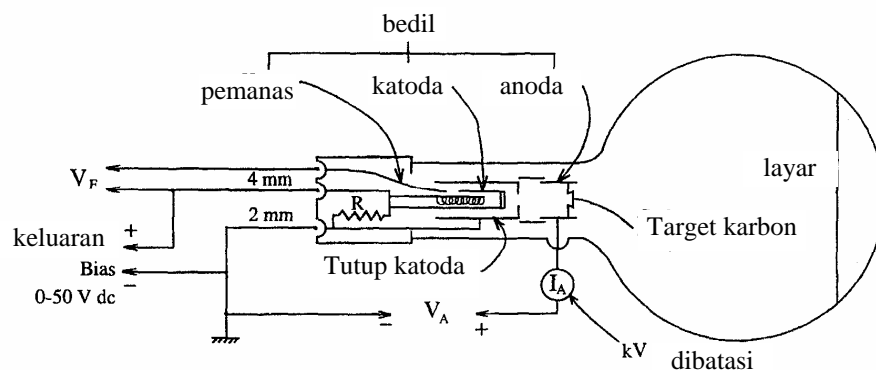


Gambar 2.20.(a). Skema difraksi elektron. (b) Pola cincin difraksi elektron (Teltron, 1992)

Walaupun elektron terhambur dengan kuat tetapi karena bermuatan, elektron mudah diserap oleh bahan, sehingga hamburan elektron tidak dapat digunakan untuk mempelajari bagian dalam sampel padat. Walaupun demikian, hamburan elektron dapat digunakan untuk mempelajari molekul fase gas, pada permukaan, dan dalam lapisan tipis (Atkins, 1997).

#### II.4. Tabung Difraksi Elektron Teltron 2555

Tabung difraksi elektron Teltron 2555 merupakan alat percobaan difraksi elektron. Seperti dijelaskan pada gambar 2.21 dibawah ini :



Gambar 2.21. Skema tabung difraksi elektron Teltron 2555 (Teltron, 1992)

Tabung difraksi elektron terdiri atas bedil elektron (yang menembakkan elektron, target karbon dan layar yang beremulsi. Bedil elektron terdiri atas katoda dan anoda yang dipanaskan. Elektron dihasilkan oleh sebuah filamen yang terletak di katode yang diberi tegangan (5-7) V DC, elektron dikeluarkan oleh emisi termionik dari filamen tersebut. Elektron akan dipercepat menuju bagian anoda dengan tegangan pemercepat  $V_A$  (2-5) KV. Elektron dari anoda akan menumbuk target berupa lapisan tipis karbon grafit. Setelah meninggalkan target grafit, elektron akan berjalan sepanjang  $L$  dan menumbuk layar fosfor. Pancaran cahaya elektron kini terlihat seperti cincin terpusat yang mengelilingi permukaan tabung. Jarak antara target karbon grafit dengan layar adalah  $L$  yaitu sebesar  $L = 13 \text{ cm}$  dan diameter tabung adalah  $r$  sebesar  $r = 6,6 \text{ cm}$  (Teltron, 1992).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1. Peralatan dan Bahan**

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam difraksi elektron adalah :

- a. Unit tabung difraksi elektron Teltron 2555

Alat yang digunakan untuk memproduksi dan mendifraksikan elektron pada target polikristal karbon grafit.

- b. Penyangga Teltron 2501

Digunakan untuk menyangga tabung difraksi elektron agar posisinya stabil.

- c. Sumber daya filamen 500 V DC Leybold Didactic Gmbh

Digunakan untuk memanasi filamen didalam katoda sehingga menghasilkan berkas elektron.

- d. Sumber daya pemercepat 10 KV DC Leybold Didactic Gmbh

Digunakan untuk mempercepat elektron setelah keluar dari filamen.

- e. Amperemeter

digunakan untuk mengukur arus filamen. Arus maksimal yang digunakan adalah 0,2 mA.

- f. Kabel

Kabel digunakan untuk menghubungkan tabung difraksi elektron dengan sumber tegangan.

g. Kertas milimeter

Digunakan untuk mengukur diameter lingkaran cincin yang tampak pada permukaan tabung difraksi elektron yang berbentuk bola.

h. Lampu Senter

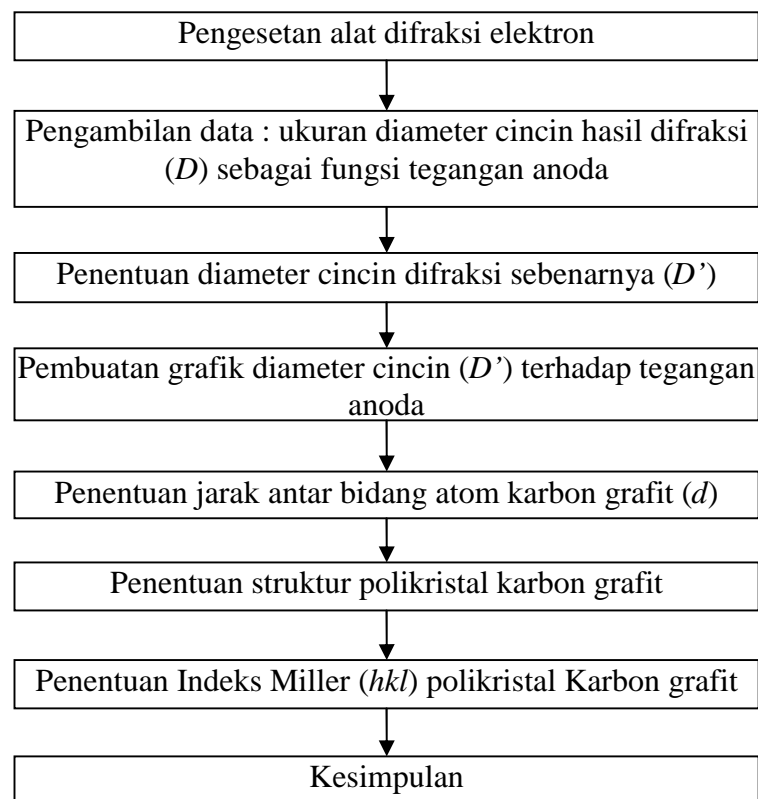
Sebagai alat penerangan pada saat pengambilan data karena pengambilan data lebih efektif dilakukan pada keadaan gelap.

i. Selotip

Untuk menempelkan kertas milimeter pada permukaan tabung difraksi.

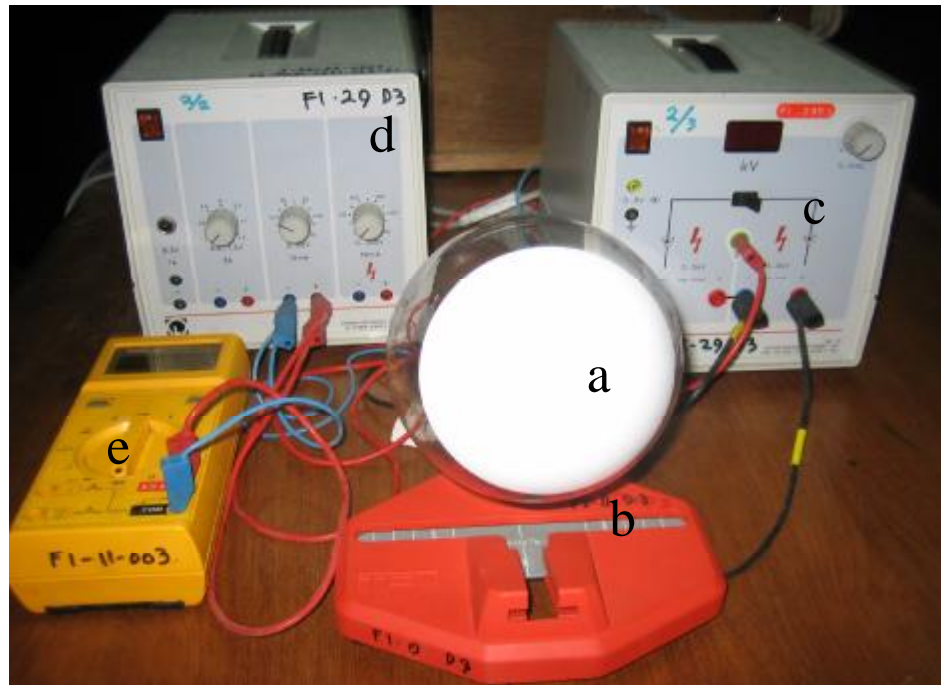
### III.2. Metode penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisa struktur polikristal karbon grafit (C) digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1. langkah – langkah penelitian

Dalam langkah-langkah penelitian tersebut, langkah pertama yang dilakukan adalah pengesetan alat difraksi elektron. Sebelum penelitian dilakukan semua fungsi peralatan yang perlu diatur harus diset pada kondisi kerja optimum. Skema pengesetan alat seperti terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian alat difraksi elektron

Keterangan gambar 3.2.

- a. Tabung difraksi elektron Teltron 2555
- b. Penyangga tabung difraksi elektron
- c. Sumber daya tegangan tinggi 10 KV DC
- d. Sumber daya 500 V DC
- e. Amperemeter

Setelah rangkaian alat difraksi elektron diset dengan benar, kemudian dioperasikan sesuai dengan manual alat pada lampiran B maka akan tampak pola-pola cincin difraksi pada layar pendar. Langkah selanjutnya :

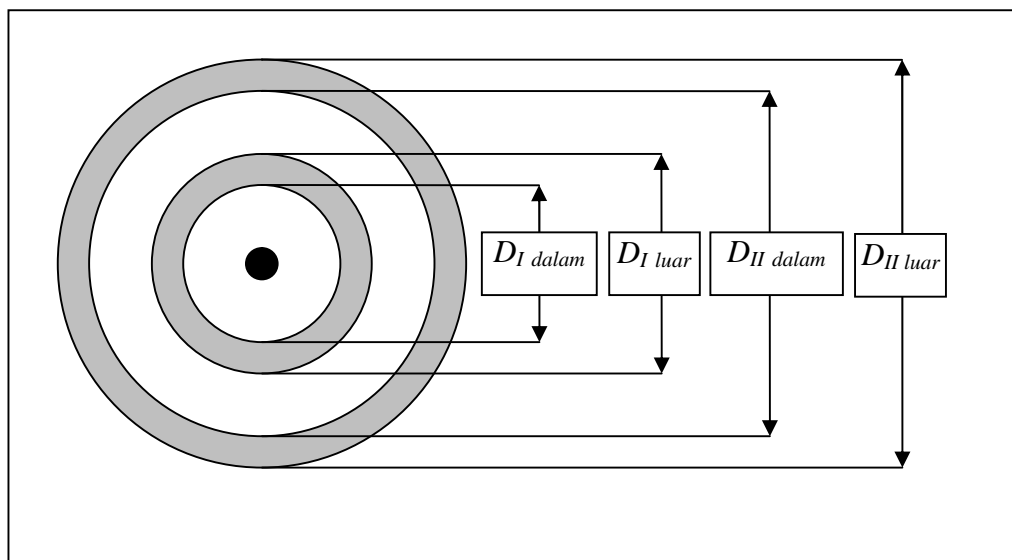
### a. Pengukuran diameter cincin difraksi ( $D$ )

Dalam pengukuran diameter cincin hasil difraksi, dilakukan pengukuran diameter dalam dan diameter luar untuk masing-masing cincin karena cincin yang dihasilkan memiliki ketebalan tertentu. Pengambilan data diameter dilakukan dalam beberapa arah dan diulangi hingga lima kali.

Tabel 3.1. Tabel pengambilan data diameter cincin

$V_A$ (KV)	$V_A^{-1/2}$ (Volt $^{-1/2}$ )	$D'$ (meter)	
		Cincin I	Cincin II
3,0	0,0183		
3,1	0,0179		
...	...		
5,0	0,0141		

Dilakukan pengukuran diameter dalam dan luar untuk cincin I dan cincin II, kemudian hasil pengukuran diameter dijumlahkan dan hasilnya dibagi dua. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.3. Pengukuran diameter Cincin I dan cincin II

$D_{I \text{ dalam}}$  adalah diameter bagian dalam dari cincin I dan  $D_{I \text{ luar}}$  adalah diameter bagian luar dari cincin I.  $D_{II \text{ dalam}}$  adalah diameter bagian dalam dari cincin II dan  $D_{II \text{ luar}}$  adalah diameter bagian luar dari cincin II.



Diameter cincin I ( $D_I$ ) :

$$D_I = \frac{D_{I \text{ dalam}} + D_{I \text{ luar}}}{2} \quad (3.1)$$

Diameter cincin II ( $D_{II}$ ) :

$$D_{II} = \frac{D_{II \text{ dalam}} + D_{II \text{ luar}}}{2} \quad (3.2)$$

### **b. Penentuan diameter cincin difraksi sebenarnya ( $D'$ )**

Dari penelitian diperoleh data berupa diameter cincin pada berbagai tegangan anoda. Diameter yang diperoleh dari pengukuran bukanlah diameter yang sebenarnya, karena pengukuran dilakukan pada permukaan tabung yang berbentuk bola. Perlu dilakukan analisa penentuan diameter cincin difraksi sebenarnya sebagaimana terlampir pada lampiran B.

Diameter sebenarnya dari cincin difraksi ( $D'$ ) adalah:

$$D' = 2r \sin\left(\frac{D}{2r}\right) \text{ rad} \quad (3.3a)$$

karena  $\left(\frac{D}{2r}\right) = b$  maka persamaan (3.3a) menjadi :

$$D' = 2r \sin b \text{ rad} \quad (3.3b)$$

dimana  $r$  = Jari-jari tabung difraksi elektron sebesar 6,6cm

### **c. Pembuatan grafik tegangan anoda ( $V_A^{-1/2}$ ) terhadap diameter cincin ( $D'$ )**

Persamaan gelombang De Broglie untuk partikel material seperti pada persamaan (2.11), yaitu :  $\lambda = \frac{h}{mv}$ .

Menurut hukum kekekalan energi  $\Delta E_K + \Delta E_P = 0$  sehingga bisa dituliskan  $\left( \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \right) + (eV_2 - eV_1) = 0$ . Elektron dipercepat dari katoda bertegangan  $V_1$  menuju anoda bertegangan  $V_2$  dalam mesin penembak elektron dimana  $(V_2 - V_1) = V_A$  dan  $v_1 = 0$  maka diperoleh:

$$eV_A = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.4)$$

persamaan (3.4) disubstitusikan ke dalam persamaan gelombang de Broglie diperoleh:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emV_A}} = 1,23V_A^{-1/2}nm \quad (3.5)$$

Menurut aturan mengenai kisi difraksi untuk difraksi elektron berlaku persamaan  $d \sin \theta = n\lambda$ . Pada keadaan maksimum (orde terang) pertama dengan  $n = 1$  maka diperoleh :

$$\lambda = d \sin \theta \quad (3.6)$$

Berlaku untuk sudut yang kecil atau mendekati nol,  $\sin \theta \approx \theta$ . Oleh karena itu difraksi elektron untuk sudut yang kecil atau mendekati nol adalah :

$$\lambda = d \theta \quad (3.7)$$

persamaan (3.7) disubstitusikan kedalam persamaan (3.5) sehingga diperoleh :

$$d \theta = 1,23V_A^{-1/2}nm \quad (3.8)$$

Pola yang tersusun dari cincin hasil difraksi secara umum terjadi pada bidang kisi. Hal ini juga berlaku pada sampel grafit yang terdiri dari begitu banyak lapisan atom dengan arah yang acak, sehingga spot terbentuk seperti cincin. Untuk sudut yang kecil berlaku:  $\tan q \approx \sin q \approx q$ . Dari gambar B.1.

$$\tan q = \frac{D'/2}{L} = \frac{D'}{2L} \quad (3.9)$$

maka difraksi elektron untuk sudut yang kecil atau mendekati nol adalah:

$$\sin q \approx q \approx \frac{D'}{2L} \quad (3.10)$$

dimana  $L$  adalah jarak dari material ke layar sebesar  $L = (0,13 \pm 0,002) \text{ m}$ .

Persamaan (3.10) disubstitusi ke persamaan (3.8)

$$d \left( \frac{D'}{2L} \right) = 1,23 V_A^{-1/2} \text{ nm} \quad (3.11)$$

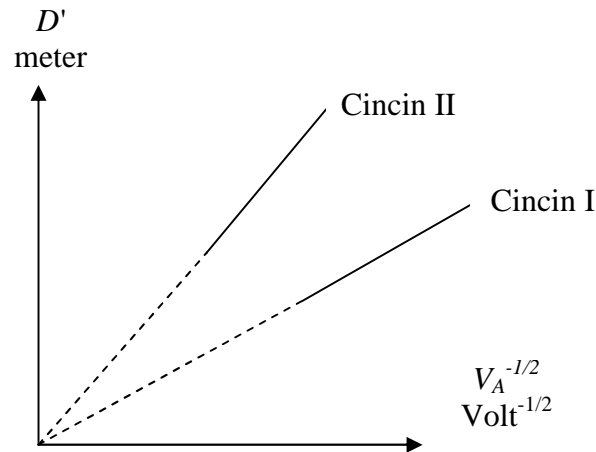
$$D' = \left( \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d} \right) V_A^{-1/2} \quad (3.12)$$

$$D' = k V_A^{-1/2} \quad (3.13)$$

$$k = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d} \quad (3.14)$$

Konstanta  $k$  dapat diperoleh dengan membuat grafik  $V_A^{-1/2}$  terhadap  $D'$  dengan  $k$  merupakan gradien atau kemiringan grafik menurut persamaan  $D' = k V_A^{-1/2}$ . Oleh karena itu dibuat grafik  $V_A^{-1/2}$  (perubahan tegangan anoda) sebagai sumbu-X terhadap  $D'$  (diameter cincin sebenarnya) sebagai sumbu-Y.

Dari data diameter sebenarnya dibuat grafik  $V_A^{-1/2}$  terhadap  $D'$



Gambar 3.4. Grafik  $V_A^{-1/2}$  (variasi tegangan anoda) terhadap  $D'$  (diameter cincin)

**d. Penentuan jarak antar bidang atom karbon grafit**

Dari grafik diperoleh nilai gradien masing-masing garis maka akan didapatkan nilai  $d$  jarak antar atom karbon. Dari persamaan 3.14 diperoleh :

$$d = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{k} \quad (3.15)$$

karena ada dua slope garis untuk cincin I dan cincin II maka akan diperoleh dua jarak antar bidang atom karbon yaitu  $d_I (d_{10})$  dan  $d_{II} (d_{11})$ .

**e. Penentuan struktur polikristal karbon grafit**

Struktur kristal dapat diketahui dari perbandingan jarak antar bidang-bidang atomnya. Jarak antar bidang atom karbon dihitung dari cincin I ( $d_{10}$ ), sedangkan yang dihitung dari cincin II ( $d_{11}$ ). Perbandingan jarak antar bidang atomnya adalah  $d_{10} : d_{11}$ . Suatu kristal dikatakan memiliki struktur heksagonal jika perbandingan jarak antar bidang atom  $d_{10} : d_{11}$  adalah  $\sqrt{3} \div 1 \approx 1,732$ .

**f. Penentuan Indeks miller ( $hkl$ )**

Dalam sistem heksagonal arah bidang kristal atau Indeks Miller dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.4):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Persamaan (2.4) dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{a^2} \left[ \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{c^2/a^2} \right] \quad (3.16a)$$

$$\frac{a^2}{d^2} = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2} \quad (3.16b)$$

Tabel  $\frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2)$  dan tabel  $\frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$  dibuat untuk lebih memudahkan

pencarian nilai hkl dari nilai  $d_{hkl}$  yang sudah dihitung sebelumnya. Keakuratan perhitungan jarak antar atom tergantung pada ketepatan perhitungan gradien garis dan pengukuran diameter cincin hasil difraksi elektron.

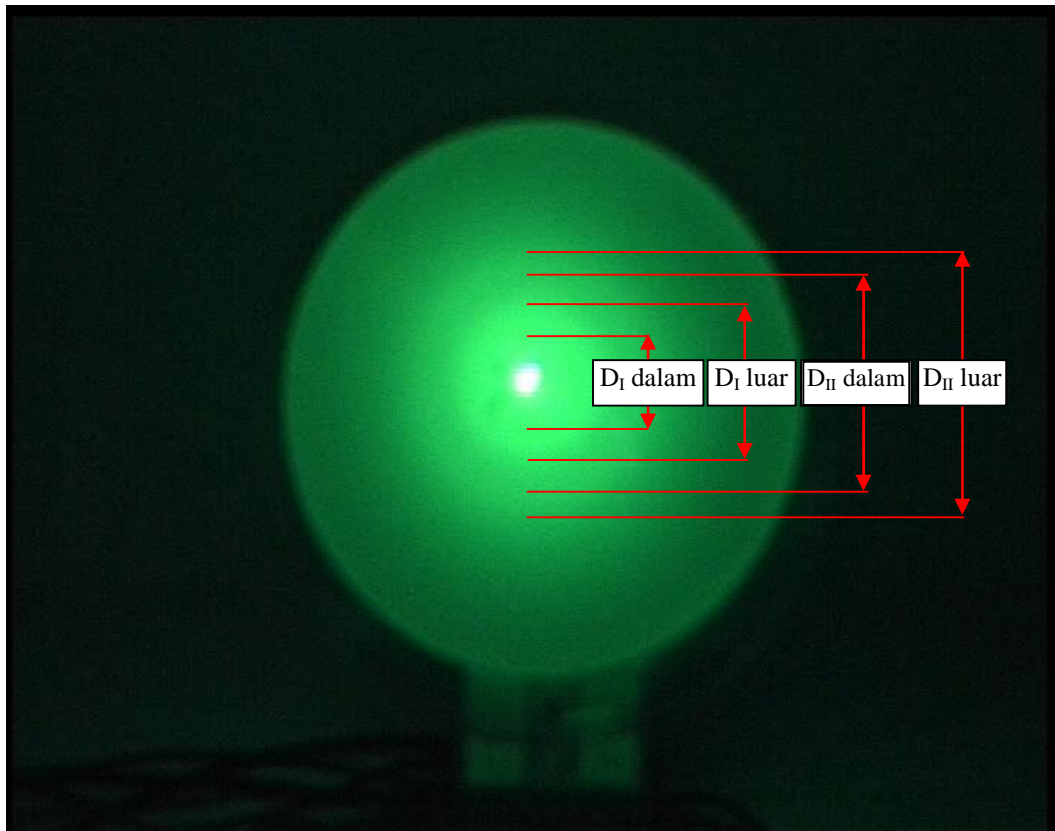
## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di Sub-lab. Fisika Laboratorium Pusat Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari 2005 sampai dengan Bulan Juni 2005.

#### IV.1. Hasil Penelitian

Setelah berkas elektron didifraksikan oleh atom karbon grafit maka akan tampak 2 buah cincin yang terang pada permukaan tabung difraksi elektron, seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.1. Pola difaksi pada karbon grafit

Diameter cincin bagian dalam disebut dengan  $D_I$  dan diameter cincin bagian luar disebut dengan  $D_{II}$ . Semakin besar tegangan anoda maka diameter cincin baik cincin I maupun cincin II akan semakin kecil. Sesuai dengan persamaan (3.3a) yaitu  $D' = 2r \sin\left(\frac{D}{2r}\right)$  diperoleh ukuran diameter cincin difraksi yang sebenarnya ( $D'$ ). Perhitungan diameter cincin yang sebenarnya disertakan pada lampiran B. Data hasil pengukuran diameter cincin difraksi elektron ( $D$ ) dan diameter cincin difraksi yang sebenarnya ( $D'$ ) pada berbagai tegangan anoda ditampilkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data diameter cincin hasil pengukuran dan diameter cincin sebenarnya

V (KVolt)	Diameter cincin difraksi elektron hasil pengukuran (D)		Diameter cincin difraksi elektron yang sebenarnya ( $D'$ )	
	Cincin I (cm)	Cincin II (cm)	Cincin I (cm)	Cincin II (cm)
3	$3,008 \pm 0,011$	$5,100 \pm 0,004$	$2,982 \pm 0,011$	$4,974 \pm 0,004$
3,1	$2,903 \pm 0,002$	$5,083 \pm 0,006$	$2,879 \pm 0,002$	$4,958 \pm 0,006$
3,2	$2,835 \pm 0,007$	$4,998 \pm 0,005$	$2,813 \pm 0,007$	$4,879 \pm 0,005$
3,3	$2,800 \pm 0,000$	$4,893 \pm 0,005$	$2,779 \pm 0,000$	$4,781 \pm 0,005$
3,4	$2,703 \pm 0,005$	$4,800 \pm 0,004$	$2,684 \pm 0,005$	$4,695 \pm 0,004$
3,5	$2,603 \pm 0,003$	$4,805 \pm 0,003$	$2,586 \pm 0,003$	$4,700 \pm 0,003$
3,6	$2,593 \pm 0,005$	$4,725 \pm 0,004$	$2,576 \pm 0,005$	$4,625 \pm 0,004$
3,7	$2,500 \pm 0,000$	$4,708 \pm 0,006$	$2,485 \pm 0,000$	$4,608 \pm 0,006$
3,8	$2,495 \pm 0,003$	$4,603 \pm 0,003$	$2,480 \pm 0,003$	$4,510 \pm 0,003$
3,9	$2,405 \pm 0,003$	$4,500 \pm 0,007$	$2,392 \pm 0,003$	$4,413 \pm 0,007$
4,0	$2,403 \pm 0,006$	$4,408 \pm 0,003$	$2,389 \pm 0,006$	$4,326 \pm 0,003$
4,1	$2,405 \pm 0,003$	$4,285 \pm 0,005$	$2,392 \pm 0,003$	$4,210 \pm 0,005$
4,2	$2,308 \pm 0,005$	$4,200 \pm 0,004$	$2,296 \pm 0,005$	$4,129 \pm 0,004$
4,3	$2,303 \pm 0,002$	$4,110 \pm 0,005$	$2,291 \pm 0,002$	$4,044 \pm 0,005$
4,4	$2,208 \pm 0,003$	$4,005 \pm 0,003$	$2,197 \pm 0,003$	$3,944 \pm 0,003$
4,5	$2,198 \pm 0,006$	$4,003 \pm 0,003$	$2,187 \pm 0,006$	$3,941 \pm 0,003$
4,6	$2,108 \pm 0,007$	$3,993 \pm 0,003$	$2,099 \pm 0,007$	$3,932 \pm 0,003$
4,7	$2,100 \pm 0,006$	$3,898 \pm 0,006$	$1,982 \pm 0,006$	$3,841 \pm 0,006$
4,8	$1,990 \pm 0,005$	$3,793 \pm 0,005$	$1,982 \pm 0,005$	$3,741 \pm 0,005$
4,9	$1,950 \pm 0,000$	$3,790 \pm 0,003$	$1,943 \pm 0,000$	$3,738 \pm 0,003$
5,0	$1,895 \pm 0,003$	$3,713 \pm 0,008$	$1,888 \pm 0,003$	$3,664 \pm 0,008$

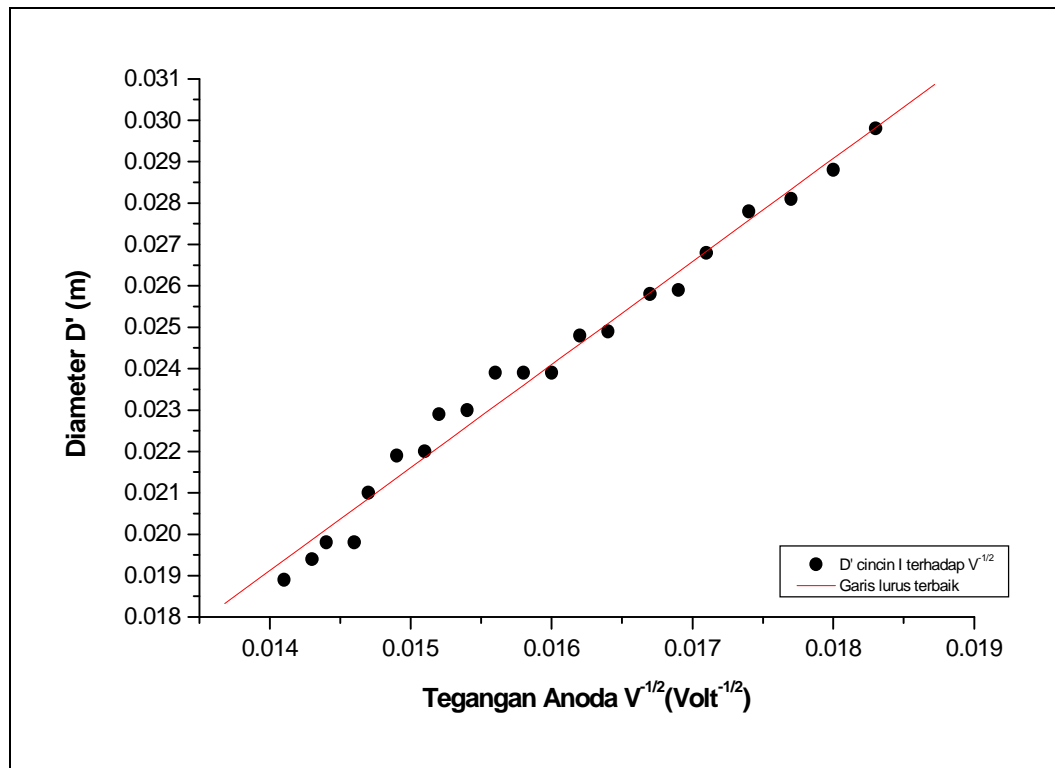
Dari data di atas dapat dilihat selisih yang tidak begitu besar antara diameter cincin hasil pengukuran ( $D$ ) dengan diameter cincin yang sebenarnya ( $D'$ ), koreksinya sangat kecil (rata-rata 0,4 %). Pada data hasil pengukuran, nilai ketidakpastiannya menggunakan tiga angka dibelakang koma agar memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

#### IV.2. Pembahasan

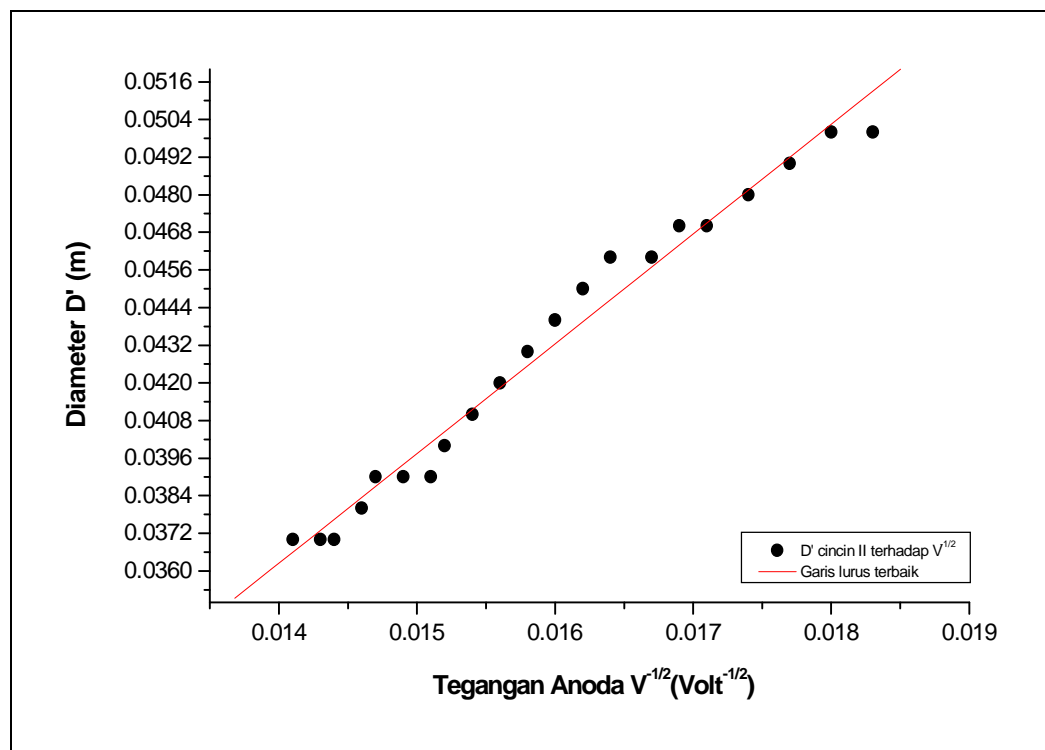
Variasi tegangan anoda menyebabkan perubahan diameter cincin yang dihasilkan. Semakin besar tegangan anoda maka diameter cincin baik cincin I maupun cincin II semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan karena semakin besar tegangan anoda yang digunakan untuk mempercepat elektron maka energi dan momentum elektron akan semakin besar, berarti panjang gelombangnya semakin kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa elektron didifraksikan dengan sudut yang lebih kecil menyebabkan diameter cincin difraksi juga semakin kecil. Kondisi ini sesuai dengan hipotesa de Broglie bahwa panjang gelombang semakin besar dengan berkurangnya momentum elektron. Dari hasil penelitian ini dapat dibuktikan sifat dualitas elektron. Elektron dianggap sebagai partikel karena memiliki massa sebesar  $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  dan dianggap sebagai gelombang karena memiliki panjang gelombang yang bisa didifraksikan pada bidang atom material mikro yang parameter kisinya seorde dengan panjang gelombangnya.

Dari data diameter cincin yang terlihat pada tabel 4.1, dibuat grafik tegangan anoda ( $V_A^{-1/2}$ ) terhadap diameter cincin yang sebenarnya ( $D'$ ) seperti terlihat pada grafik pada gambar 4.2 dan 4.3.





Gambar 4.2. Grafik diameter cincin I terhadap tegangan anoda



Gambar 4.3. Grafik diameter cincin II terhadap tegangan anoda

Dari grafik 4.2 diperoleh slope untuk cincin I sebesar  $(1,620 \pm 0,001)$ , sedangkan dari grafik 4.3 slope untuk cincin II sebesar  $(2,795 \pm 0,001)$  sebagaimana terlihat pada lampiran (C). Dari slope ( $k$ ) dicari jarak antar atom karbon ( $d$ ) menggunakan persamaan (3.14)  $k = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d}$ .

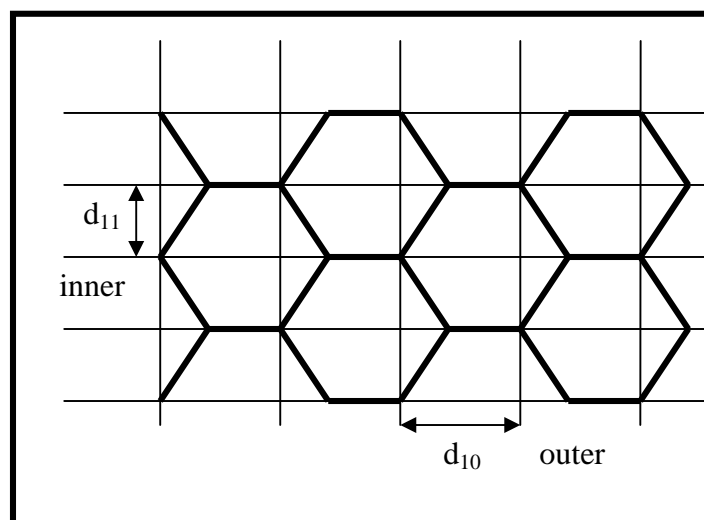
Setiap cincin adalah suatu cerminan bidang dengan jarak antar bidang yang berbeda-beda, akan terlihat bahwa jarak antar bidang yang lebih besar menghasilkan cincin yang lebih kecil. Karena itu cincin yang paling kecil adalah cerminan keluarga bidang yang semuanya memiliki jarak antar bidang yang sama besar dan akan dikenal dengan cincin terdalam, bidang ini harus memiliki jarak antar bidang yang paling besar. Hal ini dikenal dengan keluarga bidang (110). Begitu pula sebaliknya, cincin yang paling besar merupakan cerminan keluarga bidang yang memiliki jarak antar bidang yang sama besar dan dikenal dengan cincin terluar, bidang ini harus menjadi satu-satunya yang memiliki jarak antar bidang yang paling kecil. Hal ini dikenal dengan keluarga bidang (100).

Perhitungan jarak antar atom karbon dalam bidang ( $d$ ) disertakan pada lampiran (D). Untuk cincin I dengan slope sebesar  $(1,620 \pm 0,001)$  diperoleh jarak antar atom karbon dalam bidang (10) sebesar  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$ . Untuk cincin II dengan slope sebesar  $(2,795 \pm 0,001)$  diperoleh jarak antar atom karbon dalam bidang (11) sebesar  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$ .

Setelah diperoleh jarak antar atom karbon dalam bidang ( $d$ ), maka struktur kristal atom karbon bisa diketahui dari perbandingan antara jarak atom karbon

dalam bidang yang sama (10) atau  $d_{10}$  dengan bidang (11) atau  $d_{11}$  sebagaimana terlampir dalam lampiran E.

Dari perhitungan pada lampiran E diperoleh bahwa perbandingan antara  $d_{10} \div d_{11} = 1,974 \text{ \AA} : 1,144 \text{ \AA} = \sqrt{2,98} : 1$ . Hasil ini hampir mendekati nilai teori pada buku panduan manual alat difraksi elektron Teltron 2555 yaitu  $\sqrt{3}$ , selain itu berdasarkan jarak antar atom dalam bidangnya, bisa diyakini bahwa struktur atom karbon tidak berbentuk kubus tetapi lebih cenderung berbentuk heksagonal karena ada dua jarak atom karbon dalam bidang. Setelah diketahui bahwa karbon tersebut memiliki struktur heksagonal, maka dapat disimpulkan bahwa karbon yang digunakan dalam penelitian adalah jenis grafit. Struktur atom karbon yang berbentuk heksagonal dalam dua dimensi seperti terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Struktur heksagonal atom karbon

Dari panduan penggunaan alat difraksi electron (Teltron, 1993), diperoleh jarak antar atom terdalam karbon dalam bidang (10) sebesar  $0,213 \text{ nm}$  dan jarak antar atom karbon dalam bidang (11) sebesar  $0,123 \text{ nm}$ . Perlu dicatat bahwa

perbandingan jarak antar atom karbon dalam bidang (10) dengan bidang (11) adalah  $d_{10} \div d_{11} = \sqrt{3} \div 1$  atau sama dengan 1,73 yang memberikan gambaran bahwa struktur kristal atom karbon yang berupa grafit lebih cenderung berbentuk heksagonal dan bukan berbentuk kubus.

Perbedaan perbandingan jarak antar atom  $d_{10} \div d_{11}$  dari hasil penelitian yaitu  $\sqrt{2,98} : 1$ ; sedangkan dari acuan  $\sqrt{3} \div 1$ . Penyebab perbedaan ini dimungkinkan karena:

1. Kesalahan pengamatan

pola cincin difraksi yang terbentuk sebenarnya merupakan kumpulan titik-titik teratur dan berhimpit sehingga pola difraksi yang dihasilkan berupa cincin - cincin yang kurang jelas (kabur) .

2. Kesalahan pengukuran

pola cincin difraksi yang kurang jelas menyebabkan kesulitan dalam pengukuran diameter cincin, karena batas antara pola gelap terangnya kurang jelas.

3. Paralaks

Pada saat pembacaan hasil pengukuran kemungkinan mata tidak tegak lurus pada jarum penunjuk pada alat ukur.

4. Pengaruh pembulatan angka

Pembulatan yang dilakukan pada setiap kali pengukuran dan perhitungan akan memperbesar kesalahan pada hasil yang diperoleh.

##### 5. Pengaruh perubahan tegangan bias

Pada saat dilakukan perubahan tegangan bias untuk memperjelas pola cincin yang dihasilkan, tegangan pemercepatnya juga ikut berubah, sehingga harus diperiksa kembali.

Pada Grafit, ikatan atom dalam lapisan yang sama cenderung lebih stabil daripada ikatan antar lapisannya sehingga terdapat beberapa acuan, yaitu:

Keenan (1986) menjelaskan tentang struktur kristal karbon yang berupa grafit. Pada grafit, atom-atom karbon mengkristal dengan pola yang berlapis-lapis membentuk bidang heksagonal dengan jarak antar atom pada lapisan yang berbeda sebesar  $3,40 \text{ \AA}$  dan jarak antar atom dalam lapisan yang sama sebesar  $1,42 \text{ \AA}$ . Atom-atom karbon jauh lebih dekat dengan tetangga-tetangga mereka pada lapisan yang sama daripada dengan atom-atom pada lapisan yang berdampingan. Lapisan-lapisan itu relatif mudah bergeser terhadap sesamanya. Dalam grafit, elektron-elektron dalam ikatan antar lapisan tak tertahan begitu erat, maka lebih bebas untuk bergerak melalui kristal dan menghantarkan listrik.

Sukardjo (1997) menjelaskan dalam grafit, atom-atom karbon membentuk lapisan karbon yang terdiri dari bidang-bidang heksagonal. Lapisan ini diikat dengan ikatan Van der Waals dengan lapisan yang lain, sehingga ikatan antar lapisannya bersifat lebih lemah dibandingkan ikatan bidang-bidang dalam lapisan yang sama yang terikat dengan ikatan kovalen. Struktur ini menyebabkan grafit bersifat lunak dan berminyak, hal ini juga menerangkan mengapa grafit pada pensil dapat tertinggal di atas kertas sehingga dapat digunakan untuk menulis.

Moore dkk (1985) menjelaskan struktur grafit terdiri dari beberapa lapisan. Dalam setiap lapisan, atom-atom karbon disusun dalam bentuk heksagonal yang teratur. Bentuknya hampir sama dengan cincin benzena dalam jumlah banyak yang terikat menjadi satu membentuk suatu lapisan heksagonal. Ikatan kovalen mengikat kuat atom-atom dalam bidang heksagonal dan ikatan van der Waals yang lemah yang mengikat atom karbon antar lapisan sehingga semua lapisan dengan mudah dapat tergelincir satu sama lain.

Cotton dan Wilkinson (1972) menjelaskan grafit mempunyai struktur lapisan yang berbentuk heksagonal. Atom-atom karbon dalam tiap bidang heksagonal diikat bersama oleh ikatan kovalen, tetapi bidang antar lapisannya diikat dengan ikatan van der Waals. Jarak atom karbon dalam lapisan yang sama adalah  $1,415 \text{ \AA}$ . Jarak antar lapisannya adalah  $3,35 \text{ \AA}$  yang besarnya hampir sama dengan jari-jari Van der Waals dan hal ini menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antar lapisannya relatif lemah sehingga menyebabkan suatu lapisan mudah tergelincir terhadap lapisan yang lain.

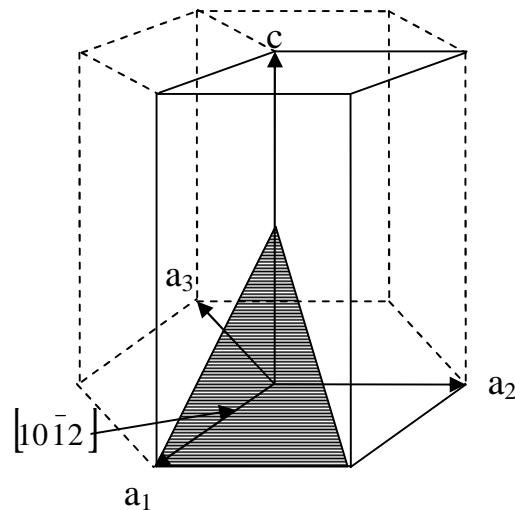
Emeleus dan Anderson (1960) menjelaskan perkembangan yang paling sempurna mengenai jenis struktur lapisan kisi kristal terdapat pada grafit. Grafit tersusun atas beberapa lapisan atom karbon yang terikat dalam barisan bidang berbentuk heksagonal, sehingga pada setiap lapisan terbentuk rangka aromatik yang sangat besar. Jarak antar atom karbon dalam masing-masing lapisan adalah  $1,4 \text{ \AA}$ . Setiap lapisan atom karbon saling bertumpang tindih di atas yang lainnya dengan jarak antar lapisan sebesar  $3,4 \text{ \AA}$ . Jarak yang jauh antar lapisan atom karbon menyebabkan ikatan antar lapisannya sangat lemah.

Farrington dan Daniels (1984) menjelaskan grafit mempunyai jaringan heksagonal dalam lempeng-lempeng seperti cincin benzena. Jarak antar atom dalam bidangnya adalah 142 pm, tetapi jarak antara bidang lapisan atom ini adalah 335 pm. Atom karbon dalam lapisan yang sama terikat kuat dengan ikatan kovalen seperti dalam intan, tetapi dalam lapisan yang berbeda terikat dengan ikatan van der Waals dimana gaya tarikannya agak kurang sehingga menyebabkan satu lapisannya dapat tergelincir di atas yang lain. Kristal berupa serpihan, namun demikian tak seluruh bahan terurai oleh aksi gesekan. Struktur planar ini merupakan sebagian dari keterangan mengenai aksi pelumasan dari grafit, tetapi aksi ini juga bergantung pada gas yang terabsorpsi dan koefisien gesekan jauh lebih tinggi dalam vakum.

Darmawan (1987) juga menjelaskan ikatan kovalen adalah ikatan antar pasangan atom dengan valensi yang sama. Ikatan ini sangat kuat sekuat ikatan ionik. Hal yang khas dalam ikatan kovalen ini adalah sifat terarahnya yang sangat kuat. Pada grafit, atom karbon pada lapisan yang sama terikat kuat dengan ikatan kovalen. Atom karbon pada lapisan yang berlainan terikat lemah dengan ikatan van der Waals.

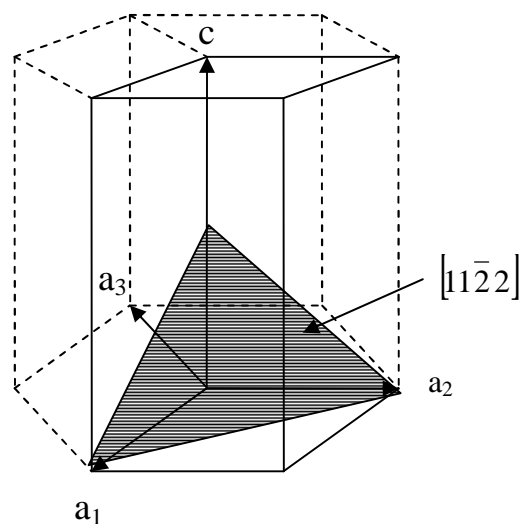
Kristal karbon grafit struktur kisiya termasuk dalam struktur heksagonal, sehingga Indeks kisi pada bidang heksagonal ditulis ( $hkl$ ), mengacu pada empat sumbu tersebut dan dikenal sebagai indeks Miller Bravais. Keuntungan dan alasan penting penggunaan sistem empat indeks adalah bahwa bidang yang sama memiliki indeks yang sama. Untuk bidang (10) dengan jarak antar bidang  $d_{hkl}$   $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  diperoleh arah bidang kristal atau Indeks Miller  $[102]$ , pada

sistem  $hkil$  dapat dituliskan dengan  $[10\bar{1}2]$ . Bidang dengan indeks kisi heksagonal  $[10\bar{1}2]$  data digambarkan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Bidang kristal dengan indeks kisi bidang  $[10\bar{1}2]$

Untuk bidang (11) dengan jarak antar bidang  $d_{hkl}$  ( $1,13 \pm 4,4 \times 10^{-4}$ ) Å diperoleh arah bidang kristal atau Indeks Miller  $hkl$   $[112]$ , pada struktur  $hkil$  dapat ditulis  $[11\bar{2}2]$ . Bidang dengan indeks kisi heksagonal  $[11\bar{2}2]$  data digambarkan seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Bidang kristal dengan indeks kisi bidang  $[11\bar{2}2]$



Penentuan arah bidang kristal atau indeks Miller untuk bidang (10) dan bidang (11) disertakan pada lampiran F.

Bidang dengan indeks Miller  $[102]$  memiliki jarak antar bidang  $d_{hkl}$   $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  dan bidang dengan Indeks Miller  $[112]$  memiliki jarak antar bidang  $d_{hkl}$   $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$ , sehingga disimpulkan bahwa bidang yang memiliki Indeks Miller lebih kecil memiliki jarak antar bidang yang lebih besar dibandingkan dengan bidang yang memiliki indeks Miller lebih besar.

Untuk mendapatkan ketepatan perhitungan diameter cincin secara maksimum maka harus diperhitungkan jarak antara karbon dengan layar yang melengkung, ketebalan kaca, tegangan anode yang rendah, diameter cincin. Hal-hal diatas memberikan pengaruh yang besar terhadap perhitungan jarak antar bidang atom.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran diameter cincin hasil difraksi elektron pada kristal Karbon Grafit dengan menggunakan tabung difraksi elektron Teltron 2555 dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode Difraksi Elektron dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal grafit yang memiliki struktur heksagonal dengan jarak antar bidang atom terdalam dan terluarnya adalah  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  dan  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$ .
2. Indeks miller untuk  $d_{hkl} = (1,974 \pm 0,03)$  adalah  $[102]$ , sedangkan untuk  $d_{hkl} = (1,144 \pm 0,017)$  adalah  $[112]$ .

#### V.2. Saran

Untuk meningkatkan kualitas penelitian selanjutnya sebaiknya peneliti memperhatikan hal-hal di bawah ini:

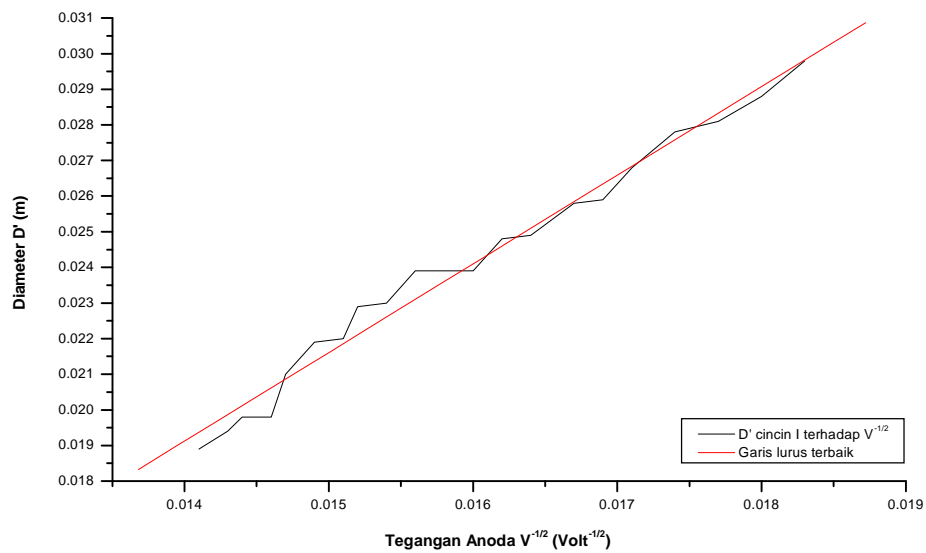
1. Pengukuran diameter cincin hasil difraksi elektron sebaiknya dilakukan menggunakan satuan pengukuran yang tercantum pada tabung difraksi elektron, agar hasil pengukurannya lebih akurat.
2. Pengukuran diameter cincin difraksi elektron tidak hanya pada satu titik sumbu sebagai perbandingan agar bisa diketahui bentuknya benar-benar lingkaran.

3. Pengambilan data sebaiknya dilakukan pada ruang gelap, selama pengambilan data sebaiknya lampu dimatikan agar pola cincin difraksi yang dihasilkan tampak lebih jelas.
4. Pada saat melakukan pengukuran diusahakan tangan jangan sampai menyentuh tabung difraksi elektron karena ketika tangan menyentuh tabung difraksi elektron, cincin yang tampak pada tabung akan berpendar dan pola cincin yang dihasilkan akan berubah.
5. Selisih antara diameter hasil pengukuran ( $D$ ) dengan diameter sebenarnya ( $D'$ ) sangat kecil, maka  $D'$  tidak perlu diperhitungkan.

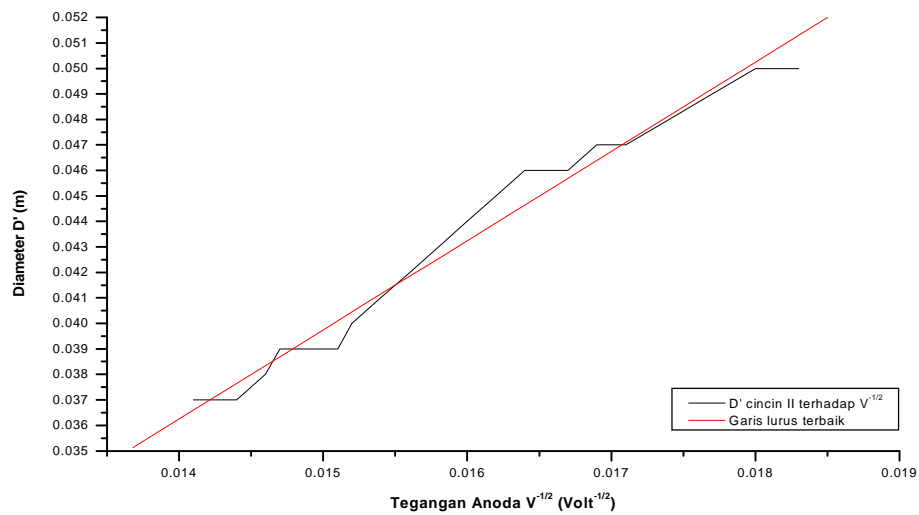
## DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P. W., 1997: *Kimia Fisika*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Austin, G. T., 1992: *Industri Proses Kimia*, Jilid 1, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Baiquni, 1996: *Fisika Modern*, Balai Pustaka, Jakarta.
- Beiser, A., 1995: *Konsep Fisika Modern*, Edisi ke-3, Erlangga, Jakarta.
- Bibit Supardi, 2004: *Fisika Modern Astronomi*, Erlangga, Jakarta.
- Clarke, L. J., 1993: *Surface Crystallography: An Introduction to Low Energy Electron Diffraction*, A Wiley-Interscience Publication, New York.
- Companion, A. L., 1991: *Ikatan Kimia*, ITB, Bandung.
- Cotton, F. A., dan Wilkinson, G. F. R. S., 1972: *Advanced Inorganic Chemistry*, Interscience Publishers, New York.
- Darmawan Djonoputro, B., 1984: *Teori ketidakpastian Menggunakan satuan SI*, ITB, Bandung
- Darmawan, Loeksmanto W., dan The Houw Liong., 1987: *Fisika Zat Padat*, Karunika, Jakarta.
- Emeleus, H. J., dan Anderson, J. S., 1960: *Modern Aspect of Inorganic Chemistry*, D Van Nostrand Company, New York.
- Farrington, R. A., dan Daniels, A., 1984: *Kimia Fisika*, Jilid 2, Edisi ke-5, Erlangga, Jakarta.
- Gribbin, J., 2005: *Fisika Modern*, Erlangga, Jakarta.
- Keenan, C. W., Kleinfelter, D. C., dan Wood, J. H., 1986: *Ilmu Kimia Untuk Universitas*, Jilid 2, Edisi ke-6, Erlangga, Jakarta.
- Krane, K. S., 1992: *Fisika Modern*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Livingston, M. S., 1968: *Particle Physics, The High-Energy Frontier*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Moechtar, 1990: *Farmasi Fisika*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Moore, J. W., Davies, W. G., dan Collins, R. W., 1985: *Chemistry*, International Student Edition.
- Muljono, 2003: *Fisika Modern*, Andi, Yogyakarta.
- Narang, B. S., 1982: *Material Science*, CBS Publishers, New Delhi.
- Nyoman Suwitra, 1989: *Pengantar Fisika Zat Padat*, Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan, Jakarta
- Omar, M. A., 1993: *Elementary Solid State Physics: Principle and Applications*, Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Shackelford, J. F., 1996: *Introduction to Materials Science for Engineering*, Edisi keempat, Prentice Hall, New Jersey.
- Sukardjo, 1997: *Kimia Fisika*, Bina Aksara, Jakarta.
- Suryanarayana, C., 1998: *X-Ray Diffraction A Practical approach*, Plenum Press, New York and London.
- Teltron., 1995: *The Electron Diffraction Tube Carbon*, Teltron, London.
- Williams, G. A., 1969: *Elementary Physics: Atoms, Waves, Particles*, McGraw-Hill Book Company, New York.



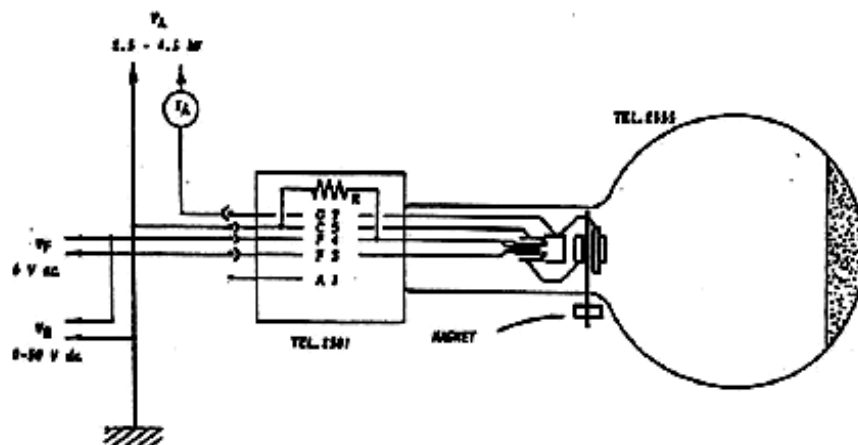
GRAFIK TEGANGAN ANODA TERHADAP DIAMETER ( $D'$ ) CINCIN I



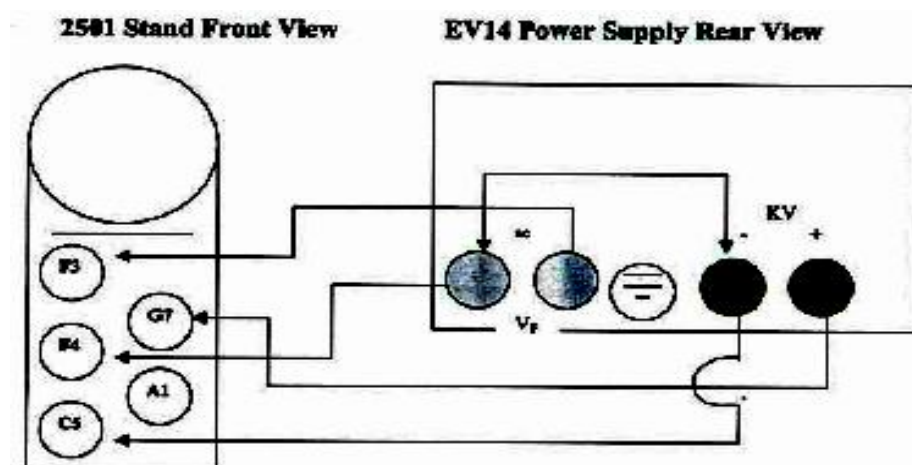
GRAFIK TEGANGAN ANODA TERHADAP DIAMETER ( $D'$ ) CINCIN II

## Lampiran A. Rangkaian alat difraksi elektron

Sebelum penelitian dilakukan semua fungsi peralatan yang perlu diatur harus diset pada kondisi kerja optimum. Tabung difraksi elektron Teltron 2555 yang sudah diletakkan di atas penyangganya Teltron 2501 dihubungkan dengan sumber tegangan anoda, sumber tegangan katoda dan amperemeter seperti tampak pada gambar A.1, gambar A.2, dan gambar A.3.



Gambar A.1 Skema pengesetan alat



Gambar A.2. Skema jaringan kabel pada tabung difraksi elektron (Teltron, 1995)

Hubungan antara sumber tegangan dengan penyangga Teltron 2501 :

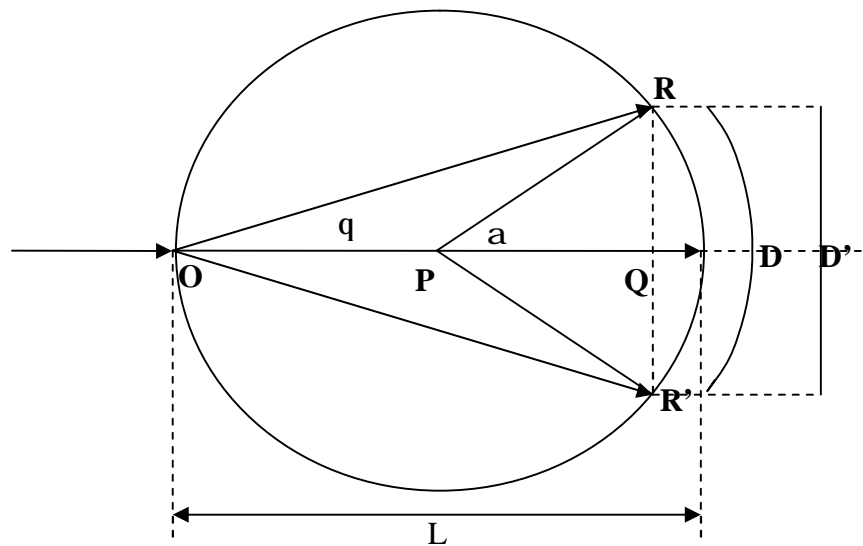




1. Sumber tegangan filamen dihidupkan dan diset pada 0 KV.
2. Atur arus catu daya filamen (maksimum 0,20 mA) sehingga terlihat pendaran elektron pada layar.
3. Menunggu beberapa saat agar panas filamen stabil.
4. Menaikkan tegangan tinggi sedikit demi sedikit hingga tampak jelas cincin difraksi pada permukaan tabung difraksi elektron.
5. Mengamati dan mengukur diameter cincin difraksi dalam beberapa arah sumbu.
6. Menaikkan tegangan anoda (pemercepat elektron) dengan interval masing-masing 0,1 KV
7. Mengulangi pengambilan data hingga 5 kali
8. Setelah pengambilan data selesai tegangan anoda dan tegangan katoda diturunkan perlahan-lahan hingga posisi 0 KV
9. Mematikan sumber tegangan tinggi

#### **Lampiran B. Penentuan diameter cincin difraksi elektron sebenarnya**

Dari percobaan diperoleh data berupa diameter cincin pola difraksi pada berbagai variasi tegangan anoda. Diameter yang diperoleh dari pengukuran bukanlah diameter yang sesungguhnya, karena pengukuran dilakukan pada permukaan tabung difraksi elektron yang berbentuk bola. Secara geometris hamburan elektron dalam tabung difraksi elektron terlihat pada gambar B.1.



Gambar B.1. Hamburan elektron dalam tabung difraksi

Permukaan tabung difraksi elektron berbentuk bola yang berpusat di  $P$ , sedangkan letak target Karbon grafit adalah di  $O$ . Sudut  $q$  merupakan sudut total difraksi. Sudut  $q$  dan  $a$  menghadap busur lingkaran yang sama yaitu  $D$ , yang merupakan diameter cincin difraksi yang dapat diukur. Oleh karena itu  $PR = PR' = OP =$  jari-jari permukaan bola ( $r$ ), maka berlaku :

$$a = 2q \quad (B.1)$$

perbandingan panjang busur lingkaran terhadap sudutnya adalah:

$$\frac{2pr}{2p} : \frac{D}{2a} : \frac{D}{4q} \quad (\text{B.2})$$

sehingga diperoleh:  $q = \frac{D}{4r}$  (B.3)

ditinjau dari segitiga  $PQR$  yang terbentuk, secara trigonometri dapat digunakan untuk mengetahui  $D'$  (diameter sebenarnya), yaitu :

$$\sin a = \frac{\overline{QR}}{\overline{PR}} \quad (\text{B.4})$$

persamaan (B.1) disubstitusi ke dalam persamaan (B.4), sehingga diperoleh:

$$\sin(2q) = \frac{\frac{D'}{2}}{r} \quad (\text{B.5})$$

persamaan (B.3) disubstitusi ke dalam persamaan (B.5), diperoleh :

$$\sin\left(\frac{2D}{4r}\right) = \frac{D'}{2r} \text{ atau } \sin\left(\frac{D}{2r}\right) = \frac{D'}{2r} \quad (\text{B.6})$$

Diameter sebenarnya dari cincin difraksi ( $D'$ ) adalah

$$D' = 2r \sin\left(\frac{D}{2r}\right) \text{ rad jika } \left(\frac{D}{2r}\right) = b$$

maka  $D' = 2r \sin b \text{ rad}$

dimana:  $D$  = Diameter cincin hasil pengukuran

$D'$  = Diameter cincin sebenarnya

$r$  = Jari-jari tabung difraksi elektron sebesar  $6,6 \text{ cm}$  = jarak  $\overline{PR}$ .

Perhitungan Diameter cincin yang sebenarnya ( $D'$ ) terlihat pada tabel–tabel berikut ini :

Tabel B.1 Diameter hasil pengukuran ( $D$ ) cincin difraksi elektron pada Grafit





Tabel B.2 Diameter hasil pengukuran ( $D$ ) cincin difraksi elektron pada Grafit



Tabel B.3 Diameter rata-rata hasil pengukuran cincin difraksi (cm)

V (Kvolt)	Diameter rata-rata hasil pengukuran cincin difraksi (cm)			
	Cincin I		Cincin II	
	D	DD	D	DD
3,0	3,008	0,011	5,100	0,004
3,1	2,903	0,002	5,083	0,006
3,2	2,835	0,007	4,998	0,005
3,3	2,800	0,000	4,893	0,005
3,4	2,703	0,005	4,800	0,004
3,5	2,603	0,003	4,805	0,003
3,6	2,593	0,005	4,725	0,004
3,7	2,500	0,000	4,708	0,006
3,8	2,495	0,003	4,603	0,003
3,9	2,405	0,003	4,500	0,007
4,0	2,403	0,006	4,408	0,003
4,1	2,405	0,003	4,285	0,005
4,2	2,308	0,005	4,200	0,004
4,3	2,303	0,002	4,110	0,005
4,4	2,208	0,003	4,005	0,003
4,5	2,198	0,006	4,003	0,003
4,6	2,108	0,007	3,993	0,003
4,7	2,100	0,006	3,898	0,006
4,8	1,990	0,005	3,793	0,005
4,9	1,950	0,000	3,790	0,003
5,0	1,895	0,003	3,713	0,008





Tabel B.5 Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada grafit (cm )

V (KVolt)	Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada grafit (Cm)			
	Cincin I		Cincin II	
	D'	DD'	D'	DD'
3,0	2,982	0,011	4,974	0,004
3,1	2,879	0,002	4,958	0,006
3,2	2,813	0,007	4,879	0,005
3,3	2,779	0,000	4,781	0,005
3,4	2,684	0,005	4,695	0,004
3,5	2,586	0,003	4,700	0,003
3,6	2,576	0,005	4,625	0,004
3,7	2,485	0,000	4,608	0,006
3,8	2,480	0,003	4,510	0,002
3,9	2,392	0,003	4,413	0,007
4,0	2,389	0,006	4,326	0,003
4,1	2,392	0,003	4,210	0,005
4,2	2,296	0,005	4,129	0,004
4,3	2,291	0,002	4,044	0,005
4,4	2,197	0,003	3,944	0,003
4,5	2,187	0,006	3,941	0,002
4,6	2,099	0,007	3,932	0,003
4,7	1,982	0,006	3,841	0,006
4,8	1,982	0,005	3,741	0,005
4,9	1,943	0,000	3,738	0,002
5,0	1,888	0,003	3,664	0,008

Tabel B.6 Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada Grafit (m )

V (KVolt)	Diameter sebenarnya cincin difraksi elektron pada grafit (m)			
	Cincin I		Cincin II	
	D'	DD'	D'	DD'
3,0	0,0298	0,00011	0,050	0,00004
3,1	0,0288	0,00002	0,050	0,00006
3,2	0,0281	0,00007	0,049	0,00005
3,3	0,0278	0,00000	0,048	0,00005
3,4	0,0268	0,00005	0,047	0,00004
3,5	0,0259	0,00003	0,047	0,00003
3,6	0,0258	0,00005	0,046	0,00004
3,7	0,0249	0,00000	0,046	0,00006
3,8	0,0248	0,00003	0,045	0,00002
3,9	0,0239	0,00003	0,044	0,00007
4,0	0,0239	0,00006	0,043	0,00003
4,1	0,0239	0,00003	0,042	0,00005
4,2	0,0230	0,00005	0,041	0,00004
4,3	0,0229	0,00002	0,040	0,00005
4,4	0,0220	0,00003	0,039	0,00003
4,5	0,0219	0,00006	0,039	0,00002
4,6	0,0210	0,00007	0,039	0,00003
4,7	0,0198	0,00006	0,038	0,00006
4,8	0,0198	0,00005	0,037	0,00005
4,9	0,0194	0,00000	0,037	0,00002
5,0	0,0189	0,00003	0,037	0,00008

### Lampiran C. Data slope grafik diameter cincin I dan cincin II

07/03/2007 23:37

Linear Regression for Datal\_A:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	-0,00178	0,00118	
B	1,61983	0,0757	
R	SD	N	P
0,97885	0,00126	22	<0.0001

07/03/2007 23:57

Linear Regression for Datal\_C:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	-0,00144	0,00109	
B	2,79503	0,06985	
R	SD	N	P
0,99381	0,00116	22	<0.0001

### Lampiran D. Penentuan Jarak antar bidang atom karbon grafit

Jarak antar atom karbon grafit ( $d$ ) dihitung melalui proses sebagai berikut:

Dari penelitian diperoleh data hasil berupa diameter cincin I dan cincin II pada variasi tegangan anoda yang berbeda. Data tersebut digunakan untuk mencari diameter cincin difraksi yang sebenarnya. Setelah diameter cincin difraksi yang sebenarnya sudah diketahui nilainya, kemudian dibuat grafik diameter cincin hasil difraksi elektron yang sebenarnya  $D'$  terhadap tegangan anoda ( $V_A^{-1/2}$ ). Diperoleh slope untuk diameter cincin I dan II yang digunakan untuk mencari jarak antar bidang atom Karbon ( $d$ ).

$$k = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d}$$

dimana :

$k$  = slope grafik diameter cincin yang sebenarnya terhadap tegangan anoda

$d$  = jarak antar bidang atom karbon pada grafit ( $\text{\AA}$ ).

$L$  = jarak dari grafit sampai ke layar yaitu sebesar  $(0,130 \pm 0,002)m$

#### Ø Untuk cincin I:

Diketahui :  $k = (1,620 \pm 0,001)$

$L = (0,130 \pm 0,002)m$

Jarak antar atom karbon adalah :

$$\begin{aligned} k &= \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d} \quad \text{atau} \quad d = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{k} \\ &= \frac{2 \times (0,13 \pm 0,002)m \times 1,23 \text{ nm}}{(1,620 \pm 0,001)} \end{aligned}$$

$$= 0,1974 \text{ nm} = 1,974 \text{ \AA}$$

$$\Delta d = 0,017$$

$$d \pm \Delta d = (1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$$

#### Ø Untuk cincin II:

$$\text{Diketahui : } k = (2,795 \pm 0,001)$$

$$L = (0,130 \pm 0,002) \text{ m}$$

Jarak antar atom karbon adalah :

$$k = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{d} \quad \text{atau} \quad d = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{k}$$

$$= \frac{2 \times (0,13 \pm 0,002) \text{ m} \times 1,23 \text{ nm}}{(2,795 \pm 0,001)}$$

$$= 0,1144 \text{ nm} = 1,144 \text{ \AA}$$

$$\Delta d = 0,017$$

$$d \pm \Delta d = (1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$$

Dari perhitungan di atas di peroleh jarak antar bidang atom Karbon yang dihitung dari cincin I ( $d_{10}$ ) adalah  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$  sedangkan yang dihitung dari cincin II ( $d_{11}$ ) adalah  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$ . Jarak antar bidang atom karbon yang dihitung dari cincin I dinotasikan dengan  $d_{10}$  karena ekuivalen dengan jarak antar atom pada arah bidang [10], sedangkan jarak antar atom karbon yang dihitung dari cincin II dinotasikan dengan  $d_{11}$  karena ekuivalen dengan jarak antar bidang atom pada arah bidang [11].

### **lampiran E. Penentuan struktur polikristal Karbon grafit**

Struktur polikristal Karbon grafit dapat ditentukan melalui proses sebagai berikut:

Suatu kristal dikatakan memiliki struktur heksagonal jika perbandingan antara jarak antar bidang atom  $d_{10} : d_{11}$  adalah  $\sqrt{3} \div 1$  atau sebesar 1,732. Dari perhitungan sebelumnya diperoleh jarak antar atom Karbon yang dihitung dari cincin I ( $d_{10}$ ) adalah  $(1,974 \pm 0,03) \text{ \AA}$ , sedangkan yang dihitung dari cincin II ( $d_{11}$ ) adalah  $(1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$ . Perbandingan antara jarak antar bidang atom karbonnya  $d_{10} \div d_{11} = 1,974 \text{ \AA} : 1,144 \text{ \AA}$

$$= 1,726$$

Dari hasil perbandingan diatas terlihat bahwa perbandingan  $d_{10}$  dan  $d_{11}$  mendekati  $\sqrt{3} \div 1$ , sehingga bisa disimpulkan bahwa Karbon yang dipakai dalam percobaan struktur kisinya lebih mendekati bentuk heksagonal. Dari literatur diperoleh Karbon yang struktur kisinya heksagonal adalah karbon grafit sehingga dapat disimpulkan bahwa karbon yang digunakan dalam percobaan adalah karbon yang berupa grafit.

## **lampiran F. Penentuan Indeks Miller polikristal Karbon grafit**

Kristal karbon pada grafit struktur kisinya termasuk dalam struktur heksagonal, sehingga Indeks Miller kristal karbon grafit dapat ditentukan dengan cara :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \text{ atau } \frac{a^2}{d^2} = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \left( \frac{c}{a} \right)^2 l^2$$

dimana :  $d$  = jarak antar bidang atom karbon (Å)

$a$  = konstanta kisi untuk Karbon sebesar 2,456 Å

$c$  = konstanta kisi untuk Karbon grafit 6,694 Å

### **1. untuk cincin I**

diketahui :

$d_{hkl} = (1,974 \pm 0,03) \text{ Å}$  maka:

$$\frac{a^2}{d^2} = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \left( \frac{c}{a} \right)^2 l^2$$

$$\frac{\left( 2,456 \text{ Å} \right)^2}{\left( 1,974 \text{ Å} \right)^2} = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \left( \frac{c}{a} \right)^2 l^2$$

$$\frac{6,032}{3,897} = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \left( \frac{c}{a} \right)^2 l^2$$

$$1,548 = \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) + \left( \frac{c}{a} \right)^2 l^2$$



dari nilai diatas dicari Indeks Miller hkl yang paling mendekati dengan cara mencocokkan dengan nilai  $\frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$  pada tabel E.1 dan E.2.

Dari tabel diperoleh Indeks Miller hkl yang paling mendekati dengan 1,548 adalah pada struktur hkl [102]. Untuk lebih meyakinkan hasil indeks miller yang diperoleh dari perhitungan diatas, nilai d dapat dilihat langsung dengan tabel E.3.

## 2. untuk cincin II

Diketahui :  $d_{hkl} = (1,144 \pm 0,017) \text{ \AA}$

$$\frac{a^2}{d^2} = \frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$$

$$\frac{\left(2,456 \text{ \AA}^0\right)^2}{\left(1,144 \text{ \AA}^0\right)^2} = \frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$$

$$\frac{6,032}{1,309} = \frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$$

$$4,608 = \frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$$

dari nilai diatas dicari Indeks Miller hkl yang paling mendekati dengan cara mencocokkan dengan nilai  $\frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2)$  dan nilai  $\frac{l^2}{\left(\frac{c}{a}\right)^2}$  pada tabel E.1

dan E.2.

Dari tabel diperoleh Indeks Miller hkl yang paling mendekati dengan 4,608 adalah pada struktur hkl  $[112]$ . Untuk lebih meyakinkan hasil indeks miller yang diperoleh dari perhitungan diatas, nilai d dapat dilihat langsung dengan tabel E.3.

**Tabel E.1. nilai dari  $\frac{4}{3}(h^2 + hk + l^2)$  untuk karbon**

$h$	$k$	0	1	2	3
0		0,000	1,333	5,333	12,000
1		1,333	4,000	9,333	17,333
2		11,259	9,333	16,000	25,333
3		12,000	17,333	25,333	36,000
4		21,333	28,000	37,333	49,333
5		33,333	41,333	52,000	65,333

**Tabel E.2. nilai dari  $l^2/(c/a)^2$  untuk grafit  $(c/a)^2 = 7,429$**

$l$	$l^2$	$l^2/(c/a)^2$
0	0	0,000
1	1	0,135
2	4	0,538
3	9	1,216
4	16	2,162
5	25	3,378

**Tabel E.3 nilai  $d$  dari nilai  $h$ ,  $k$ , dan  $l$**

$h$	$k$	$l$	$a$	$c$	$4/3(h^2+hk+k^2)$	$l^2/(c/a)^2$	$d$
1	0	0	2,456	6,694	1,333	0,000	2,13
1	0	1	2,456	6,694	1,333	0,135	2,03
1	0	2	2,456	6,694	1,333	0,538	1,80
1	0	3	2,456	6,694	1,333	1,212	1,54
1	0	4	2,456	6,694	1,333	2,154	1,32
1	0	5	2,456	6,694	1,333	3,365	1,13
1	1	0	2,456	6,694	4,000	0,000	1,23
1	1	1	2,456	6,694	4,000	0,135	1,21
1	1	2	2,456	6,694	4,000	0,538	1,15
1	1	3	2,456	6,694	4,000	1,212	1,08
1	1	4	2,456	6,694	4,000	2,154	0,99
1	1	5	2,456	6,694	4,000	3,365	0,90

## lampiran G. Penentuan Nilai Ralat

### 1. penentuan nilai ralat untuk diameter cincin hasil pengukuran

(Darmawan Djonoputro, 1984):

$$D = \bar{D} \pm \Delta D$$

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n}$$

$$\Delta D = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum (D_i^2) - (\sum D_i)^2}{n-1}}$$

### 2. penentuan nilai ralat untuk menentukan jarak antar bidang ( $d$ )

$$d = \frac{2L \times 1,23 \text{ nm}}{k}$$

$$d = 2L \times 1,23 \text{ nm} \times k^{-1}$$

$$\text{diketahui: } L = (0,13 \pm 0,002) \text{ m}$$

Ø untuk cincin I dengan  $k = (1,620 \pm 0,001)$

maka :

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta L}{L} + 1 \frac{\Delta k}{k}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{0,002}{0,13} + \frac{0,001}{1,620}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = 0,015 + 0,00062 = 1,5\% + 0,062\% \approx 1,5\%$$

$$\text{untuk } d_{10} = 1,974 \text{ Å}$$

$$\Delta d = 1,5\% \times 1,974 \approx 0,03$$

$$d \pm \Delta d = (1,974 \pm 0,03) \text{ Å}$$

**Ø cincin II dengan  $k = (2,795 \pm 0,001)$**

maka :

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta L}{L} + 1 \frac{\Delta k}{k}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{0,002}{0,13} + \frac{0,001}{2,795}$$

$$\frac{\Delta d}{d} = 0,015 + 0,00036 = 1,5\% + 0,036\% \approx 1,5\%$$

**untuk  $d_{11} = 1,144 \text{ \AA}$**

$$\Delta d = 1,5\% \times 1,144 \approx 0,017$$

sehingga :

$$d \pm \Delta d = (1,974 \pm 0,017) \text{ \AA}$$